



Univerzitet u Novom Sadu
Tehnički Fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin



**METODA ZA POVEZIVANJE MERNOG SISTEMA
I RAČUNARA POMOĆU KONVERZIJE
PODATAKA IZ I²S U TCP/IP PROTOKOL**

**METHOD FOR CONNECTING MEASURING
SYSTEM WITH COMPUTER BY CONVERTING
DATA FROM I²S TO TCP/IP PROTOCOL**

- Doktorska disertacija -

mentor: Doc. dr Dalibor Dobrilović

kandidat: mr Tibor Sakal

Zrenjanin, 2016

Univerzitet u Novom Sadu
Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“
Zrenjanin

Ključna dokumentacijska informacija

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	mr Tibor Sakal
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	Dr. Dalibor Dobrilović, docent Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin
Naslov rada: NR	Metoda za povezivanje mernog sistema i računara pomoću konverzije podataka iz I ² S u TCP/IP protokol
Jezik publikacije: JP	srpski (latinica)
Jezik izvoda: JI	srpski/engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2016
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mesto i adresa: MA	23000 Zrenjanin, Đure Đakovića bb
Fizički opis rada: FO	(broj poglavlja / stranica / slika / tabela / referenci / priloga) 9 / 132 / 72 / 13 / 205 / 3
Naučna oblast: NO	Informacione tehnologije
Naučna disciplina: ND	Računarske komunikacije
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Komunikacioni protokoli, konvertor protokola, I ² S,UDP, TCP/IP, ugrađeni sistemi, prenos podataka u realnom vremenu.
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehničkog fakulteta „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin

Važna napomena: VN	
Izvod: IZ	Ova doktorska disertacija predstavlja istraživački rad sproveden sa ciljem da reši problem koji se odnosi na realizaciju povezivanja laboratorijskog, medicinskog mernog uređaja sa personalnim računarom. Rezultat istraživačkog rada je opšta metoda koja obezbeđuje efikasnu konverziju podataka I ² S protokola u TCP/IP protokol.
Datum prihvatanja teme od strane NN veća: DP	
Datum odbrane: DO	
Clanovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO	predsednik: Prof. dr Miodrag Ivković – redovni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin član: Prof. dr Željko Trpovski – vanredni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad član: Prof. dr Vladimir Brtka – vanredni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“ Zrenjanin član: Doc. dr Željko Stojanov – docent, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin mentor/član Doc. dr Dalibor Dobrilović – docent, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin

University of Novi Sad
 Tehnical Faculty "Mihajlo Pupin"
 Zrenjanin

Crucial documentation of information

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monographic documentation
Type of record: TR	Printed text material
Contents code: CC	D.Sc. thesis
Author: AU	Tibor Sakal
Mentor: MN	Ph.D. Dalibor Dobrilović, Assistant Professor University of Novi Sad, Technical Faculty „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin
Title: TI	Method for Connecting Measuring System With Computer by Converting Data From I ² S to TCP/IP Protocol
Language of text: LT	Serbian (Latin)
Language of abstract: LA	Serbian (Latin)/English
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina
Publication year: PY	2016
Publisher: PU	Author reprint
Publication place: PP	23000 Zrenjanin, Đure Đakovića bb
Physical description: PD	(chapters / pages / figures / tables / references / appendices) 9 / 132 / 72 / 13 / 205 / 3
Scientific field SF	Information technology
Scientific discipline SD	Computer communications
Subject, Key words SKW	Communication protocols, protocol converter, I ² S, UDP, TCP/IP, embedded systems, real time data transfer.
UC	

Holding data: HD	At the library of the Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin
Note: N	
Abstract: AB	This doctoral thesis presents the research work carried out in order to solve a practical problem, the realization of a connection between a medical measuring device and a personal computer. The result of the research is a general method that provides efficient data conversion from the I ² S protocol to the TCP/IP protocol.
Accepted on Scientific Board on: AS	
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	Chairman: Prof. Ph.D. Miodrag Ivković – Full Professor, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin member: Prof. Ph.D. Željko Trpovski – Associate Professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad member: Prof. Ph.D. Vladimir Brtka – Associate Professor, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin member: Doc. Ph.D. Željko Stojanov – Assistant Professor, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin member / mentor: Dalibor Dobrilović – Assistant Professor, Technical Faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se profesorima Fakulteta na stečenom znanju tokom osnovnih, magistarskih i doktorskih studija.

Zahvaljujem se svima koji su mi na bilo koji način olakšali rad na izradi ove disertacije i svojim zalaganjem i nesebičnošću doprineli da ona ugleda svetlost dana.

Zahvaljujem se mentoru prof. Dr Daliboru Dobriloviću i članovima Komisije na posvećenom vremenu, strpljenju, ukazanom poverenju, savetima i profesionalnom odnosu punom razumevanja.

Posebno se zahvaljujem svojoj porodici za pruženu podršku, moralnu potporu i sva odricanja koja su bila neminovna prilikom izrade disertacije.

Hvala vam svima!

SADRŽAJ

Indeks slika	5
Indeks tabela	7
1 UVOD	8
2 METODOLOŠKI KONCEPT ISTRAŽIVANJA.....	11
2.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA	11
2.2 PROBLEM ISTRAŽIVANJA.....	11
2.3 CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA	12
2.4 OČEKIVANI REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	13
2.5 DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	13
2.6 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	15
2.7 METODE I TEHNIKE ISTRAŽIVANJA.....	15
2.8 NAUČNA I DRUŠTVENA OPRAVDANOST ISTRAŽIVANJA.....	16
3 DEFINISANJE POJMOVA	18
4 ISTRAŽIVANJE	23
4.1 TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA.....	23
4.1.1 Analiza akvizicionog sistema	23
4.1.1.1 Namena sistema	23
4.1.1.2 Arhitektura sistema	23
4.1.1.3 Protokol prenosa	25
4.1.2 I ² S magistrala.....	26
4.1.2.1 Opis I ² S magistrale	26
4.1.2.2 Unapređena I ² S magistrala.....	29
4.1.3 Višestruka I ² S magistrala.....	30
4.1.4 Analiza personalnog računara.....	32
4.1.4.1 Portovi, interfejsi i protokoli računara.....	32
4.1.5 Fast Ethernet	35
4.1.5.1 Grupa T2 – T4 – TX	36
4.1.5.2 Grupa FX – SX – BX – LX	36
4.1.5.3 Kategorije upredenih parica.....	37
4.1.5.4 TCP/IP skup protokola.....	41

4.1.5.5	Podrška operativnih sistema	44
4.1.6	USB.....	44
4.1.6.1	USB 1.0/1.1.....	44
4.1.6.2	USB 2.0.....	45
4.1.6.3	USB 3.0.....	45
4.1.7	IEEE 1394.....	47
4.1.7.1	FireWire standardi	48
4.1.7.2	Podrška u operativnim sistemima	49
4.1.8	Rezime	50
4.2	DODATNA TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA	50
4.2.1.1	Konverter protokola.....	50
4.3	ANALITIČKA-SINTETIČKA ISTRAŽIVANJA	51
4.3.1	Model konverter protokola	52
4.3.1.1	Medij i protokol višestruke I ² S magistrale	52
4.3.1.2	Izbor interfejsa personalnog računara.....	53
4.3.1.3	Crna kutija – protokoli.....	55
4.3.1.4	Mediji i protokol Fast Etherneta	56
4.3.1.5	Tamnosiva kutija – mediji i protokoli.....	58
4.3.1.6	Siva kutija – proces konverzije podataka	59
4.3.1.7	Svetlo siva kutija – ulazi i izlazi	61
4.3.1.8	Bela kutija	62
4.3.1.9	Rezime	62
4.3.2	Ugrađeni sistemi u realnom vremenu	63
4.3.2.1	Ugrađeni sistemi	63
4.3.2.2	Sistemi u realnom vremenu	63
4.3.2.3	Operativni sistemi u realnom vremenu	67
4.3.2.4	Jezici razvoja sistema u realnom vremenu	68
4.3.2.5	Modeliranje softverskih sistema u realnom vremenu	69
4.3.2.6	Dizajn softvera za sisteme u realnom vremenu	69
4.3.3	Upravljanje memorijom i tokom podataka	71
4.3.3.1	Ping-pong bafer.....	71
4.3.3.2	Token-kofa.....	72

4.4	EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA	73
4.4.1	Upravljanje konverterom protokola.....	73
4.4.1.1	Model ugrađenog sistema protokol konvertera	74
4.4.1.2	Procesorska platforma za ugrađeni sistem.....	75
4.4.2	Iterativno rešenje problema	76
4.4.2.1	Komunikacija sa Ethernet mrežom.....	76
4.4.2.2	Preuzimanje podataka sa magistrale.....	78
4.5	MODEL ZA POVEZIVANJE MERNOG SISTEMA I RAČUNARA	82
4.5.1	Model povezivanja.....	82
4.5.2	Model povezivanja sa upravljačkom jedinicom	82
4.6	REALIZACIJA PROTOTIPA POVEZIVANJA	83
4.6.1	Skaliranje i redizajn	83
4.6.1.1	Promene u softveru	83
4.6.1.2	Promene u hardveru	84
4.6.2	Prototip povezivanja	86
4.6.3	Proces konverzije podataka	88
4.6.3.1	Formiranje UDP paketa, ciklični proces konverzije.....	88
4.6.3.2	Format i sadržaj UDP paketa	89
4.6.4	PC aplikacije.....	90
4.6.5	Vremenski parametri prototipa	91
5	REZULTATI ISTRAŽIVANJA	97
5.1	PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA.....	97
5.1.1	Rezultati teorijskog istraživanja.....	97
5.1.2	Rezultati analitičko-sintetičkih i eksperimentalnih istraživanja	98
5.2	VREDNOVANJE REZULTATA ZA PRAKTIČNU PRIMENU	98
5.3	ANALIZA REZULTATA SA STANOVIŠTA HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA	100
6	ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	103
6.1	MOGUĆE PRIMENE REZULTATA	103
6.2	BUDUĆA ISTRAŽIVANJA I SMEROVI RAZVOJA	103
	REZIME.....	104
	SUMMARY.....	105

7	REFERENCE.....	106
7.1	ŠTAMPANI IZVORI	106
7.2	WEB IZVORI	115
8	PRILOZI	117
8.1	VEZA NA ŠIRE ISTRAŽIVAČKE PROJEKTE	117
8.1.1	Kreditni učesnicima istraživanja.....	117
8.2	DOKUMENTI PROJEKTA	117
8.2.1	Opis protokola NB/PC	118
8.2.1.1	Tabele kodova.....	121
8.2.2	Reindeksiranje transponovanih bitova WS okvira.....	123
8.2.3	Hardversko rešenje FIFO memorije	125
8.2.4	Blok dijagram TAS 3103 procesora	126
8.2.5	Merna oprema i laboratorija	128
8.3	INDEKS FORMULA	128
9	SKRAĆENICE	130

Indeks slika

slika 2.1 – blok dijagram laboratorijskog uređaja za telemetrijsko merenje biomedicinskih signala eksperimentalnih životinja	11
slika 2.2 – problem istraživanja: povezivanje mernog sistema sa računarom.....	12
slika 4.1 – sonde, A/D pretvarači i radio predajnik.....	24
slika 4.2 – DSP blok (zaokruženi su TAS procesori).....	25
slika 4.3 – formiranje višestrukog I ² S toka podataka.....	25
slika 4.4 – osnovne konfiguracije I ² S sistema.....	27
slika 4.5 – vremenski dijagram signala I ² S magistrale.....	27
slika 4.6 – vremenski dijagram I ² S-a u TDM4 formatu rada	29
slika 4.7 – pojednostavljeni vremenski dijagram I ² S-a u TDM4 formatu rada.....	30
slika 4.8 – signali višestruke I ² S magistrale instrumenta	31
slika 4.9 – raznovrsnost portova laptop računara.....	32
slika 4.10 – MIDI (levo), PS/2 (sredina), serijski i paralelni portovi (desno).....	34
slika 4.11 – PCMCIA (dole) i CardBus (gore) kartice.....	34
slika 4.12 – šeme vezivanja T568A i T568B	39
slika 4.13 – modularni konektor 8P8C.....	39
slika 4.14 – Cat 5 UTP kabel – neoklopljeni kabel sa četiri upredene parice	40
slika 4.15 – Cat 7 STP kabel - oklopljeni kabel sa četiri oklopljene upredene parice	41
slika 4.16 – odnos nivoa TCP/IP protokol steka i nivoa OSI referentnog modela.....	42
slika 4.17 – ugnježđenje podataka po nivoima TCP/IP protokol steka.....	43
slika 4.18 – USB Type A utikač (levo), utičnica (sredina), Type B utičnica (desno).....	44
slika 4.19 – logo USB-a i USB 1.0	45
slika 4.20 – logo USB 2.0	45
slika 4.21 – standardni parovi USB priključaka.....	45
slika 4.22 – logo USB 3.0	46
slika 4.23 – USB host, čvorovi i uređaji u razgranato stablo topologiji.....	46
slika 4.24 – IEEE 1394, FireWire i i.LINK logoi	47
slika 4.25 – četvorožilni (levo) i šestožilni (sredina) S400 alfa utikači devetožilni S800 beta utikač (desno).....	49
slika 4.26 – blok dijagram funkcionalnog modela konvertera protokola.....	50
slika 4.27 – industrijski konverter protokola.....	51
slika 4.28 – problem istraživanja: povezivanje mernog sistema sa računarom.....	52
slika 4.29 – konverter protokola kao rešenje za povezivanje.....	52
slika 4.30 – protokol konverter kao crna kutija.....	55

slika 4.31 – grafikon merenih brzina prenosa TCP i UDP.....	57
slika 4.32 – blok dijagram tamnosive kutije konvertera protokola	58
slika 4.33 – prenos podataka između protokola	58
slika 4.34 – redosled WS okvira podataka, grupisanih u WS petorke	60
slika 4.35 – raspored podataka u korisnom teretu UDP datagrama	61
slika 4.36 – blok dijagram svetlo sive kutije konverter protokola	61
slika 4.37 – uopšteni model sistema u realnom vremenu.....	64
slika 4.38 – uopšteni model arhitekture sistema u realnom vremenu sa tri vrste procesa.....	65
slika 4.39 – uopštena arhitektura sistema za prikupljanje podataka.....	66
slika 4.40 – procesiranje podataka korišćenjem cirkularnog bafera	67
slika 4.41 – naizmenično pisanje/čitanje dva bafera	72
slika 4.42 – token-kofa realizovana kao FIFO RAM bafer.....	73
slika 4.43 – blok dijagram protokol konvertera sa ugrađenim sistemom upravljanja.....	74
slika 4.44 – MOD5270 procesorski modul (levo), NDK razvojna ploča (desno).....	75
slika 4.45 – DMA transfer pojedinačnih ulaznih podataka u internu memoriju	79
slika 4.46 – realizacija token-kofe	81
slika 4.47 – opšti model povezivanja I ² S sa TCP/IP	82
slika 4.48 – model povezivanja sa upravljačkom jedinicom.....	83
slika 4.49 – mašina stanja protokol konvertera.....	84
slika 4.50 – topologije povezivanja ugrađenog sistema i računara	85
slika 4.51 – blok dijagram prototipa za povezivanje.....	86
slika 4.52 – dva procesorska modula i delitelj I ² S magistrale.....	86
slika 4.53 – perioda DMA prenosa (levo), DMA blok prenos (desno).....	88
slika 4.54 – redosled WS okvira podataka, grupisanih u WS jedanaestorke	89
slika 4.55 – raspored podataka u korisnom teretu UDP datagrama	90
slika 4.56 – fragment vizualizacije podataka, PC aplikacija.....	91
slika 4.57 – perioda zahteva za DMA blok prenos podataka	92
slika 4.58 – DMA prenos 11 komada WS poluokvira – 82μs.....	93
slika 4.59 – priprema UDP paketa i Ethernet okvira – 24μs.....	94
slika 4.60 – transfer Ethernet okvira – 148 μs	94
slika 4.61 – vremenski zahtevi procesa tokom konverzije podataka	95
slika 4.62 – procentualni zahtev vremena procesa za povezivanje	96
slika 5.1 – sonde za merenje impedanse i grafički prikaz rezultata	99
slika 5.2 – sonde za merenje deformacija armature temelja.....	99
slika 5.3 – instrument za merenje deformacija armature temelja.....	99

slika 8.1 – logička veza i smer prenosa paketa UDP portova	119
slika 8.2 – raspored transponovanih podataka mernih kanala u bitove DMA uzoraka	125
slika 8.3 – projekat štampane ploče za eksterne token-kofo memorije	125
slika 8.4 – štampana ploča za razdvajanje I ² S sa FIFO memorijama.....	126
slika 8.5 – blok dijagram putanja audio signala u TAS 3103 procesoru.....	127

Indeks tabela

tabela 4.1 – apsolutna i relativna brzina protoka.....	32
tabela 4.2 – eksterni interfejsi personalnog računara	33
tabela 4.3 – unakrsne protokol konverzije	51
tabela 8.1 – mogući skupovi IP adresa sa maskama	119
tabela 8.2 – raspored i namena UDP portova PC-a.....	119
tabela 8.3 – raspored i namena UDP portova „A“ i „B“ NB-a	120
tabela 8.4 – struktura kontrolnog paketa	120
tabela 8.5 – skup vrednosti upravljačkih kodova	121
tabela 8.6 – skup kodova naredbi koje PC može poslati NB-u	121
tabela 8.7 – skup kodova o potvrdi koje NB šalje PC-u	122
tabela 8.8 – skup kodova o statusu koje NB šalje PC-u.....	122
tabela 8.9 – skup kodova grešaka.....	123
tabela 8.10 – raspored kanala i bitova u UDP datagramu	124

1 UVOD

Globalni fenomen masovnog sakupljanja podataka prisutan je u svim sferama ljudske delatnosti. Samo do pre nekoliko decenija bilo je teško zamisliti da se tako velika količina informacija može prikupiti, preneti, pohraniti i obraditi. U današnjem, savremenom svetu, integracijom široke palete komunikacionih tehnologija i korišćenjem različitih komunikacionih puteva, prikupljene informacije se mogu, sa velikom pouzdanošću, preneti na velike udaljenosti samo za nekoliko sekundi. Razvoj tehnologija industrijalizovanog pohranjivanja i obrade velike količine podataka tokom decenija paralelno je pratio razvoj prikupljanja i prenosa informacionog sadržaja. Možemo reći da je informacija postala nezamenjiv resurs modernog života.

Prikupljanje i pohranjivanje podataka vekovima je bilo ograničeno na ručno zapisane dokumente. Kao i stvaranje, tako i pristup tim zapisima i korišćenje takvih podataka bilo je otežano i sporo. Veliki napredak u ovom segmentu ljudske delatnosti su doneli računari i informacioni sistemi. Lokalni unos, obrada i pretraga podataka je postala efikasnija i brža. Sledeći, viši nivo postignut je uvođenjem računarskih mreža i interneta. Primenom savremene tehnologije za pohranjivanje podataka u oblaku, postignuto je da se efikasno mogu vršiti svi zadaci jednog računarskog informacionog sistema praktično sa bilo koje tačke planete.

Paralelno sa povećavanjem mogućnosti i kapaciteta računarskih informacionih sistema, povećavao se i broj ljudi koji žele da koriste te sisteme. Raznovrsnost delatnosti u okviru kojih ljudi žele da prikupe informacije neretko dovodi do potrebe za izradom nove ili prilagođavanjem stare metode u cilju zadovoljavanja novih zahteva. Razvoj i prilagođavanje informacionog sistema za prikupljanje podataka je kompleksni zadatak, koji zahteva rad tima, čiji su članovi – prema korišćenim tehnologijama – iz različitih naučnih disciplina.

Polje interesovanja autora ove disertacije su ugrađeni sistemi, komunikacioni protokoli i povezivanje personalnog računara sa namenski razvijanim sistemima. Kao član tima, autor je učestvovao u međunarodnom istraživačkom projektu INNO-6-2007-0002, koji je finansiran od strane Evropske Unije, sa nosiocem istraživanja na pečujskom fakultetu u Mađarskoj. Naredna faza istraživačkog rada tekla je u okviru međunarodnog istraživačkog projekta pod brojem GOP-1.3.1-09/A-2009-0051. Istraživanje, razvoj hardvera i softvera, testovi i merenja su vršeni u akreditovanim visokoškolskim laboratorijama. Objedinjeni rezultati prvog i drugog istraživačkog projekta su prikazani u ovoj disertaciji.

Prvi istraživački projekat se odnosio na stvaranje akvizicionog sistema za višekanalno merenje EEG signala. Osnovni parametri instrumenta su postavljeni od strane lekara sa pečujskog medicinskog fakulteta, budućih korisnika sistema. Prikupljeni podaci su namenjeni za korišćenje u budućim medicinskim istraživanjima.

Medicinski merni sistem vrši višekanalno merenje moždanih talasa eksperimentalne životinje. Ti signali po prirodi predstavljaju složene procese i sastoje se od višestrukih moždanih talasa od kojih se svaki odvija u isto vreme, pa je neophodno imati aparaturu koja može istovremeno da nadgleda više kanala. Mere se električni signali nerava, koji su malog intenziteta. Da bi se životinja tokom eksperimenta mogla slobodno kretati, sonde sa radio predajnikom su integrisane u kompaktnu elektroniku, koja čini mobilni deo instrumenta za merenje.

Drugi deo instrumenta je stacionarni deo, koji se sastoji od radio prijemnika i skupa digitalnih audio procesora. Ovaj blok procesora ima zadatak da paralelno, u realnom vremenu filtrira pristigle podatke sa svih kanala. Integrisana kola koja su korišćena u procesu uzorkovanja – analogno digitalni pretvarači – i obrade koriste I²S protokol. Podaci spremni za pohranjivanje i obradu, na izlazu stacionarnog dela instrumenta su na raspolaganju u obliku magistrale koja sadrži 16 sinhronizovanih paralelnih I²S tokova.

Radi ostvarivanja akvizicione funkcionalne celine, potrebno je obezbediti efikasni prenos podataka I²S magistrale medicinskog mernog sistema, do informacionog sistema. Za pohranjivanje, naknadnu obradu i prikazivanje prikupljenih podataka predviđen je samostalni informacioni sistem, koji se nalazi pored mernog uređaja.

Namensko građeni medicinski instrument na svojim izlazima daje veliku količinu podataka u obliku magistrale I²S protokola. Kako ne postoji namenski interfejs za prihvatanje I²S tokova podataka na personalnom računaru, potrebno je istražiti način da se iz namensko građenog, ugnježenog mernog sistema za višekanalno prikupljanje biomedicinskih podataka, navedeni višestruki tokovi podataka mogu uspešno preneti do personalnog računara radi nadgledanja, analize i pohranjivanja.

Tokom istraživanja detaljno je ispitan i opisan tok podataka koji proizvodi merni instrument, proučeni su protokoli koji su razvijeni za kanalne komunikacije, koji imaju kapacitet za prenos tražene količine podataka u realnom vremenu bez gubitaka. Izrađena je metoda povezivanja prikazanog mernog sistema sa personalnim računarem. Metoda je poboljšana u više iteracija sa paralelnim eksperimentalnom validacijom. Predložena metoda vrši povezivanje putem konverzije podataka iz I²S u TCP/IP protokol.

Predstavljena metoda je bila razvijena za povezivanje medicinskog akvizicionog sistema sa personalnim računarem informacionog sistema. U toj prvobitnoj primeni preneti su EEG signali. U nastavku istraživanja stvorena je opštija, skalabilna metoda za povezivanja sistema sa višestrukom magistralom pomoću I²S i TCP/IP protokola. Do pisanja ovog rada metoda je uspešno primenjena za potrebe tri različita polja – medicina, geodezija i građevinarstvo – gde je hardverski realizovana i verifikovana. Pri gradnji tih ugrađenih sistema za povezivanje, korišćeni su Freescale i ARM RISC procesori kao i FPGA tehnologija.

U ovoj disertaciji predstavljene su neophodne leksičke informacije vezane za protokole, sakupljena saznanja o I²S protokolu i o istaknutim protokolima personalnog računara. Prikazani su ključni momenti sprovedenih istraživanja, iterativni razvoj metode povezivanja, predložena metoda povezivanja i eksperimentalna merenja na prototipovima.

Struktura ove disertacije je sledeća. Nakon uvodnog dela, u drugom poglavlju (metodološki koncept rada) definisan je koncept rada doktorske disertacije koji obuhvata: predmet, problem, cilj, hipoteze i metode istraživanja, kao i prikaz dosadašnjih istraživanja i naučnu i društvenu opravdanost istraživanja. U trećem poglavlju su sistematički skupljene definicije korišćenih pojmova, a koja su u vezi sa tehnologijama i standardima koji su se koristili u istraživanju.

U četvrtom poglavlju u delu teorijska istraživanja obrađena su istraživanja koja su korišćenjem metode naučnog opisivanja i naučnog osmatranja. Opisani su: predmet istraživanja, tj. akvizicioni sistem; tok podataka medicinskog instrumenta, tj. I²S magistrala; periferni portovi i protokoli personalnog računara. Takođe su opisani: konverter protokola, ugrađeni sistemi u realnom vremenu, kako i tehnike upravljanja memorijom i tokom podataka. Zatim je postavljen sopstveni model za rešavanje problema, prikazan je iterativni razvoj modela od crne, do bele kutije. Na kraju poglavlja, prikazana je praktična realizacija modela koji je podvrgnut naučnom eksperimentu. U ovoj fazi je vršen redizajn i skaliranje protokola konvertera i formiranje krajnjeg rešenja metode za konverziju.

U petom poglavlju saopšteni su rezultati istraživanja dobijeni naučnim metodama, dokazana je glavna hipoteza i vrednovani su rezultati istraživanja za praktičnu primenu. U šestom poglavlju (zaključna razmatranja) dati su: kratak rezime doktorske disertacije i predlozi za moguće primene rezultata i dalja istraživanja u temi. Sedmo poglavlje sadrži spisak korišćene štampane literature i internet referenci. U osmom poglavlju su prikazani dodatni dokumenti, dijagrami i opisi protokola i algoritama, koji su u vezi sa istraživanjem i nadovezuju se na izlaganja u prethodnim poglavljima. U devetom poglavlju prikazane su skraćenice koje su korišćene u ovoj disertaciji.

2 METODOLOŠKI KONCEPT ISTRAŽIVANJA

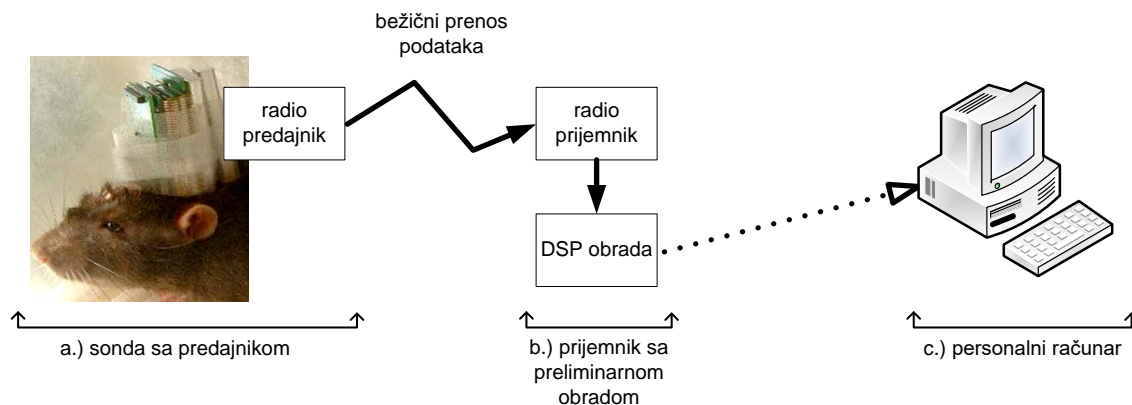
Metodološki koncept rada doktorske disertacije izvodi se prema osnovnim postupcima naučnog istraživanja koji su opisani u literaturi [1].

2.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA

U okviru multidisciplinarnog istraživačkog projekta (INNO-6-2007-0002)(8.1) čiji je cilj bio projektovanje i stvaranje laboratorijskog uređaja za telemetrijsko merenje biomedicinskih podataka eksperimentalnih životinja, projektovana je minijaturna sonda za prikupljanje EEG signala sa modulom za bežično slanje. Realizovan je i stacionarni deo uređaja, koji vrši bežični prijem i preliminarnu obradu podataka. Sastavni deo mernog sistema je i jedan personalni računar čija je namena da pohranjuje podtake merenja.

Predmet istraživanja je namensko projektovani ugrađeni višekanalni merni sistem za prikupljanje, obradu, arhiviranje i prikaz biomedicinskih signala. Ostvareni merni sistem sastoji se od (slika 2.1):

- a. mobilnog dela (sonde sa bežičnim predajnicima),
- b. stacionarnog dela (bežični prijemnici sa DSP predobradom podataka),
- c. personalnog računara.



slika 2.1 – blok dijagram laboratorijskog uređaja za telemetrijsko merenje biomedicinskih signala eksperimentalnih životinja

Izvor: slika eksperimentalne životinje, Máthé Kálmán [80]

2.2 PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Stacionarni deo medicinskog mernog instrumenta je izvor toka podataka, koji je sastavljen od više standardnih I²S tokova podataka. Te podatke je potrebno dostaviti na personalni računar, na kome stručno osoblje vrši praćenje, analizu i arhiviranje istih. Navedeni računar ima samo osnovnu hardversku konfiguraciju sa komercijalno dostupnim interfejsima. Nijedan od tih interfejsa nije u mogućnosti da u nativnom obliku prihvati komunikacioni protokol stacionarnog dela medicinskog uređaja.

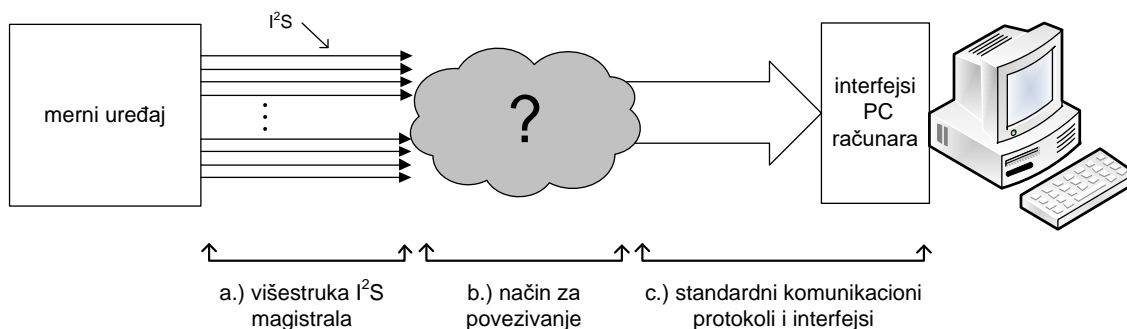
Tokom projektovanja medicinskog akvizicionog sistema uočen je problem, da format i protokol toka podataka koji se formira na izlazu stacionarnog dela mernog uređaja nije

kompatibilan ni sa jednim interfejsom i protokolom koji se može naći na personalnim računarima. *Problem istraživanja* je tehnološke prirode, odredila ga je potreba prakse i obuhvata sledeće tačke:

- potrebu da se sagledaju mogućnosti prihvatanja toka podataka, sa predefinisanim karakteristikama, od strane personalnog računara,
- potrebu da se pronadu kombinacije komunikacionih standarda, interfejsa, protokola i portova koji će obezbediti da podaci u realnom vremenu stignu od izvora do cilja,
- potrebu da se izabere i predloži rešenje za realizaciju povezivanja mernog uređaja i personalnog računara (*slika 2.2b*).

Na osnovu iznetog uočava se, da unutar predmeta istraživanja, postoje dve istaknute oblasti koje su povezane sa problemom istraživanja i na koje treba fokusirati istraživanje:

- tok podataka na izlazu medicinskog mernog uređaja za preliminarnu obradu podataka (*slika 2.2a*),
- interfejsi, portovi i protokoli koji su na raspolaganju za primanje toka podataka – kod osnovno opremljenog personalnog računara (*slika 2.2c*).



slika 2.2 – problem istraživanja: povezivanje mernog sistema sa računarom

2.3 CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Prvi i osnovni cilj ovog istraživanja jeste detaljno opisivanje najvažnijih informatičko-komunikacionih komponenata sistema koja se koriste za spregu između ugrađenih sistema za prikupljanje podataka u realnom vremenu i računara.

Poseban cilj istraživanja jeste objašnjenje i razumevanje suštine i pojedinih telekomunikacionih elemenata, odnosno elemenata računarske mreže i ugrađenih sistema, koji učestvuju u sistemu za prikupljanje podataka.

Dodatni zadatak istraživanja jeste analiza postojećih protokola i interfejsa na personalnom računaru sa posebnim naglaskom na protokole koji se koriste u namenskim ugrađenim sistemima za prikupljanje mernih podataka i opšte dostupnim protokolima u računarskim mrežama.

Bitan cilj istraživanja koji se planira ovim projektom jeste naučno otkriće koje je usmereno na: definisanje načina za što efikasnije povezivanje ugrađenog sistema sa

personalnim računarom, sa naglaskom na sinergiju protokola višestruke I²S magistrale sa protokolima na strani računara.

Na osnovu cilja istraživanja formulišu se *zadaci istraživanja*. U okviru istraživanja zadaci su sledeći:

- sakupiti, sistematizovati i razmotriti relevantne informacije o istaknutim oblastima predmeta istraživanja,
- na osnovu informacija dati predlog za rešenje problema, tj. za povezivanje akvizicionog uređaja sa personalnim računarom,
- realizovati metodu koja obezbeđuje najefikasnije povezivanje,
- ispitati da li predloženo rešenje u praksi omogućuje pouzdan prenos podataka.

2.4 OČEKIVANI REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Tokom istraživanja treba da se sakupe i sistematizuju informacije koje su vezane za I²S tok podataka i o interfejsima personalnog računara koji su sposobni da prihvate tok podataka traženih karakteristika.

Koristeći sakupljene informacije potrebno je formirati model na osnovu kojeg se gradi efektivna metoda za povezivanje mernog sistema i personalnog računara.

Potrebno je u praktičnom delu istraživanja implementirati metodu za povezivanje i da se na taj način dobije pouzdan prenos svih podataka bez gubitaka.

Očekuje se da realizovano rešenje povezivanja uspešno bude korišćeno za okončanje međunarodnog, multidisciplinarnog istraživačkog projekta čiji krajnji cilj je stvaranje medicinskog akvizicionog sistema.

2.5 DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Povezivanje ugrađenih sistema i personalnih računara predstavlja rešenje kojem se stremi na svetskom nivou. Razlog leži u činjenici da svaka od ove dve platforme poseduje sebi svojstvene prednosti, ali tek se njihovom sinergijom dolazi do sistema koji može da odgovori na većinu postavljenih zahteva današnjice u pogledu prikupljanja, obrade i arhiviranja podataka u realnom vremenu.

Prilikom sprovedenog istraživanja o mogućnostima za povezivanje navedena dva sistema, konsultovani su: naučni članci sa tematikom višekanalnog prikupljanja - i pohranjivanja podataka u medicini; knjige o računarskim mrežama [150] i protokolima kao i naučni članci koji se bave tehnikom konverzije protokola u sistemima u realnom vremenu [37].

Kao polazna osnova proučavani su postojeći sistemi koje se bave tematikom biomedicinskih signala kao što su merenje mišićnih, srčanih, moždanih signala, kao i sistemi zasnovani na impedansnoj tomografiji. Pregled značajnijih naučnih radova u području merenja biomedicinskih signala su:

Chandrasekhar Potluri et al. [102], prikazuju razvoj sistema u polju elektromiografije, za očitavanje signala šake, korišćenjem PIC mikrokontrolera i serijskog UART prenosa.

P. Neelamegam et al. [87] opisuju sistem za merenje i računanje proteina u različitim ćelijama ribe.

Moumtadi Fatima et al. [28] su realizovali sistem za merenje elektrokardioloških signala, u cilju preventive iznenadnog srčanog udara.

Helmi Rashid et al. [108] opisuju, bežični prenos podataka elektromiografskog merenja, pri čemu se i pacijent – motociklista – i merno sakupljačka jedinica – kombi – kreću u saobraćaju.

M. Elise Johanson et al. [57] – koristili su sistem koji simultano vrši goniometarsko merenje položaja prstiju i zgloba simultano sa merenjem signala mišića.

Od više autora analizirana su dostignuća u razvoju instrumenata na polju impedansne tomografije. [29], [45], [47], [128].

Postoji značajan broj stručnih, naučnih publikacija iz oblasti telemetrije koji su razvijeni sa namenom za prenos biomedicinskih podataka:

Hua Liu, Ziping Guo et al. [73] – opisuju razvoj sistema koji prenosi bio parametre malih životinja bežičnim putem.

Dian Zhang et al. [162] – prikazuju minijaturni FM radio sistem za omogućavanje autonomnog kretanja kod pacova.

M.G. De Simoni, A. De Luigi et al. [129] – ova studija demonstrira pouzdanost i korisnost bežičnog prenosa podataka, kod merenja moždanih signala.

J.R Ives [56] – demonstrira uređaj sposoban za dugoročno, višekanalno merenje signala srčanog mišića.

T.A. Perkins [96] – bavi se razvojem uređaja koji za prenos telemetrijskih podataka koristi komercijalni medicinski radio opseg.

Pregled ove oblasti zaokružen je sledećim materijalom: [17], [18], [35], [103], [122].

Na osnovu pregleda i proučavanja članaka i tekstova u naučnoj literaturi iz oblasti istraživanja, zaključeno je da centralno mesto tokom istraživanja treba da predstavljaju protokoli kojima se vrši povezivanje komponenti u merni sistem.

Imajući u vidu da je istraživanje složeno, pregled stanja u području istraživanja biće posmatran sa dva aspekta:

- protokoli za prenos podataka mernog sistema,
- protokoli za prenos podataka kod standardnih računarskih sistema.

Pregledom dostupne naučne literature najznačajniji protokoli koji se koriste u standardnim računarskim sistemima su: Bluetooth, eSATA, Ethernet, Firewire, RS232, RS485, USB, Zigbee.

Pregledom dostupne naučne literature najznačajniji protokoli koji se koriste u ugrađenim sistemima su: CAN, I²C, I²S, ModBUS, RFID, SPI, UART [33], [98].

Analizom gore navedenih protokola utvrđeno je da dostupne komponente koje se koriste za projektovanje ugrađenih sistema ne podržavaju protokole koji su dostupni kod personalnih računara.

Pregled o interfejsima i protokolima podržanim od strane personalnih računara izvršen je uz pomoć knjiga „Arhitektura i organizacija računara“, „PC hardver“ i „Nadogradnja i održavanje PC računara“, kao i dodatne naučne literature: [5], [6], [16], [30], [44], [50], [133], [138], [161].

Za realizaciju projekta neophodno je povezati I²S protokol sa personalnim računarem, ali u naučnoj literaturi nije pronađen sadržaj koji bi pružio neposredne informacije iz te oblasti. To se i moglo očekivati jer ta dva sistema - tj. digitalni audio-elektronski sistemi i personalni računari – po svojoj prvobitnoj nameni, dodirnu tačku komunikacije imaju pretežno samo preko SPDIF interfejsa i protokola, koji se sve ređe implementira na personalnim računarima.

2.6 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Prema izloženim činjenicama o predmetu istraživanja i o ciljevima istraživanja, u kontekstu problema povezivanja prikazanog medicinskog akvizicionog uređaja sa personalnim računarom, postavljene su sledeće hipoteze:

Glavna hipoteza:

Moguće je uvesti efikasnu metodu za povezivanje mernog sistema i računara pomoću konverzije podataka iz I²S u TCP/IP protokol.

Izdvojene su sledeće *pomoćne hipoteze*:

H1. – Predložena metoda omogućuje pouzdan prenos podataka sa mernog sistema do računara bez gubitka podataka.

H2. – Predložena metoda je efikasnija od sličnih metoda.

H3. – Predložena metoda predstavlja bolji način povezivanja od drugih rešenja.

H4. – Predložena metoda može poslužiti za povezivanje mernih sistema sa drugim mernim podacima na računar.

2.7 METODE I TEHNIKE ISTRAŽIVANJA

Način istraživanja je sistem misaonih i tehničkih postupaka sa kojima se realizuje istraživanje. Taj sistem je određen predmetom i ciljevima istraživanja. Osnovne karakteristike naučne metode su: objektivnost, pouzdanost, preciznost, sistematičnost i opštost.

Predloženi rad i širi kontekst predloženog rada je kako teorijskog tako i od praktičnog značaja, i zbog toga u radu će pored teorijskog pristupa biti korišćene i praktične metode istraživanja. Shodno tome, u toku realizacije rada će se koristiti metode naučnog posmatranja, naučnog eksperimenta, metoda crne kutije kao i konsultacija

dokumentacije, stručne literature i naučnih radova iz oblasti računarskih mreža, telekomunikacija, internet tehnologija i ugrađenih sistema.

Za analizu posmatranog objekta koristiće se metoda teorije sistema. Metodološka osnova istraživanja će biti zasnovana na kombinovanom metodološkom pristupu:

- Naučnom opisivanjem će se izložiti pregled relevantnih istraživanja i iskustava iz oblasti računarskih mreža i telekomunikacija primenjene na realizaciju sistema za akviziciju podataka. U ovom delu su izloženi relevantni podaci o proučenom problemu i predmetima istraživanja.
- Sistematskom metodologijom u teorijskom delu rada, vrši se analiza postojećih rešenja i poređenje njihovih prednosti i nedostataka.
- Na osnovu sakupljenih podataka o dostupnim portovima na PC računarima različitih proizvođača vrši se selekcija pogodnih portova prema unapred utvrđenim zahtevima projekta. Empirijskom metodom bira se port sa pratećim protokolom u cilju realizacije projekta.
- Metoda crne i sive kutije koristiće se za konstruisanje konvertera protokola. Pošto će u ovoj fazi istraživanja već biti identifikovani ulazi i izlazi, tj. na raspolaganju će biti podaci za formiranje matrice ulaz-izlaz i definisanje relacije ulaz-izlaz. Kada su jednoznačno definisani: funkcija, zakonitosti ponašanja i struktura konvertera protokola, može se konstruisati bela kutija.
- Posle transformacije crne u belu kutiju na raspolaganju će biti realizovan model protokol konvertera, koji će biti podvrgnut naučnom eksperimentu. U laboratorijskom okruženju, model će više puta biti izložen različitim uslovima rada. Očekuje se da će eksperiment otkriti slabosti u predloženoj metodi povezivanja, i na osnovu tih zapažanja moći će se isti korigovati.
- U praktičnom delu rada će biti predstavljeni iterativna implementacija protokol konvertera zajedno sa postignutim rezultatima merenja i eksperimenata.

2.8 NAUČNA I DRUŠTVENA OPRAVDANOST ISTRAŽIVANJA

Razvoj tehnologije medicinskih mernih uređaja direktno i pozitivno utiču na životni standard čoveka. Podaci prikupljeni pomoću tih uređaja koriste se u medicinskim istraživanjima, u prevenciji, u dijagnozi i u praćenju stanja pacijenata. Za pohranjivanje i obradu prikupljenih podataka koriste se samostalni informacioni sistemi. Radi ostvarivanja akvizicione funkcionalne celine, potrebno je obezbediti efikasni prenos podataka od medicinskih mernih sistema, do informacionog sistema.

Akvizionni sistem koji je naveden kao predmet istraživanja služi za višekanalno merenje EEG signala, koji potiču iz mozga eksperimentalne životinje. Ti signali po prirodi predstavljaju složene procese i sastoje se od višestrukih moždanih talasa od kojih se svaki odvija u isto vreme, pa je neophodno imati aparaturu koja može istovremeno da nadgleda dovoljan broj kanala. U odnosu na komercijalno dostupna rešenja koja se dominantno bave prihvatom jednostrukih tokova podataka, ovaj namensko građeni instrument na svojim izlazima daje veliku količinu podataka u obliku standardnog I²S protokola.

Na personalnim računarima ne postoji namenski interfejs za prihvatanje I²S toka podataka. Da bi se navedeni višestruki tokovi podataka mogli uspešno preneti kroz merni sistem do personalnog računara radi nadgledanja, analize i pohranjivanja, *potrebno je istražiti* i realizovati namenski ugrađeni merni sistem za višekanalno prikupljanje biomedicinskih podataka.

Uspešno istraživanje će omogućiti realizaciju medicinskog akvizicionog sistema. Sistem za sakupljanje EEG podataka eksperimentalnih životinja će biti projektovan prema specifikacijama dobijenih od tima lekara.

3 DEFINISANJE POJMOVA

U poglavlju 4 tokom opisa predmeta istraživanja koriste se pojmovi koje je neophodno ukratko definisati. Većina tih pojmova ne pripada užem krugu opisane teme. Da ne remete tok izlaganja, te definicije su izdvojene u ovo posebno poglavlje. Ako nije drugačije navedeno, izvor opisa za termine iz oblasti komunikacija je [137], a za oblast računarskih mreža je [151]. Pojmovi su navedeni po redosledu pojavljivanja.

ulazno-izlazni međusklop – ulazno-izlazni interfejs ili skraćeno interfejs je skup komponenata koji omogućavaju priključivanje neke periferne jedinice na računar ili međusobnu vezu dva računara. Interfejs se sastoji od: konektora, kabla i elektronskih sklopova. Kod standardnih interfejsa elektronski sklopovi su ugrađeni u računar i perifernu jedinicu. Kod nestandardnih interfejsa ili nekonvencionalnih perifernih uređaja elektronski deo interfejsa treba izgraditi na posebnoj štampanoj ploči.

periferni portovi i protokoli – u računarskom hardveru *portovi* (lat. *porta* – kapija, ulaz, vrata) služe kao međusklop između računara i drugog računara ili perifernog uređaja [84]. Fizički, port je specijalizovani priključak na nekom uređaju na koji se može priključiti konektor ili kabel. Sa električne tačke gledišta, nekoliko provodnika skupljenih u oblik priključka obezbeđuju prenos električnih signala između uređaja. Ti električni signali imaju format i pravila propisana u raznim *protokolima* i na taj način ostvaruje se razmena poruka i prenos podataka [152].

tok podataka – u telekomunikacijama i u računarskoj tehnici pojam *tok podataka* (engleski: *data stream*) označava niz digitalno kodiranih signala (paketa podataka) koji se koriste za slanje i primanje informacija koji su namenjeni za prenos [W21].

komunikacioni protokol – je formalni opis formata digitalne poruke i pravila njihove razmene unutar ili između računarskih i telekomunikacionih sistema [78]. Komunikacioni protokoli mogu da sadrže signalizaciju, autentikaciju kao i sposobnost detekcije i korekcije greške. Opisuju sintaksu, semantiku i sinhronizaciju komunikacije i mogu biti implementirani u hardveru, softveru ili preko oba.

realno vreme – (engleski: *real time*) pojam se odnosi na hardverske i softverske sisteme i označava da isti rade pod vremenskim ograničenjima unutar kojih sistem mora dati odziv na događaj. Npr. zahtev za izračunavanje u realnom vremenu nije ispunjen ako rezultat nije na raspolaganju u krajnjem roku, koji je uvek zadan relativno u odnosu na neki početni događaj [25]. Realno vreme ne označava ni brzo ni sporo procesiranje, nego da li se ispunjavaju vremenska ograničenja koja mogu zahtevati ekstremnu brzu obradu ili obradu umerenom brzinom.

informaciono-komunikacione tehnologije – (engleski: *Information and communications technology*, ICT) obuhvataju tehnička sredstva koja se koriste za rukovanje informacijama i kao podrška za komunikaciju, uključujući računarski i mrežni hardver, komunikacioni međusloj i potrebni softver. Izraz je prvi put upotrebio je Dennis Stevenson 1997. godine [139].

računarska mreža – skup autonomnih računara koji su povezani preko nekog medijuma tako da mogu da razmenjuju informacije i dele resurse. Veza između računara ne mora biti bakarna žica, ista je moguća i preko optičkih kablova, mikrotalasa, infracrvene

svetlosti i drugih medija. Računarske mreže mogu imati različite oblike, forme, topologiju i prostornu raspodelu.

multipleksiranje

Prema principu rada postoji dva osnovna tipa multipleksiranja [137]:

- multipleks sa frekventnom raspodelom kanala – ukupan frekvencijski opseg kanala podeljen je na više podkanala (poseban za svakog učesnika) koji zauzimaju različite frekvencijske opsege. Nedostaci su mala brzina prenosa i ograničen broj kanala.
- multipleks sa vremenskom raspodelom kanala – svakom se učesniku u posebnim vremenskim intervalima ciklično dodeljuje celokupan kapacitet kanala. U sistemima za daljinsku obradu podataka najčešće se koristi ovakav multipleks. Radi kao elektronski birač svih izlaznih signala koje spaja i prekida sa izlaznom linijom. Na drugom kraju linije postoji demultiplekser, čiji je zadatak da razdvoji pojedine signale/poruke i sa pošalje ih na njihovo odredište. Kod dvosmernih veza na oba kraja linije postoji multiplekser i demultiplekser, koji sadrže za svakog učesnika bafer-registre u kojima se delovi signala/poruka kratkotrajno zadržavaju.

podela prenosa podataka

- broj bitova koji se istovremeno prenose:
 - serijski – bitovi se prenose jedan za drugim,
 - paralelni – bitovi se prenose istovremeno,
 - kombinacija serijskoga i paralelnog;
- simultanost smerova prenosa:
 - simpleks – kada je preko prenosnog puta veze omogućen prenos samo u jednom smeru,
 - poludupleks – omogućava naizmeničan prenos podataka, ali u jednom vremenskom trenutku samo u jednom ili u drugom smeru,
 - dupleks – omogućava istovremeni prenos podataka u oba smera;
- vremenski interval između prenosa pojedinih znakova/blokova:
 - asinhroni prenos – vrši se tako što prenos svakog znaka počinje sa start bitom, a završava se sa stop bitom, tj. kontrola prijema vrši se za svaki znak ponaosob. Pri tome predajnik i prijemnik koristi sopstveni oscilator, tj. impulsni takt generiše se na obe strane, i isti ne treba preneti komunikacionom linijom. Brzina prenosa je manja nego kod sinhronog.
 - sinhroni prenos – vrši se tako što više podataka šalje u jednom neprekidnom bloku znakova (veličina bloka je promenjiva). Znaci za sinhronizaciju i kontrolu nalaze se na početku i kraju celog bloka. Postižu se veće brzine prenosa nego kod asinhronog prenosa. Takt predajne i prijemne strane mora biti sinhronizovan, i to se postiže na taj

način da master uređaj, za vreme prenosa bloka podataka, posebnom linijom šalje i takt signal.

