



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХИЧКИХ
НАУКА У НОВОМ САДУ




Јовица Тасевски

**Адаптивне бихевиористичке
стратегије у интеракцији између
човека и машине у контексту
медицинске терапије**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА


Нови Сад, 2018.

	УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ФАКУЛТЕТ ТЕХИЧКИХ НАУКА 21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6
	КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

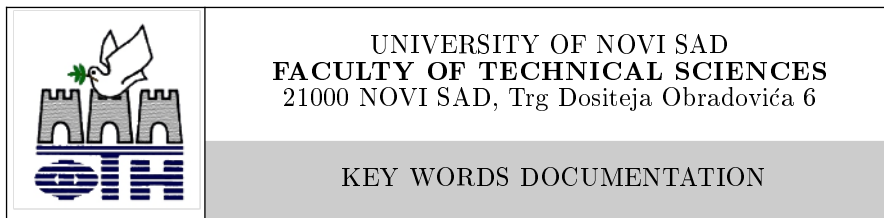
Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска документација
Тип записа, ТЗ:	Текст, штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	Јовица Тасевски
Ментор, МН:	др Милан Ђњатовић, доцент
Наслов рада, НР:	Адаптивне бихевиористичке стратегије у интеракцији између човека и машине у контексту медицинске терапије
Језик публикације, ЈП:	српски
Језик извода, ЈИ:	српски/енглески
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	АП Војводина
Година, ГО:	2018.
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Факултет техничких наука, 21000 Нови Сад Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страница/цитата/ табела/слика/графика/прилога)	6/ 6/161/149/55/9/39/3
Научна област, НО:	Мехатроника
Научна дисциплина, НД:	Мехатроника, роботика и аутоматизација
Предметна одредница/ Кључне речи, ПО:	конверзациони робот, церебрална парализа, дијалогска стратегија, дијалогски корпус, дијалогска ентропија, интеракција између робота и човека
УДК:	
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука Универзитет у Новом Саду
Важна напомена, ВН:	

	<p>УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ ФАКУЛТЕТ ТЕХИЧКИХ НАУКА 21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6</p> <p>КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА</p>
---	---

<p>Извод, ИЗ:</p>	<p>У овој дисертацији се разматрају изабрани аспекти истраживачког проблема спецификације, дизајнирања и имплементације конверзационих робота као асистивних средстава у терапији деце са церебралном парализом. Доприноси ови тезе су следећи. (i) Предложена је архитектура конверзационог агента опште намене која омогућава флексибилно интегрисање модула различитих функционалности. (ii) Дефинисана је и имплементирана адаптивна бихевиористичка стратегија коју робот примењује у интеракцији са децом. (iii) Предложена дијалогска стратегија је спроведена и позитивно процењена у интеркацији између деце и робота у реалистичном терапеутском контексту. (iv) Коначно, предложен је приступ за аутоматско детектовање критичних промена у дијалогу, заснован на појму нормализоване дијалогске ентропије.</p>	
<p>Датум прихватања теме, ДП:</p>	<p>14.09.2017. године</p>	
<p>Датум одбране, ДО:</p>		
<p>Чланови комисије, КО:</p>	<p>Председник: др Бранислав Боровац, редовни професор</p> <p>Члан: др Мирко Раковић, доцент</p> <p>Члан: др Милутин Николић, доцент</p> <p>Члан: др Коста Јовановић, доцент</p> <p>Члан ментор: др Милан Ђњатовић, доцент</p>	<p>Потпис ментора</p>

	UNIVERSITY OF NOVI SAD FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES 21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6
	KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic documentation
Type of record, TR :	Text, printed material
Contents code, CC :	PhD thesis
Author, AU :	Jovica Tasevski
Mentor, MN :	Milan Gnjatović, PhD, assistant professor
Title, TI :	Adaptive Behavioural Strategies in Human-Robot Interaction in the Context of Medical Therapy
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian/English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	AP of Vojvodina
Publication year, PY :	2018.
Publisher, PB :	Author reprint
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, 21000 Novi Sad Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD :	6/161/149/55/9/39/3
(chapters/pages/references/ tables/pictures/graphs/appendixes)	
Scientific field, SF :	Mechatronics
Scientific discipline, SD :	Mechatronics, Robotics and Automation
Subject/Key words, S/KW :	conversational robot, cerebral palsy, dialogue strategy, dialogue corpus, dialogue entropy, human-robot interaction
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences University of Novi Sad
Note, N :	



<p>Abstract, AB:</p>	<p>This doctoral dissertation considers selected aspects of the research problem of specification, design, and implementation of conversational robots as assistive tools in therapy for children with cerebral palsy. This dissertation has made the following contributions: (i) It proposes a general architecture for conversational agents that allows for flexible integration of software modules implementing different functionalities. (ii) It introduces and implements an adaptive behavioural strategy that is applied by the robot in interaction with children. (iii) The proposed dialogue strategy is applied and evaluated in interaction between children and the robot MARKO, in realistic therapeutic settings. (iv) Finally, the dissertation proposes an approach to automatic detection of critical changes in human-machine interaction, based on the notion of normalized interactional entropy.</p>	
<p>Accepted by the Scientific Board on, ASB:</p>	<p>2017/09/14</p>	
<p>Defended on, DE:</p>		
<p>Defended Board, DB:</p>	<p>President: Branislav Borovac, PhD, full professor</p>	<p>Menthor's sign</p>
<p>Member: Mirko Raković, PhD, assistant professor</p>		
<p>Member: Milutin Nikolić, PhD, assistant professor</p>		
<p>Member: Kosta Jovanović, PhD, assistant professor</p>		
<p>Member, Mentor: Milan Gnjatović, PhD, assistant professor</p>		

Мојим родитељима и брату.

Захвалница

Неизмерну захвалност дугујем свом ментору др Милану Гњатовићу, због указаног поверења и пружене апсолутне подршке у изради ове докторске дисертације.

Захвалан сам свом саветнику др Браниславу Боровцу, који је био уз мене током студија, имао стрпљења и веровао у мене.

Свим колегама, које су биле уз мене током ових година рада на докторату, дугујем захвалност за разумевање и стрпљење коју су показали.

Највећу захвалност дугујем мојој Тањи, која ми је, поред моје породице, била највећа подршка.