Komunikacioni kanal

Prenosni put između predajnika i prijemnika zove se komunikacioni kanal. U praksi često više komunikacionih kanala deli jedan zajednički prenosni put, što se postiže multipleksiranjem. Takav prenosni put je višekanalni.

Svaki komunikacioni kanal ima svoje tehničke karakteristike, a to su: širina propusnog frekvencijskog opsega, kapacitet, smer prenosa, pouzdanost i dr.:

- Širina propusnog frekvencijskog opsega – izražena u [Hz] - kanala pokazuje koji se opseg frekvencije signala može preneti kanalom bez izobličenja.
- Kapacitet kanala je, u stvari, njegova propusna moć, izražava se u jedinici [bit/s], zbog čega bi se sa kapacitetom kanala mogla izraziti i brzina prenosa podataka. Međutim, stvarne brzine prenosa podataka su različite – tj. višestruko manje – od teoretski izračunatih.
- Smer prenosa može biti simpleks, poludupleks i dupleks.
- Pouzdanost kanala se definiše kao srednje vreme ispravnog rada između dva uzastopna kvara.
- Vreme prenosa poruke kanalom je interval od momenta slanja prvog bita poruke iz predajnika do momenta prijema poslednjeg bita poruke na prijemniku.

Vrste konfiguracije veze

Prema standardizovanoj definiciji veza je uspostavljena relacija između funkcionalnih jedinica radi prenosa informacija. U računarskim komunikacijama postoje tri osnovne vrste konfiguracije veze:

- point to point – jedinice su fiksno ili privremeno u direktnoj u vezi,
- multipoint – jedinica je u istovremenoj direktnoj vezi sa više jedinica,
- multipleks – jedinice dele zajednički medij preko koga su u vezi.

Komutacija

U računarskoj mreži računari mogu biti povezani stalnim vodovima ili komutiranim vodovima:

- Kod mreža sa *stalnim vodovima* obezbeđen je kvalitet, pouzdana razmena informacija i velika propusna moć, ali je cena takvih mreža visoka. Naročito ako su računari direktno međusobno povezani svaki sa svakim.
- Za mrežu sa većim brojem računara ekonomičnije je da računari međusobno komuniciraju preko privremenih veza koje se ostvaruju prespajanjem (engleski: comutation). U ovakvim mrežama vodovi pojedinih računara povezani su sa komutacionim uređajem, koji uspostavlja privremene veze. Ukoliko postoji samo jedan komutacioni uređaj, broj potrebnih vodova jednak je broju računara koji učestvuju u mreži.

Prema načinu komutacije poznate su tri vrste računarskih mreža:

- mreže sa komutacijom vodova (ili kanala),
- mreže sa komutacijom poruka i
- mreže sa komutacijom paketa.

Komutacija paketa

Sistemi sa komutacijom paketa su specijalno razvijeni za računarske mreže. Osobine računarskih mreža sa komutacijom paketa su:

- dobra iskorišćenost prenosnih puteva, jer se paketi poreklom iz različitih izvora multipleksiraju;
- velika pouzdanost i brzina prenosa podataka;
- dobra prilagodljivost raznim vrstama prenosa podataka;
- mogućnost standardizacije;
- jedan računar može istovremeno da učestvuje u više konverzacija sa drugim računarima.

Konekcioni servis: obezbeđuje odnos između redosleda informacija i sloja koji ih prenosi. U praksi, komunikacioni sloj može da obezbedi mešavinu raznih tipova servisa.

Servisi bez konekcije: komunikacioni servis je bezkonekcioni ako je svaka poruka nezavisna od prethodne ili sledeće. Servisi bez konekcije se prosto realizuju. Sloj ne sprečava, gubitak, dupliciranje ili isporuku poruka van redosleda. Svaka transakciona poruka je jedna samostalna operacija, koja je nezavisna od prethodne. Niz transakcija može da bude za razna odredišta, i zato svaka transakcija mora da obezbedi punu adresu odredišta.

Datagram: je najprostiji tip servisa bez konekcije. Korisnik ne dobija nikakvu potvrdu na transakciju. Komunikacioni sistem ne zna da li je poruka isporučena ili ne. Obezbeđuje slanje svima u isto vreme (engleski: broadcast) ili višedredišni (engleski: multicast) prenos.

Datagram servis se često koristi na sloju linka podataka preko LAN mreže. To je pouzdan prenos bez dupliciranja poruka ili poruka van redosleda. Može postojati povremeni gubitak poruka zato što prijemnik nije bio spreman ili je poruka oštećena, ali je nivo grešaka mali. Ne postoji retransmisija izgubljene poruke. Oštećene poruke se jednostavno odbacuju. Poruke mogu biti odbačene i iz drugih razloga, npr. nedostatak bafera. Pošto ne postoji informacija stanja, protokol ne može da otkrije izgubljene-, duplirane- i poruke van redosleda.

Datagram sa potvrdom: u ovom tipu datagrama uključena je i potvrda i retransmisija, da bi se izveo oporavak od oštećenja ili gubitka poruka. Jedina informacija stanja je na strani predajnika, koji drži poruku: dok ne primi potvrdu, ili do prekoračenja vremenske garnice. Prijemnik ne može da detektuje poruku van redosleda ili dupliciranu poruku.

MAC adresa: (engleski: Media Access Control Address) je jedinstven broj, kojim se vrši identifikacija uređaja/interfejsa na lokalnoj LAN mreži. Ovo je adresa sloja linka

podataka OSI referentnog modela, predstavljena sa 6 bajta najčešće u heksadecimalnoj notaciji. Za razliku od IP adresa, MAC adrese zadaju se uređajima trajno od strane proizvođača, tj. pri proizvodnji adaptera ona se upisuje u njegovu ROM memoriju.

ARP: (engleski: Address Resolution Protocol) je protokol trećeg sloja OSI referentnog modela, definiše metode nalaženja fizičke adrese korisnika na osnovu poznate mrežne adrese. ARP ima najširu primenu pri mapiranju MAC adrese sa IP adresom.

IP: (engleski: Internet Protocol) je protokol trećeg sloja OSI referentnog modela (sloja mreže). Sadrži informacije o adresiranju, čime se postiže da svaki mrežni uređaj (računar, server, radna stanica, interfejs rutera) koji je povezan na internet ima jedinstvenu adresu i može se lako identifikovati u celoj internet mreži, a isto tako sadrži kontrolne informacije koje omogućuju paketima da budu prosleđeni na osnovu poznatih IP adresa.

rukovanje (engleski: handshaking) – je automatski proces u kome dve strane komunikacije, dinamički postavljaju parametre komunikacionog kanala tokom uspostavljanja, a ponekad i tokom održavanja veze. Rukovanje se vrši posle fizičkog uspostavljanja kanala komunikacije, ali pre početka stvarnog informacionog prenosa.

4 ISTRAŽIVANJE

4.1 TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA

Ovo poglavlje rada sadrži – u granicama istraživanja – sistematizovane i objektivne podatke prikupljene iz sazajnog fonda naučne oblasti. Prikazane su metode, modeli, tehnike i algoritmi koji su korišćeni tokom rešavanja problema istraživanja.

Korišćenjem metoda naučne deskripcije, biće opisan predmet istraživanja, sa naglaskom na dve istaknute oblasti: (*poglavlje 2.2*):

- tok podataka na izlazu medicinskog uređaja,
- interfejsi, portovi i protokoli za komunikaciju na personalnom računaru.

4.1.1 Analiza akvizicionog sistema

U ovom poglavlju vrši se naučno posmatranje i opis predmeta istraživanja, tj. namensko građenog medicinskog akvizicionog uređaja.

4.1.1.1 Namena sistema

Medicinski akvizicioni sistem koji je naveden kao predmet istraživanja služi za višekanalno merenje biomedicinskih signala. Radi se o EEG signalima, koji potiču iz mozga eksperimentalne životinje – najčešće se radi o pacovu. Sonde za prikupljanje podataka su invazionog tipa. Sonde postavljaju lekari tako da prikupe signale neurona koji pripadaju jednom, određenom i malom volumenu mozga. Ti signali predstavljaju odzive neurona mozga, tj. reakcije eksperimentalne životinje. Zajednički rad neurona je složen proces i odvija se neprekidno i paralelno. Sonde to detektuju kao složene, višestruke, međusobno povezane moždane talase. Biološki eksperiment zahteva aparaturu koja može da obezbedi istovremeno akviziciju što većeg broja kanala.

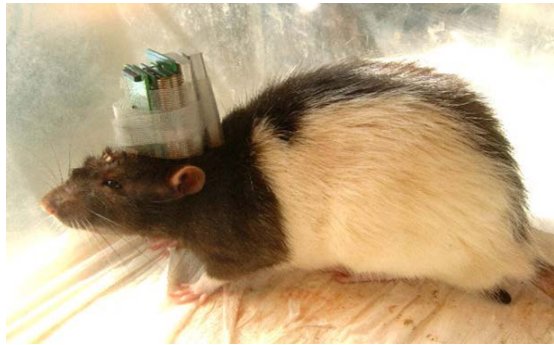
4.1.1.2 Arhitektura sistema

U ovom poglavlju će biti opisani funkcionalni delovi akvizicionog sistema. Potpuni blok dijagram laboratorijskog uređaja za telemetrijsko merenje biomedicinskih signala eksperimentalnih životinja prikazan je na *slici 2.1 - strana 11*.

Mobilni deo instrumenta

Biomedicinski signali potiču iz mozga eksperimentalne životinje, miša ili pacova. Da bi se životinja tokom eksperimenta mogla slobodno kretati sonde, analogno-digitalni (A/D) pretvarači i radio predajnik su integrisani u kompaktnu elektroniku, koja čini mobilni deo instrumenta za merenje i pričvršćena je na glavu životinje (*slika 4.1*).

Sonde mere simultano analogne, električne signale neurona, koji su niskog intenziteta. Da bi se smanjio uticaj sveopšte prisutnog električnog šuma, analogno-digitalno pretvaranje signala neurona vrši se u neposrednoj blizini sonde. Detaljan opis hardvera sonde i pretvarača je objavljen u članku K. Mathe et al. [80].



slika 4.1 – sonde, A/D pretvarači i radio predajnik

Izvor: Máthé Kálmán [80]

Razvojni tim je primenio sopstveno inovativno rešenje u projektovanju mobilnog dela instrumenta, za A/D konverziju korišćena su integrisana kola *Texas Instruments*-a [W35], koja su predviđena za audio aplikacije. Ta kola kvantizaciju napona vrše rezolucijom od 24 bita, što odgovara dinamičkom opsegu većem od 100 dB. Zahvaljujući tom parametru omogućene su istovremene analize impulsa živaca od npr. 10 μ V i 100mV. Frekvencija uzorkovanja iznosi 24000 Hz. Broj simultano uzorkovanih neuronskih signala, tj. broj uzorkovanih kanala je 64. Eksperimentalne životinje imaju svoja biološka ograničenja, zbog toga, maksimalno trajanje jednog eksperimenta tj. akvizicije EEG talasa je 48 sati. Važne numeričke vrednosti koji opisuju merni instrument, sa svojim oznakama su:

Korisna dužina uzorkovanih podataka:

$$AD_{data_length} [bit] = 24 \text{ bit} \quad (1)$$

Frekvencija uzorkovanja:

$$f_{sampling} [Hz] = 24000 \text{ Hz} \quad (2)$$

Broj uzorkovanih kanala:

$$ch_{NO} = 64 \quad (3)$$

Maksimalna vremenska dužina merenja:

$$T_{measureMAX} [s] = 48 \text{ sati} = 172800 \text{ s} \quad (4)$$

Stacionarni deo instrumenta

Bežično poslate podatke mobilnog dela mernog instrumenta prima stacionarni deo (slika 2.1b) mernog instrumenta koji se sastoji od radio prijemnika i DSP bloka (slika 4.2). DSP blok sadrži 36 komada TAS 3103 digitalnih audio procesora [153], od proizvođača integrisanih kola *Texas Instruments*-a. DSP blok vrši preliminarnu obradu, tj. ima zadatak da paralelno, u realnom vremenu filtrira pristigle podatke. DSP blok je tako realizovan, da zavisno od tipa i polja analize, pre početka merenja omogućuje reprogramiranje karakteristike filtera pojedinačno za svaki merni kanal [113].



slika 4.2 – DSP blok (zaokruženi su TAS procesori)

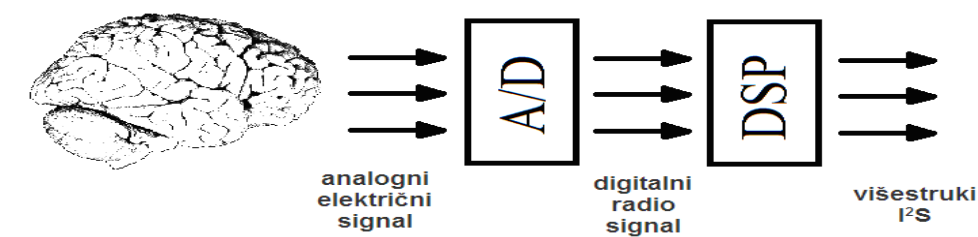
Personalni računar

Osim mobilne i stacionarne komponente, deo akvizicionog sistema je i jedan personalni računar (slika 2.1c). Za povezivanje sa mernim sistemom, mogu se koristiti samo standardni komunikacioni portovi računara kao što su na primer: USB, Ethernet, WiFi. Uloga računara jeste da tokom merenja u realnom vremenu prihvati podatke od stacionarnog dela instrumenta i da te podatke snimi na svoj lokalni magnetni medij velikog kapaciteta.

4.1.1.3 Protokol prenosa

Jedna od smernica u projektovanju mobilnog dela mernog instrumenta jeste da se koriste A/D kola male mase i potrošnje. EEG signali koji se prate su niske frekvencije i zato su mogla biti izabrana integrisana kola koja su namenjena za audio signale. Sekundarna prednost jeste da su ta kola jeftina zbog masovne proizvodnje i primene.

U stacionarnom delu instrumenta, za filtriranje signala u digitalnom obliku su zadužena DSP kola koja rade u tandemu sa A/D konverterima, tj. takođe su predviđena za procesiranje digitalnih audio signala. Integrisana kola – A/D i DSP – koja su korišćena u mernom instrumentu na svojim izlazima koriste I²S sinhroni serijski protokol za slanje podataka. U stacionarnom delu instrumenta, spajaju se izlazni signali, tj. I²S magistrale više DSP kola u zajednički tok podataka, formirajući tako višestruki I²S tok (slika 2.2 i slika 4.3).



slika 4.3 – formiranje višestrukog I²S toka podataka

Izvor: Dukán Péter [26]

Osnovna I²S magistrala i formirani višestruki I²S izlazni tok podataka instrumenta biće opisani u sledećem poglavlju.

4.1.2 I²S magistrala

Pojavom potrošačkih audio uređaja na tržištu – kao što su: kompaktni diskovi, digitalne audio take, digitalni muzički procesori i digitalni audio sistemi TV prijemnika – pojavila se potreba za obradom digitalnih audio signala unutar tih uređaja. Ti uređaji, za obradu digitalnih audio podataka koristili su specijalizovana LSI i VLSI integrisana kola kao što su:

- A/D i D/A konverteri,
- digitalni signal procesori,
- digitalni filtri,
- digitalni U/I interfejsi,
- korekcija grešaka u radu sa: kompaktnim diskovima i kod digitalnog snimanja.

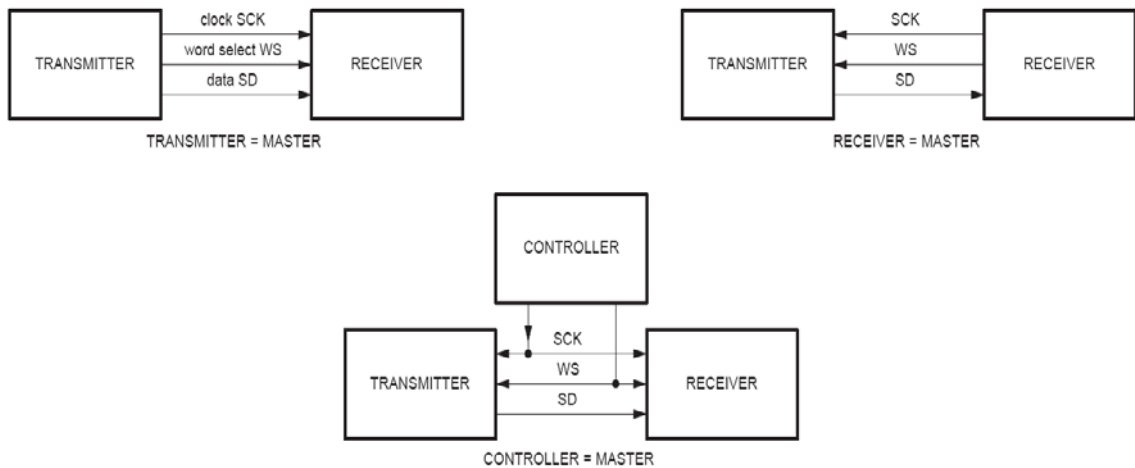
Standardizacija komunikacionih struktura je od vitalnog značaja kako za proizvođače audio uređaja tako i za proizvođače integrisanih kola, jer na taj način se može povećati fleksibilnost tih sistema. Zbog tog razloga je *Philips Semiconductors* [W30] razvio „Inter-IC-Sound“ (među-IC-zvuk) ili skraćeno I²S [98], koji predstavlja serijsku komunikacionu vezu specijalno razvijenu za prenos digitalnog audio sadržaja.

4.1.2.1 Opis I²S magistrale

I²S komunikacioni protokol isključivo radi sa audio podacima, dok se ostala signalizacija, kao što je pod-kodiranje i kontrola prenosi posebno. Da bi na integrisanim kolima broj korišćenih nožica bio minimalan – i da bi povezivanje bilo što jednostavnije – na fizičkom nivou I²S sinhrona serijska magistrala sastoji se od tri linije: jedna služi za prenos podataka, a preostale dve su za upravljanje – tj. izbor reči i linija za takt. U ovom protokolu nije predviđeno upravljanje prenosom (engleski: handshaking¹), podaci neprekidno i bez mogućnosti ponavljanja teku ka prijemniku.

Kako se radi o sinhronom prenosu, i predajnik i prijemnik koriste isti signal takta. Na *slici 4.4* prikazane su neke konfiguracije za povezivanje. Uvek je nadzorni uređaj (engleski: master) zadužen za generisanje serijskog takta (SCK – engleski: Serial Clock) i signala za izbor reči (WS – engleski: Word Select). Podatke (SD – engleski: Serial Data) generiše predajnik (engleski: transmitter) i prima ih prijemnik (engleski: receiver). U kompleksnim sistemima može biti više predajnika i prijemnika, u takvim sistemima obično se nalazi namenski upravljač prenosom unutar sistema (engleski: controller).

¹ handshaking – protokol u kome predajnik i prijemnik dinamički postavljaju parametre komunikacije tokom uspostavljanja, a ponekad i tokom održavanja veze



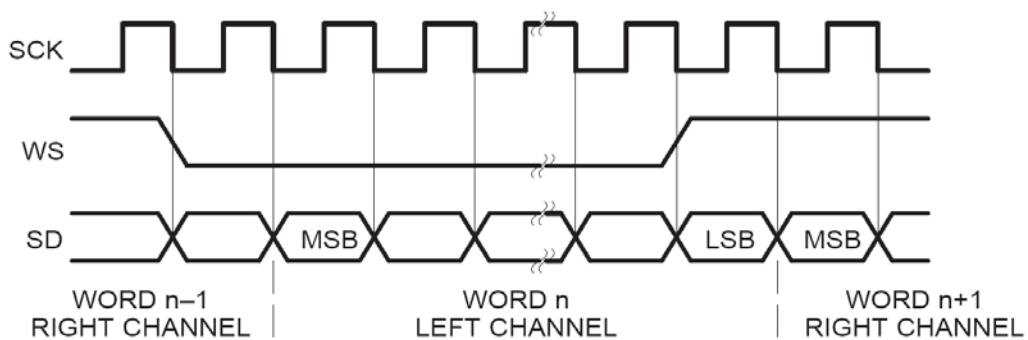
slika 4.4 – osnovne konfiguracije I²S sistema

Izvor: Philips Semiconductors, [98]

Na slici 4.5 prikazani su vremenski dijagrami signalnih linija I²S prenosa:

- kontinualni serijski takt (SCK – Serial Clock),
- izbor reči (WS – Word Select),
- serijski podaci (SD – Serial Data).

U svakom slučaju nadzorni uređaj je onaj uređaj koji je izvor serijskog takta i signala za izbor reči.



slika 4.5 – vremenski dijagram signala I²S magistrale

Izvor: Philips Semiconductors, [98]

Serijski takt

Nadzorni uređaj je zadužen za neprekidno generisanje serijskog takta. U cilju ostvarivanja sinhronne komunikacije, isti se dovodi do ostalih učesnika komunikacije. Izbor brzine takta zavisi od brzine uzorkovanja i od broja bitova po uzorku. Kako se radi o sinhronom prenosu, brzina takta mora biti prilagođena, tj. prihvatljiva najsporijem elementu komunikacije. Promene na liniji podataka i liniji za izbor reči događaju se kod opadajuće ivice takta, a očitavanje istih treba vršiti kod uzlazne ivice takta (slika 4.5). Jedna perioda SCK signala označava jedan preneti bit podataka.

Frekvencija ovog takt signala zavisi od frekvencije uzorkovanja audio podataka, i broja bitova koji se prenose u WS okviru.

$$f_{SCK} [Hz] = WS_{bits_in_frame} \cdot f_{sampling} [Hz] \quad (5)$$

Serijski podaci

Podaci za prenos su digitalni audio podaci bez kompresije, koji predstavljaju predznačne celobrojne vrednosti. Ti podaci se prenose serijski, u formi drugog komplementa². Po specifikaciji, prvo se prenosi najznačajniji bit (MSB) podatka, pa redom svi ostali bitovi do najmanje značajnog bita (LSB). Razlog za ovakav način prenosa – od MSB prema LSB – jeste taj, da predajnik i prijemnik mogu da imaju različite dužine reči za predstavljanje audio podataka. Serijski prenos I²S protokola omogućava povezivanje uređaja koji audio podatke predstavljaju u različitim rezolucijama. Predajniku nije potrebna informacija o broju bitova koji grade prihvatni registar prijemnika; a ni prijemnik nema informaciju o tome koliko bitova sadrži reč koja se trenutno prima. Ako je dužina poslate reči veća od prijemnikove reči, višak bitova, počevši od najmanje značajnog bita se odbacuje. Ako je dužina poslate reči manja od prijemnikove reči, manjak bitova prijemnik kompenzuje na taj način, da dodaje bitove sa 0 vrednostima na LSB stranu reči. Ovako proširene ili skraćene vrednosti predstavice brojeve sa različitim magnitudama, ali brojevi će imati identične predznake. Ipak ti brojevi u normalizovanom opsegu predstavljaju istu relativnu audio amplitudu.

Napomena: drugi poznati način proširenja jeste, da se proširenje vrši sa MSB strane sa tzv. „proširenje predznaka“ (engleski: Sign Extension) metodom. Ta metoda daje iste apsolutne brojeve vrednosti, sa očuvanim predznakom i koristi se u matematičkim računanjima, kada je potrebno povećati broj bitova koji opisuju neku veličinu. Sa tom metodom nije moguće skraćivati podatak. Kod korišćenja I²S protokola, metoda proširenje predznaka nije primenjiva.

Tokom slanja I²S niza podataka, mesto MSB-a je na fiksnoj poziciji, ali pozicija LSB-a zavisi od podešene dužine reči koja se šalje. Predajnik, MSB sledećeg podatka uvek šalje sa zakašnjenjem od jednog takta posle promene stanja WS signala (*slika 4.5*).

Izbor reči

Signal za izbor reči (WS) generiše nadzorno kolo i daje informaciju o tome koji kanal se trenutno prenosi:

- WS = 0, prenosi se 1. kanal, tj. levi kanal (engleski: Left Channel),
- WS = 1, prenosi se 2. kanal, tj. desni kanal (engleski: Right Channel).

Nivo ovog signala se proverava u prijemniku – ili prijemnicima – kod svake rastuće ivice taktnog signala. Nadzorni uređaj uvek menja nivo WS signala jedan takt pre slanja MSB-a sledećeg podatka. Ta vremenska razlika od jednog takta, je potrebna:

² drugi komplement – jedan od načina za predstavljanje brojeva iz skupa celih brojeva u binarnom obliku

- predajnicima da pripreme podatak za slanje,
- prijemnicima da zapamte prethodno prijemni podatak i da se pripreme za sledeći.

Na ovaj način WS signal označuje granice okvira (engleski: frame) podataka. Unutar jednog okvira – jedna perioda WS signala – prenesu se svi bitovi, svih kanala koji pripadaju istom vremenskom uzorku.

Perioda WS signala za formiranje okvira je jednaka frekvenciji uzorkovanja (2):

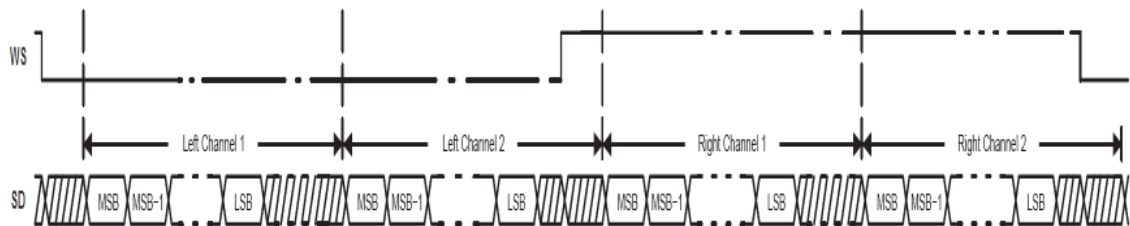
$$f_{WS} [Hz] = f_{sampling} [Hz] = 24000 \text{ Hz} \quad (6)$$

4.1.2.2 Unapređena I²S magistrala

Proizvođači digitalne audio opreme i komponenta prihvatili su I²S magistralu opisanu od strane Philips-a, kao zajedničku komunikacionu platformu, ista je tako postala nezvanični standard. Tokom godina eksploatacije pojavili su se novi zahtevi i na polju profesionalne i zabavne audio tehnike. Osim stereo (2 kanala) digitalnih audio materijala stvorila se potreba za obradu i prenos više kanala kao što su: 2+1, 5+1, 7+1.

Rešenje novonastale situacije nađeno je u multipleksu sa vremenskom raspodelom (TDM), tj. umesto jedne, šalje se više reči tokom trajanja niskog ili visokog nivoa signala za izbor reči. U praksi se koriste TDM4, TDM6 i TDM8 formati, kod kojih se tokom jedne periode signala za izbor reči – u jednom WS okviru – šalju 4, 6 i 8 reči respektivno. Proizvođač integrisanih kola Texas Instruments, prihvatio je unapređenu magistralu i implementirao ju je u proizvode iz svog asortimana koji su predviđeni za rad sa I²S magistralom.

U medicinskom instrumentu za pred-obradu digitalnih uzoraka korišćena su Texas Instruments-ova TAS 3103 integrisana kola [153]. TAS 3103 je digitalni audio procesor sa 3D efektima, koji podržava 15 različitih digitalnih audio formata, među kojima i I²S TDM4 (slika 4.6).



slika 4.6 – vremenski dijagram I²S-a u TDM4 formatu rada

Izvor: Texas Instruments, [153]

Broj kanala ili reči koji se prenose u jednom WS okviru:

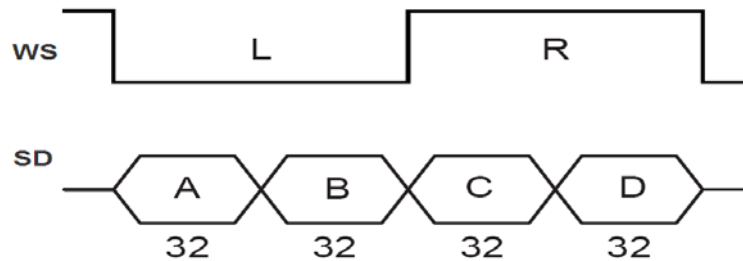
$$TDM_{NO} = 4 \quad (7)$$

Dužina reči kod ovog TAS 3103 integrisanog kola može biti: 16-, 18-, 20-, 24- ili 32 bita. U medicinskom instrumentu tokom DSP obrade, 24-bitni podaci primljenih od A/D konvertera proširuju se na 32 bita, tj. koristi se dužina reči od 32 bita. Proširenje se vrši na taj način da se 24 bitnim podatku sa LSB (desne) strane dodaju se 8 bita, sa vrednošću 0.

Dužina reči u I²S toku podataka:

$$DSP_{word_length} [bit] = AD_{data_length} [bit] + 8 bit = 24 bit + 8 bit = 32 bit \quad (8)$$

Na slici 4.6 prikazani su samo signali za izbor reči i serijski podatak. Može se uočiti da se u TDM4 modu tokom prve polovine WS okvira (WS=0) šalju se dve reči: levi 1. kanal i levi 2. kanal. Respektivno tome tokom druge polovine WS okvira (WS=1) šalju se reči dva desna kanala. Reči ne moraju biti stvarno povezani stereo audio kanali. TAS 3013 u TDM4 modu podržava spajanje reči četiri nezavisna kanala različitih tokova, kako je to prikazano na slici 4.7. (A,B,C i D su reči podatka po 32 bita).



slika 4.7 – pojednostavljeni vremenski dijagram I²S-a u TDM4 formatu rada

Količina bitova koji su preneti SD linijom tokom jednog WS okvira, u kome se prenose 32 bitne reči (8) u TDM4 (7) formatu jeste:

$$WS_{bits_in_frame} [bit] = DSP_{word_length} [bit] \cdot TDM_{NO} = 32 bit \cdot 4 = 128 bit \quad (9)$$

Prenos svakog bita, SCK linija signalizira sa jednim potpunim taktom. Na osnovu broja bitova u WS okviru (9) i formule za računanje SCK frekvencije (5) postaje moguće izračunati frekvenciju SCK takta, akvizicionog sistema:

$$f_{SCK} [Hz] = WS_{bits_in_frame} \cdot f_{sampling} [Hz] = 128 \cdot 24000 Hz = 3,072,000 Hz \quad (10)$$

Perioda kojim se pojavljuju bitovi uzoraka na SD liniji je:

$$T_{SCK} [ns] = 1/f_{SCK} = 1/3072000 Hz \approx 325 ns \quad (11)$$

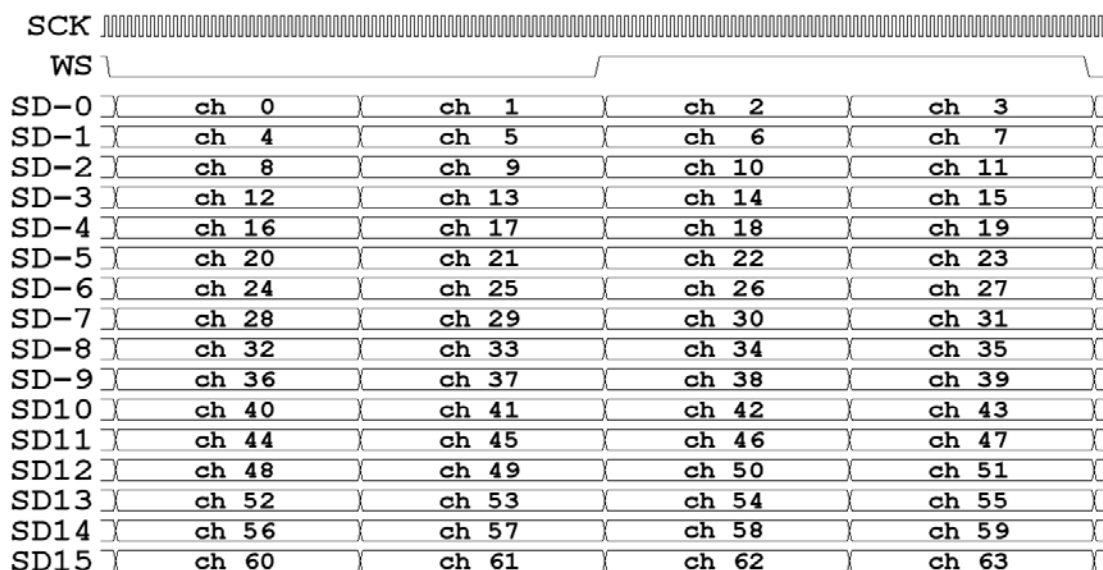
4.1.3 Višestruka I²S magistrala

U stacionarnom delu medicinskog instrumenta nakon pred-obrađe – kako je opisano u poglavlju 4.1.1.3, pojedinačne I²S magistrale od više DSP procesora spaja se u višestruku I²S magistralu.

EEG signali su uzorkovani sinhrono pobuđenim A/D konverterima. Zato svaki par WS i SCK upravljačkih linija, svake pojedinačne I²S magistrale, ima istovetne signale. Zato je u višestrukoj I²S magistrali dovoljan je po jedan WS i po jedan SCK signal (slika 4.8). Prenos podataka na SD linijama vrši se u TDM4 (7) modu. Potrebno je preneti podatke 64 (3) uzorkovanih kanala. Za to je potrebno više SD linija:

$$SD_{NO} = ch_{NO} / TDM4 = 64 / 4 = 16 \quad (12)$$

Oznake 16 komada SD linija i raspodela 64 akviziciona kanala prikazana je na slici 4.8.



slika 4.8 – signali višestruke I²S magistrale instrumenta

Količina podataka u jednom okviru je umnožak broja kanala brojem bitova koji se prenose za vreme jednog WS okvira po kanalu:

$$Frame_{DATA} [byte] = SD_{NO} \cdot WS_{bits_in_frame} [bit] = 16 \cdot 128 \text{ bit} = 2048 \text{ bit} = 256 \text{ byte} \quad (13)$$

Broj okvira za vreme maksimalnog trajanja merenja je umnožak trajanja merenja sa brojem okvira u sekundi:

$$Frame_{NO} = T_{measureMAX} [s] \cdot f_{WS} [Hz] = 172800 \text{ s} \cdot 24000 \text{ Hz} = 4,147,200,000 \quad (14)$$

U akvizicionom uređaju sva tri signala magistrale šalje stacionarni deo instrumenta, u konfiguraciji koja je prikazana gore-levo na slici 4.4. Kako je navedeno u 4.1.2.1, I²S ne sadrži rukovanje (handshaking) u cilju kontrole prenosa, zato prijemnik igra pasivnu ulogu i ni na koji način ne može da utiče na prenos podataka. Podaci neprekidno i bez mogućnosti ponavljanja teku od predajnika ka prijemniku.

Sa definisanim parametrima višestruke I²S magistrale, moguće je izračunati količinu podataka koju generiše akvizicioni merni sistem, tj. može se saznati koliki je minimalni propusni kapacitet koji komunikacioni kanal mora imati, da bi se preneli podaci.

$$data_{rate} = SD_{NO} \cdot f_{SCK} [Hz] = 16 \cdot 3,072,000 = 49,152,000 \text{ bit/s} = 49.152 \text{ Mbit/s} \quad (15)$$

Radi upoređivanja, u tabeli 4.1 navedene su količine podataka koji generiše medicinski instrument, i protok podataka nekoliko poznatih multimedijjskih standarda i sadržaja. Na osnovu [W11] izračunati su njihova brzina prenosa u [Mbit/s] i [MB/s] kako i odnos brzine prenosa u odnosu na medicinski instrument:

izvor	[Mbit/s]	[MB/s]	odnos
medicinski instrument	49.15	6.14	1 : 1
audio CD	1.41	0.18	35 : 1
DVD x1	11.00	1.38	4.5 : 1
HD-DVD (@1080p 24)	36.50	4.56	1.35 : 1

tabela 4.1 – apsolutna i relativna brzina protoka

4.1.4 Analiza personalnog računara

U odeljku o problemu istraživanja (2.2) navedena je potreba za povezivanjem stacionarnog dela akvizicionog instrumenta sa personalnim računarom. Posle analize toka i magistrale podataka instrumenta iznešene u poglavljima od 4.1.1.3 do 4.1.3, potrebno je istražiti eksterne digitalne interfejsne, portove i protokole, personalnih računara. Od tih portova biće izdvojeni oni, koji odgovaraju zahtevima za prenos podataka predefinisanoj toka instrumenta.

4.1.4.1 Portovi, interfejsi i protokoli računara

U cilju pregleda asortimana eksternih portova računara, razmotrene su ponude specializovanih radnji domaćeg tržišta. Na osnovu pregleda osnovnih ploča raznih proizvođača (Acer Inc., ASRock, Asus, Gigabyte Technology, Leadtek itd.) i laptopova raznih proizvođača (Acer, Asus, Dell, Fujitsu, Hewlett-Packard, Compaq, Lenovo, MSI, Panasonic, Sony, Toshiba itd.), sastavljena je lista (tabela 4.2) perifernih interfejsa, koji mogu poslužiti kao ulaz za podatke i koji se pojavljuju kao standardna oprema na desktop i laptop računarima. Pored imena porta, naznačen je način prenosa podataka i nominalna brzina prenosa po rastućem redosledu – na osnovu [W11].



slika 4.9 – raznovrsnost portova laptop računara

Izvor: Traveler100-Wikipedia

	interfejs	način prenosa	brzina prenosa [Mbit/s]
1	PS/2	serijski	0.01
2	MIDI	serijski	0.03
3	56 Kbps modem	serijski	0.06
4	paralelni port	paralelni	0.22
5	Bluetooth 1.1	serijski	1
6	RS 232	serijski	1
7	IrDA FIR	serijski	4
8	802.11b [WiFi]	serijski	11
9	IrDA VFIR	serijski	16
10	memorijske kartice	serijska	16-80
11	802.11g [WiFi]	serijski	54
12	Fast Ethernet	serijski	100
13	PCMCIA (CardBus)	paralelni	264-1056
14	USB 2.0	serijski	480
15	802.11n [WiFi]	serijski	540
16	IEEE1394 – FireWire	serijski	800
17	Gigabit Ethernet	serijski	1000
18	eSerial ATA rev. 1	serijski	1500
19	eSerial ATA rev. 2	serijski	3000
20	USB 3.0	serijski	4000
21	eSerial ATA rev. 3	serijski	6000

tabela 4.2 – eksterni interfejsi personalnog računara

Prema izvoru [W12], testirani su neki od navedenih portova i protokola u realnim uslovima. Rezultati tih testova pokazuju da brzine prenosa retko postižu nominalne, i da su kod nekih portova čak manje i do 40%.

Preliminarna eliminacija portova

U poglavlju 4.1.3 dokazano je da za transfer prikupljenih podataka merenja, minimalni kapacitet prenosa komunikacionog kanala je 49.152 Mbit/s (15). Digitalni, eksterni interfejsi, portovi i protokoli sa rednim brojem 1.-9. u tabeli 4.2, po specifikacijama nisu u mogućnosti da postignu zahtevanu brzinu [48], [90], iz tog razloga isti se isključuju iz daljih razmatranja (*slika 4.10*).



slika 4.10 – MIDI (levo), PS/2 (sredina), serijski i paralelni portovi (desno)

Izvori: Pretzelpaws-Wikipedia, Norman Rogers i Charles Wilde

Brzina čitanja memorijskih kartica – CF, SD, MMC itd. – nije standardizovana i zagantovana. Zavisi u velikoj meri od izvedbe hardvera laptopa, a kod desktop računara implementirana je preko eksternog hardvera koji se priključuje na jedan od USB priključaka [52]. Ovaj interfejs se isključuje iz daljih razmatranja.

Bežični prenosni protokoli sa liste – 802.11g i 802.11n – imaju zadovoljavajuću širinu propusnog opsega, ali su uglavnom prisutni u laptop konfiguracijama. U desktop izvedbama vrlo retko su u osnovnoj konfiguraciji. Desktop konfiguracije moguće je proširiti sa dodatnim ugrađenim hardverom koji omogućava rad sa bežičnim protokolima. Prema poglavlju 4.1.1.2, gde je opisana arhitektura sistema, tokom merenja se koristi bežični prenos podataka, ali personalni računar – koji se nalazi na mestu merenja – treba povezati žičano sa stacionarnim delom mernog uređaja. Iz tog razloga bežični protokoli i interfejsi uvrštavaju se u krug opcionalnih rešenja.

Prenosivi računari su često opremljeni konektorom za priključivanje PCMCIA – poznate još i pod imenom CardBus – kartica (slika 4.11). One koriste paralelni prenos podataka, i prvobitno su predviđene za povezivanje i proširivanje laptopa sa pozadinskim masovnim medijama [W29]. Gradnja hardvera koji emulira takve medije, je previše kompleksna i nije cilj ovog istraživanja/projekta [55]. Ovi interfejsi se isključuju iz daljih razmatranja.



slika 4.11 – PCMCIA (dole) i CardBus (gore) kartice

Izvor: Shootthedevguru-Wikipedia

Početkom realizacije projekta bilo je otežano nabaviti aktivne elektronske komponente za razvijanje sopstvenih elektronskih uređaja u cilju priključivanja na Gigabit Ethernet i USB 3.0 portove. Procesorske upravljačke ploče sa takvim priključcima su bile

finansijski nedostupne budžetu projekta. Iz tog razloga ta dva protokola su isključena iz daljih razmatranja, ali su uvrštena u krug budućih istraživanja i rešenja.

Portovi *eSerial ATA* revizije 1. do 3. služe za povezivanje računara sa pozadinskim uređajima za skladištenje podataka kao što su: optički, hard i SSD diskovi. Predviđeno je da računar preko ATA i ATAPI komandi upravlja sa priključenim uređajima. Implementiranje uređaja, koji emulira takav način rada je previše kompleksno, iz tog razloga eSATA interfejsi se isključuju iz daljih razmatranja.

Razmatranje odgovarajućih portova

Posle preliminarne eliminacije neodgovarajućih interfejsa, ostala su samo tri od nabrojanih (*tabela 4.2*): Fast Ethernet, USB 2.0 i IEEE 1394. Ovi interfejsi i portovi će u sledeća tri poglavlja (4.1.5, 4.1.6 i 4.1.7) biti detaljnije analizirani i opisani sa aspekta hardvera, medijuma za prenos, protokola, kao i načina i brzine prenosa.

4.1.5 Fast Ethernet

Ethernet

Ethernet je razvijen u preduzeću *Xerox*, u '70-im godinama prošlog veka [W20]. Ethernet je porodica računarske mrežne tehnologije, kada je široj javnosti predstavljen u '80-im godinama, ozvaničen sa IEEE 802.3 standardom [W34]. Predviđen je za lokalne mreže. Na polju ožičenih lokalnih mreža ima primat nad ostalim tehnologijama.

Pri stvaranju ovog standarda osnovna ideja je bila da se slično ALOHAnet³ protokolu koristi zajednički fizički medijum za prenos, ali umesto radio prenosa kod Etherneta je predviđen koaksialni kabl. Komunikacija preko zajedničkog medijuma je slična eteru – odbačenoj teoriji fizičara iz 19-og veka – iz koga potiče ime Ethernet [W20]. Šema za komunikaciju kroz zajednički podeljeni kanal koji se koristi kod Etherneta je CSMA/CD.

Standard predviđa različite medijume za prenos, od koaksialnog kabla, preko upredenih parica, do optičkih kablova. Zavisno od medijuma i šeme vezivanja moguće brzine prenosa kreću se od 10 Mbit/s do 100 Gbit/s [7].

Sistemi koji komuniciraju preko Etherneta, tok podataka koji trebaju preneti dele u pojedinačne pakete koje se zovu okviri (engleski: *frame*). Svaki okvir je sastavljen na isti način:

- MAC adresa izvora i cilja,
- korisni podaci za prenos, koji mogu sadržati zaglavlja i podatke drugih protokola,
- deo za detekciju greške, 32-o bitni CRC.

Maksimalni broj bajtova koji se mogu preneti u jednom okviru preko Etherneta, definisan je u standardu IEEE 802.3 i iznosi 1492 bajta [W19].

³ ALOHAnet – eksperimentalna računarska mreža, u svrhu demonstracije bežičnog paketnog prenosa.

Fast Ethernet

Fast Ethernet⁴ ili zvanično: *IEEE 802.3u* je standard mrežne tehnologije, koji je usvojen sredinom 1995 godine [W34]. Fast Ethernet je u stvari zbirno ime za grupu Ethernet standarda, koji imaju nominalnu brzinu prenosa od 100 Mbit/s [W7] naspram originalne brzine Etherneta (*IEEE 802.3*) od 10 Mbit/s-a. Fast Ethernet za prenos koristi UTP ili optički kabl kao fizički medij, koji se veže u topologiju zvezde. Za pristup medijumu koristi CSMA/CD metodu. Na Fast Ethernet ponekad se pozivaju sa imenom 100BASE-X, gde su značenja oznaka:

- 100 – označava da se radi o brzini prenosa od 100Mbit/s,
- BASE – označava da se prenos vrši samo u osnovnom frekventnom opsegu,
- X – se odnosi na tip medijuma koji može biti: T2, T4, TX, FX, SX, BX i LX.

4.1.5.1 Grupa T2 – T4 – TX

Ovi standardi koriste upredene parice za prenos podataka. Najpoznatiji član iz grupe, i ujedno najviše rasprostranjeni standard iz porodice Fast Ethernet-a je 100BASE-TX. Sva tri standarda imaju brzinu prenosa od 100 Mbit/s i maksimalnu dužinu segmenta od 100 metara. Razlikuju se po medijumima za koja su predviđena:

- 100BASE-T2 – koristi dve upredene parice Cat 3 kategorije ili bolje,
- 100BASE-T4 – koristi četiri upredene parice Cat 3 kategorije ili bolje
- 100BASE-TX – koristi dve upredene parice Cat 5 kategorije ili bolje.

Kategorije upredenih parica biće razmatrane i opisane u poglavlju 4.1.5.3.

4.1.5.2 Grupa FX – SX – BX – LX

Ovi standardi za prenos podataka koriste jedno ili dva vlakna optičkog kabla. Sva četiri standarda imaju brzinu prenosa od 100 Mbit/s. Razlikuju se po korišćenom medijumu, u maksimalnim dužinama segmenata i u talasnoj dužini korišćene svetlosti [W17].

100BASE-FX

Koristi dva vlakna optičkog kabla, jedan za slanje i drugi za primanje podataka. Talasna dužina svetlosti je 1300 nm. Maksimalna dužina kabla je 400 m za poludupleksni prenos, i 2 km za dupleksni prenos preko multimodnog optičkog kabla.

100BASE-SX

Koristi dva vlakna multimodnog optičkog kabla, jedan za slanje i drugi za prijem. Maksimalna dužina segmenta je 550 m. Koristi svetlost kraće talasne dužine (850 nm), čiji je izvor LED. Zbog kraće talasne dužine svetlosti i kraće razdaljine za prenos podataka, mogu se koristiti jeftinije optičke komponente. To čini ovaj standard atraktivnim za korišćenje na mestima gde se ne zahteva velika razdaljina prenosa.

⁴ Fast Ethernet – brzi Ethernet

100BASE-BX

Koristi jedno vlakno monomodnog optičkog kabla, sa specijalnim multiplekserom, koji razdvaja svetlost prema talasnoj dužini. Predajnik koristi svetlost sa talasnom dužinom od 1310 nm, a prijemnik od 1550 nm. Razdaljina prenosa može biti 10, 20 ili 40 km.

100BASE-LX

Koristi dva vlakna monomodnog optičkog kabla. Talasna dužina korišćene svetlosti je: 1310 nm, a nominalna razdaljina prenosa je: 10 km.

Napomena: Kod svih vrsta medijuma Ethernet mreže, dužina segmenta može se povećati pomoću aktivnih mrežnih sklopova kao što su: ponavljač (repeater) i čvor mreže (hub).

4.1.5.3 Kategorije upredenih parica

Istorijat klasifikacije računarskih mrežnih kablova

Preduzeće „Anixter International“ iz Sjedinjenih Američkih Država – osnovano 1957 – osim drugih proizvoda, bavi se i proizvodnjom žica i kablova koji se mogu upotrebljavati u električne i elektronske svrhe [W2]. U sopstvenoj istraživačkoj laboratoriji: „Infrastructure Solutions Lab“ pruža obrazovanje, demonstracije i ocenjivanja iz polja najnovijih tehnologija bakarnih i optičkih vodova. Laboratorijski saradnici imaju rasprostranjeno iskustvo u dizajnu, testiranju i proizvodnji kablova za realizaciju mreža.

Pre standardizacije kablova sa upredenim paricama – krajem '80-ih godina, u test laboratoriji su otkrili da prenosne karakteristike kablova sa upredenim paricama uveliko variraju. Zbog obezbeđenja prenosne karakteristike i kvaliteta, preduzeće Anixter interno je izradilo skup zahteva fizičkih karakteristika. Ti zahtevi su se odnosili i na kablove upredenih parica, upotrebljenih u telekomunikacionim i računarskim mrežama kao i u infrastrukturi. Kablovi za umrežavanje – koji su proizvođeni u Anixter-u – bili su razvrstani u klase zvane „Levels“.

U '90-im godinama – od strane standardizacionih tela ANSI/TIA/EIA organizacija – Anixterove zahtevane karakteristike u klasama Level 3 i Level 5, prihvaćene su kao standard ANSI/TIA/EIA-568. Ovaj standard je klase (tj. nivoe) kablova sa upredenim paricama preimenovao u tzv. kategorije. Standardne oznake su: *Category 3* i *Category 5* ili skraćeno Cat 3 i Cat 5 [W8].

Category 1

Standardni kabel Cat 1 zapravo i ne postoji, tj. neispravno je ime prihvaćeno i prošireno pogreškom onih koji su pomislili da su svi interni „Level“-ovi preduzeća Anixter-a preimenovani standardom TIA/EIA-568 u kategorije, ali TIA je prihvatio samo kablove od 3. nivoa i naviše. Anixter-ovi „Level 1“ kablovi su bakarne, neoklopljene, upredene parice za prenos govornog signala, namenjeni za ožičavanje telefonske infrastrukture u kancelarijama i zgradama.

Category 2

Slično Cat 1 kablju, standardni kabel Cat 2 zapravo i ne postoji, tj. neispravno je ime prihvaćeno i prošireno pogreškom onih koji su pomislili da su svi interni „Level“-ovi preduzeća Anixter preimenovani standardom TIA/EIA-568 u kategorije, ali TIA je prihvatio samo kablove od 3. nivoa i naviše. Anixter-ovi „Level 2“ kablovi su neoklopljene upredene parice, tj. UTP kablovi koji mogu preneti podatke samo maksimalnom brzinom od: 4Mbit/s. Korišćeni su u ARCnet i Token Ring računarskim kako i u telefonskim mrežama.

Category 3

Standardni Cat 3 je UTP kabel projektovan da pouzdano prenosi podatke do maksimalne brzine od: 10Mbit/s (širina prenosnog opsega je 16 MHz). Član je familije standardnih bakarnih kablova priznat od strane TIE i EIA. Standardni Cat 3 kabel je u '90-im bio vrlo popularan medij za stvaranje lokalnih računarskih mreža. Početkom 2000-te godine zamenili su ga Cat 5e i Cat 6 kablovi.

Cat 3 kablovi mogu biti korišćeni:

- u 10BASE-T Ethernet i Token Ring mrežama pri brzinama od 10Mbit/s,
- u 100BASE-T4 mrežama pri brzini od 100Mbit/s, sa tim, da se u tom slučaju koriste sve četiri parice,
- u telefoniji, gde su potrebne dve paralelne linije.

Naspram Cat 1, Cat 2, Cat 4, i Cat 5 kablova, Cat 3 kablovi su i nakon prerade standarda TIA/EIA-568 i TIA/EIA-568-A, i dalje prihvaćeni od strane standarda TIA/EIA-568-B iz 2001 godine.

Category 4

Standardni Cat 4 je UTP kabel koji sadrži četiri para neoklopljenih parica. Pouzdano može preneti podatke do maksimalne brzine od: 16 Mbit/s (širina prenosnog opsega je 20 MHz).

Cat 4 kablovi bili su korišćeni:

- u Token Ring mrežama,
- u 10BASE-T mrežama,
- u 100BASE-T4 mrežama, koriste se sve četiri parice,
- u telefoniji.

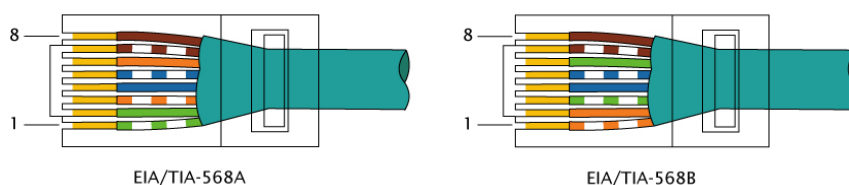
Cat 4 kablovi nisu priznati od strane TIA/EIA-568 standarda. Iz upotrebe su ga potisnuli Cat 5/5e kablovi.

Category 5/5e

Većina Cat 5 kablova je neoklopljena i sadrži upredene parice za diferencijalni prenos signala. Ovaj tip kabla uglavnom se koristi u struktuiranoj izgradnji računarskih mreže,

kao što je Ethernet mreža, ali koristi se i u prenošenju drugih signala, kao što su: telefonija i video signali. Poboljšana verzija kabla se zove Cat 5e [W5].

Specifikacija Cat 5 kabla definisana je standardom ANSI/TIA/EIA-568-A, koji opisuje zahteve i karakteristike za prenosne frekvencije do 100 MHz. Tipovi kabla, konektora i topologije umrežavanja definisani su TIA/EIS-568-B standardom [W22]. Tim standardom su definisane dve šeme završetka kabla T568A i T568B (slika 4.12). Na krajevima Cat 5 kabla skoro uvek se nalazi 8P8C modularni konektor (slika 4.13) – često se naziva i RJ45 – koji mora da prati jednu od te dve šeme za terminiranje Cat 5 kabla [W6].



slika 4.12 – šeme vezivanja T568A i T568B

Izvor: autor nepoznat, [W10]



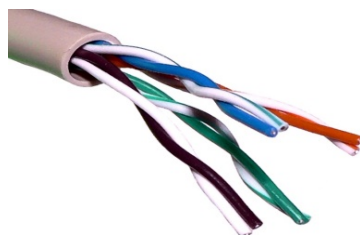
slika 4.13 – modularni konektor 8P8C

Izvor: David Monniaux

Standard ne propisuje broj parica u kablovima. Postoje Cat 5 kablovi sa čak sto parica, ali ipak najčešći su kablovi sa četiri parice (slika 4.14). Da bi se preslušavanje među parica svelo na što manju meru, svaka parica se prede sa različitim brojem okretanja po metru:

- zelena parica 65.5 okreta/m,
- plava parica 64.8 okreta/m,
- narandžasta parica 56.2 okreta/m,
- braon parica 51.7 okreta/m.

Na ovaj način neće biti promenjena predviđena impedansa koja je 100 Ω pri 100 MHz-a [W32].



slika 4.14 – Cat 5 UTP kabel – neoklopljeni kabel sa četiri upredene parice

Izvor: autor nepoznat, [W4]

Cat 5 kablovi se uglavnom koriste u Fast Ethernet mrežama, sa dozvoljenom maksimalnom dužinom segmenata od 100 m. Broj korišćenih parica:

- 10BASE-T (Ethernet) koristi dve parice Cat 5/5e,
- 100BASE-TX (Fast Ethernet) koristi dve parice Cat 5/5e,
- 1000BASE-T (Gigabit Ethernet) koristi četiri parice Cat 5e kablova.

Category 6/6a

Cat 6 kabel je standard za Gigabit Ethernet [121], ali i za ostale mrežne platforme čiji fizički sloj je kompatibilan sa Cat 5/5e i Cat 3 standardima. U upoređenju sa Cat 5/5e kablovima Cat 6 kablovi imaju manje preslušavanje i manje su osetljivi na šum. Sadrže četiri upredene parice i mogu se terminirati sa 8P8C modularnim konektorima u šemama vezivanja T568A ili T568B.

Prema specifikacijama standarda ANSI/TIA-568-B.2-1, Cat 6 treba da obezbedi prenosnu frekvenciju do 250 MHz. Prema standardu ANSI/TIA/EIA-568-B.2-10 iz 2008 godine, Cat 6a kablovi trebaju da imaju duplo bolju prenosnu karakteristiku, tj. do 500 MHz. Kombinacije Ethernet mreža i maksimalne dužine segmenata po kablovima su:

- 10BASE-T (Ethernet), 100m za Cat 6/6a,
- 100BASE-TX (Fast Ethernet), 100m za Cat 6/6a,
- 1000BASE-T i TX (Gigabit Ethernet), 100m za Cat 6/6a,
- 10GBASE-T (10-Gigabit Ethernet), 37m za Cat 6 i 100m za Cat 6a.

Category 7/7a

Cat 7 kabel standard je predviđen za Ethernet mreže i kompatibilan je sa Cat 5 i Cat 6 kablovima. Kabel je STP tipa, tj. oklopljen je i sadrži četiri upredene parice koje su po parovima takođe oklopljene (*slika 4.15*). Cat 7 kablovi podržavaju prenos do 600 MHz i predviđeni su za 10-Gigabit Ethernet, koji podržavaju i Cat 6a kablovi.



slika 4.15 – Cat 7 STP kabel - oklopljeni kabel sa četiri oklopljene upredene parice

Izvor: Bewareircd-Wikipedia

Poboljšani kabel, Cat 7a predviđen za prenos i do 1000 MHz, tj. moguće je graditi sa njim mreže: 40-Gigabit Ethernet sa segmentima od 50 m ili 100-Gigabit Ethernet sa segmentima od 15 m. Cat 7a kablove moguće je koristiti i u prenosu CATV (826 MHz) signala.

Cat 7/7a kablovi ne podržavaju 8P8C modularne konektore, zbog toga ovi tipovi kabla nisu prihvaćeni TIA/EIA-568 standardom.

4.1.5.4 TCP/IP skup protokola

Skup protokola (engleski: protocol suite) je familija protokola koji rade zajedno i omogućuju komunikaciju između aplikacija, tj. programa. Pojedina realizacija skupa protokola naziva se protokol stek. Najčešće se između ovih pojmova stavlja znak jednakosti.⁵

Istorijat

Do 1970 godine razvio se veliki broj različitih računarskih mreža. Iz želje za njihovim međusobnim radom rodila se ideja o njihovom povezivanju u jednu zajedničku mrežu. Prva istraživanja su sprovedena u okviru DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), što je dovelo do pojave TCP/IP protokola 1978 godine. Univerzitet u Berkliju 1983. godine je počeo da zajedno sa svojim operativnim sistemom UNIX distribuira besplatno i kod TCP/IP protokola. Danas je TCP/IP najčešće korišćen protokol za komunikaciju između računara [109].

TCP/IP je skup protokola, dok su TCP i IP samo jedni od protokola u tom skupu. Razlog zašto je ceo skup protokola dobio ime po ovim protokolima je to što su oni najpoznatiji i najčešće korišćeni. Sve aplikacije koje koriste TCP/IP skup protokola koriste IP, ali ne moraju koristiti TCP. Mogu koristiti na primer UDP, ili nešto treće [136].

⁵ Napomena: ovaj deo je napisan na osnovu rukopisa sa fakultetskih predavanja

Mrežni modeli

Moderne mreže su funkcionalno projektovane kao niz slojeva gde je svaki sloj osmišljen tako da koristi sloj ispod sebe, nudi usluge sloju iznad sebe i skriva detalje svih slojeva ispod sebe od slojeva iznad sebe. Podela mrežne funkcionalnosti u slojeve smanjuje kompleksnost mrežnog dizajna, omogućava nezavistan razvoj slojeva kao i zamenu funkcionalno ekvivalentnih implementacija.

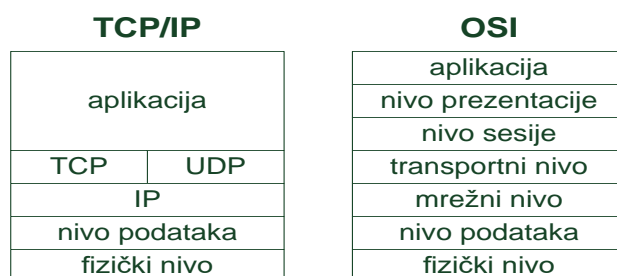
OSI model

Open System Interconnection (OSI) referentni model opisuje način na koji treba da se poveže bilo koja kombinacija uređaja u cilju ostvarivanja komunikacije. Model je razvijen iz teorijskih razloga i opisuje zadatak povezivanja pomoću sedam funkcionalnih slojeva i precizira funkcije neophodne u svakom sloju. Ovih sedam slojeva čine hijerarhiju, od aplikacija na vrhu do fizičkog medijuma za komunikaciju na dnu (*slika 4.16*). Funkcije i mogućnosti koje se očekuju na svakom sloju precizirane su u referentnom modelu. Međutim, model ne propisuje način na koji ova funkcionalnost treba da se ostvari.

TCP/IP model

TCP/IP model je razvijen iz praktičnih razloga i ne poklapa se u potpunosti sa OSI modelom. Ne postoji jedinstveni dogovor kako opisati TCP/IP slojevitim OSI modelom, ali postoji generalno mišljenje da taj model ima manje slojeva od sedam koliko ih ima OSI model [109]. Slično OSI modelu TCP/IP je organizovan u više nivoa (*slika 4.16*). Svaki od nivoa koristi usluge nivoa ispod sebe i pruža usluge nivou iznad sebe. Jedan od mogućih odnosa i načina povezivanja ta dva modela je sledeći:

- fizički i nivo podataka uključuje u sebe mrežnu karticu i odgovarajuće drajvere. Drajveri i mrežna kartica zaduženi su za hardverske detalje pomoću kojih računar pristupa na mrežni kabel, bez obzira koji medijum se koristi.
- mrežni nivo naziva se ponekad i Internet nivo ili Internet Protokol (IP) nivo. Odgovoran je za kretanje poruka po mreži. Rutiranje se odvija na ovom nivou.
- transportni nivo obezbeđuje tok podataka među računarima. Na taj način se omogućava komunikacija između aplikacija. TCP i UDP nalaze se na ovom nivou. Ovaj nivo je odgovoran za uspostavljanje veze, prenos i kontrolu podataka i prekid veze, dok mrežni nivo samo prenosi informacije.
- nivo aplikacije predstavlja nivo na kom se izvršava određena aplikacija kao što su: TELNET, FTP, SMTP i druge.

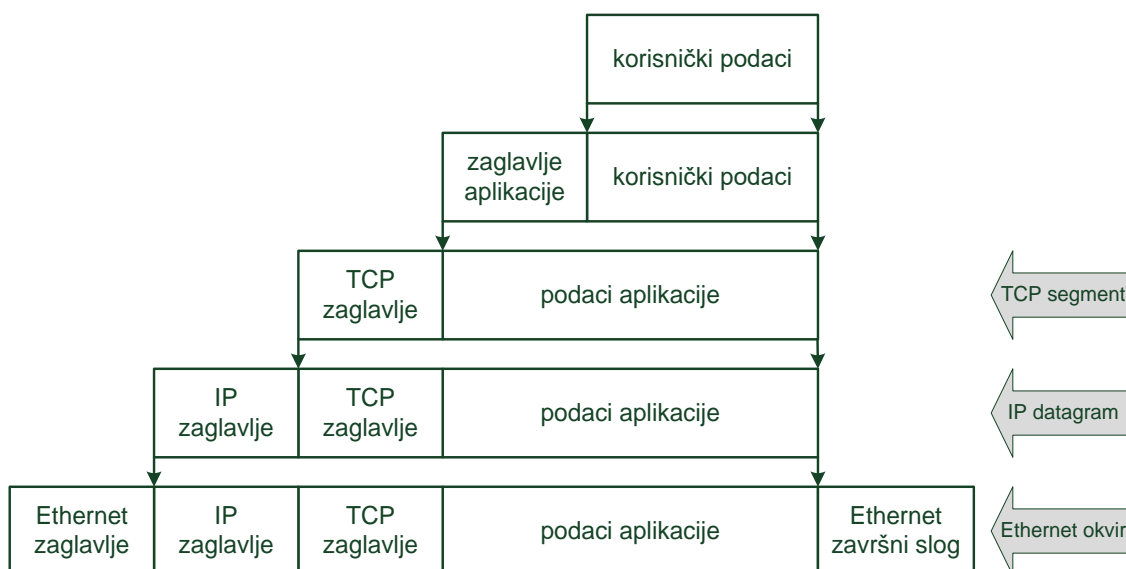


slika 4.16 – odnos nivoa TCP/IP protokol steka i nivoa OSI referentnog modela

TCP/IP ugnježđenje podataka

Prilikom slanja podataka, od aplikacije sa jednog uređaja ka drugoj, podaci se prenose nadole od jednog do drugog nivoa. Podaci silaze niz sve nivoe TCP/IP protokol steka dok ne stignu na najniži sloj, odakle se šalju kroz mrežni medij. Pri prolazu kroz nivoe, svaki nivo vrši ugnježđenje ili enkapsulaciju, tj. dodaje svoje zaglavlje (engleski: header) na podatke koje primi. Unutar zaglavlja nalaze se informacije bitne za dotični nivo (slika 4.17).

Jedinica podataka koje TCP ili UDP šalje IP-ju naziva se TCP (ili UDP) *segment*. Jedinica podataka koje IP šalje mrežnom interfejsu je IP *datagram*. Niz bitova koji putuju mrežom nazivaju se *paket*, ili u slučaju Ethernet mreže obično se govori o Ethernet *okviru* (engleski: frame) [136].



slika 4.17 – ugnježđenje podataka po nivoima TCP/IP protokol steka

Na ciljnom uređaju pristigli paket opet prolazi sve nivoe, ali sada u smeru od dole ka gore. Pri prolazu podataka kroz nivoe, svaki nivo odstranjuje zaglavlje koje pripada dotičnom nivou i predaje preostale podatke nivou iznad sebe. Podaci kreću ka višim nivoima TCP/IP protokol steka dok ne stignu na najviši sloj, gde ih preuzima aplikacija.

Maksimalna dužina Ethernet okvira je 1538 bajta [151], isti se sastoji od korisnog tereta koji je 1500 bajta – i zove se još i MTU – i od Ethernet zaglavlja i završnog sloga koji ukupno iznose 38 bajta. Dužina IP zaglavlja je 20 bajta, dužina TCP zaglavja je 20 bajta, a UDP zaglavlja 8 bajta. U ovako formiranim Ethernet okvirima, za korisničke podatke – sa zaglavljem aplikacije – ostaje ukupno 1460 ili 1472 bajta u slučaju TCP ili UDP protokola.

$$TCP_{payload_max} [byte] = 1460 \text{ byte} \quad (16)$$

$$UDP_{payload_max} [byte] = 1472 \text{ byte} \quad (17)$$

4.1.5.5 Podrška operativnih sistema

Ethernet je skup pravila kojim se definiše način prenosa između računarskih sistema u okviru lokalne mreže koju čine više uređaja (računara) priključenih na zajednički medijum prenosa. Ethernet standard definiše:

- fizički medijum za prenos signala,
- skup pravila za pristup deljenom kanalu prenosa,
- strukturu Ethernet okvira, sa značenjem pojedinih bitova.

U modernim operativnim sistemima je integrisana potpuna podrška za Ethernet standard. To praktično znači da korisnici (aplikacije, procesi) ovog standarda moraju samo da kontrolišu sledeće nivoe OSI referentnog modela: nivo sesije, nivo prezentacije i aplikacioni nivo. Preostala četiri nivoa: fizički nivo, nivo podataka, mrežni nivo i transportni nivo su pod kontrolom operativnog sistema. To u velikome olakšava implementaciju aplikacija koje žele da koriste ovaj način prenosa, jer preko jednostavnih sistemskih poziva – iz viših programskih jezika – moguće je slati i primati podatke preko Ethernet mreže.

4.1.6 USB

USB je industrijski standard, razvijen sredinom 1990-ih godina za povezivanje računara i elektronskih uređaja. Definiše kablove, konektore i protokole koji se koriste za povezivanje i komunikaciju, kao i način napajanja [W39].

USB je dizajniran da standardizuje priključivanje računarskih periferija kao što su tastatura, miš i drugi pokazivački uređaji, štampači, prenosivi media plejeri, digitalne kamere, prenosive disk jedinice, palice za igru, muzičke instrumente sa MIDI-jem, u svrhu komuniciranja i napajanja istih. USB je postao popularan i na drugim uređajima kao što su foto aparati, mobilni telefoni i sl. USB je uspešno zamenio na personalnim računarima do tada korišćene portove opšte namene kao što su: serijski i paralelni port [94], [95].

Poznate su tri specifikacije USB-a koji se razlikuju u brzini prenosa:

4.1.6.1 USB 1.0/1.1

Specifikacija USB 1.0 je objavljena 1996. godine. Definisala je dva tipa konekcije: „Type A“ i „Type B“ (slika 4.18).



slika 4.18 – USB Type A utikač (levo), utičnica (sredina), Type B utičnica (desno)

Izvor: Ana Vujović, [W43], autor nepoznat, [W15]

Definisala je dve brzine prenosa [W39]:

- *Low-Bandwidth* (niska širina prenosa), sa maksimalnom brzinom prenosa podataka od 1.5 Mbit/s.
- *Full-Bandwidth* (potpuna širina prenosa), sa maksimalnom brzinom prenosa podataka od 12 Mbit/s.



slika 4.19 – logo USB-a i USB 1.0

Izvor: Chad Weider i [W39]

Specifikacija USB 1.1 je objavljena 1998. godine. Nije uvela nove brzine, ali je ispravila primećene probleme iz verzije 1.0, koji su uglavnom vezani za USB čvorove (hub-ove).

4.1.6.2 USB 2.0

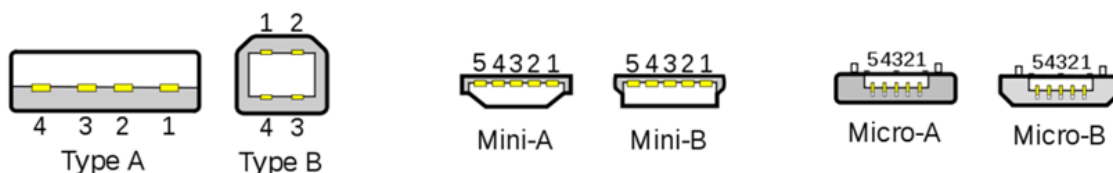
Specifikacija USB 2.0 objavljena je 2000. godine. Dodala je standardu novu brzinu koja može imati maksimalni protok od 480 Mbit/s, isti je dobio ime *Hi-Speed* (velika brzina) [W39]. Ova verzija USB-a je trenutno najviše podržana i najrasprostranjenija.



slika 4.20 – logo USB 2.0

Izvor: [W39]

Ova specifikacija je do tada korišćenim standardnim „Type A-B“ priključcima dodala „Mini A-B“ priključke. Familija priključaka je 2007. godine proširena sa „Micro A-B“ izvedbom (slika 4.21).



slika 4.21 – standardni parovi USB priključaka

Izvor: Damian Yerrick

4.1.6.3 USB 3.0

USB 3.0 objavljen je 2008. godine. Dodao je standardu novu brzinu koja može imati maksimalni protok od 5 Gbit/s, isti je dobio ime *SuperSpeed* (super brzina) [W40]. Ova brzina je više nego deset puta veća nego kod USB 2.0, ali može se postići samo sa profesionalnom ili eksperimentalnom opremom.



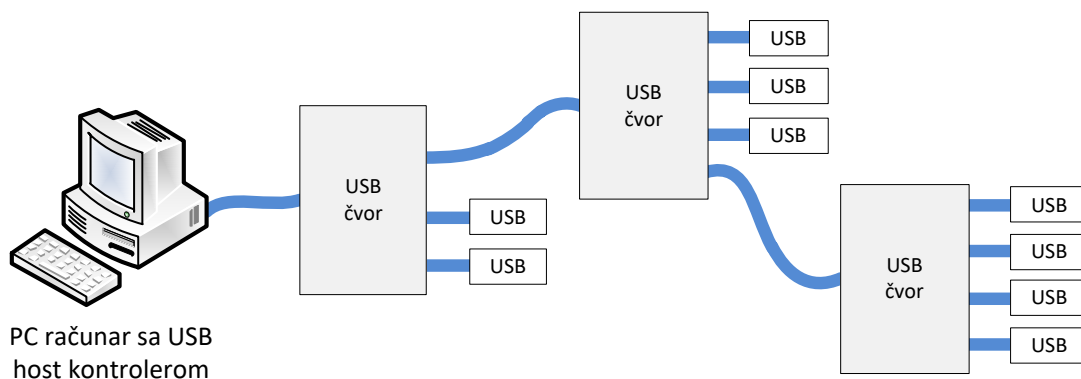
slika 4.22 – logo USB 3.0

Izvor: [W39]

Organizacija USB komunikacije

USB sistem je projektovan da bude asimetričan: ima jedan glavni priključak (engleski: host), mnogobrojne USB portove i više perifernih uređaja koji su vezani u hijerarhijsku zvezdastu topologiju [3]. Moguće je dodati USB čvorove (engleski: hub) u hijerarhiju do maksimalnih sedam nivoa. Na taj način se formira razgranato stablo struktura (slika 4.23). Jedan USB host može imati više kontrolera, i svaki kontroler može imati jedan ili više USB portova.

Na jedan USB host kontroler moguće je priključiti do 127 uređaja, a u taj broj su uračunati i čvorovi.



slika 4.23 – USB host, čvorovi i uređaji u razgranato stablo topologiji

USB 1.0, 1.1, i 2.0 koriste „govori kada te pitaju“ protokol. To znači da periferni uređaji ne mogu započeti ili ostvariti komunikaciju sa hostom, sve dok host to ne zatraži od njih. USB 3.0 standardom je to promenjeno, periferni uređaji izrađeni po toj specifikaciji mogu samostalno zatražiti komunikaciju ka hostu.

Kroz USB mrežu, prenos podataka se ostvaruje serijskim prenosom paketa.

USB kabl

USB kabl ima četiri žile. Dve žile su upredene u paricu i prenose diferencijalni električne signale „Data +“ i „Data –“. Druge dve žile su predviđene za napajanje, tj. priključeni su na +5 V ($\pm 5\%$) istosmerni napon i na uzemljenje, koje obezbeđuje host. USB 3.0 kabl ima deblju izvedbu, da bi mogao da podrži veće prenosne brzine. Maksimalna dužina kabla za USB 2.0 (i ranije) verzije iznosi 5 m, dok je to za USB 3.0 standard smanjeno na 3 m.

Uređaji mogu USB 2.0 portove da opterećuju sa maksimalnih 500 mA, a USB 3.0 portove sa 900 mA. Ako neki uređaj zahteva veću struju napajanja, može koristiti

specijalni Y USB kabel, sa kojim se može priključiti istovremeno na dva USB porta ili može koristiti sopstveno nezavisno napajanje.

4.1.6 Brzina prenosa

Teoretska maksimalna brzina prenosa podataka USB 2.0 kontrolera je 480 Mbit/s, koji se deli između priključenih uređaja. To znači da maksimalna brzina prenosa zavisi od topologije priključivanja i od broja priključenih USB uređaja. Da bi otklonili to usko grlo, proizvođači čipset integriranih kola za personalne računare – u IC kola za upravljanje U/I periferijama (engleski popularni naziv: southbridge) – ugrađuju više komada USB 2.0 kontrolera. Nije moguće unapred odrediti, na kojem USB portu računara kolika će biti maksimalna prenosna brzina.

4.1.7 IEEE 1394

IEEE 1394 međusklop je standardna serijska magistrala za komunikaciju sa velikom brzinom i za prenos podataka u realnom vremenu. Često korišćen od strane personalnih računara, digitalnih audio i video uređaja, kao i u automobilima i avionima [110]. Međusklop je poznat kod raznih proizvođača još i po imenima: FireWire (Apple), i.LINK (Sony) i Lynx (Texas Instruments) (slika 4.24).



slika 4.24 – IEEE 1394, FireWire i i.LINK logoi

Izvor: [W1],[W16] i [W27]

IEEE 1394 je inicijalno zamišljen kao serijska magistrala velike brzine od strane Apple-a pod imenom FireWire. Prihvaćen je od strane: Sony-a, Texas Instruments-a, DEC-a, IBM-a i drugih preduzeća. Sony-eva implementacija „i.LINK“ koristi manje priključke: ima samo četiri signalne linije i nema linije za napajanje.

IEEE 1394 se često koristi kao zamena paralelnoj SCSI komunikaciji, jer je jednostavniji i jeftiniji za implementaciju. Za gradnju FireWire veze najčešće se koriste bakarne parice, ali postoji izvedba u bežičnom, koaksialnim i sa optičkim kablovima.

FireWire naspram paralelnog SCSI-a ima mali broj bakarnih žila, što je uveliko doprinelo njegovom brzom prihvatanju i širenju. Uglavnom se koristi kod povezivanja profesionalnih i skupih digitalnih audio i video uređaja. FireWire u potpunosti podržava asinhroni i vremenski sinhronizovani (engleska terminologija: „isochronous“) prenos.

FireWire ima brži prenos podataka od USB 2.0, ali je sporiji od USB 3.0 [W41]. Izvedba FireWire-a je neznatno, ali ipak skuplja od USB-a i zato u jeftinim uređajima masovne proizvodnje, ne može nadvladati USB interfejs.

Tehničke karakteristike

FireWire omogućava spajanje 63 perifernih uređaja u linearnu, dvosmernu topologiju (engleska terminologija: „daisy-chain“). Dozvoljava direktnu komunikaciju između pojedinih perifera, bez upotrebe centralne memorije ili procesora računara. Na jednu magistralu dozvoljeno je priključiti i više upravljačkih jedinica (host).

FireWire podržava „plug-and-play“ tehnologiju, ali ne i priključivanje i isključivanje tokom rada (engleska terminologija: „hot swap“). Plug-and-play uređaja je potpomognut preko konfiguracionih ROM-ova, koji sadrže: IEEE EUI-64 kod za identifikaciju, opis podržanih protokola i tip uređaja.

Bakarni kabel za povezivanje može imati maksimalnu dužinu od 4.5 m. Postoje šestožilne i devetožilne varijante. Moguće je svaki port napajati do maksimalnih 30 V-a nestabiliziranog istosmernog napona i do snage od 45 W. To omogućava da uređaji sa malom potrošnjom mogu da rade bez posebnog napajanja.

Zahvaljujući načinu kako uređaji pristupaju magistrali i kako se širina opsega dodeljuje uređajima, FireWire može bezbedno da opsluži kritične sisteme. FireWire istovremeno može da koristi asinhroni i vremenski sinhronizirani prenos podataka. Vremenski sinhronizirani prenos je predviđen uređajima koji zahtevaju neprekidnu, konstantnu, garantiranu širinu prenosa. U IEEE 1394 standardu ovakvom tipu komunikacije predviđen je 80% prenosne širine magistrale, a preostali 20% za asinhronu komunikaciju [64].

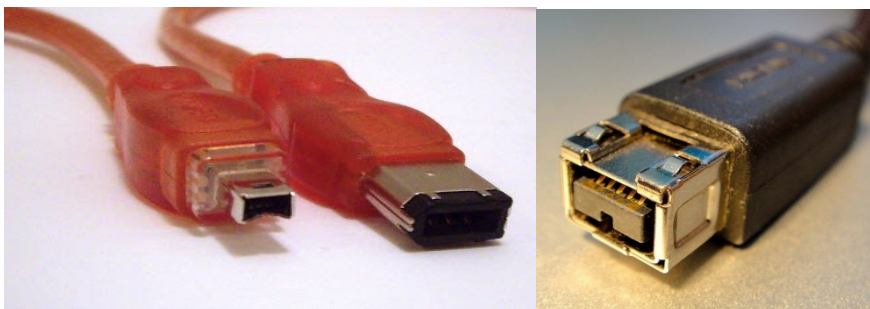
4.1.7.1 FireWire standardi

FireWire 400 ili IEEE 1394

Prvo izdanje IEEE 1394 iz 1995. godine opisalo je specifikacije koje se danas zovu FireWire 400. Prenos podataka je poludupleksni. Moguće brzine prenosa između uređaja su 100, 200 i 400 Mbit/s. Te standardne brzine prenosa imaju oznake: S100, S200 i S400 [W1].

Dužina kabla između dva uređaja maksimalno može biti 4.5 m. Korišćenjem aktivnih ponavljača signala (engleski: „active repeater“) ili internih i eksternih čvorova, moguće je koristiti 16 nadovezanih kablova. S400 standard limitira maksimalnu dužinu povezanih segmenata na 72 m.

Standard je definisao je šestožilni konektor koji ima naziv *alfa konektor* (slika 4.25). Pomoću šestožilne izvedbe osim prenosa podataka, moguće je obezbediti napajanje priključenom uređaju. Tipična potrošnja uređaja je oko 7-8 W, ali napon napajanja može u veliko da se menja kod različitih uređaja. Istosmerni napon napajanja nije stabiliziran i tipično je oko 25 V, ali najčešće kreće se u opsegu 24-30 V. U Apple-ovoj implementaciji, na laptopovima, napon napajanja alfa konektora je 9 V.



slika 4.25 – četvorožilni (levo) i šestožilni (sredina) S400 alfa utikači
devetožilni S800 beta utikač (desno)

Izvor: Mikkel Paulson i Fadi

IEEE 1394a

Izdat je 2000. godine i poboljšao je prethodni standard. Dodata je podrška za asinhroni prenos tokova i brža rekonfiguracija magistrale.

Standardizirao je i četvorožilni alfa priključak (slika 4.25), razvijen od strane Sony-ja. Ovaj konektor je rasprostranjen na digitalnim kamerama, laptopovima i na malim FireWire uređajima. Potpuno je kompatibilan sa šestožilnim načinom prenosa podataka, ali nije moguće vršiti napajanje uređaja preko njega.

FireWire 800 ili IEEE 1394b

Prikazan je 2002 godine. Uveo je „FireWire 800“ koji vrši dupleks prenos sa maksimalnim 786 Mbit/s (označava se sa S800). Kompatibilan je sa sporijim šestožilnim alfa konektorima, ali uveo i devetožilni beta konektor (slika 4.25) [W31].

Korišćenjem optičkog kabla standard IEEE 1394b dostiže 3200 Mbit/s do maksimalnih 100 m. Ako se koriste Cat 5e UTP kablovi, ovim standardom moguće je dostići brzinu 100 Mbit/s na maksimalnih 100 m razdaljine.

4.1.7.2 Podrška u operativnim sistemima

Potpuna podrška IEEE 1394a i 1394b standarda može se naći u sledećim operativnim sistemima: FreeBSD, Linux, Apple Mac OS i drugi.

Na Windows XP-u posle instalacije Service pack 2, dolazi do značajnog usporavanja IEEE 1394 uređaja. To je ispravljeno u Service Pack-u 3. Neki proizvođači FireWire uređaja daju posebne drajvere, sa kojima treba zameniti Microsoftov drajver kako bi se postigle pune brzine prenosa S800 uređaja.

Windows Vista podržava samo IEEE 1394a standard. U Windowsu 7 i 10 je sistemski drajver – ponovno napisan od osnova – koji sada osim IEEE 1394 podržava i standard veće brzine IEEE 1394b.

4.1.8 Rezime

Detaljnijom proučavanjem akvizicionog sistema, naročito protokola stacionarnog dela instrumenta, prikupljeni su opis i detaljni numeričke informacije o višestukoj I²S magistrali, koji će biti iskorišćeni u empirijskim istraživanjima.

Tokom pregleda interfejsa, portova i protokola personalnog računara izabrani su sledeći za detaljnije istraživanje i opisivanje: Fast Ethernet, USB 2.0 i IEEE 1394. Pokazalo se da sva tri izabrana porta po svojim specifikacijama zadovoljavaju zahteve, tj. da svakim od tih tri interfejsa PC-a moguće je prenos podataka sa 50 Mbit/s ili brže.

4.2 DODATNA TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA

Tokom empirijskih istraživanja – koja se u ovom radu sastoji od analitičkih i eksperimentalnih istraživanja – javila se potreba za korišćenjem tehnologija od kojih su neke pominjane i u uvodnim poglavljima. Korišćenje tih tehnologija, metoda i algoritama zahtevalo je dodatna teoretska istraživanja. Sakupljena saznanja stečena dopunskim istraživanjem prezentovana su u ovom poglavlju.

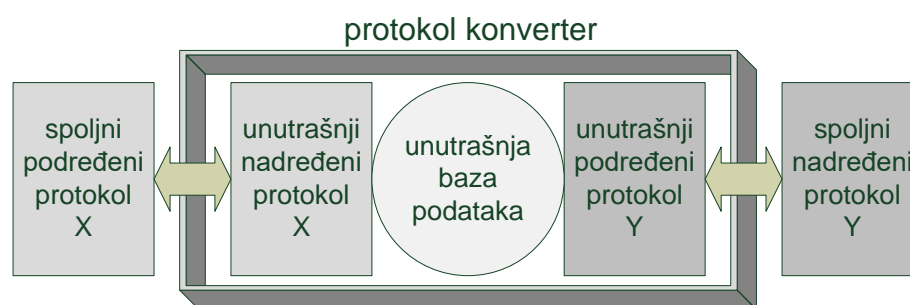
4.2.1.1 Konverter protokola

Konverter protokola je uređaj koji se koristi za konverziju standardnog ili korisničkog protokola prvog uređaja u protokol koji je prihvatljiv drugom uređaju u cilju postizanja saradnje istih. Protokol konverter transformiše i pretvara podatke, događaje i komande između priključenih uređaja. Konvertovanje podataka i komandi može dovesti do transformacije predstavljanja i kodiranja podataka, kao i promene u okvirima.

Protokol konverter zaviso od priključenih protokola može biti realizovan softverski, hardverski ili integrisan u uređaj [37]. Rad uopštenog funkcionalnog modela konvertera protokola (*slika 4.26*) je sledeći:

- Unutrašnji nadređeni protokol komunicira sa spoljnim podređenim protokolom (oznaka X), prikupljeni podaci se pohranjuju u unutrašnju bazu podataka.
- Kada spoljni nadređeni protokol zahteva podatke od unutrašnjeg podređenog protokola (oznaka Y), isti ih pribavlja iz unutrašnje baze podataka i predaje ih spoljnom nadređenom protokolu.

Pored prenosa podataka moguće je na prikazan način prenositi događaje i naredbe. Protokol konverter je moguće tako realizovati, da na X i Y strani budu priključeni različiti fizički mediji za prenos.



slika 4.26 – blok dijagram funkcionalnog modela konvertera protokola

Na slici 4.27 je protokol konverter proizvođača RLE [W33], koji vrši dvosmernu konverziju serijske komunikacije u industrijskom okruženju. Podržava tri vrste komunikacionih portova i devet standardnih protokola serijske komunikacije.



slika 4.27 – industrijski konverter protokola

Izvor: RLE technologies [W33]

U tabeli 4.3 prikazani su mogući parovi konverzije protokola, koji su u hardverskoj ponudi kompanije ICP DAS USA [W18].

	BACnet	CANbus	DeviceNet	Ethernet	Fiber Optic	FRNet	HART	J1939	Modbus	PCI	PROFIBUS	PROFINET	RS-232	RS-422	RS-485	USB	Zigbee
BACnet	X								X								
CANbus		X		X	X			X	X	X			X			X	
DeviceNet			X						X							X	
Ethernet		X		X	X				X				X	X	X		X
Fiber Optic		X		X	X								X	X			
FRNet						X				X							
HART							X		X							X	
J1939		X						X	X								
Modbus	X	X	X	X			X	X	X		X		X	X	X		
PCI		X				X				X			X				
PROFIBUS									X		X		X				
PROFINET												X					
RS-232		X		X	X				X	X	X		X	X	X	X	X
RS-422				X	X				X				X	X	X	X	X
RS-485				X					X				X	X	X	X	X
USB		X	X				X						X	X	X	X	
Zigbee				X									X		X		X

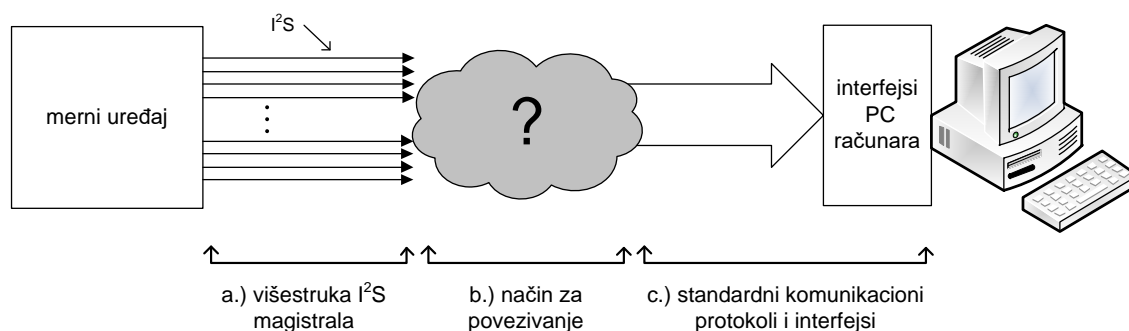
tabela 4.3 – unakrsne protokol konverzije

Izvor: ICP DAS USA [W18]

4.3 ANALITIČKA-SINTETIČKA ISTRAŽIVANJA

Cilj analitičkog-sintetičkog istraživanja, je da analizom informacija o problemu i predmetu istraživanja, kako i prikladnih modela i metoda, postavi sopstveni model rešenja sa alternativnim podvarijantama rešenja za problema istraživanja.

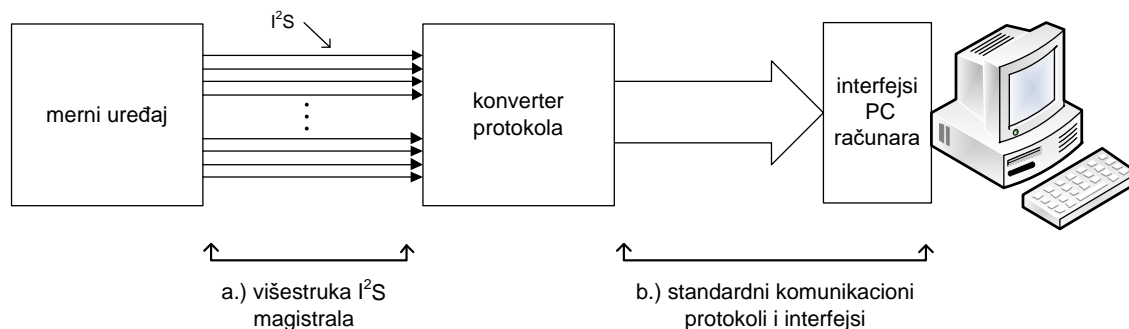
U poglavljima o predmetu i problemu istraživanja (2.1 i 2.2) prikazan je merni-akvizicioni medicinski instrument. Rezultati izvršenog teoretskog istraživanja – prikazana su u prethodnim poglavljima – potvrđuju pretpostavku da je nemoguće neposredno povezivanje višestruke I²S magistrale podataka sa interfejsma PC-a (slika 4.28), jer ne postoji zajednička, kompatibilna platforma ili protokol preko kojeg bi se to moglo direktno izvesti.



slika 4.28 – problem istraživanja: povezivanje mernog sistema sa računarom

4.3.1 Model konverter protokola

Komunikaciju između medicinskog uređaja za merenje biomedicinskih signala i personalnog računara – zbog nekompatibilnih protokola i portova istih – nije moguće izvesti direktnim povezivanjem. Na osnovu teorijskih istraživanja, predlaže se da povezivanje datih protokola mernog uređaja i računara bude ostvaren korišćenjem protokola konvertera (slika 4.29). Takvo konverter kolo nije na raspolaganju, treba ga projektovati i realizovati. Rešenje mora obezbediti da podaci višestruke I²S magistrale bez gubitaka budu preneti na jedan ili više standardnih interfejsa računara.



slika 4.29 – konverter protokola kao rešenje za povezivanje

Za projektovanje modela konvertera protokola, prema poglavlju (4.2.1) potrebni su sistematizirani podaci o fizičkim medijima i protokolima dve strane koje se povezuju. Osim tih podataka, do krajnjeg modela protokol konvertera put vodi preko više iterativnog koraka. Tokom tih koraka biće korišćena metoda crne kutije [1].

4.3.1.1 Medij i protokol višestruke I²S magistrale

Izvor toka podataka nalazi se na jednoj strani konvertera protokola (slika 4.29a). U poglavlju 4.1.3 su sistematizovane prikupljene činjenice o posmatranoj višestrukoj I²S magistrali podataka. Analizom navedenih činjenica u vezi toka podataka – sa aspekta stvaranja modela protokol konvertera i povezivanja – utvrđene su sledeće bitne karakteristike magistrale:

- fizički medij: bakarni vod;
- oblik medija: višestruke paralelne linije, tj. magistrala,
- magistrala: 16 paralelnih serijskih linija podataka, dve linije za signalizaciju;

- tip fizičkog signala: digitalna sa 3.3V naponskim nivoima;
- prenos podataka: simpleks, sinhroni, serijski;
- signalizacija: sa označavanjem bitova i okvira, bez rukovanja;
- sinhroni takt za podatke je (10): 3,072,000 Hz;
- brzina prenosa podataka je (15): 49.152 Mbit/s;
- izvor signala za podatke (SD), takt (SCK) i označavanje okvira (WS) je merni uređaj.

4.3.1.2 Izbor interfejsa personalnog računara

U poglavlju 4.1.4.1 posle pregleda standardnih perifernih portova personalnog računara izabrana su: Fast Ethernet, USB 2.0 i IEEE 1394 za detaljno razmatranje. Pokazalo se da sva tri izabrana porta po svojim specifikacijama zadovoljavaju zahteve za pouzdan i neprekidan prijem podataka u obimu koji je predviđen od strane mernog uređaja, tj. sa 50 Mbit/s ili brže.

Za projektovanje modela konvertera protokola, neophodno je da bude izabran interfejs PC-a na koji će biti priključen. Pojedinačno sva tri periferna interfejsa PC-a, koji su detaljno razmatrani: Fast Ethernet, USB 2.0 i IEEE 1394; po tehničkim specifikacijama mogu da prihvate u realnom vremenu, zahtevanu količinu podataka.

Autor je pre priključivanja ovom projektu izrađivao praktična rešenja u polju: mikrokontrolera, telemetrije i konverzije protokola. Mesta eksploatacije projektovanih i realizovanih uređaja su raznovrsna: od laboratorije (maketa) do industrijskog pogona (uređaj za hromiranje) [60], [116], [117], [118], [124], [149]. Tokom godina rada, na teorijsko znanje koji je skupljano školovanjem, nadogradilo se znanje stečeno iskustvom. Izbor interfejsa od tri moguća kandidata, vođen je ne samo na osnovu analize informacija koja je sprovedena nad sakupljenim podacima tokom teoretskih istraživanja, nego i empirijskom metodom koja je proizašla iz praktičnih iskustava. Posle kratkog rezimea o portovima sledi izbor interfejsa računara za komunikaciju.

IEEE 1394 – FireWire

Pregledom asortimana domaćeg tržišta može se reći: da stolni računari retko imaju ovaj tip porta, ali pomoću kartica za proširivanje moguće je naknadno ugraditi ovaj interfejs u računar. Laptop računare koji nemaju ovaj tip porta moguće je osposobiti za rad pomoću namenskih CardBus kartica. Primećuje se tendencija, da se ovaj interfejs ugrađuje uglavnom u laptopove i stolne računare, koji su predviđeni za profesionalnu obradu video i audio materijala. Autor nema prethodna lična iskustva sa ovim interfejsom.

Prema tehničkoj specifikaciji, port i protokol pruža velike mogućnosti, ali se očekuju problemi pri realizaciji hardvera na strani protokola konvertera. Predviđa se problem i na strani računara zbog šarolike i slabe podrške operativnih sistema. Moguće rešenje bi verovatno bilo pisanje sopstvenog sistemskog drajvera, što prelazi okvire projekta. Ovaj port se odbacuje u ovom projektu. Zbog velikog tehničkog potencijala protokola

potrebna su dalja opisna istraživanja kao i eksperimenti u laboratorijskim uslovima sa ovim portom.

USB 2.0

Pregledom asortimana domaćeg tržišta može se istaći pozitivna činjenica, da ne postoji stolni i laptop računar u ponudi koji ne poseduje ovaj tip porta već u osnovnoj konfiguraciji. Negativno je da korisnik nema uvid i uticaj na topologiju formiranja hijerarhijske strukture USB komunikacije (4.1.6). U praksi pokazalo se da je često velika razlika između deklarisanе i realno postignute brzine prenosa preko ovog porta. Autor ima prethodna lična iskustva sa ovim portom [116], [149].

Na predajnoj strani (protokol konverter) potrebno je korišćenje specijalnih integrisanih kola, koji obezbeđuju prepisani protokol i naponske nivoe. U ove svrhe, autor je u više navrata koristio integrisana kola proizvođača Future Technology Devices International (FTDI) [W14]. Ta integrisana kola sa procesorskom jedinicom protokol konvertera povezuju sa duplesnom, asinhronom, serijskom komunikacijom. Preko USB kabla, integrisano kolo je sa druge strane povezano sa USB interfejsom računara. Računar komunikaciju može ostvariti na dva načina:

- Virtuelni COM Port (engleski: Virtual COM Port, VCP), operativni sistem registruje USB uređaj, kao asinhroni serijski port. U ovom načinu rada, operativni sistem omogućuje postizanje brzine prenosa podataka od maksimalnih 1Mbit/s, što ne dostiže brzinu koja je zahtevana od strane projekta.
- Direktni pristup USB uređaju preko posebnog DLL fajla. Za to treba instalirati OS specifičan drajver. Na gore navedenom sajtu FTDI-a postoji podrška za čak devetnaest različitih verzija operativnih sistema! Na ovaj način moguće je postići veće maksimalne brzine, u kome su faktori ograničavanja: aktuelna hijerarhijska struktura i broj priključenih uređaja.