Сажетак

У овој дисертацији се разматрају изабрани аспекти истраживачког проблема спецификације, дизајнирања и имплементације конверзационих робота као асистивних алата у терапији деце са церебралном парализом. Доприноси ови тезе су следећи. (i) Предложена је архитектура конверзационог агента опште намене која омогућава флексибилно интегрисање модула различитих функционалности. У конкретној примени ове архитектуре, хуманоидни робот МАРКО је интегрисан са конверзационим агентом који управља вербалном интеракцијом између деце и робота у посматраном терапеутском контексту. (ii) Дефинисана је и имплементирана адаптивна бихевиористичка стратегија коју робот примењује у интеракцији са децом. По овој стратегији, робот усклађује своје дијалогске чинове у односу на мотивисаност детета, и општи степен извршења терапеутских налога, без узимања у обзир специфичности терапије. (iii) Предложена дијалогска стратегија је спроведена и процењена у интеракцији између деце и робота, у реалистичном терапеутском контексту. Корпус снимака интеракције између деце и хуманоидног робота МАРКА је транскрибован, етикетиран, и позитиво процењен у односу на дијалогско понашање робота, дечију вербалну продукцију, и мотивисаност деце да учествују у интеракцији. (iv) Коначно, предложен је приступ за аутоматско детектовање критичних промена у дијалогу, заснован на појму

нормализоване дијаложке ентропије. Предложени алгоритам је независан од конкретних дијаложких домена и модела на којем се примењује, а валидиран је на дијалозима између деце и робота садржаним у доступном корпусу.

Abstract

This doctoral dissertation considers selected aspects of the research problem of specification, design, and implementation of conversational robots as assistive tools in therapy for children with cerebral palsy. This dissertation has made the following contributions: (i) It proposes a general architecture for conversational agents that allows for flexible integration of software modules implementing different functionalities. In the concrete implementation of the proposed architecture, the human-like robot MARKO was integrated with the conversational agent that manages interaction between children and the robot in the observed therapeutic context. (ii) It introduces and implements an adaptive behavioural strategy that is applied by the robot in interaction with children. According to this strategy, the robot adapts its dialogue acts with respect to children's motivation and their general performance during therapeutic interaction, without taking specificities of the therapy into consideration. (iii) The proposed dialogue strategy is applied and evaluated in interaction between children and the robot MARKO, in realistic therapeutic settings. The corpus comprising recordings of interaction between children and the robot is transcribed, annotated, and positively evaluated with respect to the robot's dialogue behaviour, children's verbal production, and children's motivation to engage in interaction. (iv) Finally, the dissertation proposes an approach to automatic detection of critical changes in human-machine

interaction, based on the notion of normalized interactional entropy. The proposed approach is independent of any specific dialogue domain or dialogue model, and is validated by corpus evidence.

Садржај

Листа слика	xviii
Листа табела	xxii
1 Увод	1
1.1 Церебрална парализа	1
1.2 Проблем мотивације деце	3
1.3 Доприноси тезе	4
1.4 Структура дисертације	4
2 Преглед стања	7
2.1 Увод	7
2.2 Мотивација пацијената у терапији подржаној роботима ...	7
2.3 Дијалошки корпуси	18
2.4 Захтеви за корпус	18
2.5 Преглед изабраних корпуса	20
2.6 Закључак	26
3 Конверзациони агент	29
3.1 Увод	29
3.2 Модули конверзационог агента	31
3.2.1 Препознавање и синтеза говора	33

3.2.2	Обрада природног језика и управљање дијалогом . . .	34
3.3	Модуларна архитектура	36
3.4	Прототип	40
3.5	Закључак	41
4	Корпус	43
4.1	Увод	43
4.2	Производња корпуса	43
4.2.1	Субјекти	43
4.2.2	Поставка експеримента	44
4.2.3	Структура експеримента и управљање дијалогом . . .	47
4.2.4	Корпус	51
4.3	Процена корпуса	53
4.3.1	Процена дијалогског понашања робота	53
4.3.2	Процена вербалне производње	57
4.3.3	Процена мотивације	59
4.4	Закључак	62
5	Детекција критичних промена у дијалогу	63
5.1	Увод	63
5.2	Ентропија и интеракција	64
5.3	Појам дијалогске ентропије	66
5.4	Аутоматска детекција критичне промене у дијалогу	68
5.5	Закључак	75
6	Закључак	77
	Литература	79
A	Транскрипт изабраног дијалога	97
B	Етикетирани дијалози	103
B	Нормализоване дијалогске ентропије	111

Листа слика

3.1	Конверзациони агент	32
3.2	Дијалошки систем	32
3.3	Комуникација са сервером за препознавање говора.	34
3.4	Архитектура конверзационог агента. Функционалност сваког модула је иплементирана одговарајућом библиотеком за динамичко повезивање која са остатком система комуницира преко интерфејса који је униформан за све модуле.	38
3.5	Архитектура модуларне платформе.	39
3.6	Блок-шема прототипског конверзационог агента.	41
3.7	Конкретна архитектура прототипског конверзационог агента.	42
4.1	Робот МАРКО у сали за кинезитерапију Клинике за децу рехабилитацију и хабилитацију у Новом Саду.	46
4.2	(а) Шема експерименталне поставке, и (б,в) примери снимака са две камере.	47
5.1	Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{25} и робота МАРКА. . .	68

- 5.2 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{12} и робота МАРКА. . . 69
- 5.3 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{23} и робота МАРКА. . . 74
- V.1 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_1 и робота МАРКА. . . 111
- V.2 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_2 и робота МАРКА. . . 112
- V.3 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_3 и робота МАРКА. . . 113
- V.4 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_4 и робота МАРКА. . . 113
- V.5 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_5 и робота МАРКА. . . 114
- V.6 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_6 и робота МАРКА. . . 114
- V.7 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_7 и робота МАРКА. . . 115
- V.8 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_8 и робота МАРКА. . . 116
- V.9 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_9 и робота МАРКА. . . 116
- V.10 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{10} и робота МАРКА. . . 117
- V.11 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{11} и робота МАРКА. . . 117
- V.12 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{12} и робота МАРКА. . . 118
- V.13 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{13} и робота МАРКА. . . 119

- V.29 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{29} и робота МАРКА. . . 130
- V.30 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{30} и робота МАРКА. . . 130
- V.31 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{31} и робота МАРКА. . . 131
- V.32 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{32} и робота МАРКА. . . 132
- V.33 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{33} и робота МАРКА. . . 132
- V.34 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{34} и робота МАРКА. . . 133
- V.35 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{35} и робота МАРКА. . . 134
- V.36 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{36} и робота МАРКА. . . 134

Листа табела

2.1	Преглед корпуса — први део. Значење колона: (I) корпус садржи снимке интеракције између човека и машине, (II) дијалогско понашање субјеката је спонтано, и (III) експеримент је контролисан.	21
2.2	Преглед корпуса — други део. Значење колона: (I) корпус садржи снимке интеракције између човека и машине, (II) дијалогско понашање субјеката је спонтано, и (III) експеримент је контролисан.	22
4.1	Субјекти-пацијенти Клинике за дечју рехабилитацију и хабилитацију. Сви субјекти из ове подгрупе разумеју говор, осим субјекта s_{23} , који разуме само просте вербалне налоге. Субјекти s_{11} , s_{12} , s_{14} , s_{22} , s_{23} и s_{28} су имали претходне сусрете са роботом МАРКОМ.	45
4.2	Здрави субјекти. У овој подгрупи је једино субјекат s_9 имао претходни сусрет са роботом МАРКОМ.	46
4.3	Скуп Φ : Општа класификација дијалогских чинова у интеракцији између детета и робота.	50
4.4	Основни подаци о броју и трајању експерименталних снимака.	51