Podrška ovog porta je izvanredna od strane operativnih sistema. Kod uređaja koji imaju sertifikat proizvođača OS-a, prepoznavanje USB uređaja i brzina prenosa retko predstavlja problem, ali kod sopstveno razvijanih uređaja problem predstavlja (ne)identifikacija USB uređaja od strane operativnog sistema. Naspram moda virtuelnog COM porta, – gde za to postoji automatizam – kod direktnog pristupa, zbog obavezne instalacije drajvera sistemskog nivoa – i zbog načina kako OS tretira uređaj – to treba uraditi ručno.

Osim navedenih zamerki, možda najveća prepreka u korišćenju USB 2.0 porta u povezivanju protokol konvertera i računara, je to da ovaj standard koristi „govori kada te pitaju“ protokol. U takvom načinu rada periferni uređaj ne može započeti i ostvariti komunikaciju sa host uređajem. U praksi to znači da računar mora neprekidno slati upite periferni (engleski naziv: polling), kako bi ona dobila mogućnost da vrši prenos podataka. Ovakav način prenosa priliči komunikaciji manje brzine i manjim količinama podataka. Ovaj port je izabran kao rezervno rešenje za potrebe ovog projekta, za prenos naredbi za upravljanje merenjem i manjeg broja (četiri komada) mernog kanala u svrhe testiranja.

Fast Ethernet

Pregledom asortimana domaćeg tržišta može se istaći pozitivna činjenica, da ne postoji stolni i laptop računar u ponudi koji ne poseduje ovaj tip priključka već u osnovnoj izgradnji. U praksi se pokazalo da se preko ovog porta bez problema postižu brzine prenosa od 50Mbit/s. Problemi se mogu javiti ako su u mrežu priključeni zastareli uređaji koji podržavaju samo Ethernet standard, čija je maksimalna brzina prenosa: 10Mbit/s. Za postizanje odgovarajućih brzina potrebno je pažljivo izabrati mrežne elemente kao što su kategorije kablova za povezivanje i aktivni elementi povezivanja. Treba obratiti pažnju da svi elementi podržavaju i da rade u dupleks modu prenosa. Autor ima pethodna lična iskustva sa ovim portom [149].

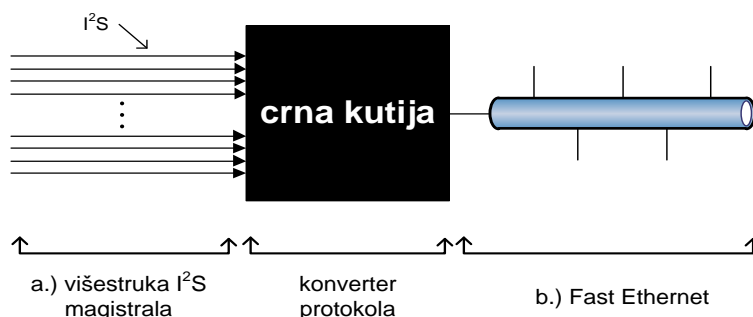
U protokol konverteru potrebno je korišćenje specijalnih integrisanih kola, koji obezbeđuju fizičko priključivanje na Fast Ethernet mrežu. Na tržištu električnih komponenata mogu se nabaviti takvi moduli. Ti moduli se prema protokol konverteru ponašaju, kao dupleksni, asinhroni, serijski port velike brzine. Dodatna pozitivna činjenica je da Fast Ethernet moduli i priključci su izrađeni tako, da u potpunosti odgovaraju propisima međunarodnog standarda IEC 60601 [W42], koji reguliše bezbednost pacijenata u kontekstu naponske i strujne izolacije medicinskih instrumenta.

Rad sa Fast Ethernet portom PC računara od korisničkog programa ne zahteva instalaciju posebnog drajvera. Operativni sistem nadgleda rad interfejsa, aplikacijama preko poziva sistemskih rutina obezbeđuje jednostavan način za slanje i primanje podataka.

Na osnovu pribavljenih informacija, opisa i tehničkih karakteristika, kako i sopstvenih iskustva, Fast Ethernet interfejs je izabran i za povezivanje protokol konvertera sa personalnim računarom.

4.3.1.3 Crna kutija – protokoli

U prethodnim poglavljima identifikovana je leva i izabrana je desna strana protokol konvertera sa *slici 4.29*. To omogućuje da se isti prikaže, kao crna kutija (*slika 4.30*). Primenom istoimene metode moguće je crnu kutiju koristiti kao temelj za konstruisanje modela željenog protokol konvertera. U više iterativnih koraka potrebno je jednoznačno definisati funkciju, zakonitosti ponašanja i strukturu građe konvertera protokola kao tehničkog sistema. Odnosno transformisati crnu kutiju u sivu, pa u belu kutiju [1].



slika 4.30 – protokol konverter kao crna kutija

Na desnoj strani crne kutije nalazi se Fast Ethernet protokol, koji prema poglavlju 4.1.5 može imati mnogo standardne varijacije. Stvaranje modela protokola konvertera zahteva informacije o mediju i protokolu koji se namerava koristiti od strane računara.

4.3.1.4 Mediji i protokol Fast Etherneta

Fast Ethernet podržava više protokola i medija za prenos. Treba jednoznačno definisati koji medij i protokol treba da podrži i koristi konverter protokola u komunikaciji sa personalnim računarom.

Izbor medija za Fast Ethernet

Od ranije opisanih medija koji se mogu primeniti u stvaranju Fast Ethernet mreža, najrasprostranije se koriste kablovi sa neoklopljenim upredenim paricama (UTP). Kod privremenih mreža koriste se CAT5 kablovi sa višežilnim (mekim) bakarnim vodovima. Kod zgrada sa struktuiranim umrežavanjem koriste se CAT5 i CAT6 kablovi sa jednožilnim (tvrdim) bakarnim vodovima.

Na personalnim računarima konektor za Fast Ethernet mrežni kabl je RJ45 tipa, a šema povezivanja je 8P8C (*slika 4.13*). Predviđeno je da merni uređaj i personalni računar budu umreženi privremeno, samo za vreme merenja. Zbog navedenih činjenica, u slučaju protokola konvertera, za medij Fast Etherneta bira se: UTP CAT5 kabl sa višežilnim bakarnim vodovima i RJ45 priključcima.

Biranje transportnog protokola za Fast Ethernet

U opisu Fast Etherneta (*poglavljje 4.1.5*) navedeno je da se unutar Ethernet mreža za komunikaciju između povezanih uređaja najčešće koristi TCP/IP skup protokola. Sve aplikacije koje koriste TCP/IP skup protokola, na mrežnom nivou koriste IP (Internet protokol), a na transportnom nivou uglavnom koriste TCP ili UDP protokole [111]. Od ta dva protokola mora se izabrati jedan preko koga će se obavljati prenos podataka od protokola konvertera ka personalnom računaru.

Transmission Control Protocol (TCP)

TCP je glavni protokol iz TCP/IP skupa protokola. Omogućava rad transportnog nivoa. TCP ostvaruje pouzdan prenos podataka sa garantiranim ispravnim redosledom paketa, između dve aplikacije, koje rade na dva različita uređaja. Koriste ga najvažniji viši protokoli i usluge Interneta (web, email itd.). TCP je konekciono-orijentisan, jednom kada se postavi veza, podaci se mogu slati pouzdano u oba smera. Pouzdanost se postiže tzv. „kontrola prenosa“ (engleski: flow controll) metodom. Kontrola prenosa određuje kada je potrebno ponovno poslati paket podataka, ili zaustaviti slanje dok se ne potvrdi da li su prethodni paketi stigli na odredište. Izvor i primalac podataka vrše rukovanje (engleski: handshaking) za vreme postojanja veze. Kada se prenos završi, veza se prekida i oslobađaju se zauzeta sredstva.

Rezime: TCP je potpuno pouzdan u prenosu podataka ali uspostavljanje veze, kontrola prenosa i korekcija izgubljenih paketa podataka čine ovaj način sporijim i glomaznijim naspram UDP načina prenosa.

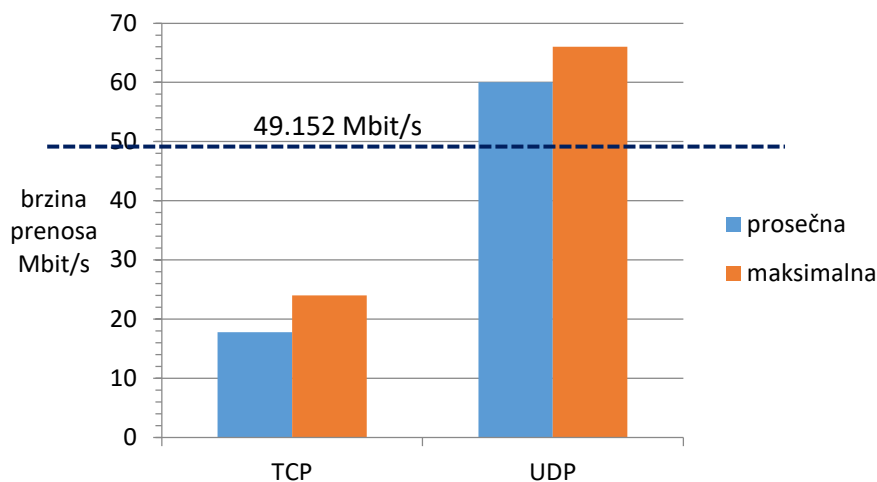
User Datagram Protocol (UDP)

UDP je drugi često korišćeni protokol na Internetu. UDP se nikad ne koristi za prenos važnih podataka kao što su internet stranice ili baze podataka, ali zato često se koristi za prenos audio i video toka. Prenos podataka preko UDP protokola je nepouzdaniji i brži nego preko TCP protokola, jer UDP ne koristi korekciju greške ili kontrolu toka. Može se desiti – zbog biranja različitih putanja prenosa – paketi stignu duplirano, u drugom redosledu nego što su poslani, ili čak da se neki paketi izgube i da nikada ne stignu na odredište [101]. U nedostatku mehanizma za kontrolu ili izbegavanja nagomilavanja paketa u mreži, moguće je implementirati druge forme mrežnih kontrolnih mehanizma da bi se obezbedio ispravan i ravnomeran tok podataka preko UDP protokola [W38].

Rezime: UDP je nepouzdan u prenosu podataka, ali je brži naspram TCP prenosa.

Izbor sa obrazloženjem

Izbor protokola od mogućih TCP i UDP kandidata vršen je osim pomoću tehničkih specifikacija i korišćenjem eksperimentalne metode. U ovoj fazi projektovanja modela protokol konvertera, inženjer zadužen za razvoj prijemnog softvera računara izvršio je testove. Merene su brzine TCP i UDP prenosa podataka između prototipa i računara. TCP prenos je pokazao rezultate u proseku 17.8 Mbit/s i u maksimumu 24 Mbit/s. UDP prenos je pokazivao u proseku 60 Mbit/s i u maksimumu 66 Mbit/s (*slika 4.31*). Prenos se vršio preko namenske (engleski: dedicated) mreže, na koji su bili spojeni samo prototip i računar.



slika 4.31 – grafikon merenih brzina prenosa TCP i UDP

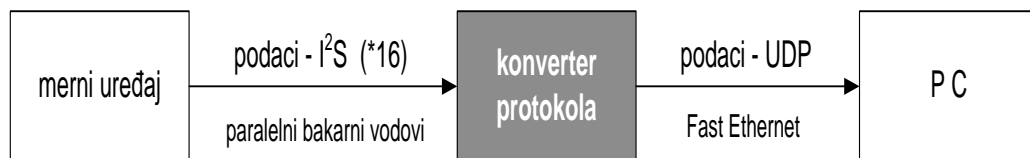
Posle analize rezultata izabran je UDP protokol za prenos podataka od protokol konvertera ka personalnom računaru, zbog sledećih karakteristika:

- Jednostavni komunikacioni model bez kontrole prenosa, što ga čini brzim i delotvornim. To je korisno kada je brzina važnija od pouzdanosti.
- Provera izgubljenih paketa se ne mora vršiti na transportnom nivou, ako za to ima potrebe, to je moguće uraditi na nivou aplikacije.

- Nepoželjni događaji zamene redosleda i dupliranja poslatih paketa podataka mogu se dogoditi zbog različitih puteva tokom prenosa. U slučaju medicinskog mernog uređaja koristi se namenska mreža sa jednim putem za prenos. Iz tog razloga ne očekuju se događaji zamene i dupliranja paketa.
- Nema uspostavljanja veze – zato se ne javlja kašnjenje, koje bi bilo zbir vremena potrebnog za postavljanje, održavanje i praćenje parametara veze.
- Manje dodato zaglavlje: UDP dodaje samo 8 bajta u zaglavlje nasuprot TCP-u koji dodaje čak 20 bajta na segmente. Realno veća efikasnost prenosa.
- Nesmetano slanje – brzina kojom UDP šalje pakete jedino je ograničen brzinom kojom aplikacija generiše podatke i maksimalnom širinom prenosnog porta/medija. Moguće je da bafer rutera ili prijemna strana ne može prihvatiti toliku količinu podataka, ali to se može rešiti nadogradnjom tih elemenata.

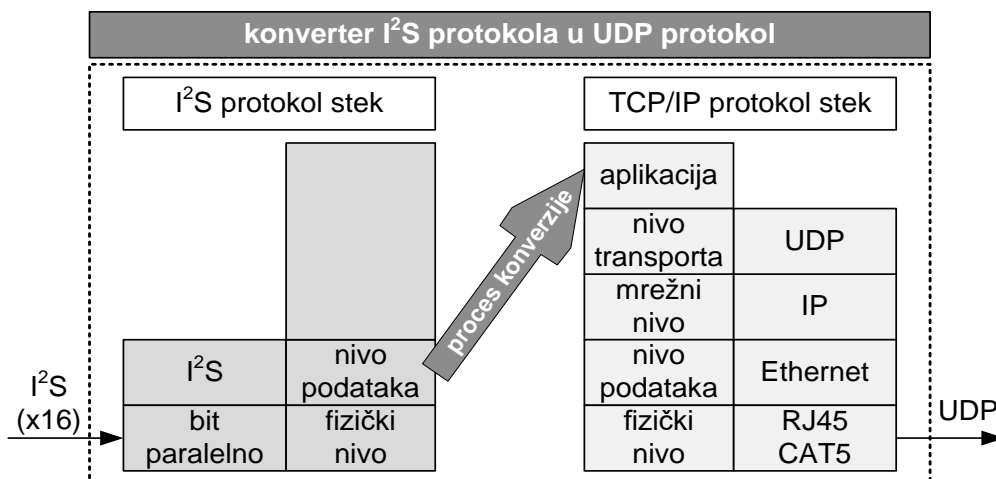
4.3.1.5 Tamnosiva kutija – mediji i protokoli

Izbor medija (RJ45, CAT5) i protokola (UDP) Fast Ethernet interfejsa računara uvelo je nove činjenice pomoću kojih moguće je izvršiti transformaciju crne kutije protokol konvertera u tamnosivu kutiju (slika 4.32).



slika 4.32 – blok dijagram tamnosive kutije konvertera protokola

Tamnosiava kutija, tj. protokol konverter, treba da izvrši konverziju sa I²S toka podataka – magistrala šesnaest I²S podataka – na UDP protokol. Prenos podataka između protokola moguće je prikazati mrežnim modelima OSI i TCP/IP protokola steka i procesom konverzije (slika 4.33).



slika 4.33 – prenos podataka između protokola

Podaci prolaze kroz oba protokol steka. Na levoj strani – OSI model – od najnižeg ka gore, sve do nivoa podataka. Na desnoj strani – TCP/IP model – od nivoa aplikacije ka

nadole, do fizičkog nivoa. Protokol konverter mora ciklično da vrši proces prenosa podataka sa nivoa podataka I²S protokol steka, na nivo aplikacije TCP/IP protokol steka. Tokom tog prenosa, moguće je da konverzija dovede do transformacije predstavljanja i kodiranja podataka, kao i promene u okvirima podataka (4.2.1).

4.3.1.6 Siva kutija – proces konverzije podataka

U ovom koraku iteracije od crne ka beloj kutiji biće definisan proces konverzije, koji povezuje nivo podataka I²S protokol steka sa nivoom aplikacije TCP/IP protokol steka (slika 4.33).

Iz opisa toka podataka I²S magistrale (4.1.2 i 4.1.3) mogu se za definisanje procesa konverzije iskoristiti sledeće činjenice i podaci:

- I²S magistrala, podatke prenosi u okvirima koji su označeni sa WS signalom;
- svaki WS okvir obuhvata 16 linija podataka, koji su formata unapređenog I²S-a, tj. koristi se TDM4 (7) način prenosa (slika 4.8)
- svaki podatak ima 32 bita (8), širina WS okvira je 128 bita (9);
- u jednom okviru magistrale ima ukupno 265 bajta (13);
- broj okvira za vreme merenja 4,147,200,000 komada (14).

Prema opisu TCP/IP skupa protokola (4.1.5.4), unutar Ethernet okvira za korisničke podatke i zaglavlje aplikacije, UDP datagrami najviše mogu iskoristiti 1472 bajta (17). Od navedenih podataka izvode se dodatne činjenice.

U cilju efikasnog iskorišćavanja komunikacije, potrebno je maksimalno povećati količinu korisnog tereta u Ethernet okviru. Čuvajući integritet WS okvira I²S magistrale, količina WS okvira koje je moguće smestiti u jedan UDP datagram je:

$$WS_{PCS_IN_UDP} = \lfloor UDP_{payload_max} / Frame_{DATA} \rfloor = \lfloor 1472 \text{ byte} / 256 \text{ byte} \rfloor = \lfloor 5.75 \rfloor = 5 \quad (18)$$

Stvarna količina podataka koji se smeštaju u UDP datagram:

$$UDP_{PAYLOAD} [\text{byte}] = WS_{PCS_IN_UDP} \cdot Frame_{DATA} [\text{byte}] = 5 \cdot 256 \text{ byte} = 1280 \text{ byte} \quad (19)$$

Učestalost kojim stižu podaci za formiranje jednog UDP datagrama:

$$f_{UDP} [\text{Hz}] = f_{WS} [\text{Hz}] / WS_{PCS_IN_UDP} = 24000 \text{ Hz} / 5 = 4800 \text{ Hz} \quad (20)$$

Maksimalni broj UDP datagrama koji treba poslati za vreme merenja je:

$$UDP_{PCS_MAX} = Frame_{NO} / WS_{PCS_IN_UDP} = 4,147,200,000 / 5 = 829,440,000 \quad (21)$$

Za brojanje ili indeksiranje pojedinih UDP paketa predviđa se korišćenje polja brojača u UDP datagramu. Za jednoznačno obeležavanje bez ponavljanja koristiće se prirodni brojevi. Broj minimalno potrebnih bitova za formiranje brojača je:

$$Counter_{MIN} = \lceil \log_2 (UDP_{PCS_MAX}) \rceil = \lceil 29.63 \rceil = 30 \quad (22)$$

Brojač sa 30 bitova, pri postavljenim propozicijama merenja dovoljna za jednoznačno obeležavanje UDP datagrama u slučaju merenja koji traje i do 2.5 dana, što odgovara 25% rezervi u vremenu trajanja merenja.

Tipovi podataka koje koriste programski jezici [63] i registri procesora [126] obično imaju broj bitova koji je celi umnožak broja osam, ili može se smatrati da imaju bajt osnovu. Zato za implementaciju brojača UDP paketa predviđa se 32 bit-a ili 4 bajta.

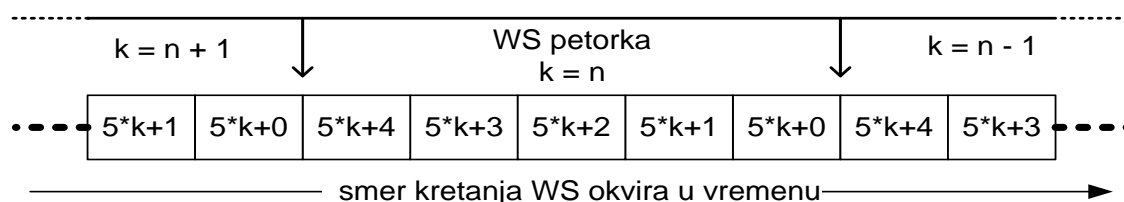
$$UDP_{COUNTER} [bit] = 4 [byte] = 32 bit \quad (23)$$

Sa povećavanjem broja bitova, implementacija brojača u softveru postaje robusnija. Sa predviđenom širinom UDP brojača, mogu se koristiti i nepredznačni i predznačni tipovi podataka, bez opasnosti da dođe do pogrešnog predstavljanja ili očitavanja vrednosti.

Formiranje UDP paketa, ciklični proces konverzije

1. Treba skupiti 5 (18) komada WS okvira podataka (*slika 4.8*) sa nivoa podataka I²S protokol steka (*slika 4.33*).
2. Treba generisati zaglavlje aplikacije koji sadrži 4 bajtni brojač. Taj brojač ima 32 bita (23) i predstavlja nepredznačan broj „k“, koji je redni broj „WS petorke“ (*slika 4.34*) koji se obrađuje, ali ujedno i redni broj UDP paketa koji se formira. Na ovaj način su jedinstveno označeni i povezani podaci merenja i UDP paketi koji se šalju ka računaru. Brojač omogućava detekciju izgubljenih paketa na nivou aplikacije u računaru.
3. Od zaglavlja aplikacije i sakupljenih podataka treba formirati koristan teret UDP paketa (*slika 4.35*).
4. Novoformiran UDP datagram treba poslati niz TCP/IP protokol stek (*slika 4.33*).

Na *slici 4.34* prikazan je neprekidni tok podataka, koji je sled uzastopnih WS okvira. Prema opisu I²S magistrale (4.1.3), WS okviri osim 256 bajta (13) korisnog tereta ne sadrže nikakve dodatne bitove. Okviri su na crtežu označeni jedinstvenim rednim brojem, čija vrednost u zavisnosti trajanja merenja može dostići red veličine od nekoliko milijardi. Redni broj je apstrakcija, u stvarnom I²S toku ne postoji takav podatak ili oznaka! Grupa od po pet WS okvira formira „WS petorku“, koja je označena rednim brojem „k“.



slika 4.34 – redosled WS okvira podataka, grupisanih u WS petorke

Format i sadržaj UDP paketa

Korisni teret za slanje – na nivou aplikacije – sastavlja se od zaglavlja i jedne WS petorke (*slika 4.35*). Zaglavlje je 32 bitni broj, koji je brojač WS petorki i odgovara vrednosti „k“. Ovako formatirani podaci ukupno zauzimaju 1284 bajta, što je 87.2% vrednosti od 1472 bajta (17), koji predstavlja maksimalnu moguću veličinu korisnog tereta UDP datagrama. Ovako formirani skup podataka moguće je preneti sa jednim UDP datagramom.

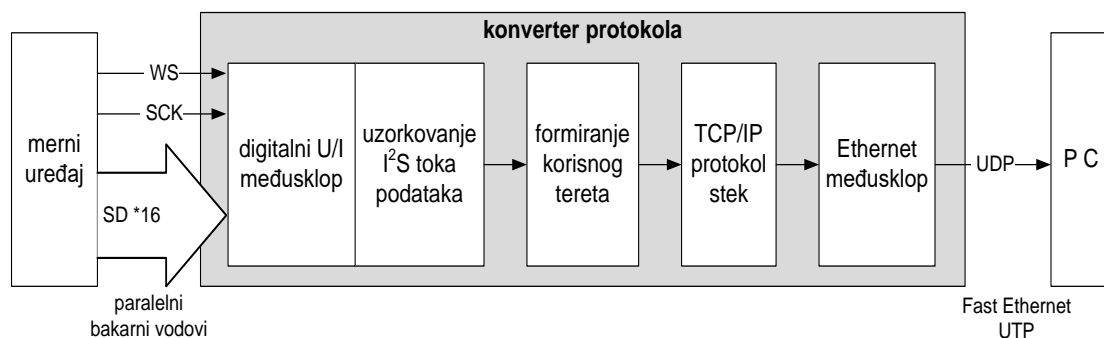
brojač = k	4 byte
WS okvir broj: $5*k+0$	256 byte
WS okvir broj: $5*k+1$	256 byte
WS okvir broj: $5*k+2$	256 byte
WS okvir broj: $5*k+3$	256 byte
WS okvir broj: $5*k+4$	256 byte
	1284 byte

slika 4.35 – raspored podataka u korisnom teretu UDP datagrama

Tokom procesa konverzije unutar protokol konvertera, ne vrši se tumačenje ili obrada podataka ni na koji način. Aplikacija novoformirani korisni teret predaje transportnom nivou TCP/IP protokol steka. Putujući nadole, na korisni teret dodaju se UDP, IP i Ethernet zaglavlja kako i Ethernet završni slog. Tako formirani Ethernet okvir spreman je za slanje od protokol konvertera, kroz fizički medij, ka personalnom računaru.

4.3.1.7 Svetlo siva kutija – ulazi i izlazi

U prethodnom koraku iteracije, stvaranja modela protokol konvertera razjašnjen je proces konverzije između I²S i TCP/IP protokol steka. Protokol stek je softversko rešenje koji prosleđuje između svojih nivoa digitalne podatke na unapred definisan način, i na najnižem nivou je povezan sa medijom koji prenosi signale odgovarajućeg protokola. To znači da unutar protokol konvertera, pored softversko implementiranih protokol stekova moraju postojati i hardversko implementirani ulazi i izlazi koji su priključeni na odgovarajuće fizičke signale.



slika 4.36 – blok dijagram svetlo sive kutije konverter protokola

Prema prethodno izloženom (4.3.1.1), fizički medij I²S magistrale podataka je skup bakarnih vodova, koje prenose digitalne signale sa 3.3V naponskim nivoima. Postoje šesnaest linija za podatke (SD), jedna linija za označavanje okvira (WS) i takt (SCK) koji označava pojedine bitove. Da bi te ulazne signale mogao da tumači, protokol konverter mora imati odgovarajuće prilagodno kolo. Na slici 4.36 to prilagodno kolo je prikazano kao digitalni Ulazni/Izlazni međusklop. Kako se radi o vremensko promenljivom signalu, tj. o sinhrono serijskom prenosu potrebno je isti uzorkovati

brzinom takta prenosa, koji je 3,072,000 Hz (10). Čitanje treba vršiti tako da podaci budu poravnati sa granicama okvira, koje označava signal WS, koji ima frekvenciju od 24000 Hz (6).

I²S magistrala paralelno prenosi šesnaest, serijskih SD signala. Podaci na tim linijama su po sadržaju nezavisni. Ipak, zbog istovremenog uzorkovanja i zajedničkog taktnog signala bitovi su međusobno, vremenski poravnati. To omogućava da sve linije za serijski prenos bitova podataka mogu biti uzorkovane zajedno, paralelno. U slučaju date konfiguracije (*slika 4.8*) to znači da će biti pročitani bitovi koji se u magistrali nalaze jedan „ispod“ drugog. Takav način čitanja podataka će uzrokovati transponovanje bitova unutar WS okvira. Svi bitovi će biti bez gubitaka pročitani, ali će bitovi biti preuređeni prema poznatoj šemi transponovanja. „Raspršene“ bitove na prijemnoj strani – sa poznatim algoritmom za reindeksiranje – moguće je vratiti na originalna mesta i ispravno pročitati. Opis reindeksiranja prikazan je u poglavlju 8.2.2.

Pristigle podatke tokom formiranja korisnog tereta treba negde pohranjivati, za tu svrhu u tom bloku potrebno je integrisati memoriju. Novoformirani korisni teret treba predati TCP/IP protokol steku. Blok za formatiranje podataka i stek mogu biti implementirani u potpunosti softverski, ali ipak su potrebni i hardverski registri i upravljačka logika.

Izlaz iz TCP/IP steka je Ethernet okvir koji se mora predati fizičkom mediju za prenos. Protokol konverter treba da na svom izlazu šalje podatke na Fast Ethernet mrežu, za izlaz je predviđen RJ45 konektor na koji se može priključiti UTP CAT5 kabl. Slično ulaznom međusklopu, na izlazu mora postojati Ethernet međusklop, to je fizičko kolo koje vrši slanje Ethernet okvira preko izlaznog konektora u fizički medij mreže.

4.3.1.8 Bela kutija

Analogno pojmu crne kutije, postoji i pojam bele kutije [1]. Naspram crne gde su poznati samo reakcije na ulazna delovanja, u slučaju bele kutije poznati su i unutrašnji zakoni ponašanja. U bilo kojoj beloj kutiji uvek ostaje još neki detalj nepoznat ili neobjašnjen. Zbog toga potpuna bela kutija ne postoji, nego možemo govoriti samo o sivoj kutiji.

4.3.1.9 Rezime

U prethodnim poglavljima korišćenjem metode crne kutije, stvoren je model protokol konvertera koji treba da obavlja zadatak konverzije podataka I²S magistrale mernog instrumenta u TCP/IP protokol. Model protokol konvertera od polazne crne kutije, u više iterativnih koraka postala sve svetlija kutija. Nivo bele kutije se nikad ne može u potpunosti postići, na nekom nivou definisanosti mora se prestati sa daljim iteracijama i treba prihvatiti postignut nivo. Tokom analitičkih-sintetičkih istraživanja u vezi projektovanja protokol konvertera, autor se zadovoljio sa nivoom definisanosti koji je postignut sa svetlo sivom kutijom. Smatrano je da model i informacije skupljene tokom ove faze istraživanja su dovoljni za konstruisanje protokol konvertera.

4.3.2 Ugrađeni sistemi u realnom vremenu

Ovo poglavlje bazira se na sadržaju i strukturi knjige *Software Engineering* od autora Ian Sommerville-a [133].

4.3.2.1 Ugrađeni sistemi

Ugrađeni sistem⁶ je računar posebne namene koji obavlja jedan ili manji broj zadataka, koji često imaju vremenska ograničenja kada je obrada podataka u pitanju. Nasuprot personalnom računaru taj računarski sistem je ugrađen u uređaj kojim upravlja [74]. Ugrađeni sistemi su prisutni u svakodnevnim uređajima koji nas okružuju. Pošto su namenjeni za izvršenje malog broja radnji, i kako nemaju zahtevan način komunikacije, projektanti mogu da ih optimizuju kako bi smanjili veličinu i cenu ili da povećaju njihovu pouzdanost, autonomnost napajanja i performanse [155].

Kompleksnost ugrađenih sistema se kreće od malog ručnog sata i MP3 plejera, preko industrijskih robota do upravljanja svemirskom letelicom i nuklearnom centralom. Postoje sistemi koji se baziraju samo na jednom mikrokontroleru, ali i upravljački ormani koji imaju sopstvenu internu mrežu za komunikaciju među modulima.

4.3.2.2 Sistemi u realnom vremenu

U mnogim uređajima, od najjednostavnijih kućnih aparata do proizvodnih linija u privredi, upravljanje vrši računar. Ovi računari su u direktnom kontaktu sa hardverom. Softver kod ovih uređaja je ugrađeni softver u realnom vremenu⁷, koji mora da reaguje na događaje izazvanim od strane hardvera i kao odgovor na iste šalje upravljačke signale. Obično je ovaj softver ugrađen u veći hardverski sistem i mora da u realnom vremenu reaguje na pristigle događaje.

Definicija: *Sistem u realnom vremenu* je takav sistem gde ispravan rad sistema sa jedne strane zavisi od tačnosti rezultata, a sa druge strane od vremena potrebnog da se taj rezultat postigne [133].

Sistemi u realnom vremenu razlikuju se od ostalih sistema. Njihov rad je ispravan ako uspevaju da na događaje reaguju u propisanom vremenu. Slanje odgovora unutar neke vremenske granice je važno kod svih ugrađenih sistema, ta granica može biti kraća ili duža, zato se ne može reći za svaki ugrađeni sistem da je sistem u realnom vremenu.

Ponašanje sistema u realnom vremenu možemo opisati: preko mogućih pobuda, sa odzivima na iste i vremenima potrebnim za odziv [38].

Pobude moguće je svrstati u dve kategorije:

- *periodične pobude* – javljaju se u određenim vremenskim intervalima. Na primer: sistem svakih 20 milisekundi očita stanje prekidača (pobuda) i u zavisnosti od stanja izvrši neku operaciju (odziv).

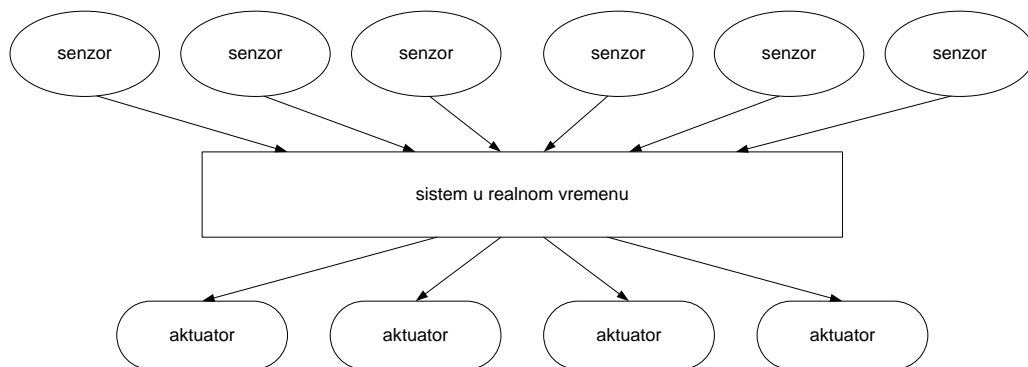
⁶ ugrađeni sistem – engleski: embedded system

⁷ ugrađeni softver u realnom vremenu – engleski: embedded realtime software

- *aperiodična pobuda* – javlja se u nepredvidljivim vremenskim trenucima. Njih obično sistem prihvata preko prekidačkog mehanizma. Na primer: prekid koji označava da je ulazni bafer napunjen, tj. podaci mogu biti isčitani.

Periodične signale pobude u sistemima u realnom vremenu najčešće izazivaju senzori koji su u direktnom kontaktu sa sistemom i čiji je zadatak da daju informacije o stanju okruženja sistema. Generisani odgovori (odziv) se vežu za aktuatore koji utiču na stanje okruženja sistema.

Aperiodične signale mogu da generišu senzori ili korisnik. Ovi signali obično označavaju neko vanredno stanje (događaj) kao što su npr. promena režima rada ili hardverska greška na koju sistem mora da reaguje. *Slika 4.37* prikazuje sensor-sistem-aktuator model sistema u realnom vremenu.



slika 4.37 – uopšteni model sistema u realnom vremenu

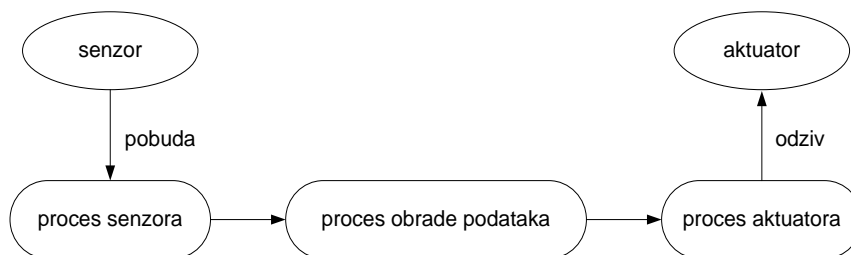
Izvor: Ian Sommerville – [133]

Sistem u realnom vremenu mora da odgovori na sve signale pobude, koji se javljaju u različitim vremenskim trenucima. Zbog toga arhitektura istih mora da bude takva da upravljački signal, kao odgovor na pobudu što pre stigne do cilja [66]. Ovo je neizvodljivo sa programima koji se izvode sekvencijalno. Iz tog razloga softverske sisteme u realnom vremenu treba projektovati kao konkurentne procese koji saraduju. Uređaj za rukovanje tim procesima u realnom vremenu, najčešće sadrži operativni sistem u realnom vremenu⁸. Mogućnosti takvih OS-a moguće je iskoristiti iz viših programskih jezika koristeći sistemske pozive [20].

Preradom modela sistema u realnom vremenu, koji sadrži parove pobuda→odziv (*slika 4.37*) dobija se opšti model arhitekture sa tri vrste procesa (*slika 4.38*):

- svaki tip senzora ima *proces obrade senzora*,
- *računski procesi* vrše izračunavanja na osnovu ulaznih podataka,
- *upravljački procesi* vrše kontrolu aktuatora.

⁸ operativni sistem u realnom vremenu – engleski: RealTime OS ili skraćeno RTOS



slika 4.38 – uopšteni model arhitekture sistema u realnom vremenu sa tri vrste procesa

Izvor: Ian Sommerville – [133]

Na osnovu ovog modela arhitekture moguće je brzo prikupljanje podataka sa ulaznih senzora, pre nego što se pojave novi podaci, i omogućava se da obrada i akcije budu izvršene kasnije. Iz opšte arhitekture moguće je izvesti dve aplikativne arhitekture u realnom vremenu [133]:

- upravljački i monitoring sistemi;
- sistemi za prikupljanje podataka.

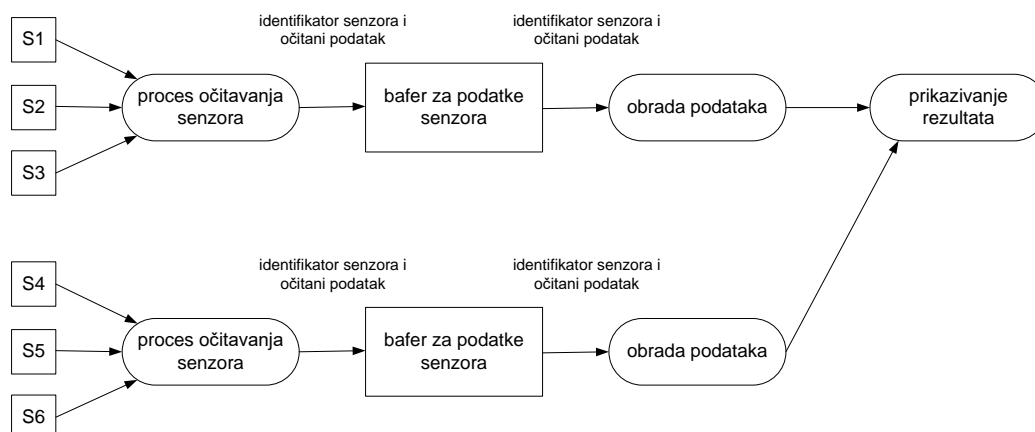
Napomena: Sistemi za nadzor i upravljanje čine važnu grupu sistema u realnom vremenu, ali u kontekstu ovog istraživanja nemaju poseban značaj, iz tog razloga neće biti prikazani.

Sistemi za prikupljanje podataka

Sistemi za prikupljanje podataka⁹ pomoću senzora prikupljaju podatke za kasniju obradu [158]. Ovakvi sistemi se koriste u slučajevima kada količinu prikupljenih podataka nije moguće obraditi u realnom vremenu ili nije potrebna takva obrada. Sistemi za akviziciju podataka često se koriste u naučnim eksperimentima i istraživanjima gde se npr. neki fizički proces vrlo brzo odvija [36].

U sistemima za prikupljanje podataka uobičajeno je da senzori generišu veliku količinu podataka [138]. U takvoj situaciji potrebno je obezbediti redovno očitavanje podataka sa svih senzora, da se izbegne gubljenje podataka [160]. Uzimajući u obzir ovaj problem, sastavljena je uopštena arhitektura sistema za prikupljanje podataka (slika 4.39).

⁹ sistemi za prikupljanje podataka – engleski: data acquisition system



slika 4.39 – uopštena arhitektura sistema za prikupljanje podataka

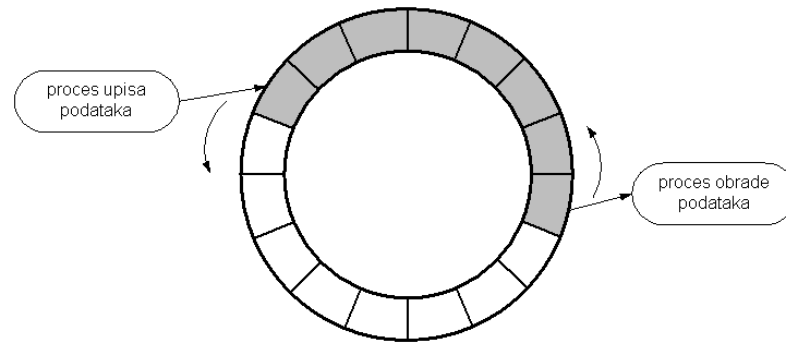
Izvor: Ian Sommerville – [133]

Sušтина ove arhitekture je da su svakoj grupi senzora dodeljena tri procesa:

- *proces za prikupljanje* – je u kontaktu sa sensorima, vrši očitavanje, a po potrebi i analognu/digitalnu konverziju ulaznih vrednosti [5],
- *proces za baferovanje* – obezbeđuje baferovanje podataka pomoću reda [77] ili cikličnog bafera strukture podataka,
- *proces za pražnjenje* – čita podatke iz bafera i vrši dalju obradu podataka.

Postoje različite vrste senzora, njihov broj u grupi je inverzno proporcionalan sa brzinom kojom se generišu podaci [#47]. Na slici 4.39 prikazane su dve grupe senzora, a na desnoj strani slike je dodatni proces [25] za prikazivanje obrađenih rezultata.

U softverskim sistemima za akviziciju u realnom vremenu, često brzina i/ili perioda prikupljanja i obrade podataka nisu međusobno sinhronizovane. Ako npr. obrada podataka sadrži kompleksne operacije lako se može desiti da će proces za prikupljanje generisati više podataka nego što je moguće obraditi, isto tako može se desiti da obradu podataka završimo pre nego što pristigne novi podatak za obradu. Da bi se premostila razlika u brzini prikupljanja i obrade podataka svrsishodno je koristiti strukturu podataka u obliku cirkularnog bafera [157] umesto reda [77] – koji se koristi kod sinhronih procesa. Proces koji generiše podatke upisuje iste u bafer, dok proces za obradu isčitava podatke iz bafera (slika 4.40). Na slici sive lokacije označavaju memorijske lokacije u kojima su podaci koji čekaju obradu, bele ćelije označavaju lokacije u koje se može vršiti upis. Procesi upisa i obrade vrše pristup lokacijama ciklično u smeru označene na slici.



slika 4.40 – procesiranje podataka korišćenjem cirkularnog bafera

Izvor: Ian Sommerville – [133]

Mehanizmi za rad sa cirkularnim baferom moraju onemogućiti pisanje u pun bafer i čitanje iz praznog bafera. Dodatno treba stvoriti mehanizam, koji će obezbediti da ova dva procesa istovremenom pristupu istom elementu [120]. Nezavisno od veličine bafera, ako je učestalost upisa veća od brzine obrade, neminovno će doći popunjenja bafera. Tada će se javiti gubitak podataka ili zbog prepisivanja starih neisčitanih podataka ili zbog neupisivanja novih pristiglih [65]. Nijedna od tih scenarija nije poželjan. Još tokom projektovanja moraju se predvideti i jednoznačno regulisati ponašanje procesa za upis i čitanje u takvim situacijama.

4.3.2.3 Operativni sistemi u realnom vremenu

Izuzev najjednostavnijih, ugrađeni sistemi najčešće sadrže operativni sistem u realnom vremenu. U sistemima u realnom vremenu rad sa procesima; podela resursa; obradu pobude; pokretanje i zaustavljanje procesa; kao i podelu memorije i vremena procesora vrši OS u realnom vremenu [156]. Postoji mnogo vrsta RTOS-a, od jednostavnih i malih koji se ugrađuju u proizvode široke potrošnje preko sistema koje ugrađuju u multimedijalne i mobilne uređaje do kompleksnih koji su projektovani za specijalne upravljačke i telekomunikacione uređaje [41], [W13].

Od veličine i kompleksnosti uređaja zavisi koje će komponente OS-a u realnom vremenu biti upotrebljene [133]. Izuzev najjednostavnijih, RTOS sadrži sledeće komponente:

- sat u realnom vremenu (engleski: real time clock) obezbeđuje informacije za periodične procese,
- serviser prekida (engleski: interrupt handler) obrađuje i hierarhijski razvrstava aperiodične događaje,
- raspoređivač (engleski: scheduler) – ova komponenta je zadužena da od procesa koji su spremni za izvršavanje, izabere jedan koji će se izvršavati [120],
- upravljač resursima (engleski: resource handler) – dodeljuje memoriju i vreme procesora, procesu koji je izabran za izvršavanje,
- distributer – odgovoran je za pokretanje procesa.

Operativni sistemi u realnom vremenu koji su predviđeni za kompleksnije uređaje – npr. upravljački i telekomunikacioni sistemi – mogu sadržati i dodatne komponente kao:

- rad sa pozadinskom memorijom [157],
- detekciju i javljanje sistemskih grešaka,
- dinamičku rekonfiguraciju aplikacije u realnom vremenu [12].

4.3.2.4 Jezici razvoja sistema u realnom vremenu

Programski jezici koji se koriste za razvoj softverskih sistema u realnom vremenu moraju obezbediti pristupanje hardveru i pružati mogućnost za procenu vremena, potrebnog za izvršavanje pojedinih operacija. U sistemima sa strogim vremenskim zahtevima – gde se rezultati smatraju samo onda ispravnim ako su na raspolaganju unutar određene vremeske granice – najviše rasprostranjeni jezik programiranja je asemblerski jezik [38]. Na tom programskom jeziku je moguće pisati rutine, koji su najbliže hardveru i zadovoljavaju vremenske zahteve u izvršavanju. Razvoj u mnemoničkom kodu zahteva najviše vremena od svih vrsta programiranja za koji su potrebniiskusni programeri. Njihov rad potpomažu procesorsko specifične biblioteke, višestruko testiranih asemblerskih rutina i makro funkcije za rad sa memorijom, periferijama, protokolima kako i sa ostatkom hardvera. U cilju ubrzanja razvoja i stvaranja koda koji se lakše održava, koristi se mešanje jezika programiranja: samo vremensko kritične rutine se implementiraju u assembleru, a ostatak koda se piše u višem programskom jeziku. U tu svrhu u širokoj primeni su C i C++ programski jezici [63]. Prevodioci ovih jezika generišu efikasan izvršni kôd blizak hardveru koji se jednostavno može spajati sa asemblerskim rutinama i kodom[51].

Prednost jezika niskog nivoa sličnom C jeziku je u tome što možemo razviti vrlo efikasne aplikacije. Mana ovih jezika je, da ne sadrže konstrukcije za konkurentni ili podeljeni pristup resursima, zato ti funkcionalnosti ostvaruju se preko sistemskih poziva operativnog sistema u realnom vremenu [61]. Prevodioci ne mogu da vrše dubinsku, semantičku proveru tih poziva. Zbog implicitnih funkcija, analiza ovakvog programskog koda je otežana, što može dovesti do povećavanje broja programskih grešaka.

U prethodnim godinama puno se radilo na tome kako bi programski jezik Java bio proširen alatima koji su potrebni za razvoj softverskih sistema u realnom vremenu¹⁰. Ovi radovi su se odnosili na promenu samog programskog jezika da bi mogli da se reše fundamentalni problemi koji se javljaju kod sistema u realnom vremenu. Problemi sa Java programskim jezikom su:

- Nemogućnost zadavanja vremena izvršavanja pojedinih niti.
- Nemogućnost kontrolisanja mehanizma za prikupljanje smeća¹¹. Proces može početi u bilo kom momentu i zbog toga tempiranje niti je neizračunljivo.

¹⁰ Nilsen 1998; Higuera-Toledano i Issarny 2000; Hardin i dr. 2002

¹¹ prikupljanje smeća – engleski: garbage collection

- Nemoguće je saznati dužinu reda čekanja za deljene resurse.
- Implementacija Java Virtuelne Mašine (JVM) je različita od računara do računara, tj. isti program na raznim platformama pokazaoće različite vremenske karakteristike.
- Java jezik ne omogućava, tokom izvršavanja programa, detaljnu analizu procesora i memorije.
- Ne postoji standardizovan način pristupanja hardveru.

Verzije Jave za rad u realnom vremenu – kao što su npr. Sun J2ME (Java 2 Micro Edition) su dostupne za korišćenje [W28]. Više softverskih kuća su izradile JVM za razvoj softverskih sistema u realnom vremenu. Ovi koraci pokazuju da se može očekivati da će programski jezik Java uskoro biti u primeni kao programski jezik za razvoj sistema u realnom vremenu.

4.3.2.5 Modeliranje softverskih sistema u realnom vremenu

Softverski sistemi u realnom vremenu moraju reagovati na događaje koji se javljaju u slučajnim vremenskim intervalima. Ovi događaji često prevode sistem iz jednog u neko drugo stanje, zbog toga za opis sistema u realnom vremenu, često se koristi model mašine stanja¹².

Pomoću modela automata stanja može se jezički nezavisno zadati plan sistema u realnom vremenu, zato oni čine jedan od glavnih metoda za dizajn takvih sistema [25]. Razvoj i prikaz modela stanja sistema pomaže UML i njegovi dijagrami stanja. Dijagrami stanja strukturiraju modele stanja sistema i na taj način pojedine grupe stanja možemo posmatrati kao posebne entitete. Model stanja sistema pretpostavlja da se sistem u bilo kojem trenutku, od mogućih stanja, nalazi u tačno jednom određenom stanju. Jedan događaj može sistem prevesti u neko drugo, ali to stanje je i daje određeno, unapred definisano stanje.