4.5	Статистички подаци о вербалним дијалошким чиновима које су генерисали робот, оператер и родитељи.	51
4.6	Статистички подаци о дечијим вербалним дијалошким чиновима.	52
4.7	Статистички подаци о невербалним дечијим дијалошким чиновима.	52
4.8	Статистички подаци о невербалним роботским дијалошким чиновима.	52
4.9	Контролна група пацијената.	58
4.10	Статистички подаци о вербалним дијалошким чиновима за децу из контролне групе.	59
4.11	Резултати процене мотивације субјекатске групе за учешће у интеракцији са роботом МАРКОМ.	61
5.1	Етикетирана интеракција између детета s_{25} и робота.	65
5.2	Етикетирана интеракција између детета s_{12} и робота.	65
5.3	Дијалошка ентропија за низ a, b, c, b, b	67
5.4	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_{25} и робота МАРКА.	67
5.5	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_{12} и робота МАРКА.	68
5.6	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_{23} и робота МАРКА.	74
V.1	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_1 и робота МАРКА.	112
V.2	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_2 и робота МАРКА.	112
V.3	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_3 и робота МАРКА.	112

V.4	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_4 и робота МАРКА.	113
V.5	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_5 и робота МАРКА.	114
V.6	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_6 и робота МАРКА.	115
V.7	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_7 и робота МАРКА.	115
V.8	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_8 и робота МАРКА.	115
V.9	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_9 и робота МАРКА.	116
V.10	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{10} и робота МАРКА.	117
V.11	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{11} и робота МАРКА.	118
V.12	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{12} и робота МАРКА.	118
V.13	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{13} и робота МАРКА.	119
V.14	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{14} и робота МАРКА.	120
V.15	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{15} и робота МАРКА.	120
V.16	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{16} и робота МАРКА.	121
V.17	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{17} и робота МАРКА.	122
V.18	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{18} и робота МАРКА.	123

V.19	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{19} и робота МАРКА.....	123
V.20	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{20} и робота МАРКА.....	124
V.21	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{21} и робота МАРКА.....	125
V.22	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{22} и робота МАРКА.....	126
V.23	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{23} и робота МАРКА.....	126
V.24	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{24} и робота МАРКА.....	126
V.25	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{25} и робота МАРКА.....	127
V.26	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{26} и робота МАРКА.....	128
V.27	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{27} и робота МАРКА.....	129
V.28	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{28} и робота МАРКА.....	129
V.29	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{29} и робота МАРКА.....	130
V.30	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{30} и робота МАРКА.....	131
V.31	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{31} и робота МАРКА.....	131
V.32	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{32} и робота МАРКА.....	132
V.33	Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{33} и робота МАРКА.....	133

V.34	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_{34} и робота МАРКА.....	133
V.35	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_{35} и робота МАРКА.....	134
V.36	Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_{36} и робота МАРКА.....	135

Поглавље 1

Увод

У овој дисертацији се разматрају изабрани аспекти истраживачког проблема спецификације, дизајнирања и имплементације конверзационих робота као асистивног средства у терапији деце са церебралном парализом.

1.1 Церебрална парализа

По дефиницији ([Rosenbaum et al., 2007]), церебрална парализа описује групу трајних поремећаја у развоју кретања и одржавања позе који ограничавају спектар активности и приписују се непрогресивним поремећајима насталим током развоја фетуса или новорођенчета. Моторички поремећаји код церебралне парализе често су праћени поремећајима осећаја, перцепције, когниције, комуникације и понашања, епилепсијом и другим мишићно-коштаним проблемима. Церебрална парализа описује преовлађујућу групу пацијената са неуролошким-развојним поремећајем, и може се груписати према типу и степену оштећења, мада између ових група постоји преклапање, и не може се увек поставити јасна граница.

Претпоставља се да је церебрална парализа изазвана једним подстицајним догађајем, или серијом дискретних подстицајних догађаја, неактивних у тренутку дијагностификовања церебралне парализе. Под пој-

мом подстицајног догађаја се подразумева процес који је на неки начин довео до прекида или поремећаја тока развоја мозга, и тиме узроковао трајно, али непрогресивно оштећење мозга.

Развојна природа церебралне парализе у великој мери утиче на развојни пут особа са церебралном парализом. Моторичка оштећења постају видљива код деце до 18 месеци старости, и често су у комбинацији са другим неуролошко-развојним и функционалним проблемима који се могу испољити у каснијем развојном добу. Клиничка слика оболелих од церебралне парализе се мења током времена, са развојем, учењем, активностима, терапијом, старењем и итд. Код оболелих од церебралне парализе изражени су проблеми поремећених функционисања и организације fine и грубе моторике, ходања и одржавања позе. Проблеми који настају могу довести до потешкоћа у исхрани и гутању, координисаним покретима очију, говорном изражавању (артикулацији), и другим проблемима са понашањем, мишићно-коштаним функцијама, и учешћем у друштвеном животу. У додатне мишићно-коштане проблеме спадају скраћени мишићи, односно тетиве, увртање костију, излежиштење кука, деформација кичменог стуба, итд. Ови проблеми се манифестују у току живота, и повезани су са физичким растом, згрченошћу мишића, старењем, и другим факторима. Оболели од церебралне парализе често показују и друге неуролошко-развојне поремећаје и оштећења. Услед таквих оштећења и поремећаја се могу јавити различите врсте епилептичних напада. Вид, слух и други сензорни модалитети могу бити погођени, као примарни поремећаји који су повезани са церебралном парализом, или као секундарна последица активних ограничења који спречавају учење и стицање искуства кроз перцептивни развој.

Поремећаји перцепције се односе на умањену способност да се интегришу и интерпретирају сензоричке и когнитивне информације, што се јавља као последица примарних или секундарних поремећаја повезаних са церебралном парализом. Тим поремећајима могу бити погођени

главни, али и специфични когнитивни процеси, укључујући пажњу. Они могу значајно утицати на способност комуникације, и друштвену интеракцију. Примарни и секундарни поремећаји могу довести до психијатријских проблема, или проблема у понашању, као што су аутистични поремећаји, поремећаји пажње, сна и расположења, и анксиозност.

1.2 Проблем мотивације деце

Због свега наведеног, од изузетне је важности да се промене у обрацима клиничке слике уоче у најранијем развоју деце, и да се са дугорочним терапеутским вежбама крене што раније. Конвенционална терапија код деце са церебралном парализом се суштински заснива на интеракцији између детета и терапеута. У тој интракцији, терапеут задаје налоге које дете треба да изврши, и помаже му у извршавању, усмерава га, коригује и подстиче. Један од значајнијих проблема у конвенционалној терапији се односи на слабу мотивацију деце за учешћем у терапеутским вежбама. Важно је приметити да, због узраста и здравственог стања детета, на нивоу интеракције између детета и терапеута често изостаје колективна¹ намера учесника, и да су присутне само индивидуалне намере учесника. Намера терапеута је да подстакне дете да изводи циљане вежбе, али деца не препознају терапеутски циљ вежби, и перципирају их као досадне (због великог броја понављања), заморне или непријатне, због чега често изостаје, или је нарушена мотивација за учествовање у терапији. Имајући у виду дугорочност и значај терапије, јасно је да успостављање и одржање мотивације деце за учествовањем у терапији представљају један од кључних фактора за успешност терапије.