Pojedinačni dijagrami stanja mogu predstavljati opis dinamičkog modela jedne klase, paketa ili čitavog sistema [141]. Dijagrami stanja koriste se za prikazivanje prostora stanja, odnosno svih mogućih stanja - sistema, paketa ili objekata - i događaja koji iniciraju prelaz iz jednog stanja u drugo, kao i akcija i aktivnosti koje se izvršavaju kao rezultat promene stanja.

4.3.2.6 Dizajn softvera za sisteme u realnom vremenu

Sastavni deo dizajna softvera za sisteme u realnom vremenu je da se mora doneti odluka o tome koje funkcionalnosti se žele ostvariti softverski, a koje se prepuštaju hardveru. U uređajima široke primene – npr. mobilni telefon – cena hardvera i potrošnja su značajni faktori koje uzimaju u obzir za vreme projektovanja. Tokom razvoja ugrađenih sistema često postoji mogućnost i/ili potreba za korišćenjem specijalnih procesora, integrisanih kola ili projektovanje specijalnog namenskog hardvera [32].

¹² mašina stanja – ili automat stanja, engleski: state machine

U slučaju strategije projektovanja od gore na dole¹³, projektovanje polazi od apstraktnog modela koji se postepeno razlaže na manje celine. U sistemima u realnom vremenu ta strategija se ne može koristiti, jer odluka o korišćenom hardveru je niskog nivoa, kao i odluke o korišćenom softveru i tajmingu pojedinih procesa, mora se doneti još u ranoj fazi dizajna [155].

U fokusu procesa dizajna softvera u realnom vremenu ne stoje objekti, metode, funkcije i podaci [104] nego događaji tj. pobuda. Dizajn se sastoji od više koraka koji se međusobno preklapaju [6], [38], [133]:

1. Potrebno je odrediti sve pobude koje sistem treba da obradi, takođe treba odrediti i odgovarajuće reakcije i akcije na iste.
2. Za svaki par pobuda-odziv, treba odrediti tajming tj. kakva su vremenska ograničenja od pobude, preko obrade i dobijanja rezultata, do akcije.
3. Potrebno je izabrati platformu na kojoj će se softver izvršavati, tj. odrediti koji će hardver i OS u realnom vremenu biti korišćen. Izbor ograničavaju sledeći činioci:
 - vremenska ograničenja,
 - energetska ograničenja,
 - budžet projekta,
 - iskustvo i predznanje razvojnog tima.
4. Prikupljanje ulaznih podataka (pobuda) i obrada istih mora se razvrstati u konkurentne procese. Kao polazna osnova može se upotrebiti uopšteni model arhitekture sistema (*slika 4.38*). Za svaku klasu pobude i odziva dodeljuje se po jedan proces.
5. Za svaki par pobuda-odziv projektuje se odgovarajući algoritam. Naspram uobičajenih OO softverskih sistema ovo treba uraditi još u relativno ranoj fazi dizajna, da bi informacije o potrebnim instrukcijama obrade (npr. celobrojno ili racionalno računanje, osnovna aritmetika ili trigonometrija itd.) i o očekivanom opterećenju procesora bili poznati.
6. Potrebno je izraditi sistem vremenskog upravljanja, koji će biti zadužen za pravovremeno pokretanje i zaustavljanje procesa.

Redosled ovih koraka zavisi od tipa sistema koji se dizajnira, od procesnih i platformskih zahteva. U nekim slučajevima može se krenuti od pobude i obrade a izbor platforme se može ostaviti za kasniju fazu dizajniranja. U drugim slučajevima izbor hardvera i OS-a je prvi korak ili je to već određeno i dato od strane naručioca, pre početka softverskog projektovanja.

Procesi softverskog sistema u realnom vremenu moraju se koordinirati. Mehanizmi za koordiniranje procesa obezbeđuju da ne dođe do međusobnog isključivanja kod pristupa deljenim resursima, tj. ako neki proces koristi jedan od deljenih resursa, onda nijedan drugi proces ne sme da pristupa istom [120]. Najčešće korišćene metode za sprečavanje međusobnog isključivanja su:

¹³ (projektovanje) od gore na dole – engleski: top-down

- semafori (Dijkstra, 1968),
- monitori (Hoare, 1974),
- kritične oblasti (Brinch-Hansen, 1973).

Kada je izabrana platforma za izvršavanje, dizajnirana arhitektura procesa i određena politika tajminga, mora se izvršiti test sistema da bi se saznalo da li ispunjava vremenske zahteve. Test može se izvršiti statičkom analizom ili simulacijom. Moguće je da će test dati rezultate, koji ukazuju na to da projektovani sistem ne ispunjava zadate zahteve [132]. U tom slučaju, da bi dobili veću i odgovarajuću produktivnost sistema, moraju se promeniti ili redizajnirati arhitektura procesora, vremenski tajming, platforma za izvršavanje ili čak sve te komponente.

Sistemi u realnom vremenu moraju da ispoštuju vremenska ograničenja, zato nije svrsishodno koristiti takve strategije dizajna koje tokom implementacije povećavaju opterećenje sistema [4]. Na primer: interpreterski programski jezici zahtevaju više vremena za izvršavanje programa; objektno orijentisani programski jezici sakrivaju prezentaciju podataka, tj. vrednostima atributa moguće je pristupati samo preko metoda objekata [25]. Ako se koristi OOP tip razvoja za gradnju sistema, metode za pristup podacima će generisati dodatni kôd koji se mora izvršiti, tj. unosi se dodatno vremensko kašnjenje.

Zbog vremenskih i drugih ograničenja može se desiti da neke funkcije/funkcionalnosti – npr. obradu signala – moraju biti predati, za takve predviđene zadatke, specijalizovanom hardveru [32]. Ugradnjom specijalizovanih hardverskih procesnih elemenata može se postići značajno veći učinak nego sa softverskim rešenjem koji radi isti proces obrade [65]. Skupocena optimizacija softvera se može izbeći, ako se pronađu uska grla u radu softvera i ako se ti delovi – ako je to moguće – zamene odgovarajućim namenskim hardverskim elementima [142], [143].

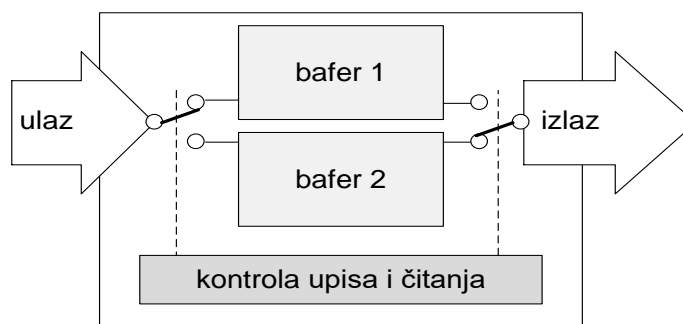
4.3.3 Upravljanje memorijom i tokom podataka

4.3.3.1 Ping-pong bafer

Ping-pong bafer – ili page flipping – je tehnika koji koristi dvostruki memorijski bafer u cilju da ubrza rad uređaja koji je sposoban da preklapa U/I radnje sa obradom podataka. Kod ove metode pisanje podataka se vrši u prvi bafer, istovremeno isčitavanje prethodno pristiglih podataka vrši se iz drugog bafera. Nakon što oba procesa završe rad sa svojim aktuelnim bafenom, istovremeno međusobno razmene bafere, tj. preusmere svoj rad na drugi bafer. Unakrsni prelazak na rad sa podacima drugog bafera je efikasan; umesto kopiranja svih podataka, u procesima čitanja i pisanja unakrsno se razmenjuju vrednosti pokazivača bafera. Ova tehnika se često koristi u računarskim mrežama i prenosa multimedijalnih sadržaja.

Prema [58] baferi mogu biti obične RAM memorije koje su odvojeni, ili specialne memorije koji podržavaju istovremeni dvostruki pristup (Dual Access RAM - DARAM). Memorije sa dvostrukom pristupom su skuplje i izrađuju se sa manjim memorijskim kapacitetom. Postoje procesori koji imaju hardversko integrisane DARAM memorije, ograničenih kapaciteta, ali velike brzine [W13].

Procesi punjenja/pražnjenja i obrade podataka, šalju svoje zahteve i podatke ping-pong baferu sa kapacitetom od M jedinica. Upravljački mehanizam za upis/čitanje ping-pong bafera obezbeđuje ispravno adresiranje i korišćenje memorija koji imaju pojedinačni kapaciteta od M jedinica. Za kontinualni rad bafera bez gubitaka potrebno je da proces punjenja, obrade i pražnjenja bude iste brzine. U ovom slučaju dva bafera se naizmenično koriste za upis i čitanje (slika 4.41).



slika 4.41 – naizmenično pisanje/čitanje dva bafera

4.3.3.2 Token-kofa

Token-kofa¹⁴ algoritam koristi se u komunikacionim sistemima sa komutacijom paketa (3). Pomoću ovog algoritma mrežni saobraćaj moguće je oblikovati na taj način da se od određenog broja pristiglih manjih paketa formiraju veći paketi.

Algoritam token-kofe je apstrakcija kofe sa sledećim pravilima:

- kofa može primiti konačni broj MAX žetona (tokena),
- u kofu pristiže nov žeton svake $1/učestalost$ sekunde,
- ako je kofa puna, novopristigli žeton se gubi, dolazi do preliivanja kofe,
- ako u kofi ima barem N broj žetona ($N < MAX$), N komada žetona se odstranjuju i šalju dalje kao jedna celina,
- tokeni se odstranjuju onim redosledom u kojem su pristigli.

Token-kofa je različita od bušne-kofe¹⁵ [150]. Neka svojstva ta dva algoritma ponašaju se kao komplementi jedno drugome, npr.: dok je u slučaju token-kofe upis konstantne brzine, dotle je kod bušne-kofe isčitavanje konstantne brzine [49]. Nijedna od navedenih kofi ne menja redosled paketa, obe se ponašaju kao red [77].

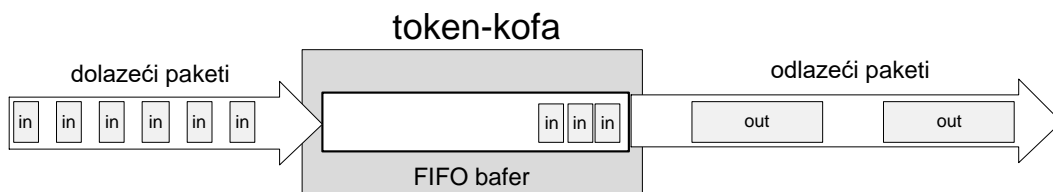
Implementacija token-kofe je bafer. Tokeni su paketi podataka određene bajt veličine, koji pristižu u konstantnim vremenskim razmacima u bafer. Kontinualno se testira sadržaj bafera, da li se sakupio prepisana količina tokena (tj. paketa ili bajta). Ako ih ima dovoljno, predviđena količina tokena se isčitava iz bafera i prosleđuje se dalje.

¹⁴ token-kofa – engleski: token bucket

¹⁵ bušna-kofa – engleski: leaky bucket

Zajedno, kao jedna veća celina. Ako nema dovoljno tokena, čeka se sledeći test, bez promene sadržaja bafera.

Token-kofa hardverski se realizuje sa RAM baferom, koji radi u FIFO režimu (*slika 4.42*), tj. prvi pristigli paket će biti prvi prosleđen dalje tokom isčitavanja.



slika 4.42 – token-kofa realizovana kao FIFO RAM bafer

4.4 EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Teorijska istraživanja – tokom kojih su prikupljeni, sistematizovani i izučavani relevantni podaci u vezi sa problemom i predmetom istraživanja – sledila su analitička-sintetička istraživanja. To istraživanje je za rezultat dalo model protokol konvertera, koji je predviđen da vrši konverziju podataka I²S magistrale mernog instrumenta u TCP/IP protokol. Definisani su i opisani ulazni i izlazni medijumi i protokoli, kao i interne transformacije i funkcije svetlo sive kutije, ali nisu objašnjeni svi detalji.

Zbog prirode predmeta i problema istraživanja, u cilju provere ispravnosti zacrtanog rešenja, model protokol konvertera bio je potrebno realizovati namenskim hardverom. Tokom praktične izvedbe uređaj je bio podvrgnut naučnom eksperimentu. Očekivalo se da će praktični rad otkriti kritične tačke u projektovanju, dati nova, boja rešenja i pružati odgovore na neobjašnjene detalje sive kutije.

Koraci eksperimentalnog istraživanja – koji su se sastojali od hardverske i softverske implementacije, test merenja i poboljšanja rešenja – iterativno su vršeni u akreditovanim laboratorijama visokoškolskih institucija (8.1.1).

4.4.1 Upravljanje konverterom protokola

Na blok dijagramu svetlo sive kutije (*slika 4.36*) prikazana je poslednja analitička iteracija transformacije crne kutije u belu. Osim međusklopova na ulazu i izlazu, postoje i dodatni moduli koji ostvaruju od njih zahtevane funkcionalnosti. Saradnja međusklopova i modula tokom rada konvertera protokola najjednostavnije se postiže sa modulom za upravljanje.

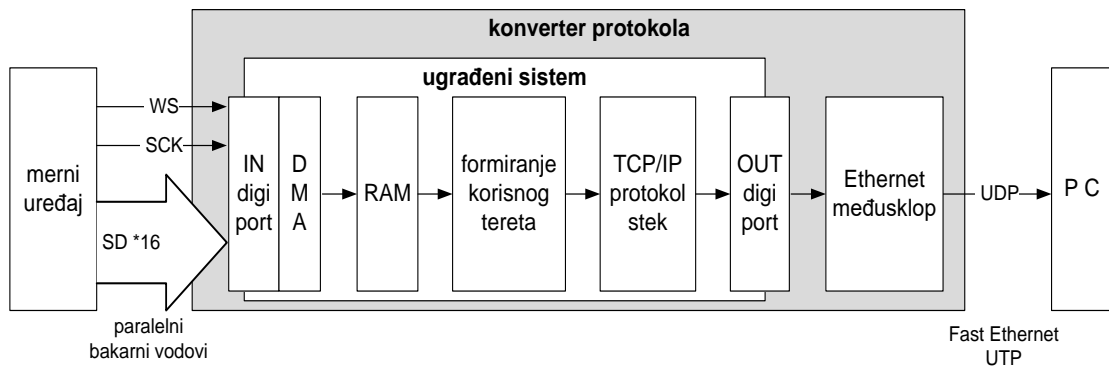
U protokol konverteru treba vršiti mali broj različitih zadataka. Za izvršavanje tih zadataka, svrsishodno je koristiti računar posebne namene, koji je ugrađen u uređaj kojim se upravlja. Konverter protokola ima poznata vremenska ograničenja u vršenju zadatka konverzije. Uzimajući u obzir date činjenice zaključeno je, da je za upravljanje protokol konverterom potrebno koristiti ugrađeni sistem u realnom vremenu. Korišćenje te tehnologije i rešenja zahtevali su dodatna teoretska istraživanja. Saznanja stečena istraživanjem u vezi ove teme su prezentovana u poglavlju 4.2.2.

4.4.1.1 Model ugrađenog sistema protokol konvertera

Ugradnjom upravljačke jedinice sa memorijom, predviđeni ulazi, izlazi i ostvarena funkcija protokol konvertera ostaju isti, samo se menja unutrašnja organizacija modula.

Računari posebne namene koje se koriste kao platforme u ugrađenim sistemima imaju digitalne U/I portove i međusklopove prikladne za priključivanje na sisteme sa sličnim signalima. Ti računari imaju svoju prekidačku strukturu koja pomaže u obradi periodičnih i aperiodičnih pobuda. Među tim prekidačima često se nalazi i DMA, koji omogućava prenos podataka između raznih lokacija memorije i/ili U/I portova, bez interakcije mikroprocesora. Kod nekih računarskih platformi integrisan je i Ethernet međusklop, a kod nekih je moguće dodati ga kao poseban hardverski modul. U slučaju korišćenja posebnog Ethernet modula komunikacija je moguća preko izlaznih digitalnih portova.

Na slici 4.43 prikazan je redizajnirani blok dijagram modela protokol konvertera sa integrisanim upravljačkom ugrađenom sistemom. Na slici nije prikazana procesorska jedinica ugrađenog sistema, koja vrši stvarno upravljanje portovima i modulima. Zbog velikog protoka podataka – ~50Mbit/s (15) – predviđa se da će moduli za formiranje korisnog tereta i TCP/IP protokol steka intenzivno koristiti RAM memoriju.



slika 4.43 – blok dijagram protokol konvertera sa ugrađenim sistemom upravljanja

Prikazana arhitektura slična je ugrađenim sistemima za prikupljanje podataka (slika 4.39). Takvi sistemi imaju tri osnovna procesa: proces za prikupljanje, proces za pohranjivanje i proces za pražnjenje podataka. Konverter protokola nema tastere za interakciju korisnika i displej za prikazivanje podataka i za te radnje ne treba rezervirati resurse, ali ima dve radnje koje mora da izvršava u realnom vremenu:

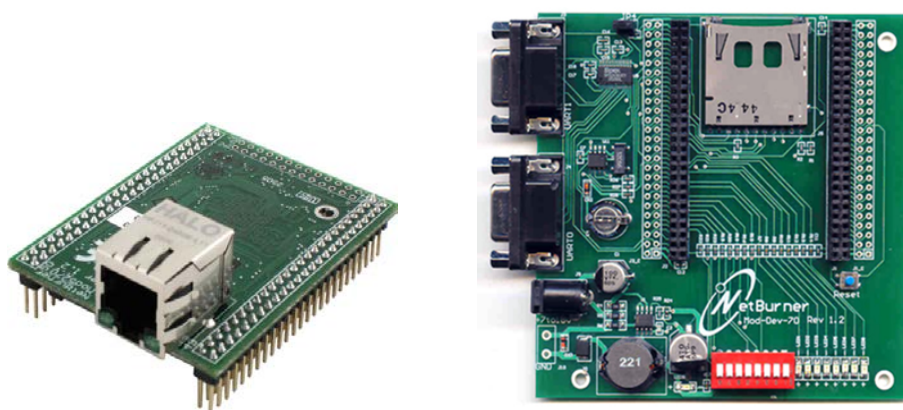
- Prikupljanje i pohranjivanje I^2S toka podataka. Merni uređaj periodično šalje 16 bita podataka svakih 325 ns (11), tj. frekvencija pobude je 3,072,000 Hz (10).
- Od 1280 bajta (19) podataka formira paket korisnog tereta, koji preko TCP/IP protokol steka šalje kao UDP datagram. Učestalost ove radnje je 4800 puta u sekundi (20).

Te dve radnje će biti glavni, konkurentni procesi ugrađenog sistema.

4.4.1.2 Procesorska platforma za ugrađeni sistem

Kod izbora platforme za korišćenje u konverteru protokola, vremenska ograničenja isključuju korišćenje 8 i 16 bitnih mikrokontrolerskih platformi – koje su tokom realizacije projekta bile na raspolaganju – kao što su npr. PIC, ATMEL, TI MSP. Pored brzine obrade, bitan uticaj na izbor platforme bilo je podržavanje Fast Ethernet komunikacije, kao i lično iskustvo autora.

Izabran je Freescale-ov ColdFire 5270 mikrokontroler [W13], koji je naslednik Motorola MC68000 procesora. Sa tim procesorom RISC arhitekture, proizvođač Netburner [W23] je napravio procesorsku ploču MOD5270 [W24] (*slika 4.44 levo*) koja se nudi i u varijanti sa razvojnom pločom „NDK – Network Development Kit“ i razvojnim okruženjem [W25] (*slika 4.44 desno*).



slika 4.44 – MOD5270 procesorski modul (levo), NDK razvojna ploča (desno)

Izvor: Netburner, [W24] i [W25]

Važnije karakteristike MOD5270 procesorske ploče su :

- 32 bitni Freescale ColdFire 5270 procesor sa integrisanim 512 kbyte flash i 64 kbyte SRAM memorijom i integrisanim Fast Ethernet međusklopom;
- 141 Dhrystone v2.1 MIPS-a, pri sistemskom taktu od 147.5 MHz;
- 2 Mbyte SDRAM-a na ploči, sa mogućnošću proširenja;
- 10/100 Ethernet RJ-45 priključak;
- 100 pinski konektor sa signalima procesora, za nadogradnju;
- višekanalni periferni interapt i DMA mogućnost;
- potrošnja: 450 mA pri napajanju od 3.3 VDC;
- dimenzije 5 x 7 cm.

Network Development Kit razvojnim okruženje sadrži:

- 2 asinhrona serijska porta;
- naponski stabilizator;
- 8-8 digitalnih ulaza i izlaza;

- konektor za SD memorijsku kartu;
- μ C/OS RTOS - operativni sistem u realnom vremenu;
- TCP/IP stek i web server – softverske biblioteke;
- ANSI C/C++ prevodilac;
- NetBurner Eclipse IDE – integrisano razvojno okruženje sa mogućnošću programiranja sistema preko asinhronne serijske veze ili Ethernet mreže;
- Ethernet mrežni i RS232 serijske kablove.

Platforma odgovara sledećim zahtevima:

- vremenskog ograničenja – 147.5 MHz, 32 bitni procesor,
- budžetu projekta – procesorski modul košta 79 USD (cena 2016. godine),
- iskustvu i predznanju razvojnog tima – iskustvo sa MC68000.

Posebne pozitivne karakteristike platforme:

- programibilni 8, 16 i 32 bitni DMA između portova i RAM-a,
- Fast Ethernet ugrađeni međusklop,
- paket sadrži softversku biblioteku TCP/IP steka,
- paket sadrži RTOS, koji podržava upravljanje sa konkurentnim procesima,
- mogućnost za korišćenje C/C++ u razvojnom okruženju.

4.4.2 Iterativno rešenje problema

U cilju provere metode za konverziju podataka I²S magistrale u TCP/IP protokol, i na osnovu modela protokol konvertera koji sadrži ugrađeni sistem pristupilo se fizičkoj realizaciji. Hardver protokol konvertera u laboratorijskim uslovima više puta je izložen različitim uslovima rada, kada su mereni parametri od interesa u cilju provere ispunjenosti zacrtanih performansi. Promenljive merenja koje su korišćene kao pokazatelji bile su: brzina protoka podataka, pouzdanost prenosa podataka i stepen gubitaka tokom prenosa. Kako se radi o digitalnom sistemu bilo je moguće reprodukovati istovetne uslove rada i opterećivanja tokom ponovljenih merenja i ispitivanja.

4.4.2.1 Komunikacija sa Ethernet mrežom

Paralelno su tekli eksperimenti sa protokolima prenosa obe strane protokol konvertera. Tokom analitičkih-sintetičkih istraživanja, izvršen je izbor medija i protokola za FastEthernet komunikaciju (4.3.1.4). Za protokol je izabran UDP, ali u prvoj fazi eksperimenata vršena su merenja parametara komunikacije i sa TCP protokolom. Eksperimenti su projektovani i realizovani u saradnji sa inženjerom zaduženog za razvoj klijent softvera za prijem paketa podataka na personalnom računaru i za pisanje softvera za distribuirano pohranjivanje podataka na masovne pozadinske medije [26].

TCP slanje i prijem

Testovi sa ovim protokolom, potvrdili su zaključke analitičkih istraživanja: TCP je pouzdan u prenosu podataka, ali uspostavljanje veze, kontrola prenosa i korekcija izgubljenih paketa čine ovaj način prenosa sporim i glomaznim.

Prva merenja su dala maksimalnu brzinu prenosa sa TCP-od od 17.8 Mbit/s. U ovom slučaju formiranje i slanje TCP paketa vršeno je iz eksterne memorije koja se nalazi na MOD5270. Posle prelaska na korišćenje unutrašnje, integrisane memorije, ova brzina se povećala na 22 Mbit/s. Ova brzina prenosa ne zadovoljava zahteve za prenos tokom konverzije podataka sa I²S magistrale, koji zahteva: 49.152 Mbit/s (15).

UDP slanje i prijem

Procesorska ploča MOD5270 na prvim testovima slanja UDP datagrama dostigla je brzinu slanja podataka od 0.2 Mbit/s. Ovo stanje je nastalo zbog procesa nižeg prioriteta, koji je zadužen za inicijalizaciju tabele sa ARP podacima. Posle reorganizacije redosleda inicijalizacije ugrađenog sistema i prelaskom na korišćenje interne memorije, merenja su pokazala brzinu UDP slanja od 66 Mbit/s. Tokom ovog merenja nije formiran novi UDP datagram posle svakog slanja, nego je slat uvek isti.

Od ove količine UDP datagrama, klijent softver računara uspeo je da prihvati 29 Mbit/s, što predstavlja gubitak veći od 50%. Direktna veza između modula i računara proširena je sa aktivnim mrežnim elementom. Analiza izveštaja sviča je pokazala, da su svi UDP datagrami isporučeni na FastEthernet interfejs računara, i da se gubitak paketa javlja u klijent aplikaciji. Promena jezika za razvoj klijent programa sa interpreterskog na C#.NET otklonila je ovu grešku.

Nastavljeni eksperimenti su pokazali da se periodično, svakih 5 minuta gubi manja grupa UDP datagrama. Ova greška se mogla primetiti samo posle otklanjanja prethodne dve. Problem je izazvala RTOS softverska biblioteka za implementaciju TCP/IP steka. U toj biblioteci, jedna rutina izvršila je svakih 300 sekundi brisanje i ponovno generisanje ARP tabele. Što je izazvao stanje slično prvoj grešci. Produženje životnog veka ARP tabele na maksimalnih mogućih 12 sati, dala je odgovarajuće rezultate.

Uspešno je postignut prenos UDP datagrama brzinom većom od 49.152 Mbit/s (15).

Sledeći eksperiment je imao cilj da utvrdi ukupnu količinu vremena potrebnog za UDP proces. Taj proces u sebi sadrži zadatke:

- stvaranje Ethernet okvira,
- slanje Ethernet okvira.

Stvaranje Ethernet okvira sastoji se od formiranja UDP datagrama – podaci sa zaglavljem – i rada softverskog TCP/IP steka na formiranju krajnjeg Ethernet okvira. Prema merenjima, ova dva zadatka zajedno izvrše se za: $t_{\text{framing}} = 24\mu\text{s}$ (42) (slika 4.59).

Slanje Ethernet okvira sastoji se od prenosa Ethernet okvira iz interne memorije procesorskog modula preko eksterne magistrale do Ethernet međusklopa. Prema merenjima, ovaj zadatak traje: $t_{\text{ETH}} = 148\mu\text{s}$ (43) (slika 4.60).

Ukupno izmereno procesorsko vreme koji je potrebno za izvršavanje UDP procesa je:

$$t_{UDP_task} [\mu s] = t_{framing} [\mu s] + t_{ETH} [\mu s] = 24 \mu s + 148 \mu s = 158 \mu s \quad (24)$$

Posle navedenih promena izvršeno je merenje sa periodičnim formiranjem UDP datagrama od 1280 bajta i TCP/IP paketa posle svakog poslatog paketa.

Rezultati merenja su:

- brzina prenosa podataka = 63 Mbit/s,
- pouzdanost preuzimanja podataka = 100%,
- stepen gubitaka u prenosu = 0%,

Tumačenje rezultata: MOD5270 pokazuje brzine slanja od ~6000 Ethernet okvir/s pri veličini korisnog tereta UDP datagrama od 1280 bajta.

Zaključak: Izabrana procesorska ploča i postavljena konfiguracija zadovoljava postavljene zahteve za gradnju protokol konvertera.

4.4.2.2 Preuzimanje podataka sa magistrale

Za uzorkovanje signala I²S magistrale – koji su vezani na digitalne ulaze MOD5270 – moguće je koristiti različita softverska i hardverska rešenja. Praktična ispitivanja sa tim rešenjima dala su sledeća rezultate:

Korišćenjem prekida

Polling

Polling je tehnika u kome upravljačka jedinica (obično procesor) stohastički ili periodično šalje periferiji ili periferijama upite o statusu. Taj upit npr. Može da proveriti status periferije o zahtevu za slanje podataka ili o mogućnosti da primi podatke. Iskorišćenost procesorskog vremena koja se dodeljuje polling procesu je vrlo mala. Ovu tehniku po mogućnosti treba izbegavati. Umesto ovog načina, predlaže se korišćenje prekida koje izazivaju periferije.

Na I²S magistrali najveća moguća brzina promene signala je $f_{SCK} = 3,072,000$ Hz (10). Za ispravno utvrđivanje stanja digitalnog ulaza sa tehnikom pollinga, interni tajmer morao bi pokrenuti uzorkovanje stanja ulaza sa barem dvostruko većom učestalosti tj. $f_{POLLING} \sim 6$ MHz. Ta brzina je ~1/24 brzina sistemskog takta ColdFire 5271 procesora (4.4.1.2). Ako bi procesor izvršavao jednu mašinsku instrukciju za jedan takt, i onda bi imao samo 24 instrukcije za: čitanje podataka sa porta, pohranjivanje podatka u bafer, za formiranje i slanje UDP datagrama. To sa tako malo instrukcija nije izvodljivo. Tehnika pollinga je odbačena za prihvatanje podataka I²S magistrale.

Interrupt

Prekidni sistem modula MOD5270 podržava unutrašnje i vanjske izvore prekida. U ovom testu izvršeno je uzorkovanje podataka, korišćenjem unutrašnjeg tajmera kao izvora prekida i uzlazne ivice SCK signala, kao izvora vanjskog prekida. U oba slučaja učestalost prekida bi bila $f_{INT} = f_{SCK} = 3,072,000$ Hz (10). Analogno rezonovanju kao kod polling tehnike, procesor bi imao 48 takta rada između dva prekida. Količina mašinskih naredbi koji su na raspolaganju između dva prekida nisu dovoljne za sve

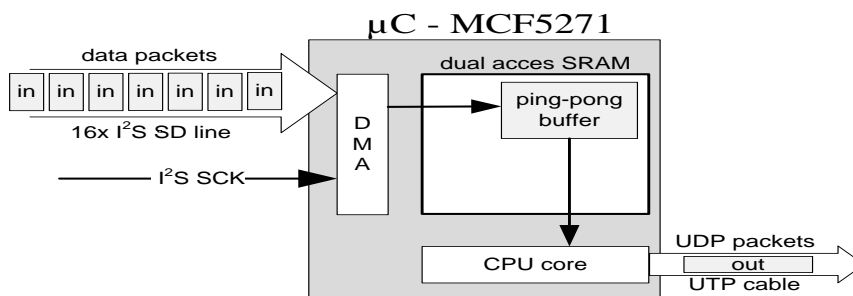
predviđene radnje prijema, obrade i slanja. Posle test merenja, odbačeno je prihvatanje podataka I²S magistrale tehnikom prekida.

Korišćenjem DMA

DMA word transfer

Metoda direktnog pristupa memoriji razvijena je za prenos podataka između izvora i cilja unutar mikrokontrolerskog okruženja bez aktivnog učešća procesora. Prenosom upravlja programibilni DMA kontroler, kome se zadaje adresa/mesto izvora i cilja, kako i količina i širina podataka koja se mora preneti. Kada konfigurisani DMA kontroler dobije dozvolu, izvršiće transfer u najkraćem mogućem roku.

MCF5271 procesor (4.4.1.2) podržava četiri nezavisna programibilna DMA kanala. Izvor i cilj DMA transfera može se nalaziti unutar vanjskog i unutrašnjeg memorijskog prostora ili perifernog U/I prostora. Ideja za realizaciju je da podaci I²S magistrale DMA-om budu pročitani sa periferije i smešteni u unutrašnji SRAM memoriju procesora. Ova interna memorija ima dvostruki set magistrala i omogućava simultani pristup DMA kontroleru i procesorskom jezgru. Zbog ove specijalne osobine tokom projektovanja, deo SRAM prostora je predviđen za realizaciju page flipping, ping-pong bafera (4.2.3.1), između procesa prikupljanja podataka (DMA) i procesa obrade i TCP/IP slanja (slika 4.45). Za pokretanje pojedinačnih DMA transfera izabran je SCK signal I²S magistrale, čija učestalost je $f_{DMA} = f_{SCK} = 3,072,000$ Hz (10).



slika 4.45 – DMA transfer pojedinačnih ulaznih podataka u internu memoriju

Činjenice u vezi realizovanog merenja:

- Konfigurisani DMA uspešno je izvršio transfer jednog 16 bitnog podatka ili reči – potpuna širina I²S magistrale – sa ulaza u interni bafer.
- Uspešno je izvršen istovremeni pristup internoj SRAM memoriji od strane DMA kontrolera i CPU jezgra.
- Predaja i prijem kontrole eksterne magistrale između DMA kontrolera i CPU jezgra je vremenski dugotrajna akcija i zahteva u proseku 80ns.

Rezultati merenja su pokazali:

- učestalost prijema podataka = 3,072,000 word/s,
- pouzdanost preuzimanja podataka = 75-100%,
- obrada podataka = 0%,
- stepen gubitka u prenosu = 100%.

Tumačenje rezultata:

DMA rešenje je doneo polovični uspeh. DMA tehnikom uspešno se mogu prihvatati podaci bez učešća procesorskog jezgra. Usko grlo predstavlja arhitektura sistema: digitalne periferije, eksterna memorija i FastEthernet kontroler nalaze se na eksternoj magistrali MCF5271 procesora. Predaja i prijem kontrole upravljanja nad magistralom zahteva dodatno vreme – u proseku 80ns, koji dodatno produžava svaki započeti transfer. Konkurentni procesi DMA čitanja i UDP slanja dele eksternu magistralu procesora. Ova iteracija implementacije je pokazala da pojedinačni prenos I²S reči podataka DMA tehnikom ne ostavlja dovoljno vremena procesoru za izvršavanje procesa za pripremu i slanje UDP paketa.

Zaključak:

Sistem se ponaša nepredvidljivo, nepouzdan, gubi podatke.

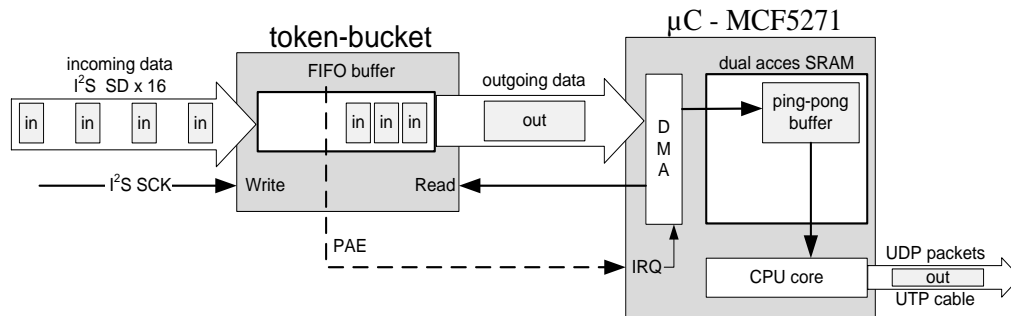
DMA blok transfer

Analizom DMA word transfer eksperimenta uočene su greške u rešenju za realizaciju modela protokol konvertera. DMA prenos podataka po šemi reč-po-reč bio je predviđen za realizaciju, jer u tom obliku stižu podaci od I²S magistrale. Eksperimenti su pokazali, da prednosti tehnike DMA transfera mogu biti iskorišćeni samo, ako se DMA koristi za prenos blokova podataka umesto za prenos pojedinačnih podataka.

Sledio je eksperiment u kome se DMA tehnikom – umesto pojedinačnih podataka I²S magistrale – prenosi blok, koji sadrži sve podatke za formiranje korisnog tereta UDP datagrama. Za formiranje jednog UDP datagrama potrebno je 1280 bajta ili 640 reči podataka merenja (19).

Tehnika DMA blok transfera zahteva da umesto čestih malih količina podataka, na ulaz procesorske ploče stižu ređe, ali veći blokovi podataka. Prema dodatnim teorijskim istraživanjima, algoritam token-kofe (4.2.3.2) je predviđen za takvo oblikovanje mrežnog saobraćaja. Sa token-kofom moguće je oblikovati tok podataka I²S magistrale na način, da se od određenog broja manjih paketa formira jedan veći paket. Za gradnju token-kofe korišćeno je FIFO RAM integrisano kolo SN74V293 [W36]. Ovo specialno građeno RAM kolo ima posebne magistrale za upis i čitanje. Obe magistrale podataka moguće je nezavisno konfigurirati za rad sa podacima od 9 bita ili 18 bita. Nezavisno od broja bitova, maksimalna brzina je 100 miliona upisa/čitanja u sekundi. Integrisano kolo na hardverskom nivou organizuje pokazivače za upis i čitanje. Radi kontrole protoka, na osnovu količine upisanih podataka postoje zastave signalizacije: skoro prazno, poluprazno, skoro pun stanja i sl.

Realizovana token-kofa (*slika 4.46*) odgovara FIFO baferu ili red (engleski: queue) strukturi podataka. Pojedinačni podaci koji konstantnom tempom (10) stižu na ulaz token-kofe, budu zapisane u bafer. Kada zapisana količina podataka pređe granicu (oznaka PAE na *slici 4.46*) koja označava količinu podataka koja je potrebna za formiranje jednog UDP datagrama, hardver token-kofe šalje signal za prekid procesorskoj ploči. Rutina za opsluživanje prekidne rutine izvršice DMA isčitavanje 640 reči podataka iz FIFO bafera i prenos podataka u interni ping-pong bafer.



slika 4.46 – realizacija token-kofe

Opis merenja: korišćenjem eksterne token-kofe, DMA kontroler ciklično prenosi blok od 640 reči podataka sa U/I periferije u interni SRAM. Cilj merenja jeste da se sazna koliko je ukupno vremena potrebno za izvršenje akcijskog ciklusa:

1. detekcija vanjskog zahteva za prenos,
2. prijem kontrole nad eksternom magistralom,
3. prenos jednog bloka, sa 640 reči podataka sa periferije u internu memoriju,
4. vraćanje kontrole nad eksternom magistralom procesorskom jezgrom.

Rezultati merenja su pokazali:

- učestalost prijema podataka = 4800 blok/s,
- pouzdanost preuzimanja podataka = 100%,
- UDP formiranje podataka = 0%,
- stepen gubitaka u prenosu = 100%.

Tumačenje rezultata:

Prema merenjima za DMA prenos bloka od 640 reči podataka sa periferije u internu memoriju potrebno je:

$$t_{DMA} [\mu s] = 75 \mu s \quad (25)$$

Perioda DMA transfera (26), je vreme za koji merni instrument generiše količinu od 640 reči podataka, tj. vreme između dva PAE signala token-kofe:

$$T_{DMA} [\mu s] = 1 / f_{UDP} [Hz] = 1 / 4800 Hz = 208.3 \mu s \quad (26)$$

Preostalo vreme do kraja periode, tj. do novog zahteva za DMA prenos je:

$$t_{DMA_rest} [\mu s] = T_{DMA} [\mu s] - t_{DMA} [\mu s] = 208.3 \mu s - 75 \mu s = 133.3 \mu s \quad (27)$$

Za to, preostalo vreme procesor trebao bi da izvrši zadatke vezane za UDP proces slanja. Taj proces je zadužen za:

1. formiranje UDP datagrama na osnovu podataka SRAM-a i brojača,
2. povećavanje brojača i zamenu memorijskih bafera DMA i UDP-a,
3. formiranje krajnje TCP/IP paketa,
4. slanje TCP/IP paketa preko eksterne magistrale na FastEthernet kontroler.

Na osnovu merenja parametara Ethernet komunikacije (4.4.2.1), minimalno vreme potrebno za kompletiranje UDP procesa zahteva 158 μs (24) što je više, nego koliko ova konfiguracija DMA word transfera ostavlja na raspolaganje:

$$(t_{UDP_task} [\mu s] = 158 \mu s) > (t_{DMA_rest} [\mu s] = 133 \mu s) \quad (28)$$

Zaključak:

Token-kofa hardver, DMA blok transfer i UDP proces su rešenja koja samostalno ispravno funkcionišu, ali je procesorsko okruženje je poddimenzionisano za date parametre i količinu podataka. Korišćeni procesor sa taktom od 150MHz može u realnom vremenu da izvrši:

- ili DMA blok prijem toka podataka u reč širini sa ~124.8Mbit/s,
- ili konverziju i slanje UDP datagrama brzinom od ~66Mbit/s.

Ta dva procesa zajedno traju 233 μs što za ~12% premašuje vremenski okvir, koja je na raspolaganju: 208.3 μs (26). Sa datim parametrima merenja i sa jednom procesorskom pločom, nije moguće ostvariti zacrtani sistem u realnom vremenu. Gubljenje podataka se može izbeći ako se obezbedi brži rad ugrađenog sistema.

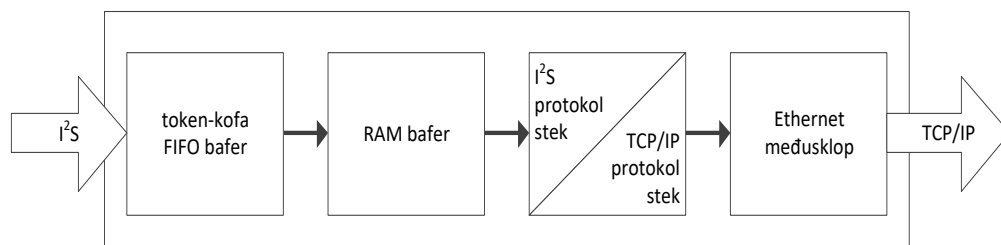
Zaključeno je, da predviđeni način i metoda povezivanja odgovara ciljevima realizacije rešenja za povezivanje mernog sistema i računara pomoću konverzije podataka I²S magistrale u TCP/IP protokol. Za validaciju metode povezivanja, potrebno je realizovati prototip, na taj način metoda može biti proverena u realnim uslovima rada.

4.5 MODEL ZA POVEZIVANJE MERNOG SISTEMA I RAČUNARA

Na osnovu istraživanja opisanih u poglavlju 4, formirano je rešenje za problem povezivanja mernog sistema i računara. Predložena metoda povezivanje vrši pomoću konverzije podataka iz I²S u TCP/IP protokol.

4.5.1 Model povezivanja

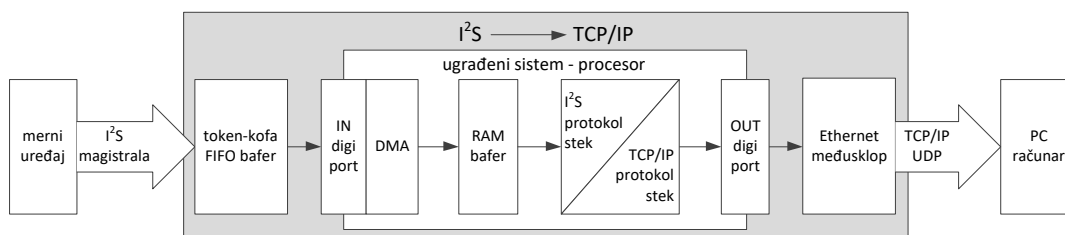
Opšti, apstraktni model za konverziju podataka I²S protokola u podatke TCP/IP protokola prikazan je blok dijagramom na slici 4.47:



slika 4.47 – opšti model povezivanja I²S sa TCP/IP

4.5.2 Model povezivanja sa upravljačkom jedinicom

Elementi koji čine opšti model povezivanja zahtevaju aktivno upravljanje tokom svog rada. Izbor upravljačkog elementa zavisi od načina realizacije metode za povezivanje. Aktuelna tehnologija za upravljački element koristi programibilna logička kola ili mikroprocesore. Na slici 4.48 prikazan je model metode konverzije podataka iz I²S u TCP/IP protokol proširen sa ugrađenim sistemom na osnovu mikroprocesora.



slika 4.48 – model povezivanja sa upravljačkom jedinicom

4.6 REALIZACIJA PROTOTIPA POVEZIVANJA

Cilj istraživanja je bio da se stvori metoda za povezivanje mernog sistema i računara. Za povezivanje predložena je metoda konverzije podataka iz I²S u TCP/IP protokol. Na osnovu proširenog modela povezivanja, koji sadrži procesorsku upravljačku jedinicu (4.5.2) pristupilo se realizaciji prototipa hardvera za povezivanje mernog sistema sa personalnim računarom.

4.6.1 Skaliranje i redizajn

Eksperimenti i merenja su pokazali da arhitektura sa hardversko realizovanim token-kofom, DMA word transferom i internim ping-pong baferom daju tražene rezultate u cilju čitanja podataka u realnom vremenu. Zbog manjka raspoložive snage procesora, formiranje i slanje TCP/IP paketa nije bio moguće u realnom vremenu. U cilju otklanjanja ove greške, treba da sa se smanji opterećenje procesorske ploče. Prema merenim vrednostima dovoljno je duplirati snagu procesora ugrađenog sistema, da bi se zadovoljili kriterijumi rada u realnom vremenu.

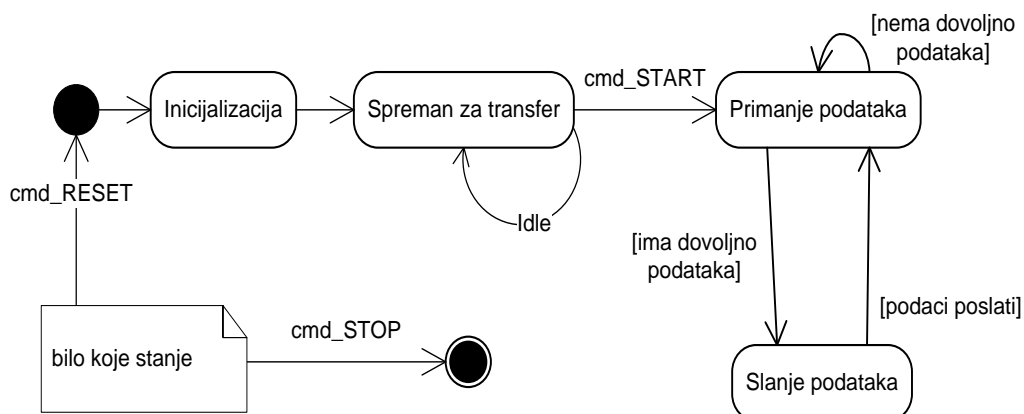
Arhitektura sistema je od osnova građena na modularnom principu. Sistem po potrebi može biti proširen za prihvatanje podataka još više mernih kanala, ili sa ciljem da podnese povećano opterećenje zbog još veće brzine uzorkovanja. Projekat je tako vođen i tako su formirane štampane ploče, moduli i protokoli, da je sa jednostavnim izmenama hardvera i softvera bude moguće izvršiti skaliranje sistema. Na osnovu analize podataka eksperimenata, urađena su potrebna proširenja hardvera i redizajn softvera protokola.

4.6.1.1 Promene u softveru

Deo softvera obezbeđuje sinhronizaciju između procesorskih ploča u cilju jednoznačnog i istovetnog označavanja UDP datagram parova. Na taj način istovremeno A/D uzorkovani podaci – koji su razdvojeni zbog prepolovljavanja I²S magistrale – mogu biti ponovo povezani i zajedno sačuvani na personalnom računaru. Za jednoznačno označavanje UDP paketa koristi se 32 bitni brojač. Ta četiri bajta se dodaju na početak korisnog tereta svakog UDP datagrama.

Dodata je nova funkcija softveru: protokol od računara do mernog uređaja prenosi komande za upravljanje merenjem. Rad upravljačkog dela je prikazan preko mašine stanja sistema (slika 4.49). Iz bilo kojeg stanja sistema [82] moguće je izdati naredbu za zaustavljanje slanja podataka (cmd_STOP) ili komandu za restarovanje (cmd_RESET) ugrađenog sistema. Posle (re)startovanja sistem prelazi u petlju za prazan hod iz kojeg izlazi samo nakon komande za početak slanja (cmd_START). Slanje je beskonačna

petlja koja se sastoji od naizmeničnih radnji: DMA primanja podataka i UDP slanja istih. Detaljni opis protokola je u priložima (8.2.1).



slika 4.49 – mašina stanja protokol konvertera

Posle skaliranja sistema i redizajna softvera, na osnovu predviđenih pobuda i akcija ugrađenog sistema u realnom vremenu (4.2.2.2), odlučeno je da se koriste tri konkurentna procesa koji imaju različite prioritete izvršavanja:

- prijem bloka podataka od token-kofe sa korišćenjem DMA tehnike prenosa od periferije u interni SRAM (najviši prioritet),
- formiranje UDP datagrama – rad sa ping-pong baferom, sa brojačem i podacima, formiranje TCP/IP paketa, slanje na eksterno Ethernet kolo (srednji prioritet),
- akcije na osnovu primljenih UDP komandi personalnog računara (najniži prioritet).