¹ Детаљније разматрање колективних и индивидуалних намера у дијалогу је доступно у [Searle, 1990].

1.3 Доприноси тезе

Доприноси ове дисертације су следећи:

- Имплементирање конверзационог агента који управља вербалном интеракцијом између детета и робота у посматраном терапеутском контексту, и његова интеграција са хуманоидним роботом МАРКОМ.
- Дефинисање и имплементирање адаптивне бихевиористичке стратегије коју робот примењује у интеракцији са децом. Ова стратегија је (а) адаптивна, јер робот усклађује своје дијалогске чинове (вербалне и невербалне) у складу са тренутим стањем интеракције и краткорочном предисторијом. и (б) бихевиористичка, јер се њено адаптирање врши преваходно у односу на мотивисаност детета, и општи степен извршења терапеутских налога (нпр., коректно, парцијално коректно, некоректно), без узимања у обзир специфичности терапије.
- Спровођење предложене дијалогске стратегије у интеракцији између деце и робота, у реалистичном терапеутском контексту, и њено процењивање у односу на дијалогско понашање робота, дечију вербалну продукцију, и остварену мотиваност деце да учествују у интеракцији.
- Дефинисање приступа за аутоматско детектовање критичних промена у дијалогу, и његово валидирање на реалистичним дијалозима између деце и робота у терапеутском контексту.

1.4 Структура дисертације

У поглављу 2 је дат преглед постојећих истраживања у области примене конверзационих агената и робота као асистивних алата у терапији, са посебним освртом на интеракцију између деце и робота, и доступне дијалогске корпусе. У поглављу 3 су представљени конверзациони агент који управља вербалном интеракцијом између детета и робота, и нова ар-

хиктетура која га интегрише са роботом МАРКОМ. У поглављу 4 је дефинисана адаптивна, бихевиористичка стратегија коју робот примењује у интеракцији са децом, а њен учинак је процењен анализом дијалога између деце и робота, у реалистичном терапеутском контексту. У поглављу 5 је представљен приступ аутоматском детектовању критичних промена у интеракцији између човека и робота, и валидиран на реалистичним дијалозима између деце и робота у терапеутском контексту. У поглављу 6 су дате закључне напомене.

У прилогу А је дат пример транскрибованог и етикетираног дијалога између детета s_{25} и конверзационог робота МАРКА. У прилогу Б су приказани сви етикетирани дијалози између субјеката и МАРКА. У прилогу В су дате нормализоване дијалошке ентропије и њихови графички прикази за све дијалогне између субјеката и МАРКА. За сваки дијалог су назначене вредност прага и дијалошки чин који означава тренутак критичне промене у дијалогу.

У прилогу дисертације су дати примери етикетираних дијалопких чинова, скуп дијалопких чинова који описује сваки експеримент. Приказане су вредности дијалопких ентропија за све експерименте садржане у приказаном корпусу.

Поглавље 2

Преглед стања

2.1 Увод

У овом поглављу су дати (i) преглед истраживања у области примене робота у медицинској терапији релевантних за проблем мотивације пацијената за учешће у терапији, и (ii) преглед релевантних дијалошких корпуса који садрже снимке интеракције између човека и робота. Истраживања у области интеракције између човека и машине се у значајној мери заснивају на анализи оваквих корпуса — укључујући и истраживање представљено у овој дисертацији — и због тога је посебна пажња посвећена захтевима које овакви корпуси треба да испуне да би били релевантни истраживачки ресурси.

2.2 Мотивација пацијената у терапији подржаној роботима

Истраживања у области медицинске терапије подржане роботским системима се заснивају на широко прихваћеној претпоставци да се додатна терапеутска корист може постићи увођењем интеракције између пацијента, терапеута и роботског система који служи као иницијатор и сти-

мулатор интеракције ([Gnjatović, 2014, Colton et al., 2009]). У оквиру ове претпоставке постоје два доминантна правца истраживања. Први правац се односи на клиничку неурорехабилитацију која има за циљ смањење последица моторичких оштећења, нпр., код пацијената који су претрпели исхемијски мождани удар ([Dipietro et al., 2012, Kwakkel et al., 2008, Johnson, 2006]) или имају церебралну парализу ([Blázquez, 2013, Krebs et al., 2009, Belokopytov and Fridin, 2012]). Дизајн роботских система који се користе у овом контексту је примарно посвећен повећању мотивације, активног учешћа, и самосталној иницијацији покрета ([Krebs et al., 2009]). Други правац се односи на терапију деце са аутистичним поремећајима ([Colton et al., 2009, Thill et al., 2012, Ricks and Colton, 2010, Dautenhahn et al., 2009, Vanderborght et al., 2012]). Скорашњи истраживачки резултати указују на то да употреба робота у терапији може позитивно утицати на друштвено понашање деце са аутизмом и иницирати манифестације у понашању (нпр., имитација, успоставље контакта очима, заједничка пажња, итд.) које се иначе не јављају у интеракцији са вршњацима, неговатељима (родитељима) и терапеутима ([Ricks and Colton, 2010]). Стога се роботски системи који се примењују у оваквој терапији дизајнирају са намером да иницирају и стимулишу друштвену интеракцију између детета и терапеута.

Међутим, пријављени позитивни ефекти у вези са мотивацијом деце са аутизмом не могу бити ад хок генерализовани на терапију деце са церебралном парализом и сличним поремећајима. Иако церебрална парализа представља један од најчешћих узрока озбиљних физичких сметњи код деце [Morris, 2007], посвећено јој је релативно мало пажње у области медицинске терапије подржане роботима. Систематски преглед употребе робота за терапију пацијената са церебралном парализом је дат у [Bayon et al., 2016, Meyer-Heim and van Hedel, 2013, Castelli, 2011]. Преглед роботизованих система који се користе у терапији горњих и доњих екстремитета је дат у [Blázquez, 2013] и [Krebs et al., 2009]. У наставку

овог поглавља су размотрена она истраживања у којима се работи примарно, мада не и искључиво, користе са намером да повећају мотивацију пацијената да учествују у терапији.

У [Castelli, 2011] су истакнуте предности коришћења егзоскелета у терапији оболелих од церебралне парализе. Постојећи егзоскелети нису били примерени за коришћење код деце, па су развијени посебни манипулатори намењени за корекцију моторике руку и ногу. У односу на стандардне вежбе примењиване у терапији деце оболеле од церебралне парализе, предност ових уређаја је што омогућавају подешавање интензитета и броја понављања вежби, чиме се постиже већи утицај на неуропластичност кортекса. Поред тога, ови уређаји поседују велики број сензора који омогућавају сакупљање података о силама које се јављају у механизму манипулатора, што омогућава вођење евиденције о активностима пацијената. Да би се утицало на повећање мотивације пацијената, истакнута је могућност интегрисања ових уређаја са системом у коме пацијенти играју видео-игре.

У складу са том идејом, у [Yoo et al., 2014] је спроведен експеримент у којем није примењен робот (нити манипулатор), већ виртуелно окружење са видео-игром, у којем су деца покретима руке хватала рибице. Током игре у виртуелном окружењу су се вршила мерења електромиографских сигнала за потребе анализирања мишићне активности у подлактици и надлактици, и, посредно, мотивације деце. Експеримент је спроведен на малом броју испитаника (троје деце), а експериментална поставка није укључивала говорну интеракцију између детета и система.

Систем *NJIT-RAVR* је роботски уређај који се у терапији деце са церебралном парализом користи за рехабилитацију руку кроз вежбе у виртуелном окружењу [Fluet et al., 2010]. Уређај је хаптички, и везује се за подлактицу пацијента. Покретањем руке, односно хаптичког уређаја, дете игра игру у виртуелном окружењу (бушење балона, хватање предмета, управљање аутомобилом, итд.), са терапеутским циљем да се по-

бољшавају покретљивост и прецизност рамена и руке. У експерименту је учествовало 9 субјеката, подељених у три групе. Групе су пролазиле различите програме вежбања, а у току експеримента није било говорне интеракције са системом.

Бенефити примене роботских система у терапији код деце оболеле од церебралне парализе су показани у [Sukal-Moulton et al., 2014]. У експерименту је учествовало 29 деце, која су 12 пута у периоду од 6 недеља изводила вежбе на роботском уређају намењеном за вежбавање скочног зглоба. Током терапије је мерен напредак покретљивости, снаге и баланса скочног зглоба. Терапија се састојала само од физичког вежбања, а поставка није укључивала интеракцију са пацијентом, нити виртуелно окружење.

Позитивни утицај виртуелног окружења у терапији деце оболеле од церебралне парализе, поткрепљен снимцима магнетне резонанце, пријављен је у [You et al., 2005]. Аутори су упоредили снимке функционалне магнетне резонанце детета оболелог од церебралне парализе пре и после излагања детета игри у виртуелном окружењу, и показали да је дошло до промене активности у кортексу. Експеримент је спроведен само на једном детету, а поставка није укључивала интеракцију са пацијентом.

Хуманоидни робот у улози тренера за моторичке функције деце оболеле од церебралне парализе (*RAC CP Fun – Robotics Agent Coacher for Cerebral Palsy Motor Function*) је представљен у [Belokopytov and Fridin, 2012]. У експерименталној поставци је коришћен робот Нао као асистивно средство. У експерименту је учествовало 18 здраве деце, а сценарио је предвиђао да робот гласовно налаже детету да изводи вежбе које би омогућиле мерење параметара релевантних за терапију (време реакције, опсег покрета и сл.). Експеримент се одвијао у три фазе у којима је робот тражио од детета да устане и седне на столицу, да подигне руке, да броје заједно, и да игра. У свакој од фаза, робот је давао вербалну подршку и охрабривао дете, а по потреби позивао дете да види како он изводи

вежбу. У експерименту нису учествовала деца оболела од церебралне парализе, нити су аутори направили корпус снимака на основу ког би се могла анализирати ефективност представљеног концепта. Две године касније, поновљен је експеримент, овог пута са 16 здраве деце и системом Киндсар (*KindSAR* – Kindergarten Social Assistive Robot), а резултати и закључци су остали исти [Fridin and Belokopytov, 2014, Keren and Fridin, 2014].

Робот Кипон (*Keeron*) је развијен за потребе истраживања у коме се испитивала могућност учешћа робота као посредника у решавању конфликта између деце [Shen et al., 2018]. У експерименту је учествовало 64 деце (старости од 3 до 6 година), која су у паровима имала интеракцију са роботом. Деца су се током активности играла према упутствима које им је задавао робот, а роботом је управљао оператер из удаљене просторије. Појединачни експерименти су трајали по 50 минута, и укључивали су по 5 различитих активности. Деца су била подељена у две групе, које су изложене различитим поставкама. У једној групи, робот је, поред давања инструкција у вези са игром, посредовао у проналажењу решења у случајевима кад би дошло до непоразума и конфликта између деце. Посредовање се састојало од три корака. У првом кораку, робот је заустављао игру и истицао да је дошло до конфликта. У другом кораку, робот је чекао да једно од детета предложи решење, било оно конструктивно или не. У зависности од тога да ли је решење било прихватљиво за оба детета, робот је настављао да управља игром, или је истицао да у том тренутку не могу да се сложе око решења, и предлагао да наставе игру, а решавање конфликта одложе. Приликом посредовања, робот није предлагао решење, нити фаворизовао неко од деце. У другој групи, робот је само задавао инструкције у вези са игром, али није учествовао у решавању конфликта. На основу анализе резултата експеримента, аутори су закључили да робот може значајно да утиче на развој способности деце

предшколског узраста да решавају конфликте. Корпус снимака интеракције између деце и робота није доступан.

У [Rincón et al., 2013] је представљена студија случаја у којој једно дете са церебралном парализом, које је у стању да изговори само речи „да“ или „не“, учествује у терапији са родитељом и роботом Лего Мајнд-сторм (*Lego Mindstorm*) у улози посредника. Снимљена су два појединачна експеримента, са размаком од две недеље, у укупном трајању од 25 минута. У првом експерименту, од родитеља је тражено да се игра са дететом, како би иначе то радио у нормалним условима. У другом експерименту се у игру укључује и робот, са циљем да се провери да ли долази до промене у вербалној продукцији детета и родиља кад је у интеракцију укључен робот. Снимци су транскрибовани од стране два наивна сарадника. На основу броја генерисаних дијалošких чинова родитеља и детета утврђено је да је робот утицао на повећање вербалне продукције код детета. У сличном експерименту, примењен је робот Лего Инвеншн (*Lego Invention*), а група субјеката је обухватала десеторо деце са различитим здравственим стањима (у односу на когнитивне, социјалне и моторичке вештине) [Cook et al., 2011]. У овом експерименту је показано да деца са физичким оштећењима могу да покажу да поседују вештине које се не региструју у стандардизованим тестовима.

У [Malik et al., 2014, 2017] је посматра терапеутска интеракција између деце са церебралном парализом и хуманоидног робота Наоа. У експерименту је учествовало 4 деце, у периоду од 8 недеља. Сваки експеримент је трајао 5 минута, и био је подељен у четири фазе. У првој фази робот поставља питања детету, покушавајући да га укључи у говорну интеракцију, и само у овој фази примењује донекле адаптивну дијалошку стратегију. Без обзира на степен укљученост детета у интеракцију, интеракција се наставља кроз наредне фазе, у којима робот даје налоге детету да изврши одређену вежбу (нпр., да устане, да седне, да одржава баланс на једној ноzi, да шутне лопту). У овим фазама, понашање робота није

адаптивно, тј., робот свој налоге на усклађује у случајевима да дете не може или не жели да уради вежбу. Тридесет терапеута и психотерапеута је процењивало овај експериментални сценарио, и нису били сагласни у вези са могућностима робота да испуни очекиване захтеве.