4.6.1.2 Promene u hardveru

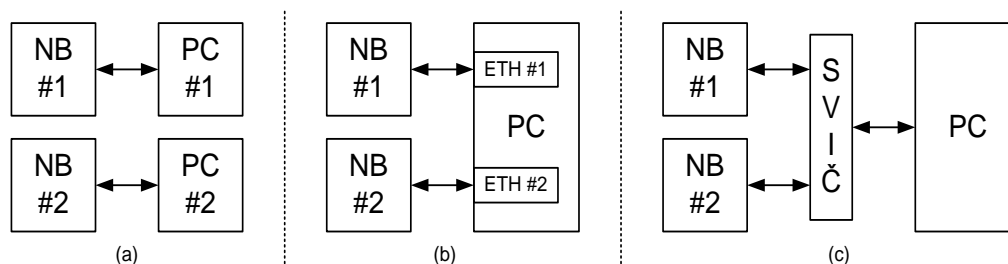
U hardverskom rešenju unete su sledeće promene:

- I²S magistrala od 16 SD linija razdeljen je na dve jednake magistrale od po 8 SD linija. Magistrale su i dalje sinhronizovane jer koriste iste SCK i WS signale. Magistrale su interno nazvane gornja i donja.
- Gornja magistrala prenosi podatke mernih kanala ch0-ch31.
- Donja magistrala prenosi podatke mernih kanala ch32-ch63.
- Obe nove polumagistrale imaju po jednu sopstvenu hardversku token-kofu.
- Integrisana kola FIFO RAM memorije su tako konfigurisana, da primaju na ulazu 8 SD kanala, tj. 8 bitne podatke. Interno te podatke token-kofe poređaju u parove, od 16 bita, tj. u reči.
- Broj ugrađenih procesorskih ploča MOD5270 povećan je na dva.
- Svaka procesorska ploča je zadužena za prijem podataka od po jednog token-kofe.
- Zbog dva izvora UDP paketa, umesto prethodno korišćene direktne veze instrumenta i računara, potrebno je bilo uvesti novu mrežnu topologiju.

Varijacije topologije povezivanja

Tokom skaliranja dodat je još jedan Netburner (NB) procesorski modul. Mrežno povezivanje ugrađenog sistema sa dva modula MOD5270 i računara izvršeno je sa različitim topologijama. Tokom eksperimenata merenja prenos je vršen u sledećim topologijama (slika 4.50):

- prenos podataka direktnom vezom ka dva personalna računara (a),
- prenos podataka direktnom vezom ka jednom računaru sa dve Ethernet kartice (b),
- prenos podataka ka jednom personalnom računaru preko aktivnog mrežnog elementa (c).



slika 4.50 – topologije povezivanja ugrađenog sistema i računara

U sva tri slučaja merenja su pokazala:

- brzina protoka podataka = 49.152 [Mbps],
- pouzdanost prenosa podataka = 100%,
- stepen gubitaka u prenosu = 0%.

Tumačenje rezultata:

Sve tri topologije povezivanja ispunjavaju postavljene zahteve, ali treća konfiguracija: gde se koristi aktivni mrežni element za povezivanje (slika 4.50 c.) je:

- najrentabilnija – koristi se samo jedan računar i svič,
- sinhronizacija i upravljanje merenjem je jednostavnija od druga dva rešenja,
- jednostavnost klijenta – računar koristi samo jednu mrežnu karticu.

Takođe je zaključeno da je TCP/IP prenos podataka, između malog broja uređaja u namenskoj računarskoj mreži, gde nema drugih izvora komunikacije vrlo pouzdan. Od 45 izvršenih merenja, prilikom pregleda baze podataka, nije pronađen nijedan zapis o izgubljenom UDP paketu. Taj stepen gubitaka od 0% je realan u korišćenoj topologiji namenske računarske mreže. Prema literaturi, u nenamenskoj računarskoj mrežnoj topologiji ta vrednost je opsegu od 0.1%, do 2% [123],[127].

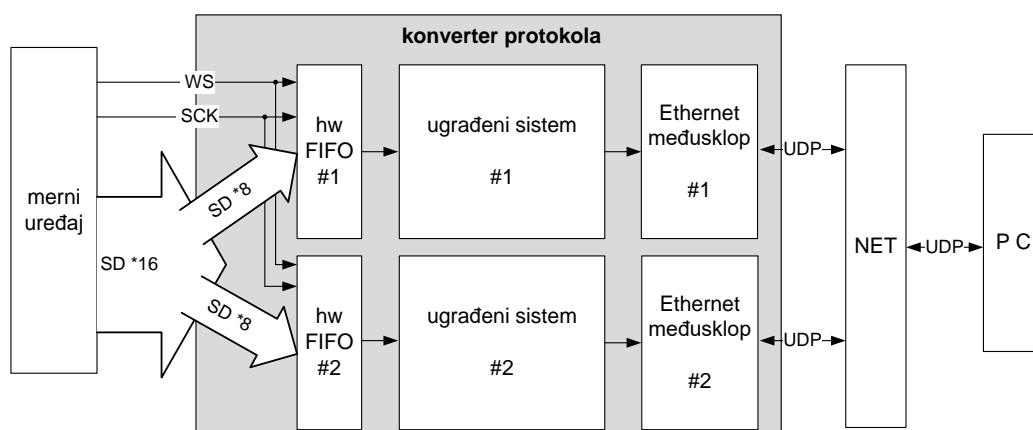
Stres test sistema:

Tokom aktivnog prenosa podataka, prekinut je fizički medij za prenos podataka, tj. izvučen je UTP kabel. Posle povratka medija uređaji su uspešno uspostavili komunikaciju i nastavili su sa prenosom/prijemom UTP datagrama. Paketi koji su bili slati tokom prekida su nepovratno izgubljeni, ali njihov nestanak i tačan broj izgubljenih paketa je ispravno detektovan zahvaljujući zaglavlju aplikacije – 32 bitni brojač u UTP datagramu. Mesto izgubljenih paketa označava se u realnom vremenu, tokom zapisa u

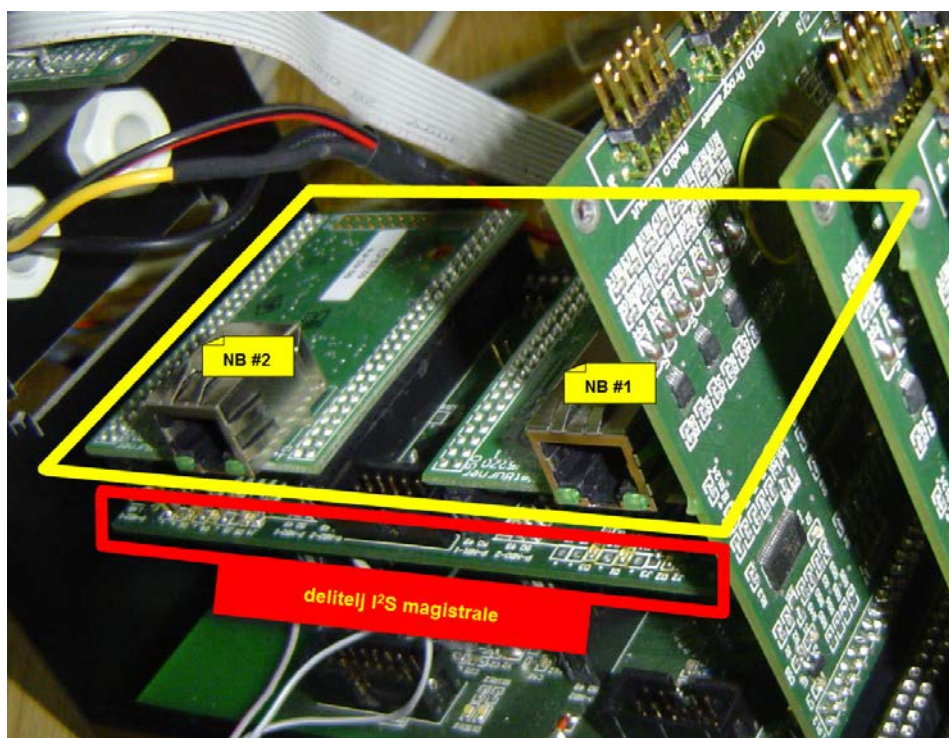
pozadinske medije računara. Nakon merenja, tokom analize i prikazivanja merenih podataka zone izgubljenih paketa se posebno tretiraju, prikazuju i ne predstavljaju izvor greške.

4.6.2 Prototip povezivanja

Uvođenjem dva procesorska modula (slika 4.51) prepolovljava se količina podataka koji opterećuju jedan modul. Umesto dosadašnjih 16, svaki modul ima vezu samo sa 8 I²S SD linija magistrale instrumenta. U skaliranoj implementaciji, modul #1 vrši prihvatanje gornje polovine I²S magistrale, koja sadrži merne kanale ch₀-ch₃₁, dok modul #2 vrši prihvatanje donje polovine I²S magistrale, koja sadrži merne kanale ch₃₂-ch₆₃.



slika 4.51 – blok dijagram prototipa za povezivanje



slika 4.52 – dva procesorska modula i delitelj I²S magistrale

Na slici 4.52 su dve procesorske ploče koje su utaknute u među-štampanu ploču (slika 8.4), koja vrši razdvajanje I²S magistrale i ostvaruje hardversku token-kofu. Prototip je ugrađen neposredno pored kartica za DSP obradu signala u stacionirani deo medicinskog mernog uređaja (4.1.1.2).

Zbog promena u hardveru, potrebno je ponovo proračunati vrednosti nekih parametara prenosa. Nakon prepolovljenja broja SD kanala podataka sa 16 na 8 – koji su povezani sa jednom procesorskom modulom, broj podataka u jednom WS okviru polumagistrale se isto prepolovljava, na osnovu (12) i (13).

$$SD_{NO2} = SD_{NO} / 2 = 16 / 2 = 8 \quad (29)$$

$$Frame_{DATA2} [byte] = SD_{NO2} \cdot WS_{bits_in_frame} [bit] = 8 \cdot 128 \text{ bit} = 128 \text{ byte} \quad (30)$$

Analogno formuli (18), čuvajući integritet WS okvira I²S polumagistrale, količina WS okvira koji se mogu smestiti u jedan UDP datagram je:

$$WS_{PCS_IN_UDP2} = \lfloor UDP_{payload_max} / Frame_{DATA2} \rfloor = \lfloor 1472 \text{ byte} / 128 \text{ byte} \rfloor = \lfloor 11.5 \rfloor = 11 \quad (31)$$

Stvarna količina podataka koji se smeštaju u UDP datagram:

$$UDP_{PAYLOAD2} [byte] = WS_{PCS_IN_UDP2} \cdot Frame_{DATA2} = 11 \cdot 128 \text{ byte} = 1408 \text{ byte} \quad (32)$$

Ova količina od 704 reči podataka je 10% veće od količine od 640 reči (19), koliko su stali u datagramima pre skaliranja i redizajna.

Token-kofa neprestano pohranjuje pristigle podatke polumagistrale, kada sakupi dovoljno podataka – 11 WS okvira (31) – za formiranje jednog UDP datagrama, šalje zahtev za DMA blok prenos. Učestalost ovog zahteva je:

$$f_{UDP2} [Hz] = f_{WS} [Hz] / WS_{PCS_IN_UDP2} = 24000 \text{ Hz} / 11 = 2181.82 \text{ Hz} \quad (33)$$

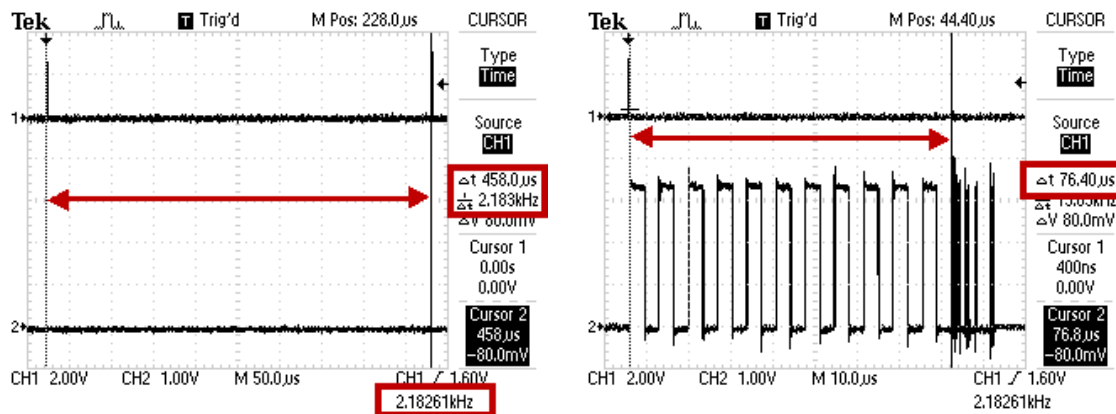
Ova učestalost je 54.5% manja od prethodne učestalosti od 4800 Hz (20). Ova vrednost pokazuje, da posle skaliranja pojedinačne procesorske ploče biti upola opterećena nego pre skaliranja.

Prema novim proračunima prototip sa skaliranom hardverskom strukturom, ima povećanu iskorištenost, tj. količinu korisnog tereta za 10% koji prenosi UDP datagram. Pri tome vreme potrebno token-kofi za sakupljanje 704 reči podataka – koliko je potrebno za formiranje novog UDP datagrama – tj. perioda pokretanja procesa DMA prenosa duplirana je na:

$$T_{DMA2} [\mu s] = 1 / f_{UDP2} [Hz] = 1 / 2181.82 \text{ Hz} = 458.3 \mu s \quad (34)$$

Za to vreme procesi upravljačkih jedinica treba da u realnom vremenu obave jedan potpuni ciklus DMA čitanja, UDP formiranja i slanja, kako da ostane rezerve za akcije koje izazivaju komande personalnog računara.

Osciloskopska merenja prototipa potvrdila su proračune (slika 4.53). Na levoj slici vidi se učestalost i perioda kojom se pokreće proces DMA prenosa podataka. Na oscilopskom kanalu #1 očitava se signal prekida koji šalje token-kofa. Na desnoj slici, na #2 kanalu osciloskopa prikazano je stanje na eksternoj magistrali podataka. U označenoj zoni prikazani su 11 prenosnih događaja sa DMA tehnikom. Tokom tog vremena prenosi se od periferije blok podataka od 704 reči u interni SDRAM.



slika 4.53 – perioda DMA prenosa (levo), DMA blok prenos (desno)

4.6.3 Proces konverzije podataka

Skaliranje i redizajn sistema su doneli promene u hardveru i softveru, koji se odražavaju i na proces konverzije podataka I²S magistrale u TCP/IP pakete. U nastavku je opisan promenjeni način cikličnog procesa.

4.6.3.1 Formiranje UDP paketa, ciklični proces konverzije

Tokom redizajna, neprekidni tok I²S magistrale je hardverski podeljen na dve polovine. Podaci te dve polumagistrale sinhrono se upisuju u zasebne token-kofe memorije. Nakon inicijalizacije hardvera i softvera, računar pokreće merenje i akviziciju podataka.

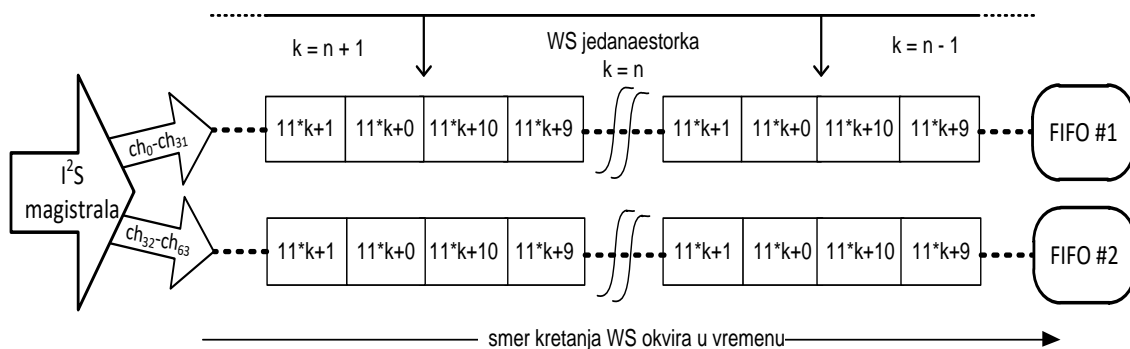
1. Kada se sakupi 11 (31) komada WS okvira polumagistrale u token-kofi, šalje se signal prekida na procesorske module. Prekidne rutine oba procesorska modula pokreću proces za DMA blok prenos. Prekidna rutina se završi.
2. Prekidnom signalom pokrenuti DMA proces vrši blok prenos podataka iz vanjske FIFO memorije u unutrašnji ping-pong SRAM memoriju. DMA proces signalizira metodom semafora, da je prenos podataka završen. Proces prelazi u stanje čekanja.
3. Signal semafora pokreće proces za formiranje UDP datagrama. Proces vrši:
 - a. Zamenu ping-pong bafera, čime pristigli podaci budu upisani u nivo podataka I²S protokol steka (slika 4.33).
 - b. Generiše zaglavlje aplikacije koji sadrži 4 bajtni brojač. Taj brojač ima 32 bita (23) i predstavlja nepredznačan broj „k“, koji je redni broj „WS jedanaestorke“ (slika 4.54) koji se obrađuje, ali ujedno i redni broj UDP paketa koji se formira. Skraćena oznaka „WS jedanaestorke“ u ovom dokumentu je WS#11¹⁶. Na ovaj način su jedinstveno označeni i povezani podaci merenja i UDP paketi koji se šalju ka računaru. Brojač omogućava detekciju izgubljenih paketa na nivou aplikacije u računaru.

¹⁶ WS#11 – skraćena oznaka za 11 komada WS okvira I²S polumagistrale, WS jedanaestorka

- c. Od zaglavlja aplikacije i sakupljenih podataka formira koristan teret UDP datagrama (slika 4.55).
- d. Novoformiran UDP datagram šalje niz TCP/IP protokol stek (slika 4.33).
- e. TCP paket prosleđuje Ethernet međusklopu, za slanje na mrežu.

4. UDP proces briše stanje semafora i prelazi u stanje čekanja.

Na slici 4.54 prikazan je neprekidni tok podataka I²S magistrale, koji je sled uzastopnih WS okvira. I²S magistrala (4.1.3), je tokom redizajna podeljena na *gornju* i *donju* polovinu. Sinhroni WS okviri – na crtežu predstavljeni kao pravougaonici – u polu magistralama osim 128 bajta (30) korisnog tereta ne sadrže nikakve dodatne bitove. WS okviri su na crtežu označeni jedinstvenim rednim brojem, čija vrednost u zavisnosti trajanja merenja može dostići red veličine od nekoliko milijardi. Redni broj je apstrakcija, u stvarnom I²S toku ne postoji takav podatak ili oznaka! Grupe od po jedanaest WS okvira formira WS#11, koja je označena rednim brojem „k“.



slika 4.54 – redosled WS okvira podataka, grupisanih u WS jedanaestorke

4.6.3.2 Format i sadržaj UDP paketa

Korisni teret za slanje – na nivou aplikacije – sastavlja se od brojača i jedne WS#11 (slika 4.55). Zaglavlje je 32 bitni broj, koji je brojač WS#11 i odgovara vrednosti „k“. Vrednost k se vraća na vrednost 0 sa svakom komandom restartovanja mernog sistema, tj. na početku svakog novog mernog ciklusa. Ovako formatirani podaci ukupno zauzimaju 1412 bajta, što je 95.9% vrednosti od 1472 bajta (17), što je maksimalna količina korisnog tereta koja može biti smešten u UDP datagram. Veća ispunjenost korisnog tereta, daje bolju iskorišćenost kanala prenosa, ako se uzmu u obzir obavezna dodatna polja paketa TCP/IP protokola. Ovako formatirani skup podataka merenja moguće je preneti sa jednim UDP datagramom.

brojač = k	4 byte
WS okvir broj: $11*k+0$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+1$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+2$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+3$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+4$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+5$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+6$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+7$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+8$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+9$	128 byte
WS okvir broj: $11*k+10$	+ 128 byte
<hr style="width: 100%; border: 1px solid black;"/>	
1412 byte	

slika 4.55 – raspored podataka u korisnom teretu UDP datagrama

Tokom procesa konverzije unutar protokol konvertera, ne vrši se tumačenje ili obrada podataka ni na koji način. Aplikacija novoformirani korisni teret predaje transportnom nivou TCP/IP protokol steka (slika 4.16). Putujući nadole, na korisni teret dodaju se UDP, IP i Ethernet zaglavlja kako i Ethernet završni slog (slika 4.17). Tako formirani Ethernet okvir spreman je za slanje od protokol konvertera, kroz fizički medij, ka personalnom računaru (slika 4.51).

I²S polumagistrale paralelno prenose po osam, serijska SD signala. Podaci na tim linijama su po sadržaju nezavisni, ali zbog istovremenog uzorkovanja i zajedničkog taktnog signala serijskog prenosa, bitovi su međusobno vremenski poravnati. To omogućava da bitovi podataka na svim SD linijama mogu biti istovremeno, paralelno uzorkovani. U slučaju date konfiguracije (slika 4.8) to znači da će biti pročitani bitovi SD linija koji se u magistrali nalaze jedan „ispod“ drugog. Takav način čitanja podataka uzrokuje transponovanje bitova unutar WS okvira. Svi bitovi se učitavaju bez gubitaka, ali tokom čitanja bitovi se preuređuju prema unapred poznatoj šemi. Pomešane bitove na prijemnoj strani – sa poznatim algoritmom za reindexiranje – moguće je vratiti na originalna mesta, formirati reči i ispravno pročitati vrednosti uzorkovanih veličina. Tumačenje pozicija bitova UDP datagrama i opis algoritma reindexiranja je opisan u poglavlju 8.2.2.

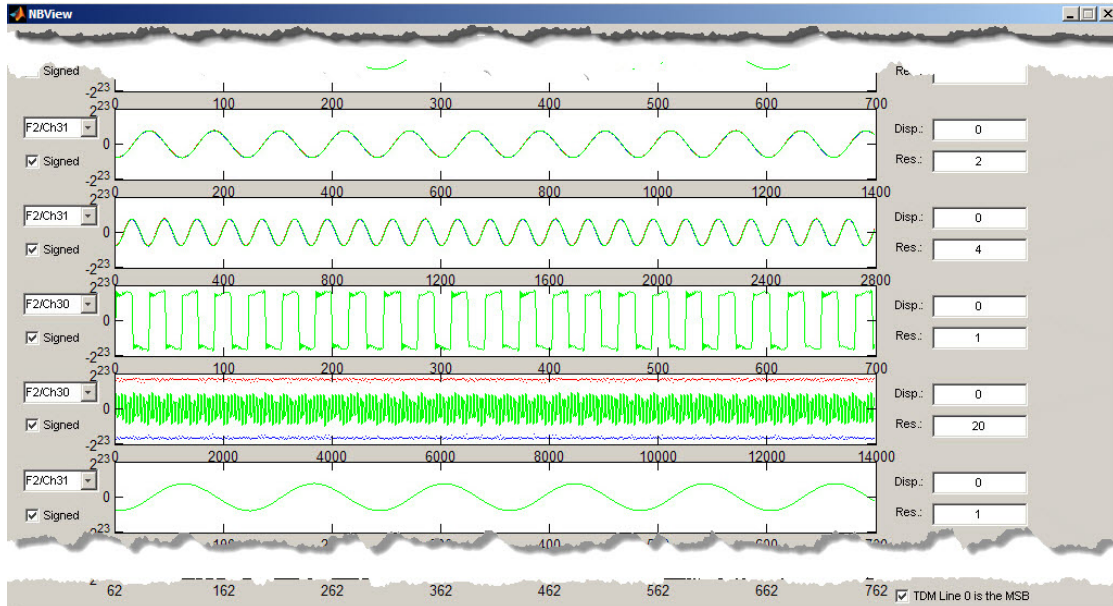
4.6.4 PC aplikacije

Za personalni računar razvijena su dve aplikacije:

- Klijentski program za prijem i pohranjivanje podataka. Radi za vreme merenja u realnom vremenu. Primljene podatke pohranjuje na masovne pozadinske medije,

koje je moguće zamenjivati u hodu (engleski: hot swap). U tu svrhu korišćena su četiri hard diska sa pojedinačnim kapacitetom od 500 GByte.

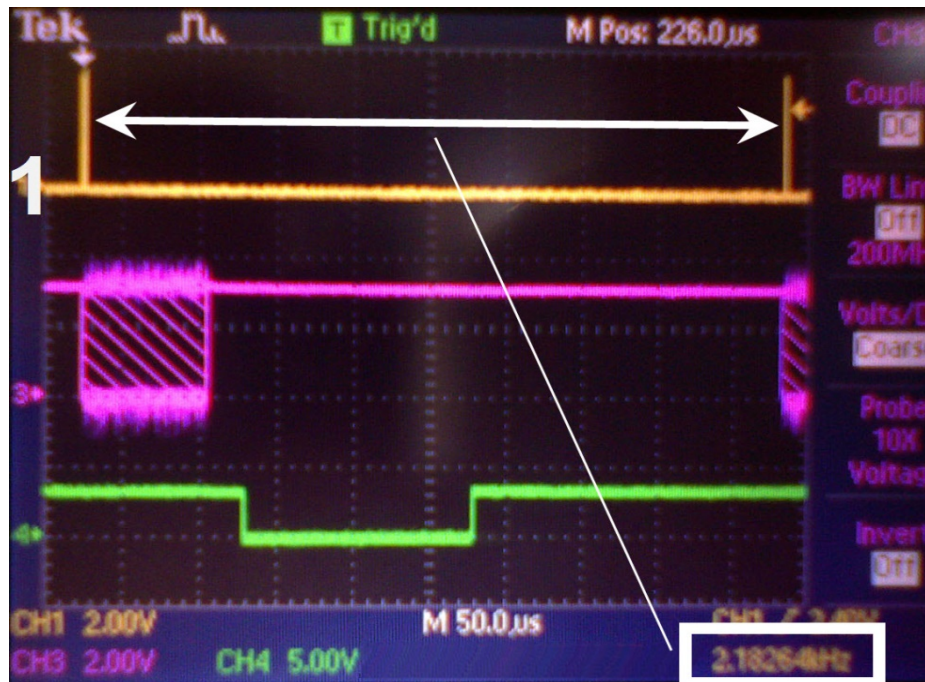
- Aplikacija za vizualizaciju primljenih podataka. Koristi se posle završetka merenja za grafičko prikazivanje podataka. Ova aplikacija vrši reindeksiranje transponovanih bitova (slika 4.56).



slika 4.56 – fragment vizualizacije podataka, PC aplikacija

4.6.5 Vremenski parametri prototipa

Na fotografijama koji prikazuju ekran osciloskopa tokom eksperimentalnih merenja, mogu se očitati karakteristični vremenski parametri procesa konverzije podataka I²S magistrale u TCP/IP protokol. Na prvoj fotografiji (slika 4.57), izvor gornjeg signala – označeno sa brojem 1 – je FIFO. Svaki impuls na ovom signalu predstavlja jedan novi zahtev za DMA blok prenos, čiji je primalac procesorska jedinica. Prema merenjima učestalost ovog signala je 2182.64 Hz (=458.16 μs). To je perioda sa kojim podaci iz 11 WS okvira ili 1408 bajta (32) pristignu i budu upisane u FIFO.



slika 4.57 – perioda zahteva za DMA blok prenos podataka

Upoređenjem izmerene i proračunate (33) učestalosti zahteva za DMA blok prenos 11 komada WS okvira, primećena je razlika.

$$f_{DMA_mereno} [Hz] = 2182.64 Hz \quad (35)$$

$$f_{DMA_računato} [Hz] = f_{UDP2} [Hz] = 2181.82 Hz \quad (36)$$

Razlika u vrednostima učestalosti je izvor greške u merenju.

Apsolutna greška u učestalosti je:

$$f_{err_DMA} [Hz] = | f_{DMA_mereno} [Hz] - f_{DMA_računato} [Hz] | = 0.82 Hz \quad (37)$$

Procentualna relativna greška u učestalosti je:

$$\delta [\%] = f_{err_DMA} [Hz] / f_{DMA_računato} [Hz] \cdot 100 [\%] = 0.038 \% \quad (38)$$

Ovo je vrlo mala relativna greška. Grešku ne unosi konverzija podataka. Ustanovljeno je da je izvor greške generator takt signala za uzorkovanje podataka u medicinskom mernom instrumentu. Ovo merenje pokazuje da je frekvencija uzorkovanja (2), $f_{sampling}$, umesto pretpostavljenih 24000 Hz ima vrednost:

$$f_{sampling_real} [Hz] = f_{DMA_mereno} [Hz] \cdot WS_{PCS_IN_UDP2} = 2182.64 Hz \cdot 11 = 24009.04 Hz \quad (39)$$

Ova razlika u frekvenciji ne predstavlja problem u konverziji podataka, jer postoji dovoljna projektovana procesorska i memorijska rezerva, kako i kapacitet brojača.

Frekvencija uzorkovanja zavisi od tehničkog rešenja instrumenta. Stabilna vrednost učestalosti uzorkovanja može uticati na:

- karakteristiku digitalnih filtara,
- merenje frekvencije moždanih talasa eksperimentalne životinje,

- broja uzoraka tokom ciklusa merenja,
- tačnost očitavanja vremenskog trenutka nekog događaja pri analizi mernih podataka.

Zadatak dugotrajne vremenske stabilnosti frekvencije uzorkovanja ne pripada u okvir polja ovog rada.

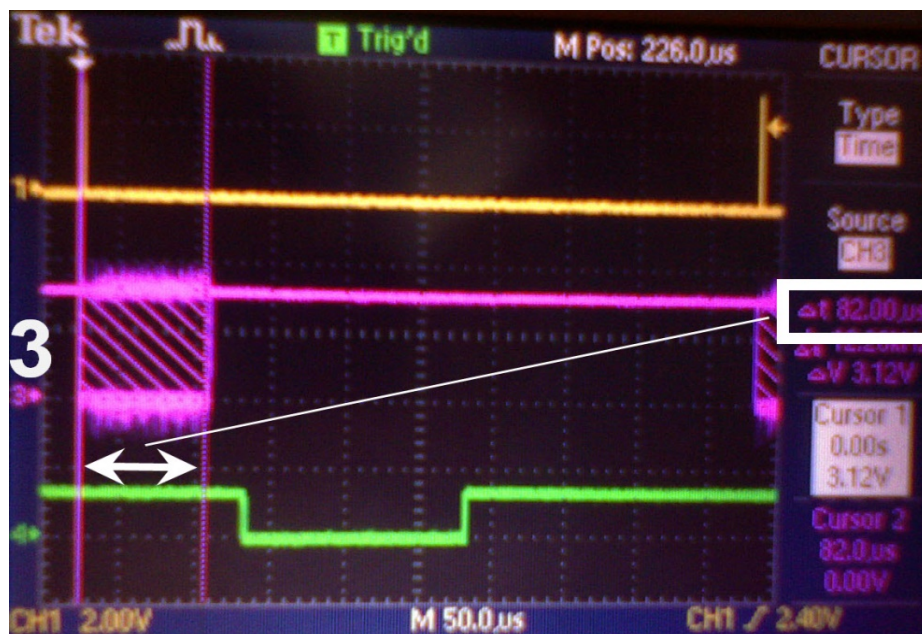
Na drugoj fotografiji (*slika 4.58*), srednji signal – označeno sa brojem 3 – prikazuje promene na eksternoj magistrali podataka NetBurner procesora. Te promene predstavljaju DMA blok prenos iz FIFO-a. Ovaj prenos je pokrenut na zahtev FIFO token-kofer. Preneti blok sadrži 704 komada od po 16 bita, tj. jednu „WS jedanaestorku“. Prema merenjima DMA blok prenos jednog WS#11 bloka traje 82 μ s.

$$t_{DMA_prenos} [\mu s] = 82 \mu s \quad (40)$$

Tokom konverzije, od jednog bloka podataka se formira jedan UDP datagram. Ukoliko tokom prenosa izgubi jedan UDP datagram, onda se gubi 11 uzoraka, tj. gubi se informacija o moždanoj aktivnosti eksperimentalne životinje u trajanju od oko pola milisekunde:

$$t_{UDP_info} [ms] = WS_{PCS_IN_UDP2} / f_{sampling_real} [Hz] = 11 / 24009.04 Hz = 0.458 ms \quad (41)$$

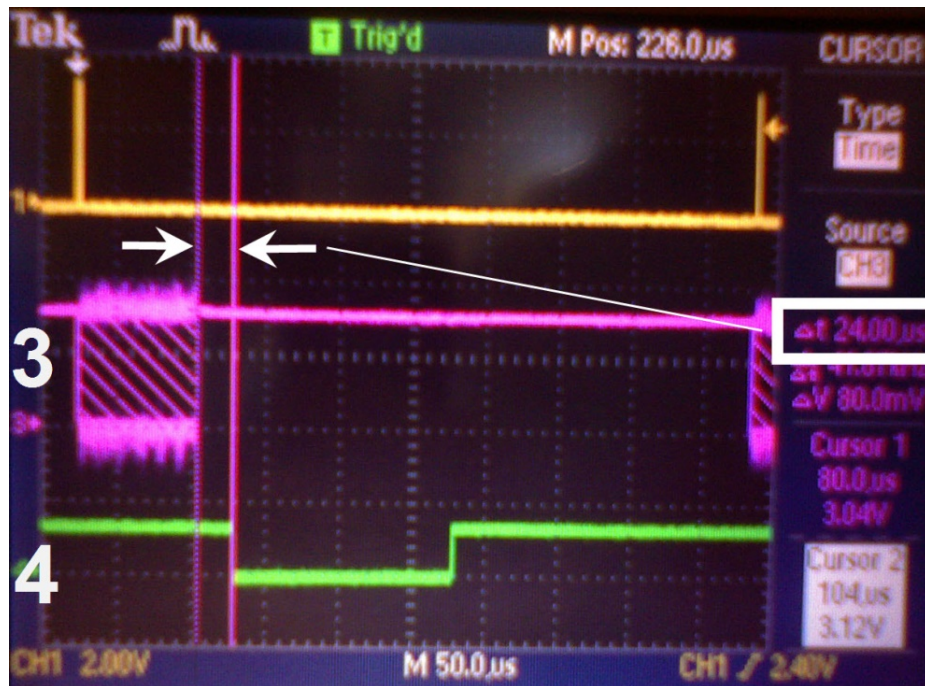
Detekcija i obeležavanje izgubljenih UDP datagrama implementirana je protokolom prenosa.



slika 4.58 – DMA prenos 11 komada WS poluokvira – 82 μ s

Na trećoj fotografiji (*slika 4.59*) izmerena je 24 μ s vremenska razlika između završetka promena na signalu „3“ i promena nivoa na signalu „4“. Za to vreme procesorski modul vrši radnje: promene pong-pong bafera, generisanje zaglavlja UDP datagrama, formiranje UDP datagrama i korake formiranja Ethernet okvira.

$$t_{framing} [\mu s] = 24 \mu s \quad (42)$$



slika 4.59 – priprema UDP paketa i Ethernet okvira – $24\mu s$

Na četvrtoj fotografiji (slika 4.60) niski nivo donjeg signala – označeno sa 4 – predstavlja transfer Ethernet okvira iz interne memorije procesorskog modula, do Ethernet periferijskog međusklopa. Proces transfera traje $148\mu s$.

$$t_{ETH} [\mu s] = 148 \mu s$$

(43)



slika 4.60 – transfer Ethernet okvira – $148\mu s$

Ponovno vraćanje na visoki nivo signala „4“ označava kraj cikličnog procesa konverzije (4.4.3.2) koji se sastoji od:

1. FIFO prekid,
2. DMA blok prenos,
3. formiranje UDP datagrama,
4. formiranje Ethernet okvira,
5. slanje Ethernet paketa.

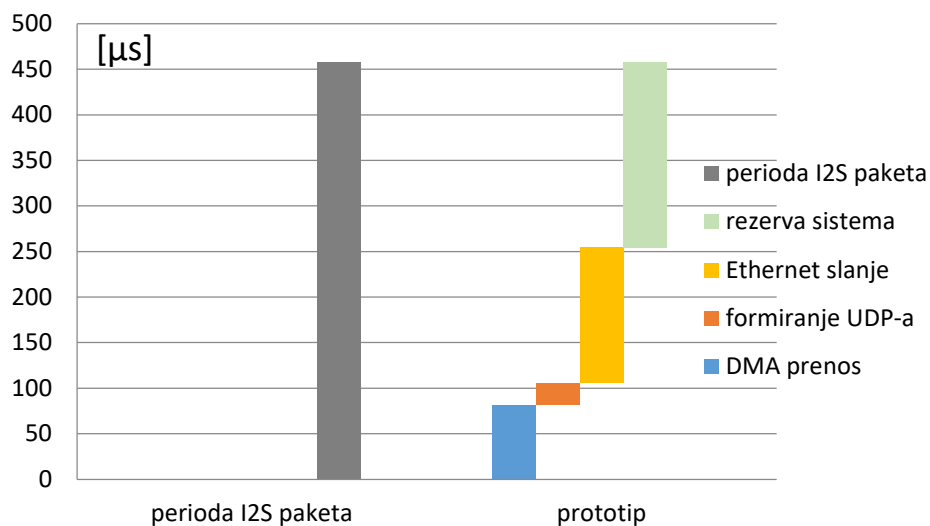
Do početka sledećeg konverzije – tj. do prekida – procesorski modul je u praznom hodu, može da vrši druge radnje, npr. da vrši akcije na osnovu UDP komandi personalnog računara.

Od izmerenih vrednosti, može se izračunati rezerva procesorskog modula, tj. preostalo vreme do sledećeg prekida:

$$t_{reserve} [\mu s] = 1/f_{DMA_mereno} [Hz] - (t_{DMA_prenos} [\mu s] + t_{framing} [\mu s] + t_{ETH} [\mu s]) = \quad (44)$$

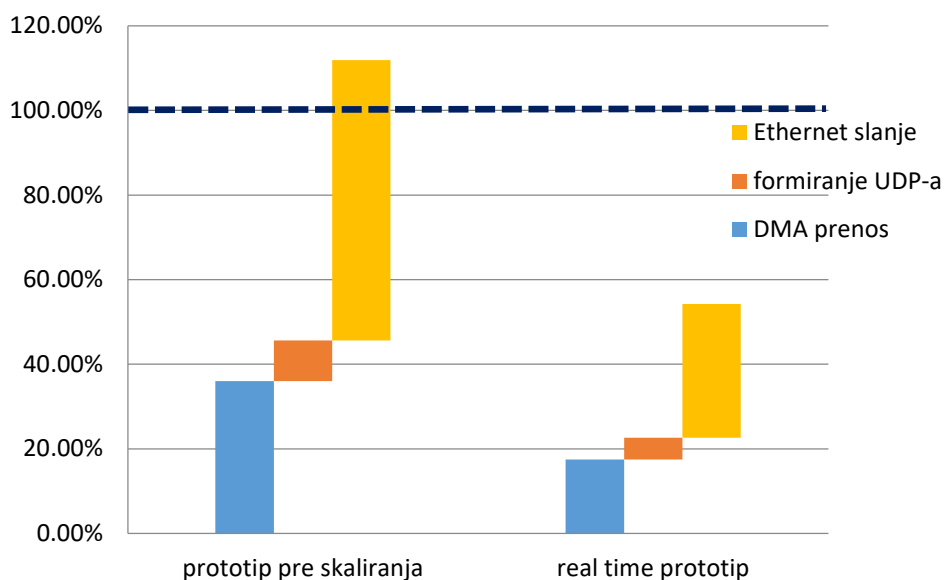
$$= 458.16 \mu s - (82 \mu s + 24 \mu s + 148 \mu s) = 458.16 \mu s - 254 \mu s \approx 204 \mu s$$

Prostalo vreme do sledećeg ciklusa procesa konverzije, oko 200 μs -a što naspram 258 μs potrošenog vremena iznosi ~43% rezerve procesorskog vremena. Merene i proračunate vrednosti potvrđuju, da skalirane i redizajnirane procesorske-upravljačke ploče mogu da zadovolje izvršavanje predviđenih procesa u realnom vremenu u cilju ostvarivanja konverzije podataka I²S magistrale u TCP/IP protokol. Kumulativni vremenski zahtevi pojedinih procesa prototipa, tokom konverzije podataka I²S magistrale u TCP/IP prikazani su na grafikonu: *slika 4.61*.



slika 4.61 – vremenski zahtevi procesa tokom konverzije podataka

Zbog opštosti predložene metode za konverziju podataka iz I²S u TC/IP protokol, bilo je moguće uspešno izvršiti skaliranje sistema. Vreme koje pojedini procesi zahtevaju za svoj rad, procentualno su upoređeni sa raspoloživim vremenom ugrađenog sistema. Da bi se obezbedio periodičan rad u realnom vremenu, ukupno utrošeno vreme svih procesa mora biti manje od periode kojom se javlja zahtev za prenos novog bloka podataka.



slika 4.62 – procentualni zahtev vremena procesa za povezivanje

Na levoj strani grafikona (slika 4.62) može se videti, da kod metode konverzije, na prototipu pre skaliranja, koja je imala jednu upravljačku jedinicu, za jedan ciklus pretvaranja podataka procesi zahtevaju više od 100% vremena, nego što je na raspolaganju (4.4.2.2). Na desnoj strani grafikona (slika 4.62) prikazana su vremena procesa skaliranog prototipa. Suma tih vremena je manja od 60%, što potvrđuje, da zadatak povezivanja, skalirani sistem može da vrši u realnom vremenu.

Mogućnost skaliranja predložene metode povezivanja daje mogućnost, da se sistem prilagodi još većim zahtevima prenosa u smislu broja prenosnih kanala i brzine prenosa.

5 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati istraživanja, dokazane su pomoćne hipoteze i glavna hipoteza i vrednovani rezultati.

5.1 PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Kako je ovaj rad bio usmeren prema rešavanju praktičnog problema, korišćene su kombinovane, praktične metode istraživanja.

5.1.1 Rezultati teorijskog istraživanja

Korišćenjem metode naučnog opisivanja određeno su opisani predmeti istraživanja. Izloženi su relevantni podaci o problemu i predmetima istraživanja. Konsultovanjem naučne literature uspešno su prikupljeni i sistematizovani objektivni podaci i rešenja iz saznanog fonda naučne oblasti. Naučno posmatranje je korišćeno kao sistematsko opažanje u cilju da se otkriju nove činjenice i da se na taj način učine koraci prema tome da predmeti naučnog istraživanja postanu jasniji.

Istraživanja su fokusirana na tri oblasti:

- tok podataka medicinskog mernog uređaja,
- standardni protokoli interfejsa personalnog računara,
- ugrađene sisteme u realnom vremenu.

Tok podataka: na osnovu naučne literature objektivno je opisana standardizovana I²S magistrala i protokol. Opisana je i unapređena verzija I²S protokola. Ove informacije i naučno posmatranje medicinskog instrumenta, dali su rezultat da stepen postignutog saznanja u vezi predmeta istraživanja, tj. toka podataka bude sveobuhvatan, potpun i objektivan.

PC protokoli i interfejsi: pregledom asortimana renomiranih proizvođača laptop i desktop računara, kao i sistematskim skupljanjem bitnih tehničkih karakteristika sastavljena je tabela od dvadesetak stavki o perifernim portovima računara PC klase. Prikazana su imena interfejsa, način prenosa i/ili protokol i maksimalna brzina prenosa. Sistematizovani i objektivni podaci su rezultirali izborom tri interfejsa/protokola za dalja razmatranja. Detaljna deskripcija navedenih interfejsa/protokola dala je za rezultat dovoljno informacija na osnovu kojih je bio moguć izbor komunikacionog interfejsa na računarskoj strani.

Ugrađeni sistemi u realnom vremenu: tokom istraživanja došlo se do zaključka da je za upravljanje protokol konverterom potrebno je koristiti ugrađeni sistem u realnom vremenu. Korišćenje te tehnologije i rešenja zahtevali su dodatna teorijska istraživanja. Konsultovanjem naučne literature, metodom naučnog opisivanja izložene su relevantne činjenice u vezi ove tehnologije. Rezultat ovog istraživanja su stečena saznanja koja su korišćena tokom izbora ugrađenog sistema i gradnje protokol konvertera.

5.1.2 Rezultati analitičko-sintetičkih i eksperimentalnih istraživanja

Empirijska istraživanja u ovom slučaju sastojala su se od analitičko-sintetičkih i eksperimentalnih istraživanja.

Analitičko-sintetičko istraživanje: Analiza stečenih saznanja teorijskih istraživanja je potvrdila pretpostavku da je nemoguće neposredno povezati višestruki I²S magistralu podataka medicinskog mernog uređaja za merenje biomedicinskih signala sa personalnim računarom, jer ne postoji zajednička, kompatibilna platforma ili protokol preko kojeg bi se to moglo direktno izvesti. Analiza problema povezivanja je za rezultat dala indicaciju da je rešenje možda u korišćenju konvertera protokola. Korišćenjem empirijske metode konverter protokola je predstavljen kao crna kutija. Ta crna kutija je, u više iteracija, sprovedena metodom crne kutije u belu kutiju. Osim stečenih novih saznanja rezultat ovog istraživanja je to, da je protokol konverter postao do te mere definisan i opisan da ga je bilo moguće i fizički konstruisati.

Eksperimentalna istraživanja: tokom prethodnih istraživanja skupljeno je dovoljno saznanja, opisani su ulazni i izlazni medijumi i protokoli, kao i interne transformacije i funkcije konvertera protokola, na osnovu kojih je konverter realizovan u hardveru. Na realizovanom uređaju izvršen je niz naučnih eksperimenata, koji su se sastojali od laboratorijskih merenja parametara i performansi konvertera protokola. Prvi set merenja i eksperimenata ukazali su na slabosti uređaja. Posle analize grešaka i pronalaženja mogućih razrešenja za iste, izvršeno je redizajniranje i skaliranje uređaja. Sa novim konverterom protokola ponovljeni su eksperimenti i merenja. Rezultati merenja parametara i performansi pokazuju da realizovani konverter protokola, uspešno obavlja svoj zadatak u realnom vremenu.

Pretragom naučnih i tehničkih izvora literature nije nađeno nijedno rešenje povezivanja I²S protokola – bilo jednostrukog, bilo višestrukog – sa personalnim računarom. To ne znači da takvo istraživanje nije vršeno, moguće je, da nije publikovano u obliku i na način u kome bi autoru ovog rada bio dostupan. Na taj način će sistematizirane informacije o problemu i predmetu istraživanja kao i rezultati biti dostupni široj naučnoj publici.

5.2 VREDNOVANJE REZULTATA ZA PRAKTIČNU PRIMENU

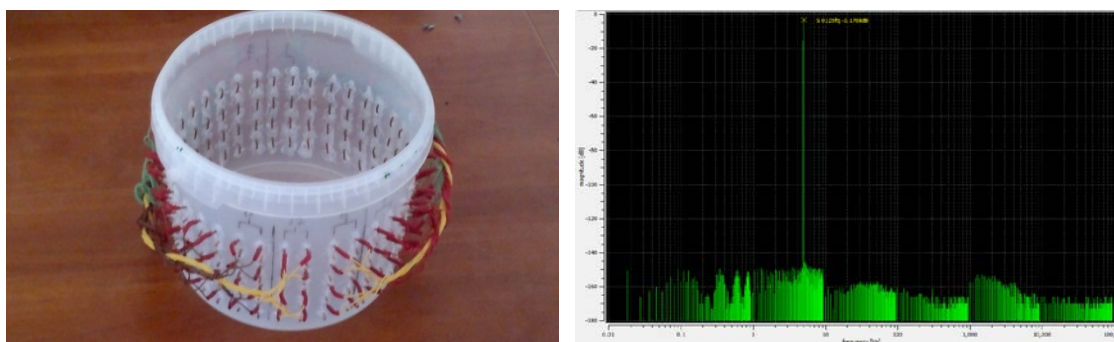
Pokazalo se da realizovana metoda konverzija podataka iz I²S u TCP/IP protokol ispravno i bez gubitaka uspešno pretvara podatke medicinskog mernog sistema u format koji je lak za prihvatanje od strane personalnog računara. Do gubitaka podataka dolazi samo u toj meri koja je svojstvena za UDP protokol. Uticaj tog gubitka se minimizira u bazi podataka, evidencijom izgubljenih UDP paketa.

Za date parametre mernog sistema, izmereno je opterećenje procesorskih ploča od 57%. Postojeća rezerva od 43% osigurava da trenutno implementirani procesi protokol konvertera izvršavaju svoje zadatke u realnom vremenu.

Rezultati istraživanja su stvorili mogućnosti za dalje praktične primene u sistemima za prikupljanje podataka u realnom vremenu. Predložena metoda povezivanja je pogodna za primenu u instrumentima koji mere pojave niskih frekvencija (do 48kHz). Tu spada npr. merenje prostiranja zvučnih talasa u vazduhu (akustička merenja) i u zemlji

(merenje rudnih bogatstva) ili višekanalno merenje biomedicinskih signala čoveka u visokoj rezoluciji.

Prikazana metoda povezivanja je uspešno implementirana u projektu (GOP-1.3.1-09/A-2009-0051)(8.1), gde je građen instrument za merenje impedanse, gde su podaci prikupljeni od 64 sonde (slika 5.1). U toj implementaciji upravljanje konverzijom realizovana je FPGA tehnologijom [89].



slika 5.1 – sonde za merenje impedanse i grafički prikaz rezultata

Izvor: fotografije Kuljić Bojan

Opisana metoda povezivanja je uspešno implementirana i u gradnji instrumenta za merenje deformacija armature u betonskim temeljima (slika 5.2 i slika 5.3). Merenje vrše 22 sonde, koje su pričvršćene na armaturu i daju informacije o eventualnim deformacijama izlivenog temelja tokom gradnje zgrade.



slika 5.2 – sonde za merenje deformacija armature temelja

Izvor: fotografije Kuljić Bojan



slika 5.3 – instrument za merenje deformacija armature temelja

Izvor: fotografije Kuljić Bojan

Istraživačka ekipa trenutno radi na razvoju instrumenta, koji će prikupiti podatke za impedansnu tomografiju. U toj realizaciji metode za konverziju, biće korišćen Gigabit Ethernet za prenos UDP datagrama.

5.3 ANALIZA REZULTATA SA STANOVIŠTA HIPOTEZA ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje je započeto u cilju da potpomogne u rešavanju praktičnog problema, koji se odnosi na realizaciju povezivanja laboratorijskog, medicinskog mernog uređaja za prikupljanje biomedicinskih signala sa personalnim računarom, koji vrši skladištenje i vizualizaciju. Zbog anatomskih, bioloških i tehničkih preduslova, merni uređaj prikupljene podatke predstavlja i distribuira u formatu višestrukog I²S toka podataka. Ovaj tip protokola ne koristi se u standardnim personalnim računarima. Cilj istraživanja je bio da se pronađe način da se podaci koji su na raspolaganju u obliku I²S toka, dostave u realnom vremenu personalnom računaru radi pohranjivanja, obrade i prikaza.

Cilj je postignut. Izrađena je metoda čijom realizacijom su uspešno povezani merni sistem i personalni računar, pomoću konverzije podataka iz I²S protokola u TCP/IP protokol. Realizacija rezultata istraživanja je iskorišćena za prvobitnu namenu i našla je praktičnu primenu u gradnji mernog instrumenta.

U kontekstu problema povezivanja medicinskog mernog uređaja za merenje biomedicinskih signala sa personalnim računarom, postavljene su sledeće hipoteze.

Pomoćne hipoteze

H1. Predložena metoda omogućuje pouzdan prenos podataka sa mernog sistema do računara bez gubitka podataka.

Metoda za povezivanje medicinskog mernog sistema sa personalnim računarom je implementirana u prototipu, sa kojim su vršena merenja u više navrata (4.6.1.2). Tokom tih merenja uspešno, bez gubitaka, su prenete sve merene vrednosti svih kanala biomedicinskih signala eksperimentalne životinje. Preneti podaci su, posle merenja, uspešno prikazani i analizirani na računaru (4.6.4).

Sa predstavljenom topologijom povezivanja namenske računarske mreže (4.6.1.2) nisu zabeleženi gubici kod UDP datagram paketa. I pored toga, predložena metoda povezivanja sadrži mehanizam za detekciju i obeležavanje izgubljenih paketa. Na taj način u zapisanim podacima merenja, evidentiraju se eventualni izostanci podataka.

H2. Predložena metoda je efikasnija od sličnih metoda.

Tokom projektovanja metode za povezivanje biran je interfejs, fizički komunikacioni kanal i protokol prema personalnom računaru. Za interfejs je biran Fast Ethernet priključak, za komunikacioni kanal UTP CAT5 upredena bakarna parica. Tokom izbora protokola vršena su poređenja TCP/IP protokola između TCP i UDP prenosa.

Prema izlaganju u poglavlju 4.3.1.4 UDP prenos se pokazao jednostavnijim za implementaciju, sa manjim dodatim zaglavljima paketa od TCP prenosa. Ipak najveća prednost UDP-a se pokazala u slučaju brzine prenosa (*slika 4.31*) toka podataka koji se sastoji od izuzetno velikog broja paketa. To se postiže mehanizmom za postavljanje,

održavanje i praćenje parametara veze. Kompenzaciju izgubljenih paketa moguće je izvršiti na višim nivoima prenosa, npr. na transportom nivou.

Mogućnost skaliranja predložene metode povezivanja daje mogućnost, da se sistem prilagodi još većim zahtevima prenosa u smislu broja prenosnih kanala i brzine prenosa.

H3. Predložena metoda predstavlja bolji način povezivanja od drugih rešenja.

Tokom projektovanja metode za povezivanje pregledani su interfejsi personalnog računara koji su na raspolaganju za prenos podataka (4.1.4). Ukupno je uzeto u razmatranje 21 različitih interfejsa. Neki interfejsi kao što su: RS 232, paralelni port i Bluetooth imaju premalu maksimalnu brzinu prenosa, i kao takvi nisu više bili razmatrani za upotrebu u povezivanju mernog uređaja sa personalnim računarem.

Značajan broj postojećih interfejsa su specifični u smislu komunikacije u oba smera ili zbog pisanja specijalnih drajvera za upotrebu korisničkog hardvera. Takvi su npr. interfejsi za povezivanja računara sa memorijskim karticama i eksternim masovnim medijumima (eSATA, CardBus, FireWire i sl.).

Dva najznačajnija kandidata u izboru interfejsa su bila USB i Ethernet. USB interfejs je izveden u više standardnih brzina prenosa. USB 2 i 3 zadovoljavaju brzinske zahteve koje diktira prenos podataka I²S magistrale ka računaru. Preko USB interfejsa, zbog topologije razgranatog stabla povezivanja USB čvorova i uređaja (4.1.6), kao i zbog podređenog statusa USB uređaja, koji rade pod protokolom „govori kada te pitaju“ nije moguće izgraditi efikasan i pouzdan prenos podataka I²S magistrale.

H4. Predložena metoda može poslužiti za povezivanje mernih sistema sa drugim mernim podacima na računar.

Metoda za povezivanje mernog sistema i računara pomoću konverzije podataka I²S magistrale u TCP/IP protokol razvijena je zbog potrebe projekta (INNO-6-2007-0002)(8.1) za povezivanje medicinskog mernog uređaja. Pomenuti uređaj vrši akviziciju EEG signala eksperimentalnih životinja. Metoda je uspešno implementirana u prototip (4.6). Pomoću prototipa uspešno je izvršeno povezivanje instrumenta sa personalnim računarem i time uspešno okončan međunarodni projekat.

Na osnovu modela metode za povezivanje (4.5) građena su dva druga merna sistema, gde je povezan I²S izvor sa računarem. U projektu (GOP-1.3.1-09/A-2009-0051)(8.1) metoda je implementirana u sistemu za geodetska merenja, gde se prenose podaci o impedansi koju mere sonde (poglavlje 5.2). Razvijena metoda povezivanja I²S sa računarem je uspešno primenjena i u gradnji instrumenta za merenje deformacija betonskih temelja, gde se prenose naponi mernih mostova pričvršćenih na armature temelja.

Predložena metoda povezivanja tokom konverzije podataka sa I²S protokol steka na TCP/IP protokol stek ne vrši tumačenje ili obradu podataka (4.6.3) i zato može biti iskorišćen u svim onim slučajevima, gde je potrebno povezivati I²S magistralu podataka sa personalnim računarem.

Sve četiri pomoćne hipoteze su se pokazale kao održive.

Glavna hipoteza

Moguće je uvesti efikasnu metodu za povezivanje mernog sistema i računara pomoću konverzije podataka iz I²S u TCP/IP protokol.

Tokom istraživanja, u više iteracija, razvijena je metoda za povezivanje mernog sistema i računara pomoću konverzije podataka iz I²S u TCP/IP protokol. Postavljene su i pomoćne hipoteze koje su se pokazale kao održive.

Predložena metoda za povezivanje je implementirana kao prototip, i ugrađena u sistem merenja EEG signala eksperimentalne životinje. Izvršena merenja su pokazala da predložena metoda efikasno i pouzdano vrši konverziju podataka I²S magistrale u TCP/IP protokol. Metodu je zbog svoje opštosti moguće skalirati i koristiti za prenos podataka iz drugih izvora, kao što je geodezija ili građevinarstvo.

6 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Problem da se pronađe efikasna metoda za povezivanje korisničko specifične I²S magistrale medicinskog mernog instrumenta sa standardnim periferijom personalnog računara, pojavio se tokom međunarodnog interdisciplinarnog istraživačkog projekta (INNO-6-2007-0002) (8.1). Ova disertacija prikazuje teorijsko i eksperimentalno istraživanje, tokom kojeg je rešen ovaj problem.

Fokus je stavljen na prikaz stvaranja modela protokol konvertera sa iterativnom procesom implementiranja istog. Laboratorijska merenja i testovi pokazuju, da realizovani protokol konverter u potpunosti ispunjava sve postavljene zahteve, za konverziju podataka I²S protokola bez gubitaka u TCP/IP protokol.

Razvoj hardvera i softvera vođen je principom, da se omogući naknadno skaliranje sistema. Sistem je tako projektovan, da je moguće dodavati procesorske module ako je potrebno prihvatiti podatke od još više kanala ili ako se poveća brzina uzorkovanja.

6.1 MOGUĆE PRIMENE REZULTATA

Izrađeno efikasno rešenje može doprineti do unapređenja kvaliteta sličnih mernih sistema, sa istovremenim smanjenjem ulaganja vremena i novca u razvoj istih. Ponuđena metoda je opšta i može se primeniti osim u akvizicionim sistemima EEG signala i za druge tipove podataka. Metoda je uspešno korišćena za konverziju podataka u mernoj opremi u drugim oblastima kao što su npr.: impedansna merenja, geodezija, građevinarstvo.

6.2 BUDUĆA ISTRAŽIVANJA I SMEROVI RAZVOJA

Rezultati istraživanja u doktorskoj disertaciji predstavljaju zaokruženu celinu, ali i osnovu za dalja istraživanja u predmetnoj oblasti.

Neke ideje za dalja istraživanja su:

- Istražiti mogućnost korišćenja drugih protokola Fast Ethernet-a. Postoje protokoli za komuniciranje u realnom vremenu i za distribuiranje audio sadržaja u realnom vremenu.
- Istražiti mogućnost građenja sistema sa korišćenjem Gigabit Ethernet-a.
- Istražiti korišćenje ARM i FPGA tehnologija u cilju da se sistem unapredi na taj način, da se svede broj upotrebljenih upravljačkih jedinica na jednu.
- Istražiti upotrebu izrađene metode u distributivnim sistemima koji bi formirali ad-hoc merenja po klasterima. Na taj način graditi alternativno rešenje za skaliranje sistema.

REZIME

Ova doktorska disertacija predstavlja istraživački rad sproveden sa ciljem da reši praktičan problem, koji se odnosi na realizaciju povezivanja laboratorijskog, medicinskog mernog uređaja za prikupljanje biomedicinskih signala sa personalnim računarom. Rezultat istraživačkog rada je opšta metoda koja obezbeđuje efikasnu konverziju podataka I²S protokola u TCP/IP protokol.

Prvo poglavlje sadrži kratak uvod.

U *drugom poglavlju* (metodološki koncept rada) definisan je koncept rada doktorske disertacije koji obuhvata: predmet, problem, cilj, hipoteze i metode istraživanja, prikaz dosadašnjih istraživanja, kako i naučnu i društvenu opravdanost istraživanja.

U *trećem poglavlju* su sistematički prikazane definicije korišćenih pojmova.

U *četvrtom poglavlju* u delu *teorijska istraživanja* obrađena su teorijska istraživanja koja su korišćenjem metode naučnog opisivanja i naučnog osmatranja – u kontekstu istraživanja – sistematski opisane: predmet istraživanja, tj. akvizicioni sistem; tok podataka medicinskog instrumenta, tj. I²S magistrala; periferni portovi i protokoli personalnog računara. U delu *dodatna teorijska istraživanja* opisani su: konverter protokola, ugrađeni sistemi u realnom vremenu, kako i tehnike upravljanja memorijom i tokom podataka. U delu *analitička-sintetička istraživanja* postavljen je sopstven model za rešavanje problema, prikazan je iterativni razvoj modela od crne, do bele kutije. U delu *eksperimentalna istraživanja* prikazana je praktična realizacija modela koji je podvrgnut naučnom eksperimentu. U ovoj fazi je vršen redizajn i skaliranje protokol konvertera i formiranje krajnjeg rešenja metode za konverziju.

U *petom poglavlju* (rezultati istraživanja) saopšteni su rezultati istraživanja dobijeni naučnim metodama, dokazana glavna hipoteza i vrednovani rezultati istraživanja za praktičnu primenu.

U *šestom poglavlju* (zaključna razmatranja) dati su: kratak rezime doktorske disertacije i predlozi za moguće primene rezultata i dalja istraživanja u temi.

Sedmo poglavlje sadrži spisak korišćene štampane literature i internet referenci.

U *osmom poglavlju* (prilozi) su prikazani dodatni dokumenti, dijagrami i opisi protokola i algoritama, koji su u vezi sa istraživanjem i nadovezuju se na izlaganja u prethodnim poglavljima. U cilju efikasnog pronalaženja mesta definicija formula, na kraju ovog poglavlja nalazi se i indeks formula.

U *devetom poglavlju* prikazane su skraćenice koji su korišćene u ovoj disertaciji.

SUMMARY

This doctoral thesis presents the research work performed with the aim to solve a practical problem relating to the implementation of connecting a medical measuring device for the acquisition of biomedical signals to a personal computer. The result of the research is a general method that provides efficient data conversion from I2S protocol to the TCP/IP protocol.

The first chapter provides a brief introduction.

The second chapter (Methodological concept of work) defines the concept of the doctoral dissertation is defined. This section includes the following: research area, problem, goal, hypotheses and research methods, review of related works, as well as scientific and social justification of the research.

In the third chapter definitions of used terms are systematically presented.

The fourth chapter (theoretical research) deals with theoretical studies and used methods in the context of this research, which is systematically presented as follows: the subject of research, i.e. data acquisition system; the data stream of the medical instrument, i.e. I²S bus; peripheral ports and protocols of the personal computer. Further theoretical research is given in this order: protocol converter, real time built-in systems, as well as techniques of memory management and data flow. In the section on synthetic analytical research, the author's own model for solving the problem is shown in an iterative model development process from black to white box. In the experimental part of the research the practical realization of the model is shown, together with scientific experiment. At this stage, redesign and scaling of protocol converter is performed and the final solution methods for conversion are defined.

The fifth chapter (research results) presents the research results obtained by scientific methods, the main hypothesis is proven and the results of research are evaluated in practical application.

In the sixth chapter (concluding observations) provides: a brief summary of the doctoral thesis and suggestions for possible applications of the results and further research in the field.

The seventh chapter contains a list of printed literature and Internet references used.

In the eighth chapter (contributions) there are additional documents, diagrams and descriptions of protocols and algorithms, which are related to research and are based on the previous chapters. At the end of this chapter there is also a formula index.

In the ninth chapter, the abbreviations used in this thesis are listed.

7 REFERENCE

7.1 ŠTAMPANI IZVORI

- [1] Živoslav Adamović – Metodologija naučno - istraživačkog rada, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2011, ISBN 978-86-7672-141-2
- [2] Jan Axelson – Embedded Ethernet and internet complete designing and programming small devices for networking, Lakeview Research LLC, 2003, ISBN 1-931448-01-9
- [3] Jan Axelson – USB Complete Everything You Need to Develop Custom USB Peripherals, Lakeview Research LLC, 2005, ISBN13 978-1-931448-03-1
- [4] Balaji – Embedded System Design Using 8051 Microcontrollers, Frontline, 2002
- [5] Stuart Ball – Analog Interfacing to Embedded Microprocessor Systems, Elsevier, 2003, ISBN 0-7506-7723-6
- [6] Stuart Ball – Embedded Microprocessor Systems Real World Design, Newnes, 2002, ISBN 0-7506-75349
- [7] Michael Beck, Ethernet in the First Mile, McGraw-Hill, 2005, 0-07-146991-5
- [8] Bela G. – Liptak Instrument Engineers Handbook, Volume 1, Fourth Edition Process Measurement and Analysis, 1995, ISBN 0-8493-1083-0
- [9] Okan Bingol et al. – Web-based Smart Home Automation: PLCcontrolled Implementation, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 11. No. 3, 2014, pp. 51-63
- [10] Bohdan Borowik – Interfacing PIC Microcontrollers to Peripheral Devices, Intelligent Systems, Control and Automation Science and Engineering, 2011
- [11] M. Branzila, C. Donciu, Subhas Chandra Mukhopadhyay, Aim, Lay-Ekuakille – Advances in Biomedical Sensing, Measurements, Instrumentation and Systems, Springer, 2010, ISBN 978-3-642-05166-1
- [12] Catalin Bujdei et al. – Seedeuino boot: an Advanced Bootloader for Seedeuino Stalker v2 Platforms, Allowing Remote Firmware Update, Acta Polytechnica Hungarica, Volume 11. No. 9, 2014, pp. 131-144
- [13] Rulph Chassaing – Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK, 2005
- [14] Keith R. Cheatle – Fundamentals of Test Measurement Instrumentation, 2006
- [15] Hsinchun Chen, Sherrilyne S . Fuller, Carol Friedman, William Hersh – Knowledge Management and Data Mining in Biomedicine, Integrated Series in Information Systems, Medical Informatics, Springer, 2005, ISBN-10: 0-387-2438 1-X
- [16] Edward J. Ciaccio et al. – Multichannel Data Acquisition System for Mapping the Electrical Activity of the Heart, Pacing and Clinical Electrophysiology, Volume 28, Issue 8, pp. 826-838, 2005 by Blackwell Futura Publishing Company, Inc.
- [17] Musa Cibuk, Hasan H. Balik – A novel solution approach and protocol design for bio-telemetry applications, Advances in Engineering Software, Volume 42, Issue 7, July 2011, pp. 513-528
- [18] C Cordova-Fraga Teodoro et al. – Wireless Implementation for Monitoring the Bio-Signal Shape of Blood Vessels Original Research Article, Ingeniería, Investigación y Tecnología, Volume 15, Issue 1, January–March 2014, pp. 11-19
- [19] John Crisp – Introduction to Microprocessors and Microcontrollers, Elsevier, 2004, ISBN 0 7506 5989 0
- [20] Keith Curtis – Embedded Multitasking. with Small Microcontrollers, 2006

- [21] Zlatko Čović, Robert Bašić, Bojan Pejić – Razvoj desktop aplikacija sa python programskim jezikom za pristup web servisima, zbornik radova simpozijuma o računarskim naukama i informacionim tehnologijama YUINFO 2009, Kopaonik, Srbija, 08-11.03.2009
- [22] Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, MapReduce – Simplified Data Processing on Large Clusters, OSDI'04: Sixth Symposium on Operating System Design and Implementation, 2004
- [23] Dobrilovic Dalibor, Stojanov Zeljko, Brtka Vladimir, Covic Zlatko, Bilinac Nemanja – Software Application for Analyzing ZigBee Network Performance in University Courses, 2014 IEEE 12th International Symposium an Intelligent Systems and Informatics (SISY), pp. 73-77
- [24] Guido Dornhege, Jos, del R. Millán, Thilo Hinterberger, Dennis J. McFarland, Klaus-Robert Müller – Toward Brain-Computer Interfacing, The MIT Press Cambridge, 2007, ISBN 978-0-262-04244-4
- [25] B.P. Douglass – Developing Real-time Systems with UML, Addison-Wesley, 1999., ISBN 0201498375
- [26] Dukán Péter, Szakáll Tibor, Odry Péter – Nagysebességű adatfolyam küldése kis teljesítményű eszközzel, és a folyamatos tárolás megoldása, proceedings of IKT 2008 – Informatika Korszerű Technikái Konferencia 2008, pp. 34-38, Dunaújváros, Hungary, ISBN 978-963-87780-2-4
- [27] Lauren B. Eder – Managing Healthcare Information Systems with Web-Enabled Technologies, IGI Global, 2000
- [28] Moutnadi Fatima, Gómez Méndez Javier, Delgado Hernández Julio Carlos, Tovar Medina Roberto –Development of a mobile electrocardiograph with a wireless warning embedded system, Procedia Engineering, Volume 35, 2012, pp. 144-154
- [29] Mariano Fernández-Corazza, Leandro Beltrachini, Nicolás von Ellenrieder, Carlos H. Muravchik – Analysis of parametric estimation of head tissue conductivities using Electrical Impedance Tomography, Biomedical Signal Processing and Control, Volume 8, Issue 6, November 2013, pp. 830-837
- [30] Josiah Firth, Francois Ladouceur, Zourab Brodzeli, Matthew Wyres, Leonardo Silvestri – A novel optical telemetry system applied to flowmeter networks, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 48, April 2016, pp. 15-19
- [31] Tony Fischer-Cripps – Newnes Interfacing Companion Computers, Transducers, Instrumentation and Signal Processing, Newnes, 2002, ISBN 0 750 65720 0
- [32] Lee Weng Fook – VLIW Microprocessor Hardware Design On ASIC and FPGA, The McGraw-Hill Companies, 2007, 0-07-159584-8
- [33] Louis E. Frenzel Jr – Chapter Fifteen - Inter-IC Sound (I2S) Bus, Handbook of Serial Communications Interfaces, 2016, pp. 71-72
- [34] Chris J. Georgopoulos – Interface Fundamentals in Microprocessor-Controlled Systems, D. Reidel Publishing Company, 1985, ISBN-13: 978-94-010-8915-9
- [35] Howard B Glasgow, JoAnn M Burkholder, Robert E Reed, Alan J Lewitus, Joseph E Kleinman – Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Volume 300, Issues 1–2, 31 March 216, pp. 409-448
- [36] Lawrence D. Goettsche – Practical Guides For Measurement And Control Practical Guides for Measurement and Control, Maintenance of Instruments & Systems, 2004
- [37] A.F.J. von Gordon, G.P. Hancke – Protocol conversion for real-time energy management systems, Factory Communication Systems, 2004. Proceedings. 2004 IEEE International Workshop on Volume, Issue, 2004 pp. 319 - 322
- [38] Bas Graaf, Marco Lormans, Hans Toetenel – Embedded Software Engineering: The State of the Practice, IEEE Computer Society, Delft University of Technology, 2003.

- [39] Yunhong Gu, Robert L. Grossman – UDT: UDP-based data transfer for high-speed wide area networks, *Computer Networks*, Volume 51, Issue 7, 16 May 2007, pp. 1777-1799
- [40] Lawrence Harte – Introduction to Data Multicasting, IP Multicast Streaming for Audio and Video Media Distribution, Althos Publishing, 2008, ISBN 1-932813-55-1
- [41] Hawkins D.W. – Real-time processing with the Philips LPC ARM mcu using GCC and uCOS II RTOS, Philips 05, 2006, Project Number AR1803
- [42] Jingyi He, S.-H.Gary Chan – TCP and UDP performance for Internet over optical packet-switched networks, *Computer Networks*, Volume 45, Issue 4, 15 July 2004, pp. 505-521
- [43] Gilbert Held – Carrier Ethernet Providing the Need for Speed, CRC Press, 2008, ISBN 13: 978-1-4200-6039-3
- [44] Gustav Hellström, Jonatan Klaminder, Micael Jonsson, Jerker Fick, Tomas Brodin – Upscaling behavioural studies to the field using acoustic telemetry, *Aquatic Toxicology*, Volume 170, January 2016, pp. 384-389
- [45] Marjan Asadzadeh Heravi, Liviu Marin, Cristiana Sebu – The method of fundamental solutions for complex electrical impedance tomography, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, Volume 46, September 2014, pp. 126-139
- [46] David S Holder – Electrical Impedance Tomography, Methods, History and Applications, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, 2005 IOP Publishing Ltd.
- [47] Ji-Jer Huang, Yi-Hsuan Hung, Jhi-Joung Wang, Bor-Shyh Lin – Design of wearable and wireless electrical impedance tomography system, *Measurement*, Volume 78, January 2016, pp. 9-17
- [48] Hughes L.E. – A practical guide to RS-232 interfacing, Mycroft Labs, Inc.
- [49] Hyslop G.A. – Bucketing algorithms for sorting selection and computational geometry, 1993
- [50] Dogan Ibrahim, Fahreddin Sadikoglu – Teaching Radio Telemetry using Microcontrollers with Low Power Radio Devices, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 182, 13 May 2015, pp. 686-691
- [51] Dogan Ibrahim – Advanced PIC Microcontroller Projects in C From USB to RTOS with the PIC 18F Series, Newnes, 2008, ISBN-13: 978-0-7506-8611-2
- [52] Dogan Ibrahim – SD Card Projects Using the PIC Microcontroller, Newnes, 2010, ISBN 978-1-85617-719-1
- [53] IEEE standard glossary of software engineering terminology, Version 610.12-1990, Standards Coordinating Committee of the IEEE Computer Society, USA 1990, E-ISBN: 0-7381-0391-8
- [54] Zdravko Ivanković, Dragica Radosav, Branko Markoski – Softversko inženjerstvo 2, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2013
- [55] Faisal Imdad-Haque – Inside PC Card Cardbus and Pcmcia Design, Newnes, 1996, ISBN 0-7506-9747-4
- [56] J.R Ives, C.J Thompson, J.F Woods – Acquisition by telemetry and computer analysis of 4-channel long-term EEG recordings from patients subject to “petit-mal” absence attacks, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Volume 34, Issue 6, June 1973, pp. 665-668
- [57] M. Elise Johanson, Stephen R. Skinner, Larry W. Lamoreux, Roger St. Helen, Sally A. Moran, R. Kirklin Ashley – Phasic relationships of the extrinsic muscles of the normal hand, *The Journal of Hand Surgery*, Volume 15, Issue 4, July 1990, pp. 587-594
- [58] Y. M. Joo, N. McKeown – Doubling memory bandwidth for network buffers, *INFOCOM '98. Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings.* IEEE, San Francisco, CA, 1998, pp. 808-815 vol.2., doi: 10.1109/INFCOM.1998.665104

- [59] Dijana Karuović, Vesna Jevtić, Erika Eleven – Teorija informacija i komunikacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2012, ISBN 978-86-7672-164-1
- [60] Péter Kaszás, Tibor Szakáll, Ákos Székács, Szabolcs Divéki – Audio System Controlling Protocol with AES3, Proceedings of 5th. International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp.45-48, 2007, ISBN: 1-4244-1443-1, IEEE Catalog Number : 07EX1865C, Library of Congress : 2007930059
- [61] Dr. Jayantha Katupitiya, Mr. Kim Bentley – Interfacing with C++ Programming, Real-World Applications, Springer, 2006, ISBN-10 3-540-25378-5
- [62] Ljubica Kazi, Biljana Radulović – Projektovanje informacionih sistema kroz primere i zadatke, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2008, ISBN 978-6-7672-105-4
- [63] Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie – C Programming Language, 2nd Edition, 1989
- [64] Wasim Ahmed Khan, Abdul Raouf – Standard Ieee 1394 Firewire, American National Standards Institute, 2002, ISBN 0-7381-3253-5 SH94986
- [65] Sen M. Kou, Bob H. Lee – Real-Time Digital Signal Processing I, Implementations and Applications 2nd Edition, 2006
- [66] Bojan Kuljić, János Simon, Tibor Szakáll – Pathfinding Based on Edge Detection and Infrared Distance Measuring Sensor, Acta Polytechnica Hungarica – Journal of Applied Sciences, Volume 6. Issue Number 1, pp. 103-116, Budapest, Hungary 2009, ISSN 1785-8860. Rang časopisa: M23, Petogodišnji impakt faktor časopisa (2013): 0.465. ISI/WoS citati: 4 kom.
- [67] Bojan Kuljić, Anita Sabo, Tibor Szakáll, Andor Sagi – Unified UML Software Environment for Embedded Systems in Education, zbornik radova SISY 2012 – Proceedings of the 2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 493-497, Subotica, Srbija 2012, ISBN: 978-1-4673-4749-5, IEEE Catalog Number: CFP1284C-USB.
- [68] Bojan Kuljić, Anita Sabo, Tibor Szakáll, Andor Sagi – Enhancing Interactions in Education with Embedded Systems, zbornik radova SISY 2011 – Proceedings of the 9th. IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 501-505, Subotica, Srbija 2011, ISBN: 978-1-4577-1973-8, IEEE Catalog Number: CFP1184C-CDR.
- [69] Bojan Kuljić, Tibor Szakáll, Zlatko Čović, Lehel Nyers – Practical Implementation of RFID Technology in Education, SISY 2009 - Proceedings of 7th. International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 345-348, CD, 2009, ISBN: 978-1-4244-5349-8, IEEE Catalog Number: CFP0984C-CDR, Library of Congress: 2009909575
- [70] Bojan Kuljić, Simon János, Szakáll Tibor – Mobile robot controlled by voice, Proceedings of 5th. International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp.189-192, 2007, ISBN: 1-4244-1443-1, IEEE Catalog Number: 07EX1865C, Library of Congress: 2007930059
- [71] G. Jack Lipovski – Embedded Microcontroller Interfacing for M-CORE Systems, 2000
- [72] G. Jack Lipovski – Introduction to Microcontrollers, Second Edition Architecture, Programming, and Interfacing for the Freescale 68HC12, Elsevier Academic Press, 2004, ISBN: 0-12-451838-9
- [73] Hua Liu, Ziping Guo, Hengyang Zhao, Guozheng Yan, Zhiwu Wang, Yu Shi, Zhiwei Jia, Hongwei Li – An implantable radio-telemetry system for detecting multiple bio-parameters of a small animal based on wireless energy transmission, Mechatronics, Volume 28, June 2015, pp. 18-26
- [74] V. F. de Lucenta et al. – Teaching software engineering for embedded systems, pp S4C-3 – S4C-8, Frontiers in education conference, 2007.
- [75] Dušan Malbaški – Internet programiranje, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2007, ISBN 978-86-7672-081-1

- [76] Dr Dušan Malbaški – Odabrana poglavlja iz metoda programiranja, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2005, ISBN 86-7672-039-8
- [77] Dr Dušan Malbaški, Dr. Danilo Obradović – Osnovne strukture podataka, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 1995.
- [78] Brian W. Mardsen – Communication network protocols 2nd Edition. Chartwell Bratt, 1986., ISBN 0-86238-106-1.
- [79] Markó Imre – PC Hardver, LSI oktatóközpont, Budapest, 2000, ISBN: 963-577-295-5
- [80] Kalman Mathe, Peter Odry – DSP Platform for 64-Channel Brain Cell Signal Preprocessing, zbornik radova, SISY 2008 - Proceedings of 6th. International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 1-5, CD, Budimpešta, Mađarska 2008, ISBN: 978-1-4244-2407-8, IEEE Catalog Number: CFP0884C-CDR, Library of Congress: 2008903278
- [81] David L. DeMets, Curt D. Furberg, Lawrence M. Friedman – Data Monitoring in Clinical Trials, A Case Studies Approach, Springer, 2006, ISBN-10: 0-387-20330-3
- [82] Dragan Milićev, Marko Zarić, Nebojša Piroćanac – Objektno orijentisano modelovanje na jeziku UML, skripta sa praktikumom“, Mikro knjiga, Beograd, 2002.
- [83] Ronk, M. Min and T. Parve – Simultaneous multi-frequency bio-impedance measurement applying synchronised uniform or non-uniform sampling, pp. 85-89, 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography 2007 ISSN: 1680-0737
- [84] Mark Minas – Nadogradnja i održavanje PC računara, Mikro Knjiga, Beograd, 2005., CIP 004.382.7-7(035), ISBN 86-7555-321-8, COBISS.SR-ID 123059468
- [85] Alan S. Morris, Reza Langari – Measurement and Instrumentation. Theory and Application, Elsevier Inc., San Diego, 2012, ISBN 978-0-12-381960-4
- [86] T. Nacke, A. Barthel, J. Friedrich, M. Helbig, J. Sachs, M. Schäfer, P. Peyerl, U. Pliquet – A new hard and software concept for impedance spectroscopy analysers for broadband process measurements, pp. 194-197, 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography 2007 ISSN: 1680-0737
- [87] P. Neelamegam, A. Rajendran, C. Maruthanayagam, M. Mohanraja – Design and development of embedded system for the study of the biochemical variations induced by monocrotophos in *Cyprinus carpio*, Measurement, Volume 40, Issue 4, May 2007, pp. 372-377
- [88] Ottó Nyári, Tibor Szakáll, Péter Odry – IIR Halfband Filter Design with TMS320VC33 DSP, Proceedings of 3rd. Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems, pp.59-65, Budapest, Hungary 2005, ISBN 963-7154-41-8
- [89] Péter Odry, Ferenc Henézi, Ervin Burkus, Attila Halász, István Kecskés, Robert Márki, Bojan Kuljić, Tibor Szakáll, Kálmán Máthé – Application of the FPGA technology in the Analysis of the Biomedical Signals, zbornik radova SISY 2011 – Proceedings of the 9th. IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 407-412, Subotica, Srbija 2011, ISBN: 978-1-4577-1973-8, IEEE Catalog Number: CFP1184C-CDR.
- [90] Peacock C. – Interfacing the enhanced parallel port, Craig Peacock, 2002
- [91] Peacock C. – Interfacing the extended capabilities port, Craig Peacock, 2002
- [92] Peacock C. – Interfacing the RS232 port. V5.0, Craig Peacock, 1998
- [93] Peacock C. – Interfacing the standard parallel port, Craig Peacock, 1998
- [94] Peacock C. – USB peripheral with I2C serial interface, Craig Peacock, 2000
- [95] Peacock C. – USB in a nutshell. Making sense of the USB standard, Craig Peacock, 2002

- [96] T.A. Perkins – Low Power VHF Transmitter for Multiplexed Telemetry, A Handbook on Biotelemetry and Radio Tracking, 1980, pp. 201-204
- [97] Cuno Pfister – Getting Started with the Internet of Things, Connecting Sensors and Microcontrollers to the Cloud, 2011
- [98] Philips Semiconductors – I2S bus specification, 1996,
- [99] Dominique Placko – Fundamentals of Instrumentation and Measurement, ISTE Ltd, 2007, ISBN-13: 978-1-905209-39-2
- [100] Cristina Polonschii, Dumitru Bratu and Eugen Gheorghiu – Multi Frequency, Multi Channel, Differential Impedance Analyzer for Rapid Assays, pp. 229-231, 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography 2007 ISSN: 1680-0737
- [101] Postel J. – User Datagram Protocol, RFC 768, Information Sciences Institute, 2010. <http://tools.ietf.org/html/rfc768>
- [102] Chandrasekhar Potluri, Madhavi Anugolu, D. Subbaram Naidu, Marco P. Schoen, Steve C. Chiu – Real-time embedded frame work for sEMG skeletal muscle force estimation and LQG control algorithms for smart upper extremity prostheses, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 46, Part A, November 2015, pp. 67-81
- [103] I.G. Priede – Heart rate telemetry from fish in the natural environment, Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, Volume 76, Issue 3, 1983, pp. 515-524
- [104] Dragica Radosav – Softversko inženjerstvo, drugo ponovljeno izdanje, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2011, ISBN 978-86-7672-142-9
- [105] Biljana Radulović, Zoltan Kazi, Ljubica Kazi – Informacioni sistemi, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2010 ISBN 978-86-7672-149-8
- [106] Biljana Radulović, Ljubica Eremić, Zoltan Kazi – Odabrana poglavlja projektovanja informacionih sistema, Tehnički fakultet Mihajlo Pupin Zrenjanin, 2002.
- [107] A.R.A. Rahman, S. Bhansali – Data acquisition and Impedance Mapping Using a Multielectrode Bio-impedance Spectroscopy System, pp. 221-224, 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography 2007 ISSN: 1680-0737
- [108] Helmi Rashid, Abdul Rahman Omar, et al. – Usage of Wireless Myon 320 Surface Electromyography (sEMG) System in Recording Motorcyclist Muscle Activities on Real Roads, a case study, Procedia Manufacturing, Volume 3, 2015, pp. 2566-2573
- [109] Deon Reynders, Edwin Wright – Practical TCP-IP and Ethernet Networking, Newnes, 2003, ISBN 07506 58061
- [110] Charles Roberts – Final Cut Pro 2 for FireWire DV Editing, Butterworth–Heinemann, 2001
- [111] Keith W. ROSS, James F. KUROS: Connectionless Transport: UDP, 2000
- [112] Anita Szabó, Norbert Sram – Functional Programming in Embedded Systems and Soft Computing, Symposium on Intelligent Systems and Informatics, 2007 Subotica, Serbia, pp. 61-65
- [113] Anita Sabo, Bojan Kuljić, Tibor Szakáll – Educational Tools for Object-Oriented DSP Interactive DSL Framework, Computing and Informatics, Institute of Informatics, Slovak Academy of Sciences, 2013, Vol 32, No 2, ISSN: 1335-9150. Rang časopisa M23. Impakt faktor časopisa (2013): 0.319.
- [114] Anita Sabo, Bojan Kuljić, Tibor Szakáll – Methodology Enhancements of the Educational Process in DSP Programming Course, Deturope, The Central European Journal of Regional Development and Tourism, 2012, Vol 4, No 3, ISSN 1821 – 2506.

- [115] Anita Sabo, Bojan Kuljić, Tibor Szakáll, Andor Sagi – Realization of Concurrent Programming in Embedded Systems, 4th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources - EXPRES, pp. 131-134, Subotica, Serbia, 2012, ISBN: 978-86-85409-10-7.
- [116] Tibor Sakal, Peter Odry, Janoš Šimon – Realizacija multiprocesorski kontrolisanog uređaja za galvanizaciju sa telemetrijom, zbornik radova CD, YUINFO 2006, XIII Konferencija, Kopaonik, Srbija, ISBN: 978-86-85525-02-5
- [117] Szakáll Tibor, Péter Dukán, Borislav Odadžić, Odry Péter – Realization of Reliable High Speed Data Transfer Over UDP with Continuous Storage, zbornik radova CINTI 2010 – Proceedings of the 11th. IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, pp. 307-309, Budapest, Hungary, 2010, ISBN: 978-1-4244-9278-7, IEEE Catalog Number: CFP1024M-PRT.
- [118] Szakáll Tibor, Bojan Kuljić, Péter Dukán, Kalman Mathe, Odry Péter – Realization of protocol conversion for high speed data acquisition system, SISY 2009 - Proceedings of 7th. International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 341-344, CD, 2009, ISBN: 978-1-4244-5349-8, IEEE Catalog Number: CFP0984C-CDR, Library of Congress: 2009909575
- [119] Tibor Sakal – Projektovanje i realizacija sistema za prihvatanje višestrukog I2S audio toka podataka u realnom vremenu, magistarska teza, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Univerzitet u Novom Sadu, 2012
- [120] César Sanchez – Deadlock Avoidance for Distributed Real-Time and Embedded, Dissertation, Department of Computer Science of Stanford University, 2007 May
- [121] Stephen Saunders – Gigabit Ethernet, McGraw-Hill Computer Communications Series, 1998
- [122] Sebastian Schostek, Melanie Zimmermann, Jan Keller, Mario Fode, Michael Melbert, Marc O. Schurr, Thomas Gottwald, Ruediger L. Probst – Telemetric real-time sensor for the detection of acute upper gastrointestinal bleeding, Biosensors and Bioelectronics, Volume 78, 15 April 2016, pp. 524-529
- [123] Hidenari Sawashima, et al. – Characteristics of UDP Packet Loss: Effect of TCP Traffic, proceedings of Internet Society's seventh annual conference, INET'97, Kuala Lumpur, 1997
- [124] Ákos Székács, Tibor Szakáll, Zoltán Hegyközi – Realising the SPI communication in a multiprocessor system, Proceedings of 5th. International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp.213-216, 2007, ISBN: 1-4244-1443-1, IEEE Catalog Number: 07EX1865C, Library of Congress: 2007930059
- [125] Carolyn B. Seaman, Manoel G. Mendonca, Victor R. Basili, Yong-Mi Kim – User interface evaluation and empirically-based evolution of a prototype experience management tool, IEEE Transactions on Software Engineering, vol.29, no.9, pp. 838-850, Sept. 2003
- [126] S. K Sen – Understanding 8085 8086 Microprocessor and Peripheral ICs
- [127] L. Sequeira, et al. - The influence of the buffer size in packet loss for competing multimedia and bursty traffic, proceedings of Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), 2013 International Symposium, Toronto 2013, pp. 134-141., ISBN: 978-1-56555-352-1
- [128] Olavo Luppi Silva, Raul Gonzalez Lima, Thiago Castro Martins, Fernando Silva de Moura, Renato Seiji Tavares, Marcos Sales Gua Tsuzuki – Influence of current injection pattern and electric potential measurement strategies in electrical impedance tomography, Control Engineering Practice, Available online 11 March 2016
- [129] M.G. De Simoni, A. De Luigi, L. Imeri, S. Algeri – Miniaturized optoelectronic system for telemetry of in vivo voltammetric signals, Journal of Neuroscience Methods, Volume 33, Issues 2–3, August 1990, pp. 233-240

- [130] Gurmeet Singh, Sneha Anand, Brijesh Lall, Anurag Srivastava, Vaneet Singh – Development of Practical Phantoms with Microcontroller based simple Wireless Instrumentation for EIT, All India Institute of Medical Sciences, New Delhi
- [131] Dag I.K. Sjöberg, Jo E. Hannay, Ove Hansen, Vigdis By Kampenes, Amela Karahasanovic, Nils-Kristian Liborg, Anette C. Rekdal – A Survey of Controlled Experiments in Software Engineering" IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 31, no. 9, pp. 733-753, Sept. 2005, DOI:10.1109/TSE.2005.97
- [132] Dag I. Sjöberg, Tore Dyba, Magne Jørgensen – The Future of Empirical Methods in Software Engineering Research. In proceedings of Future of Software Engineering, Conference on Software Engineering. IEEE Computer Society, Washington, DC, 358-378. DOI=<http://dx.doi.org/10.1109/FOSE.2007.30>
- [133] Ian Sommerville – Software Engineering, Eight Edition, Addison-Wesley Publishers Limited, Hungarian Language Edition, 2007, ISBN 978-9-635454-78-5
- [134] Velimir Sotirović – Informatičke tehnologije, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, 2005, ISBN 86-499-0138-7
- [135] Charles E. Spurgeon, Joann Zimmerman – Ethernet switches An introduction to network design with switches, O’Reilly Media, Inc., 2013, ISBN: 978-1-449-36730-5
- [136] Charles Spurgeon – Ethernet The Definitive Guide, O’Reilly & Associates, Inc., 2000, ISBN 1-56592-660-9
- [137] Dejan Stajić, Petar Bilinski – Računarske telekomunikacije i mreže, NIP Tehnička knjiga, Beograd 1990, YUISBN 86-325-0269-7
- [138] Stephen S. Stewart, Gerald B. Price – Realtime acquisition, storage, and display of correlated three-parameter flow cytometric data, Cytometry, Volume 7, Issue 1, pp. 82-88, Wiley-Liss, 1986.
- [139] Dennis Stevenson – Information and Communications Technology in UK Schools, an independent inquiry, London 1997.
- [140] F. Stevens – Getting started with PIC Microcontrollers, A. L. Stevens, 1997
- [141] Ivana Stojanović, Dušan Surla – Uvod u objedinjeni jezik modeliranja, Grupa za Informacione Tehnologije, Novi Sad, 1999, ISBN 86-7444-002-9
- [142] Douglas Sommerville – Embedded Systems Interfacing for Engineers using the Freescale HCS08 Microcontroller I, Assembly Language Programming, Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems, Morgan & Claypool Publishers, 2009. ISBN:9781608450053, DOI 10.2200/S00188ED1V01Y200906 DCS020
- [143] Douglas Sommerville – Embedded Systems Interfacing for Engineers using the Freescale HCS08 Microcontroller II, Digital and Analog Hardware, Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems, Morgan & Claypool Publishers, 2009., ISBN:9781608450084, DOI 10.2200/S00199ED1V01 Y200906 DCS022
- [144] Ioan Susnea, Marian Miteşcu – Microcontrollers in Practice, Springer, 2005, ISBN-10 3-540-25301-7
- [145] Andor Sagi, Anita Sabo, Bojan Kuljić, Tibor Szakáll – Intelligent System and Human Factor Caused Medical Errors, zbornik radova SISY 2013 – IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, pp. 245-248, Subotica, Srbija 2013, ISBN: 978-1-4799-0304-7, IEEE Catalog Number: CFP1384C-USB.
- [146] Dr. Andor Sagi, Anita Sabo, Bojan Kuljić, Tibor Szakáll – Challenges of Implementation of Intelligent Information Systems in Transforming the Healthcare System in the Republic of Serbia, Proceedings of the CINTI 2012, International Symposium on Computational Intelligence and

- Informatics, pp. 289-292, Budapest, Hungary, 2012, ISBN: 978-1-4673-5210-9, IEEE Catalog Number: CFP1224M-USB.
- [147] Andor Sagi, Anita Sabo, Bojan Kuljić, Tibor Szakáll – Neuro-fuzzy Systems in Medicine, zbornik radova CINTI 2010 – Proceedings of the 11th. IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, pp. 293-296, Budapest, Hungary, 2010, ISBN: 978-1-4244-9278-7, IEEE Catalog Number: CFP1024M-PRT.
- [148] Simon János, Matijevics István, Sakal Tibor – Hardware And Software Realization Of Church Bell Control Using Pic Microcontroller And Soft Starter With Three-Phase Asynchronous Motor, zbornik radova, SIP 2008 - Proceedings of the Conference Science in Practice 2008, pp 1-4, Osijek, Croatia, 2008.
- [149] Janoš Šimon, Tibor Sakal, Zlatko Čović – Sistem za akviziciju podataka i proces monitoring putem interneta, zbornik radova CD, pp.1-3, YUINFO 2006, XII konferencija, ISBN: 86-85525-01-2, Kopaonik, Srbija, 2006.
- [150] Andrew S. Tanenbaum – Computer Networks, 2002 ISBN-13: 978-0130661029
- [151] Andrew S. Tanenbaum – Računarske mreže, Mikro Knjiga, Beograd, 2005., ISBN 86-7555-265-3
- [152] Andrew S. Tanenbaum – Arhitektura i organizacija računara, Mikro Knjiga, Beograd, 2007., CIP 004.2, ISBN 978-86-7555-314-4, COBISS.SR-ID 144073484
- [153] Texas Instruments – TAS 3103 Data Manual, SLES038C, TI Digital Solutions, Dallas 2004.
- [154] Texas Instruments – SN74V293 CMOS FIFO Memory, SCAS669D, Dallas 2001.
- [155] Jonathan W. Valvano – Introduction to Embedded Systems Interfacing to the Freescale 9S12, Cengage Learning, 2009, ISBN-13: 978-0-495-41137-6
- [156] Eric Verhulst, Raymond T. Boute, Jos' Miguel Sampaio Faria, Bernhard H.C. Spath, Vitaliy Mezhujev – Formal Development of a Network-Centric RTOS, Software Engineering for Reliable Embedded Systems, 2011
- [157] Jeffrey Scott Vitter – Algorithms and Data Structures for External Memory, Now, 2008, DOI: 10.1561/0400000014
- [158] J. G. Webster – Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, CRC Press LLC 1999, ISBN 0-8493-2145-X, ISSN 1523-3014
- [159] J. Wtorek, A. Bujnowski and A. Nowakowski – A measurement system for evaluation of electrical properties of myocardium, pp. 268-271, 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography 2007 ISSN: 1680-0737
- [160] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa – MTIO. A multithreaded parallel I/O system, Parallel Processing Symposium, Proceedings, 11th International, pp. 368-373, 1997.
- [161] Darrin J. Young – Analog front-end and telemetry systems, Implantable Biomedical Microsystems, Chapter 3, 2015, pp. 39-55
- [162] Dian Zhang, Yanling Dong, Megan Li, Houjun Wang – A Radio-Telemetry System for Navigation and Recording Neuronal Activity in Free-Roaming Rats, Original Research Article, Journal of Bionic Engineering, Volume 9, Issue 4, December 2012, pp. 402-410

7.2 WEB IZVORI

- [W1] <http://1394ta.org/>
- [W2] <http://www.anixter.com/>
- [W3] <http://www.ansi.org/>
- [W4] <http://ciscorouterswitch.over-blog.com/article-cat5-vs-cat5e-vs-cat6-125134063.html>
- [W5] http://communications.draka.com/sites/eu/Datasheets/SuperCat5_24_U_UTP_Install.pdf
- [W6] http://www.computercablestore.com/568a_568b_color_codes.aspx
- [W7] <http://www.cs.bsu.edu/homepages/peb/cs637/ethernet/100mbps.htm>
- [W8] <http://donutey.com/ethernet.php>
- [W9] <http://www.ecaus.org/eia/site/>
- [W10] <https://www.esticom.com/what-is-difference-between-t568a-and-t568b/>
- [W11] http://web.forret.com/tools/bandwidth_chart.asp
- [W12] http://web.forret.com/tools/bandwidth_real.asp
- [W13] <http://www.freescale.com/>
- [W14] <http://www.ftdichip.com/>
- [W15] <http://www.gbs-elektronik.de/en/services/nuclear-measurement-equipment/other-devices-and-accessories/mca-accessories/>
- [W16] <https://gmkfreeslogos.com/11528-i-LINK.html>
- [W17] <http://www.hp.com/rnd/pdfs/100FXtechbrief.pdf>
- [W18] <http://www.icpdas-usa.com>
- [W19] <http://tools.ietf.org/html/rfc1191>
- [W20] <http://www.inetdaemon.com/tutorials/lan/ethernet/origins.shtml>
- [W21] http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-010/_1451.htm
- [W22] <http://www.nag.ru/goodies/tia/TIA-EIA-568-B.1.pdf>
- [W23] <http://www.netburner.com/>
- [W24] http://www.netburner.com/products/core_modules/mod5270.html
- [W25] http://www.netburner.com/products/development_kits/network_development.html
- [W26] <http://www.netburner.com/downloads/nndk/uCOSLibrary.pdf>
- [W27] <http://www.ni.com/white-paper/5386/en/>
- [W28] <http://www.oracle.com/technetwork/java/embedded/javame/index.html>
- [W29] <http://www.pcmcia.org/>
- [W30] <http://www.philips.com>
- [W31] http://pinouts.ru/Slots/ieee1394_pinout.shtml
- [W32] http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm
- [W33] <http://rletech.com>
- [W34] <http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>
- [W35] <http://www.ti.com>

[W36] <http://www.ti.com/product/sn74v293>

[W37] <http://www.tiaonline.org/>

[W38] <http://www.topbits.com/udp.html>

[W39] <http://www.usb.org/>

[W40] <http://www.usb.org/developers/docs/>

[W41] <http://www.usb-ware.com/firewire-vs-usb.htm>

[W42] <https://webstore.iec.ch/publication/22261>

[W43] <http://www.zastitapodataka.com/usb-bag-veliki-propust-u-bezbednosti/>

Svim WEB izvorima pristupljeno je u septembru i oktobru 2016. god.