Робот Урсус је коришћен у терапији деце са церебралном парализом, заједно са уређајем за виртуелно окружење, са намером да дете учествује у вежбама горњих екстремитета [Mejías et al., 2013]. Робот је хуманоидног облика, и има покретне руке и главу. Улога робота у терапији је да, према постојећем плану, води ток терапије и изводи вежбе заједно са дететом, играјући игру у виртуелном окружењу. У експерименту је учествовало 6 деце. Помоћу додатних сензора је праћен опсег покрета који дете остварује. Пацијенти су потврдили да им је много забавније да терапију изводе уз робота, а аутори су дали предлоге о даљем унапређењу система.

Наставак истраживања у коме је коришћен Урсус довео је до развоја тзв. Нао-терапеута (*NAOTherapist*). Нао-терапеут је когнитивна роботска платформа (систем) намењена за примену у терапији горњих екстремитета деце која имају одређена моторичка оштећења (нпр., церебралну парализу) [Pulido et al., 2017]. Идеја је да робот буде аутономан и да се адаптивно прилагођава условима терапије. Хуманоидни робот Нао изводи унапред дефинисане покрете рукама, а дете треба да их понови. Систем континуирано прати покрете детета, и аутоматски реагује када уочи да покрет који дете ради није коректан. Тада систем коригује дете, по потреби уз невербалну демонстрацију. Систем процењује покрете детета коришћењем Кинект сензора, а вредности параметара покрета које деца треба да остваре је задао терапеут. Тежина и интезитет захтеваних вежби се адаптивно мењају у зависности од резултата које постиже дете, тј., прилагођавају се могућностима детета. Ако дете не уради тражену вежбу, систем одлучује на који начин ће му пружити помоћ према задајој стратегији. Неуспешно извођење вежбе је оно у коме дете није успело

да постигне тражени положај руке, или за које је истекло време предвиђено за вежбу. Када дете први пут не успе да уради вежбу, систем га гласовно опомене, и укаже на грешку. Уколико се грешка понови, тада робот својим покретима демонстрира извођење вежбе. У експерименту је учествовало 117 здраве деце узраста од 5 до 9 година, и троје деце са церебралном парализом. Аутори су извршили етикетирање снимака, а систем је забележио све догађаје и информације са сензора. Након завршеног експеримента, деца су попуњавала упитник у ком су пројављивали утиске о интеракцији са роботом. Закључено је да су деца прихватила робота, да желе да учествују у интеракцији са њим, и да су уложила додатни напор током интеракције са роботом. Терапеути су проценили да је посматрана улога робота терапеутски корисна. Ово истраживање представља један од ретких примера да се робот понаша аутономно у току терапеутске интеракције. Аутори износе становиште да је систем у стању да самостално управља током терапије, али ова тврдња није потврђена у раду са болесном децом, нити је испитан дугорочни утицај робота на терапију.

У [Kozyavkin et al., 2014] је представљена пилот-студија у којој је примењен робот Кинетрон (*KineTron*) као тренер у раду са децом са церебралном парализом. У експерименту је учествовало 6 деце, која су са роботом радила од 5 до 7 сесија. Робот је направљен од сервоа (серво мотора мале снаге), и хуманоидног је облика. Робот је демонстрирао вежбе, и задавао говорне инструкције деци. Постојало је 9 сценарија за вежбање, а њих је бирао терапеут путем даљинског уређаја. Три сценарија су била намењена почетној фази терапије, која је садржала упознавање детета са роботом. Друга фаза је предвиђала три сценарија која су били намењена мотивацији детета да уради вежбу. Последња, трећа фаза, садржала је три сценарија у вези са вежбама. Током читаве терапије, робот је, поред говора, управљао пуштањем музике, јер је интеракција укључивала плесну вежбу. Након интеракције су дете и родитељ попуњавали упитник,

у коме су деца изразила жељу да робот у даљој терапији учествује у извођењу вежби заједно са њима.

У [Plaisant et al., 2000] је представљена другачија идеја, по којој деца одређују ток интеракције. Робот је велика плишана играчка, и постављен наспрам детета. Сценарио предвиђа да дете покаже покрете, и употпуни их причом, а робот треба да понови причу пропраћену тим покретима. Аутори верују да на тај начин робот може да мотивише дете у реализовању вербалних и невербалних вежби кроз игру. Током интеракције дете мора да носи сензоре прикачене на рукама, како би робот имао информацију о покрету који треба да понови.

У склопу пројекта *ALIZ-E* развијена је платформа са роботом Нао која служи као помоћ деци оболелој од дијабетеса у процесу учењу о дијабетесу, и како да контролишу и прате своје обољење [Velraeme et al., 2012, Coninx et al., 2016]. Кроз интеракцију са дететом, робот треба да утиче на понашање и навике код деце, кроз едукативну игру и мотивацију деце. Интеракција укључује вербалну и невербалну комуникацију, као и информације са разних уређаја и сензора. Аутори су спровели неколико експеримената коришћењем симулационе технике Чаробњак из Оза, како би одредили карактеристике система. Адаптивност овог система се, поред могућности прилагођавања карактеру детета, огледа у могућности да интеракција буде подељена у више фаза, кроз које се систем фокусира на различите задатке и домене. Интеракција се одвија у тзв. роботском позоришту, са просторно одвојеним задацима. Задатке чине питања у форми квиза, креативни плес (моторичке вежбе) и заједничко сортирање хране. Систем се детету обраћа личним именом, а информације које систем саопшти у једној вежби, дете користи у осталим вежбама, чиме се доприноси дугорочнијем везивању детета и робота. У експерименту у коме је робот био аутономан, учествовало је троје болесне деце. Деца су након интеракције попуњавала неколико упитника. Два упитника су служила за проверу нивоа знања стеченог кроз интеракцију,

док је трећи био за оцену интеракције са роботом. Поред деце, упитнике су попуњавали родитељи и терапеути. Закључено је да се овакав систем може успешно применити у условима терапије и образовања, а не само у лабораторијским условима. Корпус снимака ових експеримената је доступан, али није аотиран, нити етикетиран.

Иако је широко прихваћено да природни језик представља важни чинилац у мотивацији пацијената и процењивању њиховог здравственог стања и ефикасности терапије [Faundez-Zanuy et al., 2013, de Iriña et al., 2015, Gómez-Vilda et al., 2013, Blanco et al., 2013], може се уочити да је релативно мало пажње посвећено техничкој способности робота да се укључи у говорни дијалог природног језика у контексту медицинске терапије. Изузеци од ове праксе су малобројни и првенствено се односе на друштвене конверзационе агенте са циљем да помогну пацијентима или корисницима у обављању задатака везаних за терапију или рехабилитацију.