8 PRILOZI

8.1 VEZA NA ŠIRE ISTRAŽIVAČKE PROJEKTE

Prva faza ovog istraživačkog rada sprovedena je u okviru međunarodnog multidisciplinarnog istraživačkog projekta pod brojem INNO-6-2007-0002, koji je finansiran od strane EU-a, sa nosiocem istraživanja na Pečujskom fakultetu, Mađarska. Taj projekat obuhvata oblasti: medicine, biomedicine, ugrađenih sistema, računarskih mreža i telekomunikacija.

Druga faza istraživačkog rada tekla je u okviru međunarodnog istraživačkog projekta pod brojem GOP-1.3.1-09/A-2009-0051 u saradnji sa *Karotazs Scientific-Technical and Trade Ltd.*

8.1.1 Krediti učesnicima istraživanja

Istraživački rad opisan u ovom radu je deo većeg projekta. Bez članova tima, koji su radili na projektu, ni moje istraživanje ne bi se realizovao. Na ovom mestu se zahvaljujem članovima timu:

- prof. Dr. Odry Péter – vođa i kordinator tima, idejni projektant instrumenta,
- prof. Dr. Kálmán Máthé – idejni tvorac i projektant akvizicionog, mobilnog dela medicinskog uređaja,
- ing. Verner Dániel – projektant DSP-filter ploča i CPLD programer sistema,
- ing. Kuljić Bojan – projektant štampanih ploča, TAS i FPGA programer sistema,
- dipl. ing. Dukán Péter – programer koji za personalni računar razvio klijent za komunikaciju i pohranjivanje podataka u bazu, kao i aplikaciju za prikazivanje.

Razvoj hardvera i softvera, testovi i merenja su vršeni u laboratorijama:

- Visokotehnička Škola Strukovnih Studija Subotica, Srbija, – Subotica Tech, College of Applied Sciences, Subotica, Serbia
- Dunaújvárosi Főiskola, Dunaújváros, Magyarország – College of Dunaújváros, Dunaújváros, Hungary.

8.2 DOKUMENTI PROJEKTA

U okviru multidisciplinarnog istraživačkog projekta čiji je cilj bio, projektovanje i stvaranje laboratorijskog uređaja za telemetrijsko merenje biomedicinskih signala pokusnih životinja, radilo je više timova istraživača. Svaki tim je bio odgovoran za određeni deo projekta. Timovi su bili rezidentni u različitim gradovima.

Za potrebe evidencije projekta, tokom rada stvoreni su interni tehnički dokumenti, koji su bili skupljeni kod vođa grupa, a nakon okončanja projekta arhivirani su kod glavnog koordinatora. Tokom rada od kritičnog značaja su bili dokumenti koji su opisivali granične oblasti delovanja, gde je bila potrebna saradnja raznih grupa. Ti dokumenti opisuju interfejs koji je rezultat dogovora. Grupe tokom svog rada su se morale

pridrđavati smernica tih dokumenata, kako bi se obezbedilo da produkti njihovog rada mogu da sarađuju na predviđeni naćin sa produktima drugih grupa.

Jedan od takvih internih dokumenata koji je spajao dve grupe je „Opis protokola PC/NB“, tj. opis protokola između personalnog računara (PC) i procesorske ploće (NB - Netburner) konvertera protokola. Dokument sadrži podatke o: predviđenim IP adresama; predviđenim UDP portovima za komunikaciju; formatu i sadržaju paketa sa podacima; formatu i sadržaju paketa sa komandama za upravljanje i odgovorima na iste. Ovaj dokument je bio važan za rad dve grupe: programerima koji su razvijali PC klijent za prijem, aplikaciju za arhiviranje i prikazivanje podataka; i za tim koji je projektovao i realizovao softver i hardver protokol konvertera.

Unutar hardverske jedinice konvertera protokola nalaze se dve procesorske ploće. Aplikacija koja se izvršava na istim, pisana je u ANSI C kompatibilnom programskom jeziku. Izvorni kod aplikacije priložen je uz rad na optičkom disku.

8.2.1 Opis protokola NB/PC

Protokol je doživio više verzija, tokom kojih su unete su ispravke i poboljšanja. Najveća promena u protokolu dogodila se kada je verzija v1.5 – koja je opisivala komunikaciju dva PC-NB para – prerađena u verziju v2.0, koja opisuje paralelnu komunikaciju dva NB procesorska modula sa jednim PC-em.

————— PROTOKOL NB ↔ PC —————

Ime dokumenta: Tehnički opis protokola NB/PC.

Namena dokumenta: Opisuje protokol paralelnu UDP komunikaciju dva NB-a sa jednim PC-em.

Verzija protokola: v2.0

Kordinatori: mr Tibor Sakal (NB) i dipl.ing. Peter Dukan (PC)

————— korišćene IP adrese —————

Tokom merenja je predviđeno da PC i instrument stvore sopstvenu mrežu bez spajanja na LAN, tj. moraju da po svojim IP adresama i maskama pripadaju istoj mreži. Uređaji su direktno spojeni. U predviđenoj konfiguraciji ne postoji server DHCP usluga. Iz tog razloga predviđena su četiri skupa IP adresa sa maskama koji se mogu/moraju primeniti kada su spojeni PC i NB-ovi.

Četiri predefinisana skupa IP adresa sa pripadajućim maskama su:

Skup br.	IP opseg	Maska	vrednost x-a za PC	vrednost x-a za NB A i B
0	192.168.0.x	255.255.255.248	1	A=3 B=4
1	192.168.26.x	255.255.255.248	1	A=3 B=4
2	192.168.24.x	255.255.255.0	241	A=232 B=233

3	192.168.26.x	255.255.255.0	191	A=232 B=233
---	--------------	---------------	-----	-------------

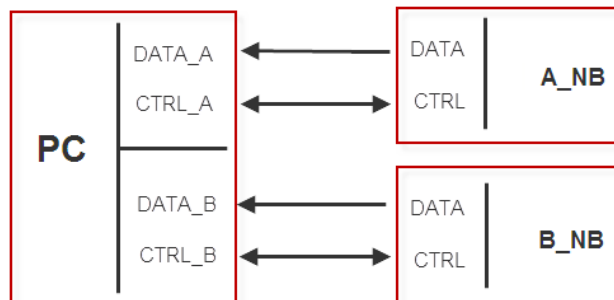
tabela 8.1 – mogući skupovi IP adresa sa maskama

Napomene:

- Oba NB-a („A“ i „B“) komuniciraju sa istim PC-em.
- Razvojni tim protokol konvertera koristi 0. skup adresa.

————— raspored UDP portova —————

Povezani uređaji koriste po dva UDP porta za komunikaciju. U slučaju „data“ port parova, komunikacija je jednosmerna, od NB-a ka PC-u, i koristi se za potrebe prenosa toka podataka. Komunikacija na portovima „ctrl“ je dvosmerna, preko tog porta PC upravlja merenjem, a NB signalizira svoj status. Za svaki tip zadat je broj UDP porta u heksadecimalnom i u dekadnom brojnem sistemu.



slika 8.1 – logička veza i smer prenosa paketa UDP portova

naziv PC porta	broj UDP porta		opis namene PC porta
	(HEX)	(DEC)	
PC_UDP_data_PORT_A	0xC0C0	49344	PC ← data ← A_NB
PC_UDP_ctrl_PORT_A	0xC0C1	49345	PC → command → A_NB PC ← status ← A_NB
PC_UDP_data_PORT_B	0xC1C0	49600	PC ← data ← B_NB
PC_UDP_ctrl_PORT_B	0xC1C1	49601	PC → command → B_NB PC ← status ← B_NB

tabela 8.2 – raspored i namena UDP portova PC-a

naziv NB porta	broj UDP porta		opis namene A_NB i B_NB porta
	(HEX)	(DEC)	
NB_UDP_data_PORT	0xD0D0	53456	x_NB → data → PC
NB_UDP_ctrl_PORT	0xD0D1	53457	x_NB ← command ← PC x_NB → status → PC

tabela 8.3 – raspored i namena UDP portova „A“ i „B“ NB-a

————— paket podataka NB → PC —————

Svaki paket podataka se sastoji od 1412 bajta. Prvih četiri bajta čine jedan 32 bitni, prirodan broj – u opsegu od 1 do ~4.2 milijarde – koji je redni broj tekućeg paketa. Preostalih 1408 bajta (32) su korisni podaci, koji su 8 bitni prirodni brojevi, tj. u opsegu [0-255]. Ovakav paket nadalje u dokumentu skraćeno zove se: „data“.

Ova verzija protokola ne tumači sadržaj korisnih podataka paketa, to se vrši na nivou aplikacije. Zbog toga ovde nije opisana detaljna struktura podataka.

————— upravljačka komunikacija —————

Merenjem upravlja PC sa komandama koje šalje NB-u. NB na komande šalje potvrde, a na neke događaje šalje izveštaj o statusu. Za ovu komunikaciju predviđen je poseban UDP port par, koji je na taj način odvojen od prenosa toka podataka. Razmena poruka vrši se sa „kontrolnim“ (skraćeno: „ctrl“) paketima koji imaju 24 bajta.

Struktura kontrolnog paketa:

redni broj prvog byte-a	broj byte-ova	tip podatka	Opis	Napomena
0	1	8 bitni broj bez predznaka	glavna verzija protokola	trenutno = 2
1	1	8 bitni broj bez predznaka	pod verzija protokola	trenutno = 0
2	2	16 bitni broj bez predznaka	kod naredbe ili statusa	detaljno u tabeli kodova
4	20	8 bitni karakter	slobodno za upotrebu	

tabela 8.4 – struktura kontrolnog paketa

Napomena: četvrto polje koristi se za tekstualni opis koda. Tekst se mora završavati sa karakterom '\0', koji se uračunava u max. dužinu od 20 bajta! U tabeli kodova su nabrojani korišćeni tekstualni opisi.

8.2.1.1 Tabele kodova

Paketi upravljačke komunikacije sadrže 16 bitne upravljačke kodove. Pomoću tih upravljačkih kodova moguće je odrediti izvor, tip i značenje poruke.

Upravljački kod sastoji se od četiri heksadecimalna karaktera u obliku: „STCC“.

oznaka	objašnjenje	skup vrednosti (hex)	napomena
S = Source	kod izvora poruke	PC = 1 NB = 2	
T = Type	tip poruke	naredba = 0	O – order
		potvrda = A	A – acknowledge
		status izveštaj = C	C - condition, status
		greška = E	E – error
cc = Commu- nication Code	značenje (kod) poruke	01-FF	8 bitni broj u opsegu [#1-255], 0 je rezervisana

tabela 8.5 – skup vrednosti upravljačkih kodova

Kodovi naredbi

Za slučaj PC → NB komunikacije, predviđeni su sledeći upravljački kodovi naredbi:

upravljački kod	tekstualni opis poruke	objašnjenje naredbe
0x1001	START	Započni (merenje i) slanje podataka!
0x1002	STOP	Zaustavi (merenje i) slanje podataka!
0x1003	RESET	NB restartuj se! (softverski reset)
0x1004	REPORT_STATUS	NB pošalji statusni izveštaj!
0x1005	REPORT_DMA_STATUS	NB pošalji broj primljenih DMA paketa!
0x1006	REPORT_FIFO_DIP	NB pošalji stanje zastavica „FIFO PAE“, „FIFO HF“ i stanje DIP prekidača!

tabela 8.6 – skup kodova naredbi koje PC može poslati NB-u

Napomena: posle „START“ naredbe – tj. za vreme merenja i transfera podataka - zbog velikog zauzeća NB-a i Ethernet kanala, ne preporučuje se izdavanje „REPORT_x“ naredbe od strane PC-a, u suprotnom slučaju može doći do zastoja u prenosu.

Kodovi potvrda

Za slučaj NB → PC komunikacije, predviđeni su sledeći upravljački kodovi potvrda:

upravljački kod	tekstualni opis poruke	značenje potvrde
0x2A01	START_ACK	potvrda o START naredbi
0x2A02	STOP_ACK	potvrda o STOP naredbi
0x2A03	RESET_ACK	potvrda o RESET naredbi

tabela 8.7 – skup kodova o potvrdi koje NB šalje PC-u

Napomena: kodove za potvrdu iz tabela 8.7 NB šalje kao potvrdu na naredbe PC-a.

Kodovi statusa

Za slučaj NB → PC komunikacije, predviđeni su sledeći upravljački kodovi statusa:

upravljački kod	tekstualni opis poruke	objašnjenje statusa
0x2C01	STAT_STARTED	merenje/slanje podataka u toku
0x2C02	STAT_STOPPED	merenje/slanje podataka zaustavljeno
0x2C03	STAT_READY	NB spreman za merenje/slanje podataka
0x2C05	<i>efgh</i> DMA_pkt .	NB je primio <i>efgh</i> komada DMA paketa
0x2C06	<i>x</i> FIFO_DIP_STATE	u broju <i>x</i> nalazi se vrednost o statusu

tabela 8.8 – skup kodova o statusu koje NB šalje PC-u

Napomena: kodove iz tabele 8.8 NB šalje – na zahtev PC-a – kao izveštaj o statusu. Ako je NB u stanju: „zaustavljeno merenje“ 0x2C02 ili „spreman za merenje“ 0x2C03, onda NB o tome periodično svakih 5s šalje izveštaj PC-u i bez toga da je pitan.

U slučaju 0x2C05, prva četiri karaktera predstavljaju vrednost 32 bitnog brojača u big endian¹⁷ formatu. Vrednost brojača je broj pristiglih DMA paketa prema formuli:

¹⁷ big endian – prvi podatak je najznačajniji, zadnji podatak je najmanje značajan u formiranju broja

$$\text{broj_DMA_paketa} = ((e \cdot 256 + f) \cdot 256 + g) \cdot 256 + h \quad (45)$$

U slučaju 0x2C06, prvi karakter je 8bitna vrednost gde je značenje pojedinih bitova:

- 7. i 5. bitovi - moguće kombinacije: „00”, „01”, „10”, „11”, označavaju (od 0 do 3) izabrani skup IP adresa koji NB koristi;
- 6. bit - NB biranje strane: „0” = levo; „1” = desno;
- 4. bit - slanje UDP data paketa: „0” = zabranjen, „1” = dozvoljen;
- 3. i 2. bitovi – se ne koriste tj.: „xx”, slobodni su za budući razvoj protokola;
- 1. bit preslikava vrednost HF (Half Full) zastavice FIFO-a;
- 0. bit preslikava vrednost PAE (Programmable Almost Empty) zastavice FIFO-a.

Kodovi grešaka

Za slučaj NB → PC komunikacije, predviđeni su sledeći upravljački kodovi grešaka:

upravljački kod	tekstualni opis poruke	objašnjenje greške
0x2E01	ERR_GENERAL_ERR	opšta greška koja (još) nije klasificirana
0x2E02	ERR_UNKNOWN_CODE	NB upravljački paket sa nedefinisanim kodom naredbe
0x2E03	ERR_UNKNOWN_STATE	NB u nepoznatom (neočekivanom) stanju, potrebno ga je restartovati
0x2E04	ERR_MEASURE_TIMEOUT	isteklo vreme, ne stižu periodični DMA paketi od mernog dela instrumenta
0x2E05	ERR_WRONG_COMMAND	NB dobio naredbu koja nije izvodljiva u trenutnom stanju. Trebalo bi se držati redosleda naredbi: Reset-Start-Stop!

tabela 8.9 – skup kodova grešaka

8.2.2 Reindeksiranje transponovanih bitova WS okvira

Zbog serijskog prenosa bitova I²S magistrale i rasporeda mernih kanala po signalnim linijama tokom DMA uzorkovanja moguće je pročitati samo bitove koji su jedan „ispod“ drugog (slika 4.8). To dovodi do mešanja i transponovanja bitova. To se dešava po tačno poznatoj, reverzibilnoj šemi (tabela 8.10), i na ciljnom mestu moguće je te bitove indeksirati i transponovati na svoja originalna mesta. Reindeksiranje je realizovano pomoću tabele sa konstantnim vrednostima (engleski: lookup table).

		0. sample																																																															
byte:		3. byte							2. byte							1. byte							0. byte							4 byte = 32 bit				4 byte = 32 bit				4 byte = 32 bit																											
TDM	bit:	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
NB#1	Line 0.	Channel 00. data							Channel 04. data							Channel 08. data							Channel 12. data							Channel 16. data				Channel 20. data				Channel 24. data																											
	Line 1.	Channel 01. data							Channel 05. data							Channel 09. data							Channel 13. data							Channel 17. data				Channel 21. data				Channel 25. data																											
	Line 2.	Channel 02. data							Channel 06. data							Channel 10. data							Channel 14. data							Channel 18. data				Channel 22. data				Channel 26. data																											
	Line 3.	Channel 03. data							Channel 07. data							Channel 11. data							Channel 15. data							Channel 19. data				Channel 23. data				Channel 27. data																											
	Line 4.	Channel 04. data							Channel 08. data							Channel 12. data							Channel 16. data							Channel 20. data				Channel 24. data				Channel 28. data																											
	Line 5.	Channel 05. data							Channel 09. data							Channel 13. data							Channel 17. data							Channel 21. data				Channel 25. data				Channel 29. data																											
	Line 6.	Channel 06. data							Channel 10. data							Channel 14. data							Channel 18. data							Channel 22. data				Channel 26. data				Channel 30. data																											
Line 7.	Channel 07. data							Channel 11. data							Channel 15. data							Channel 19. data							Channel 23. data				Channel 27. data				Channel 31. data																												
NB#2	Line 8.	Channel 20. data							Channel 24. data							Channel 28. data							Channel 32. data							Channel 36. data				Channel 40. data				Channel 44. data																											
	Line 9.	Channel 21. data							Channel 25. data							Channel 29. data							Channel 33. data							Channel 37. data				Channel 41. data				Channel 45. data																											
	Line 10.	Channel 22. data							Channel 26. data							Channel 30. data							Channel 34. data							Channel 38. data				Channel 42. data				Channel 46. data																											
	Line 11.	Channel 23. data							Channel 27. data							Channel 31. data							Channel 35. data							Channel 39. data				Channel 43. data				Channel 47. data																											
	Line 12.	Channel 24. data							Channel 28. data							Channel 32. data							Channel 36. data							Channel 40. data				Channel 44. data				Channel 48. data																											
	Line 13.	Channel 25. data							Channel 29. data							Channel 33. data							Channel 37. data							Channel 41. data				Channel 45. data				Channel 49. data																											
	Line 14.	Channel 26. data							Channel 30. data							Channel 34. data							Channel 38. data							Channel 42. data				Channel 46. data				Channel 50. data																											
Line 15.	Channel 27. data							Channel 31. data							Channel 35. data							Channel 39. data							Channel 43. data				Channel 47. data				Channel 51. data																												

1. sample				2. sample = 128 bit	3. sample = 128 bit	4. sample = 128 bit
4 byte = 32 bit	4 byte = 32 bit	4 byte = 32 bit	4 byte = 32 bit			
Channel 00.	Channel 01.	Channel 02.	Channel 03.	Channel 00-03.	Channel 00-03.	Channel 00-03.
Channel 04.	Channel 05.	Channel 06.	Channel 07.	Channel 04-07.	Channel 04-07.	Channel 04-07.
Channel 08.	Channel 09.	Channel 0A.	Channel 0B.	Channel 08-0B.	Channel 08-0B.	Channel 08-0B.
Channel 0C.	Channel 0D.	Channel 0E.	Channel 0F.	Channel 0C-0F.	Channel 0C-0F.	Channel 0C-0F.
Channel 10.	Channel 11.	Channel 12.	Channel 13.	Channel 10-13.	Channel 10-13.	Channel 10-13.
Channel 14.	Channel 15.	Channel 16.	Channel 17.	Channel 14-17.	Channel 14-17.	Channel 14-17.
Channel 18.	Channel 19.	Channel 1A.	Channel 1B.	Channel 18-1B.	Channel 18-1B.	Channel 18-1B.
Channel 1C.	Channel 1D.	Channel 1E.	Channel 1F.	Channel 1C-1F.	Channel 1C-1F.	Channel 1C-1F.
Channel 20.	Channel 21.	Channel 22.	Channel 23.	Channel 20-23.	Channel 20-23.	Channel 20-23.
Channel 24.	Channel 25.	Channel 26.	Channel 27.	Channel 24-27.	Channel 24-27.	Channel 24-27.
Channel 28.	Channel 29.	Channel 2A.	Channel 2B.	Channel 28-2B.	Channel 28-2B.	Channel 28-2B.
Channel 2C.	Channel 2D.	Channel 2E.	Channel 2F.	Channel 2C-2F.	Channel 2C-2F.	Channel 2C-2F.
Channel 30.	Channel 31.	Channel 32.	Channel 33.	Channel 30-33.	Channel 30-33.	Channel 30-33.
Channel 34.	Channel 35.	Channel 36.	Channel 37.	Channel 34-37.	Channel 34-37.	Channel 34-37.
Channel 38.	Channel 39.	Channel 3A.	Channel 3B.	Channel 38-3B.	Channel 38-3B.	Channel 38-3B.
Channel 3C.	Channel 3D.	Channel 3E.	Channel 3F.	Channel 3C-3F.	Channel 3C-3F.	Channel 3C-3F.

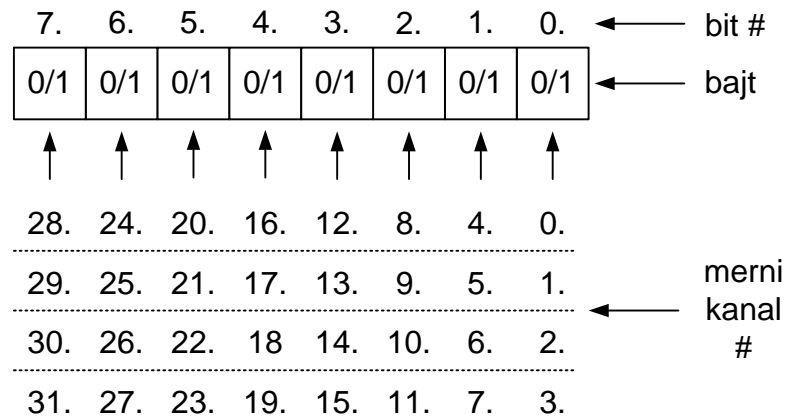
tabela 8.10 – raspored kanala i bitova u UDP datagramu

Tumačenje bitova podataka UDP datagrama

Zbog TDM načina prenosa, na početku WS okvira paralelno se prenose merni kanali: 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 (gornja polu magistrala) i 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60 (donji polu magistrala). Prenos počinje sa MSB-om (slika 4.6) tj. na levoj strani slike. Posle prenetog LSB-ova navedenih mernih kanala, na identičan način prenose se merni kanali sa +1 rednim brojem, nakon toga +2. Prenos jednog WS okvira se završava sa prenosom bitova mernih kanala sa rednim brojem +3, tj. na desnoj strani navedene slike.

Posle FIFO pohranjivanja i DMA prenosa, podaci iz gornje polumagistrale stižu u memoriju ugrađenog sistema, po redosledu kako je gore navedeno i formiraju bajtove:

1. MSB bitovi mernih kanala 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, sa tim, da unutar bajta 0. kanal se smešta na 0. bit, a 28. kanal na 7. bit (slika 8.2);
2. sledeći bajt sadrži MSB-1 bitove navedenih kanala;
3. ... (tako redom paralelno i ostali bitovi mernih kanala do LSB bita) ...
4. slede MSB bitovi mernih kanala sa povećanim rednim brojem +1, na taj način da se bitovi kanala sa najmanjim rednim brojem biće upisani u 0. bitove;
5. ... (tako redom svi merni kanali jedni za drugim) ...
6. zadnji bajt sadrži LSB bitove 3, 7, 11, 15, 19, 23, 27 i 31. mernih kanala.

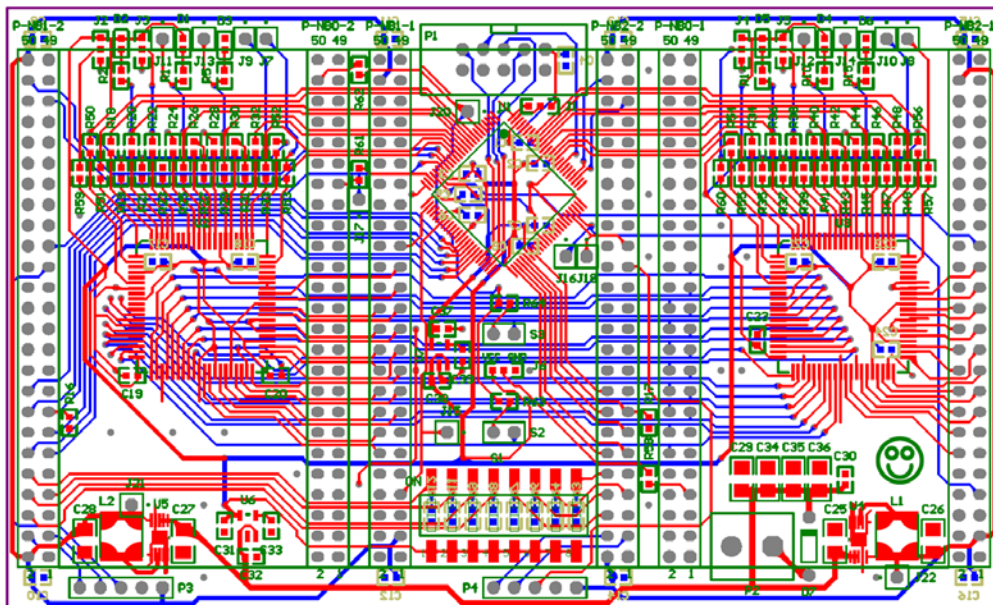


slika 8.2 – raspored transponovanih podataka mernih kanala u bitove DMA uzoraka

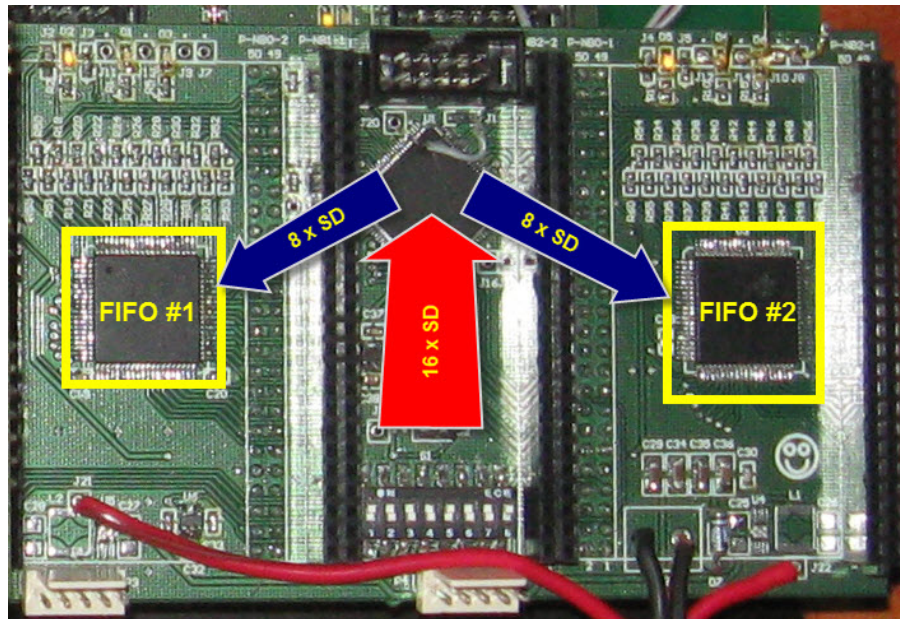
Za donji polmagistralu transponovanje i prenos vrši se istovremeno i sinhrono na identičan način za pridružene merne kanale: ch_{32} – ch_{63} .

8.2.3 Hardversko rešenje FIFO memorije

Tokom redizajna konvertera protokola trebalo je ostvariti razdvajanje 16 I²S magistrala na dva puta 8 I²S magistralu, koji se prihvataju pomoću hardverskih FIFO memorija. To je realizovano pomoću proširivačko među-štampane ploče (slika 8.3 i slika 8.4).



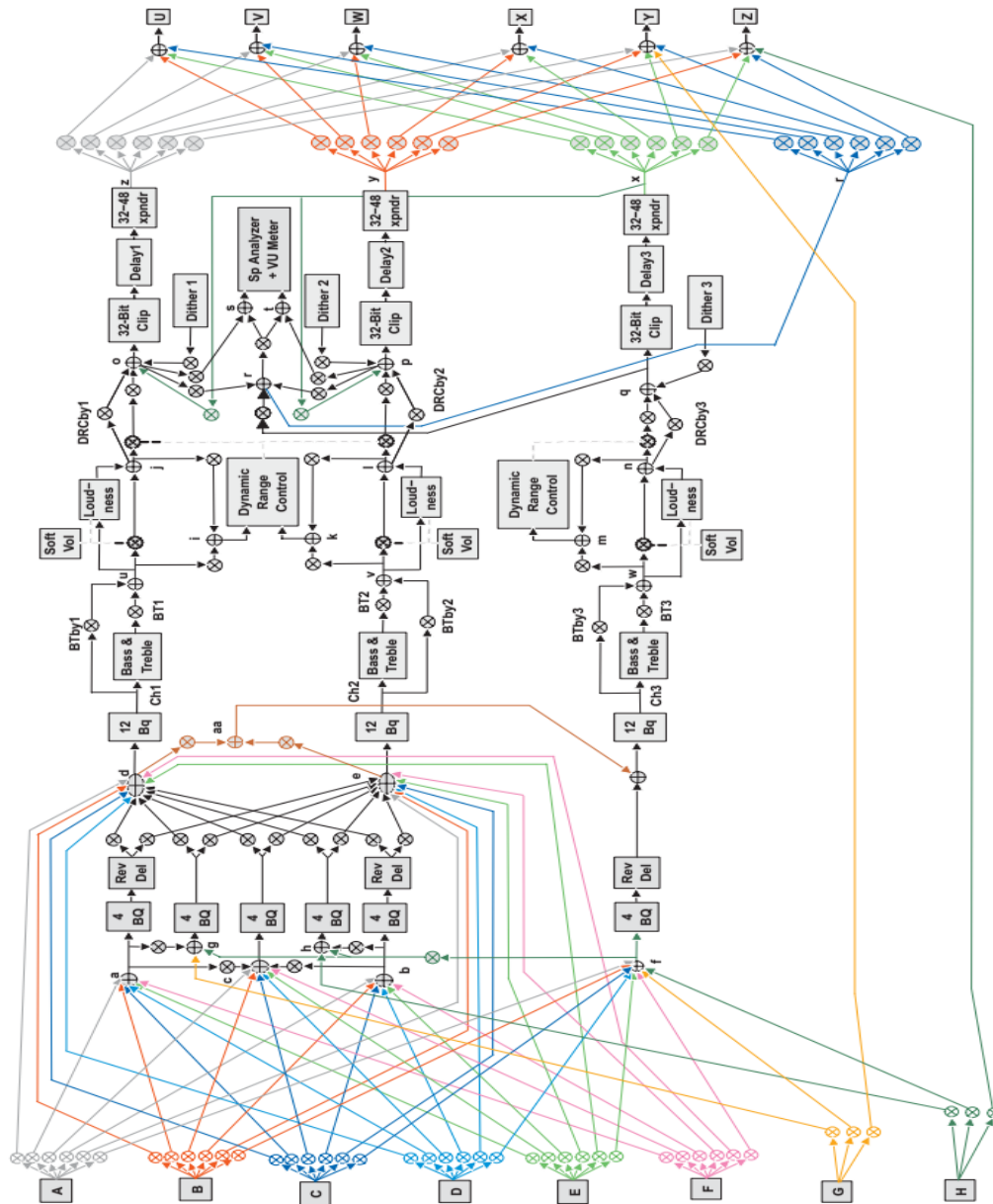
slika 8.3 – projekat štampane ploče za eksterne token-kofo memorije



slika 8.4 – štampana ploča za razdvajanje I²S sa FIFO memorijama

8.2.4 Blok dijagram TAS 3103 procesora

Stacionarni deo medicinskog instrumenta vrši pred-obradu toka digitalnih audio podataka. Ta obrada se vrši sa 36 komada TAS 3103 audio procesora. Ti namenski DSP procesori su predviđeni za filtriranje i mešanje više toka audio signala u realnom vremenu. Interna arhitektura sadrži registre, koji su parametri filtera, birači putanja, efekata u realnom vremenu i sl. Korisnik ima mogućnost da programira parametre predobrade, sa menjanjem vrednosti tih registara [113]. Blok dijagram registara DSP procesora, čiji sadržaj predstavlja firmware instrumenta, prikazana je na slici 8.5.



slika 8.5 – blok dijagram putanja audio signala u TAS 3103 procesoru

Izvor: Texas Instruments, [153]

8.2.5 Merna oprema i laboratorija

Razvoj hardvera, eksperimenti i deo mernih istraživanja vršeni su u akreditiranim laboratorijama za praktičnu nastavu iz telekomunikacija i računarskih mreža, u Visokoj tehničkoj školi strukovnih studija u Subotici. Za vreme merenja i eksperimenta korišćena je sledeća oprema:

- Tektronix digitalni osciloskop – TDS 1002B, 1 Gsample/s, 2 kanala,
- Tektronix digitalni osciloskop – TPS 2014B, 1 Gsample/s, 4 kanala,
- Tektronix funkcijski generator – AFG 3101, 100 MHz, 10bit, 1 kanal,
- Keithley 179 TRMS, laboratorijski digitalni multimeter,
- Maxwell MX-25 303, digitalni multimeter,
- Iskra MA 3730, funkcijski generator,
- Hewlett-Packard 5300B Measuring System, merenje periode i frekvencije,
- Gigabyte GN-SW0008B, Fast Ethernet switch, 8 portova,
- Cisco 1548M Micro Switch, Fast Ethernet switch, 8 portova,
- Level One FSN 1611TX, Fast Ethernet switch, 16 portova,
- laptop i desktop računari PC klase sa Fast Ethernet priključkom.

8.3 INDEKS FORMULA

$AD_{data_length} [bit] = 24 bit$ (1)	24
$f_{sampling} [Hz] = 24000 Hz$ (2)	24
$ch_{NO} = 64$ (3)	24
$T_{measureMAX} [s] = 48 sati = 172800 s$ (4)	24
$f_{SCK} [Hz] = WS_{bits_in_frame} \cdot f_{sampling} [Hz]$ (5)	28
$f_{WS} [Hz] = f_{sampling} [Hz] = 24000 Hz$ (6)	29
$TDM_{NO} = 4$ (7)	29
$DSP_{word_length} [bit] = AD_{data_length} [bit] + 8 bit = 24 bit + 8 bit = 32 bit$ (8)	30
$WS_{bits_in_frame} [bit] = DSP_{word_length} [bit] \cdot TDM_{NO} = 32 bit \cdot 4 = 128 bit$ (9)	30
$f_{SCK} [Hz] = WS_{bits_in_frame} \cdot f_{sampling} [Hz] = 128 \cdot 24000 Hz = 3,072,000 Hz$ (10)	30
$T_{SCK} [ns] = 1/f_{SCK} = 1/3072000 Hz \sim 325 ns$ (11)	30
$SD_{NO} = ch_{NO} / TDM4 = 64 / 4 = 16$ (12)	30
$Frame_{DATA} [byte] = SD_{NO} \cdot WS_{bits_in_frame} [bit] = 16 \cdot 128 bit = 2048 bit = 256 byte$ (13)	31
$Frame_{NO} = T_{measureMAX} [s] \cdot f_{WS} [Hz] = 172800 s \cdot 24000 Hz = 4,147,200,000$ (14)	31
$data_{rate} = SD_{NO} \cdot f_{SCK} [Hz] = 16 \cdot 3,072,000 = 49,152,000 bit/s = 49.152 Mbit/s$ (15)	31
$TCP_{payload_max} [byte] = 1460 byte$ (16)	43
$UDP_{payload_max} [byte] = 1472 byte$ (17)	43

$WS_{PCS_IN_UDP} = \lfloor UDP_{payload_max} / Frame_{DATA} \rfloor = \lfloor 1472 \text{ byte} / 256 \text{ byte} \rfloor = \lfloor 5.75 \rfloor = 5$ (18).....	59
$UDP_{PAYLOAD} [\text{byte}] = WS_{PCS_IN_UDP} \cdot Frame_{DATA} [\text{byte}] = 5 \cdot 256 \text{ byte} = 1280 \text{ byte}$ (19).....	59
$f_{UDP} [\text{Hz}] = f_{WS} [\text{Hz}] / WS_{PCS_IN_UDP} = 24000 \text{ Hz} / 5 = 4800 \text{ Hz}$ (20).....	59
$UDP_{PCS_MAX} = Frame_{NO} / WS_{PCS_IN_UDP} = 4,147,200,000 / 5 = 829,440,000$ (21).....	59
$Counter_{MIN} = \lceil \log_2 (UDP_{PCS_MAX}) \rceil = \lceil 29.63 \rceil = 30$ (22).....	59
$UDP_{COUNTER} [\text{bit}] = 4 [\text{byte}] = 32 \text{ bit}$ (23).....	60
$t_{UDP_task} [\mu\text{s}] = t_{framing} [\mu\text{s}] + t_{ETH} [\mu\text{s}] = 24 \mu\text{s} + 148 \mu\text{s} = 158 \mu\text{s}$ (24).....	78
$t_{DMA} [\mu\text{s}] = 75 \mu\text{s}$ (25).....	81
$T_{DMA} [\mu\text{s}] = 1 / f_{UDP} [\text{Hz}] = 1 / 4800 \text{ Hz} = 208.3 \mu\text{s}$ (26).....	81
$t_{DMA_rest} [\mu\text{s}] = T_{DMA} [\mu\text{s}] - t_{DMA} [\mu\text{s}] = 208.3 \mu\text{s} - 75 \mu\text{s} = 133.3 \mu\text{s}$ (27).....	81
$(t_{UDP_task} [\mu\text{s}] = 158 \mu\text{s}) > (t_{DMA_rest} [\mu\text{s}] = 133 \mu\text{s})$ (28).....	82
$SD_{NO2} = SD_{NO} / 2 = 16 / 2 = 8$ (29).....	87
$Frame_{DATA2} [\text{byte}] = SD_{NO2} \cdot WS_{bits_in_frame} [\text{bit}] = 8 \cdot 128 \text{ bit} = 128 \text{ byte}$ (30).....	87
$WS_{PCS_IN_UDP2} = \lfloor UDP_{payload_max} / Frame_{DATA2} \rfloor = \lfloor 1472 \text{ byte} / 128 \text{ byte} \rfloor = \lfloor 11.5 \rfloor = 11$ (31).....	87
$UDP_{PAYLOAD2} [\text{byte}] = WS_{PCS_IN_UDP2} \cdot Frame_{DATA2} = 11 \cdot 128 \text{ byte} = 1408 \text{ byte}$ (32).....	87
$f_{UDP2} [\text{Hz}] = f_{WS} [\text{Hz}] / WS_{PCS_IN_UDP2} = 24000 \text{ Hz} / 11 = 2181.82 \text{ Hz}$ (33).....	87
$T_{DMA2} [\mu\text{s}] = 1 / f_{UDP2} [\text{Hz}] = 1 / 2181.82 \text{ Hz} = 458.3 \mu\text{s}$ (34).....	87
$f_{DMA_mereno} [\text{Hz}] = 2182.64 \text{ Hz}$ (35).....	92
$f_{DMA_ra\u010dunato} [\text{Hz}] = f_{UDP2} [\text{Hz}] = 2181.82 \text{ Hz}$ (36).....	92
$f_{err_DMA} [\text{Hz}] = f_{DMA_mereno} [\text{Hz}] - f_{DMA_ra\u010dunato} [\text{Hz}] = 0.82 \text{ Hz}$ (37).....	92
$\delta [\%] = f_{err_DMA} [\text{Hz}] / f_{DMA_ra\u010dunato} [\text{Hz}] \cdot 100 [\%] = 0.038 \%$ (38).....	92
$f_{sampling_real} [\text{Hz}] = f_{DMA_mereno} [\text{Hz}] \cdot WS_{PCS_IN_UDP2} = 2182.64 \text{ Hz} \cdot 11 = 24009.04 \text{ Hz}$ (39).....	92
$t_{DMA_prenos} [\mu\text{s}] = 82 \mu\text{s}$ (40).....	93
$t_{UDP_info} [\text{ms}] = WS_{PCS_IN_UDP2} / f_{sampling_real} [\text{Hz}] = 11 / 24009.04 \text{ Hz} = 0.458 \text{ ms}$ (41).....	93
$t_{framing} [\mu\text{s}] = 24 \mu\text{s}$ (42).....	93
$t_{ETH} [\mu\text{s}] = 148 \mu\text{s}$ (43).....	94
$t_{reserve} [\mu\text{s}] = 1 / f_{DMA_mereno} [\text{Hz}] - (t_{DMA_prenos} [\mu\text{s}] + t_{framing} [\mu\text{s}] + t_{ETH} [\mu\text{s}]) =$ (44).....	95
$broj_DMA_paketa = ((e \cdot 256 + f) \cdot 256 + g) \cdot 256 + h$ (45).....	123

9 SKRAĆENICE

8P8C – engleski: 8 Position 8 Contact, ili 8 Position 8 Conductor (8 pozicija 8 kontakata), ime modularnog konektora (utičnica i utikač) za terminiranje kablova sa četiri upredenih parica.

100BASE-TX – ime standarda iz grupe Fast Ethernet grupe, označava verziju čiji su medij dve upredene parice kategorije 5.

A/D – engleski: Analog/Digital – analogno/digitalno; odnosi se na kolo koji na svom ulazu ima analogne, a na izlazu digitalne signale.

ANSI – American National Standards Institute (1918 -) [W3], organizacija za standarde.

ARM – Acorn RISC Machine, Advanced RISC Machine, ime familije procesora RISC arhitekture, izrađene VLSI tehnologijom.

ARP – engleski: Address Resolution Protocol – protokol koji se koristi za mapiranje fizičke i mrežne adrese, npr. MAC adrese sa IPv4 adresom.

AT – engleski: Advanced Technology (napredna tehnologija), oznaka u imenu PC AT računara.

ATA – engleski: AT Attachment (AT dodatak/priključak), standard sa setom komandi za upravljanje pozadinskim uređajima za skladištenje.

ATAPI – engleski: AT Attachment Packet Interface (AT dodatak za paketni međusklop), unapređeni ATA standard.

big endian – prvi bajt podatak je najznačajniji, zadnji bajt podatak je najmanje značajan.

CardBus – pogledati pod PCMCIA.

Cat – engleski: Category – kategorija; oznaka za kategoriju kabla, npr. „Cat 5“

CATV – engleski: CAble TeleVision, kablovska televizija.

CF – engleski: Compact Flash, ime jednog tipa memorijske kartice.

COM – oznaka serijskog komunikacionog porta u Microsoft MS-DOS i Windows okruženju.

CPLD – engleski: Complex Programmable Logic Device; vrsta korisničko programibilnog logičkog integrisanog kola.

CRC – engleski: Cyclic Redundancy Check, metoda za detekciju grešaka.

CSMA/CD – engleski: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, višestruki pristup sa osluškivanjem nosioca uz otkrivanje sudara.

D/A – engleski: Digital/Analog – digitalno/analogno; odnosi se na kolo koji na svom ulazu ima digitalne, a na izlazu analogne signale.

DARAM – engleski: Dual Access RAM – RAM memorija sa dvostrukom magistralom za pristup.

DHCP – engleski: Dynamic Host Configuration Protocol, protokol za dinamičku konfiguraciju mrežnih parametara pojedinih priključenih uređaja.

DMA – engleski: Direct Memory Access – neposredan pristup memoriji.

DSP – engleski: Digital Signal Processor – namenski procesor za digitalnu obradu signala.

EEG – Elektroencefalografija je neurofiziološka metoda koja registruje moždanu električnu aktivnost.

EIA – The Electronic Industries Alliance (1957 - 1997) [W9], organizacija za standarde, prethodnik TIA, poznat po RS-232 i EIA-485 standardima za serijsku komunikaciju.

eSATA – engleski: external Serial Advanced Technology Attachment (eksterni serijska napredna tehnologija priključka), priključak za povezivanje računara sa vanjskim, pozadinskim uređajima za masovno skladištenje podataka.

FIFO – engleski: First In First Out – metoda koja označava organizaciju i manipulaciju podataka u baferu kao red, značenje: prvi ulaz(ni podatak) prvi izlaz(i).

FPGA – engleski: Field-Programmable Gate Array; vrsta korisničko programabilnog logičkog integrisanog kola.

IC – engleski: Integrated Circuit – integrisano kolo.

IEEE – Institute for Electronics, Energetics and Engineering – ime organizacije za standardizaciju u polju elektronike i energetike.

I²S – engleski: Inter IC Sound; komunikacioni protokol za digitalni prenos višekanalne audio sadržaja između integrisanih kola.

IP, IPv4 – engleski: Internet Protocol – jedna od osnovnih mrežnih protokola interneta.

J2ME – Java 2 Micro Edition – verzija Jave za rad u realnom vremenu.

JVM – engleski: Java Virtual Machine – Java Virtuelna Mašina.

LAN – engleski: Local Area Network, računarska mreža lokalnog značaja.

LED – engleski: Light Emitting Diode, dioda koja emituje svetlost. Optoelektrična komponenta.

LSB – engleski: Least Significant Bit – najmanje značajni bit (npr. u registru).

LSI – engleski: Large Scale of Integration – integrisano kolo sa visokim stepenom integracije.

MAC – engleski: Media Acces Control (adresa) – jedinstvena fizička mrežna adresa.

MIDI – engleski: Musical Instrument Digital Interface, industrijski standard za serijsko povezivanje električnih muzičkih instrumenata i opreme.

MIPS – engleski: Million Instructions Per Second – milion instrukcija u sekundi.

MMC – engleski: MultiMedia Card, ime jednog tipa memorijske kartice.

MP3 – MPEG-1 Audio Layer 3 – ime formata audio standada i zapisa.

MSB – engleski: Most Significant Bit – najznačajniji bit (npr. u registru).

MTU – engleski: Maximum Transsmision Unit, najveća moguća jedinica koja se ujedno može preneti bez rastavljanja na više paketa ili okvira.

NB – Net Burner, ime proizvoda koji sadrži Coldfire RISC mikroprocesor i Fast Ethernet priključak.

OO – engleski: Object Oriented – objektno orijentisani.

OOP – engleski: Object Oriented Programming – objektno orijentisano porogramiranje.

OS – engleski: Operating System – operativni sistem.

OSI – engleski: Open Systems Interconnection, model koji opisuje zadatke apstraktnih nivoa komunikacionih sistema.

PC – engleski: Personal Computer, personalni računar.

PCMCIA – engleski: Personal Computer Memory Card International Association, ime PC kartice za proširivanje laptop računara. Od verzije v5.0 naziv je promenjen u CardBus.

RAM – engleski: Random-Access Memory – memorija sa slučajnim pristupom.

RISC – engleski: Reduced Instruction Set Computing – računar sa smanjenim skupom instrukcija, vrsta arhitekture procesora.

RJ45 – engleski: Registered Jack 45, registrovani utikač, definisan standardom ANSI/TIA-1096-A.

RTOS – engleski: Real Time Operating System – operativni sistem u realnom vremenu.

SATA – engleski: Serial Advanced Technology Attachment (napredna, serijska tehnologija priključka), priključak za povezivanje računara sa pozadinskim uređajima za masovno skladištenje podataka.

SCK – engleski: Serial Clock – serijski takt, signal I²S magistrale.

SCSI – engleski: Small Computer System Interface, (međusklop za male računarske sisteme) grupa standarda koji opisuje fizičko spajanje i prenos podataka između računara i periferije.

SD₁ – engleski: Serial Data – serijski tok podatka, signal I²S magistrale.

SD₂ – engleski: Secure Digital, ime jednog tipa memorijske kartice.

SDRAM – engleski: Synchronous Dynamic Random Access Memory – tip memorije sa dvostrukom pristupom.

SRAM – engleski: Static Random Access Memory – tip statičke memorije.

SSD – engleski: Solid State Drive ili Solid State Disk (drajv/disk čvrstog stanja), uređaj za trajno čuvanje podataka. Zasniva se na korišćenju memorijskih integrisanih kola, tj. ne sadrži pokretne delove.

STP – engleski: Shielded Twisted Pair, oklopljena upredena parica.

TCP/IP – engleski: Transmission Control Protocol/Internet Protocol – familija protokola koji rade zajedno i omogućuju komunikaciju između aplikacija.

TDM – engleski: Time Division Multiplex – multipleks sa vremenskom raspodelom.

TIA – Telecommunications Industry Association (1997 -) [W37], organizacija za standarde.

UDP – engleski: User Datagram Protocol – naziv jednog od TCP/IP prenosnog protokola.

U/I – Ulazni/Izlazni – engleski: I/O – Input/Output.

UML – engleski: Unified Modelling Language – ujedinjeni jezik modeliranja.

USB – engleski: Universal Serial Bus, univerzalna serijska magistrala.

UTP – engleski: Unshielded Twisted Pair, neoklopljena upredena parica.

VDC – engleski: Volts Direct Current – istosmerni napon.

VLSI – engleski: Very Large Scale of Integration – integrisano kolo sa veoma visokim stepenom integracije.

WS – engleski: Word Select, – izbor reči, signal I²S magistrale.

WS#11 – skraćena oznaka za 11 komada WS okvira I²S polumagistrale, *WS jedanaestorka*.