Лора је човеколики виртуелни агент (тзв. аватар) који се приказује на екрану рачунара, и са корисницима комуницира вербално и невербално. Једна од намена овог система је да помогне кориснику у дугорочној промени навика, а основна идеја је да је за овакву врсту помоћи потребно да систем задобије поверење корисника, и манифестује размевање у односу са њима. У експерименту је учествовало више од 100 субјеката. Лаура је имала улогу тренера за физичко вежбање, и циљ је био да се покаже могућност успостављања друштвеног и емотивног везивања корисника у односу на Лору. У оквиру система *MIT Fit Track*, Лора је имала интеракцију са субјектима у трајању од месец дана, при чему су субјекти дневно проводили 45 минута са системом. Лора је саветовала субјекте, и давала им подршку у току вежби. Да би се остварила дугорочна интеракција, систем је памтио претходне конверзације, и накадно користио запамћене информације. Резултати експеримента искоришћени су за дефинисање модела односа између човека и машине, који укључује вербалну и невер-

балну комуникацију, и омогућава дугорочну интеракцију и успостављање емотивног односа корисника у односу на систем.

Фасола и Матарих [Fasola and Mataric, 2012] представљају друштвеног, асистивног робота за интеракцију са старијим особама током извођења физичких вежби. Задатак робота је да мотивише субјекте да вежбају у циљу постизања бољег здравственог стања, и да одржи повезаност са субјектима кроз личну интеракцију. Аутори су представили две студије кроз које су процењивали способност система да оствари овај задатак. У експериментима је коришћен робот Бандит, који је током експеримента постављен наспрам субјеката који седе. Прва студија је имала циљ да испита утицај похвале и релационог дискурса (љубазност, саосећајност, и сл.) на мотивацију старијих особа током вежбања уз робота. Током ове студије субјекти су имали две интеракције са роботом. Субјекти су након сваке интеракције оцењивали услове интеракције са роботом. У првој интеракцији, робот се током вежбања субјектима обраћао по имену, давао похвале када добро ураде вежбу, а охрабривао их и показивао саосећање када нису у стању да ураде вежбу. Друга интеракција је, на супрот првој, имала циљ да робота представи у супротној улози. Робот није давао похвале, нити на било који начин покушавао да оствари однос са субјектом, већ је само давао информације о успешности изведене вежбе. Током друге студије субјекти су, такође, имали две фазе интеракције са роботом током којих је била намера да се покаже да ли корисници оваквог система желе да имају могућност избора вежбе коју ће радити. У првој фази робот је субјекту нудио три вежбе (вежбање, имитирање или игру меморије). Након што корисник одабере игру, она траје неколико минута, и након тога робот поново нуди субјекту избор. У другој фази, субјекти нису имали избор, већ је робот увек истим редоследом понављао игре. Притом, робот није узимао у обзир успешност изведене вежбе. Обе студије су трајале приближно 20 минута. Анализа упитника који су испунили субјекти није дала јасну слику да ли корисници желе

да имају могућност избора када је оваква интеракција у питању. Што се тиче способности робота да утиче на мотивацију субјеката, показано је да је приступ у коме робот остварује друштвени однос са субјектима значајно утиче на њихову жељу за укључењем у терапију вежбања са роботом.

2.3 Дијалошки корпуси

Иако су корпуси од фундаменталне важности за овакву врсту истраживања, продукција репрезентативних корпуса и даље представља изазов за истраживаче ([Sinclair, 2005, Tognini-Bonelli, 2001, Wilks, 2007]). Због тога, овде су истакнути основни захтеви које корпус треба да задовољи да би представљао релевантни ресурс за истраживање, а потом је пружен приказ корпуса који су генерисани применом симулационе технике „Чаробњак из Оза“, што је од посебног значаја за истраживање представљено у овој дисертацији.

2.4 Захтеви за корпус

Основни захтеви које корпус треба да испуни укључују следеће [Gnjatović and Rösner, 2010]:

- Корпус треба да садржи снимке интеракције између човека и машине. Начин на који људи воде интеракцију са машинама се разликује од начина на који комуницирају међусобно [Pirker and Loderer, 1999], па се посматраном истраживачком проблему не може адекватно приступити анализирањем међуљудских интеракција, чак ни кад је домен интеракције исти. Други речима, потребно је вршити анализу снимака интеракције између детета и робота, јер снимци интеракције између

детета и терапеута, која је типична за конвенционалну терапију без робота, не би садржали дијалошке феномене које су релевантни за интеракцију са роботом.

- Понашање људских субјеката на снимцима мора бити спонтано, тј., типично за начин на који би субјекти, у реалним условима, комуницирали са машином. Аспекти понашања људских субјеката укључују, али се не ограничавају на речник, синтаксне структуре, дијалошке стратегије, експресије емоција, итд.
- Интеракција између човека и машине мора бити котролисана. Овај захтев има две импликације. Прва импликација је да домен интеракције у корпусу снимака треба да буде релевантан за потребе истраживања које се спроводи, што у посматраном истраживању значи да домен интеракције треба да садржи ентитете који су релевантни за медицинску терапију. Друга импликација је да интеракција мора бити експериментално поновљива, под истим или довољно сличним околностима.

У контексту генерисања корпуса, од значаја за ову дисертацију је симулациона техника „Чаробњак из Оза“. Ова техника се примарно користи за спецификавање конверзационих агената. Основна идеја ове технике је да се субјекту пружи илузија да комуницира са конверзационим агентом, док функционалност агента симулира оператер. На тај начин се постиже да субјекат комуницира са симулираним агентом на начин на који би комуницирао са функционалним системом. Тиме се избегава спецификавање система засновано на личном утиску дизајнера или анализи међуљудске комуникације [Fraser and Gilbert, 1991, Pirker and Loderer, 1999, Gnjatović and Rösner, 2010]. Јасно је да ова техника може да се примени и за генерисање дијалошких корпуса.

Постоје три основна услова која морају да буду задовољена би си симулациона техника „Чаробњак из Оза“ могла да буде примењена [Fraser and Gilbert, 1991]:

- Симулација система мора бити могућа, узимајући у обзир људска ограничења. На практичном нивоу, то значи да оператер треба да симулира функционалности система бар приближно ефикасно као што би систем то радио. Нпр., симулирана претрага базе података не би била ефикасна као кад је рачунар врши, што би могло да наруши илузијау коју субјекат има, док би симулирање функционалности препознавања говора и слика било прикладно.
- Симулирано понашање система мора бити унапред специфицирано, укључујући и нпр. симулиране грешке система, да би симулација могла да буде поновљива у експерименталним условима.
- Понашање оператера мора бити такво да илузија коју субјекат има не буде нарушена.

У наставку овог поглавља је пружен преглед изабраних релевантних дијалогских корпуса. У табелама 2.1 и 2.2, називи корпуса су уређени према енглеском алфабету, са кратким пратећим описима који укључују три атрибута чије вредности описују: (I) да ли корпус садржи снимке интеракције између човека и машине, (II) да ли је дијалогско понашање субјеката спонтано, и (III) да ли је експеримент контролисан. Сви описани корпуси, осим корпуса *Inter-ACT*, су генерисани применом симулационе технике „Чаробњак из Оза“.

2.5 Преглед изабраних корпуса

Мултимодални дијалогски корпус (*Multimodal Communicative Behavior* [Eilersen and Navarretta, 2014]) садржи аудио и видео снимке интеракције између здравих особа и особа са когнитивним потешкоћама, са једне стране, и робота којим управља оператер, са друге стране. Први део интеракције се односио на вербалну комуникацију између пацијента и робота, који је пратио унапред припремљени сценарио, а други део је

Табела 2.1 Преглед корпуса — први део. Значење колона: (I) корпус садржи снимке интеракције између човека и машине, (II) дијалогско понашање субјеката је спонтано, и (III) експеримент је контролисан.

<i>Корпус</i>	I	II	III	Опис
ADABA database [Muhr, 2008]			✓	аудио
Aix Map Task corpus [Gorisch et al., 2014]			✓	мултимодалан
Amir's corpus [Amir et al., 2000]		✓	✓	мултимодалан
ARMEN corpus [Chastagnol and Devillers, 2012]	✓		✓	мултимодалан
AusTalk corpus [Estival et al., 2014]		✓		мултимодалан
AVAB-DBS [Haddad et al., 2016]		✓	✓	мултимодалан
Belfast Boredom [Cowie et al., 2005]		✓	✓	мултимодалан
Belfast Naturalistic Database [Douglas-Cowie et al., 2003]		✓		мултимодалан
Belfast Structured Database [Douglas-Cowie et al., 2003]			✓	аудио
Berlin database [Kienast and Sendlmeier, 2000]			✓	аудио
Campbell CREST database [Campbell, 2002]		✓		аудио
Capital Bank Customer Service [Devillers and Vasilescu, 2004]			✓	аудио
CEMO corpus [Devillers and Vidrascu, 2006]		✓	✓	аудио
Chung [Chung, 2000]		✓		мултимодалан
CSRA [Holthaus et al., 2016]	✓	✓	✓	мултимодалан
D-ANS corpus [Hennig et al., 2014]		✓	✓	мултимодалан
Danish Emotional Speech Database [Engberg et al., 1997]			✓	аудио
DARPA Communicator corpus [Walker et al., 2001]	✓		✓	аудио
Deception Detection dataset [Perez-Rosas et al., 2014]			✓	мултимодалан
DECODA corpus [Bechet et al., 2012]		✓		аудио
DialogBank [Bunt et al., 2016]		✓		аудио
E-Wiz corpus [Aubergé et al., 2004]	✓		✓	мултимодалан
ETAPE corpus [Gravier et al., 2012]		✓		мултимодалан
FAU Aibo Emotion Corpus [Batliner et al., 2008]	✓		✓	аудио
Fernandez [Fernandez and Picard, 2003]			✓	аудио
France [France et al., 2000]		✓		аудио
Geneva Airport Lost Luggage Study [Scherer and Ceschi, 1997]		✓		мултимодалан
German Emotional Speech [Burkhardt et al., 2005]			✓	мултимодалан
GRASS corpus [Schuppler et al., 2014]			✓	мултимодалан
Groningen ELRA corpus [Oostdijk et al., 2000]			✓	аудио
Herme database [Han et al., 2012b]	✓	✓	✓	мултимодалан
HUMAINE [Douglas-Cowie et al., 2007]		✓		мултимодалан
HuRIC [Bastianelli et al., 2014]		✓		аудио
IDV corpus [Tahon et al., 2010]	✓		✓	аудио
IEMOCAP database [Busso et al., 2008]		✓	✓	мултимодалан
IGLU MHRI [Azagra et al., 2016]	✓		✓	аудио
Inter-ACT [Castellano et al., 2010]	✓	✓	✓	мултимодалан
Japanese Audio-Visual Emotion Database [Lubis et al., 2016]		✓	✓	мултимодалан

Табела 2.2 Преглед корпуса — други део. Значење колона: (I) корпус садржи снимке интеракције између човека и машине, (II) дијалогско понашање субјеката је спонтано, и (III) експеримент је контролисан.

<i>Корпус</i>	I	II	III	Опис
LAST-MINUTE corpus [Rösner et al., 2012, 2014]	✓	✓	✓	мултимодалан
MHHRI corpus [Celiktutan et al., 2017]	✓	✓	✓	мултимодалан
Multimodal Communicative Behavior corpus [Eilersen and Navarretta, 2014]	✓	✓	✓	мултимодалан
NAO-Children Corpus [Delaborde et al., 2009]	✓	✓	✓	мултимодалан
Negochat Corpus [Konovalov et al., 2016]		✓	✓	аудио
NIMITEK [Gnjatović and Rösner, 2010]	✓	✓	✓	мултимодалан
OFAI-MMTD Corpus [Schreitter and Krenn, 2016]	✓	✓	✓	мултимодалан
OPEN_EmoRec_II [Rukavina et al., 2015]	✓	✓	✓	мултимодалан
ORESTEIA [McMahon et al., 2003]		✓	✓	мултимодалан
PentoRef [Zarrieß et al., 2016]		✓	✓	мултимодалан
Polzin [Polzin and Waibel, 2000]		✓		мултимодалан
Reading-Leeds database [Stibbard, 2001]		✓		аудио
RECOLA [Ringeval et al., 2013]		✓	✓	мултимодалан
REX corpus [Tokunaga et al., 2012]	✓		✓	мултимодалан
SALAS [Hansen and Bou-Ghazale, 1997]		✓	✓	мултимодалан
SEV corpus [Barra-Chicote et al., 2008]			✓	мултимодалан
SMARTKOM [Schiel and Türk, 2006]	✓	✓	✓	мултимодалан
SpeDial Datasets [Lopes et al., 2016]		✓		аудио
Speech and Gesture Spatial Corpus [Anastasiou, 2012]	✓	✓	✓	мултимодалан
SXUCorpus [Herms et al., 2016]		✓		аудио
SYMPAFly [Batliner et al., 2004]	✓		✓	аудио
TALKAPILLAR [Beller et al., 2006]			✓	аудио
Vernissage Corpus [Jayagopi et al., 2012]	✓	✓	✓	мултимодалан
Yacoub [Yacoub et al., 2003]			✓	аудио

укључивао игру са лоптом. Након експеримента пацијенти су у упитнику оцењивали утицај робота на своју жељу за играњем. Корпус није етикетиран, а закључци о његовој репрезентативности су дати само на основу прегледаних снимака.

Корпус *CSRA* [Holthaus et al., 2016] је сакупљен за потребе обучавања система који управља паметним кућама. У експерименту су учествовала 62 наивна субјеката који су на спонтани начин комуницирала са системом. Део система је хуманоидни робот Тоби (ТоVI), који се слободно кретао и пружао невербалне информације субјетима (показујући на предмете или правац кретања, климањем главом, и сл.). Субјекти су гласовним командама мењали осветљење у стану, укључивали или искључу-

чивали уређаје, утицали на промену температуре у стану, или од робота тражили информације о локацији уређаја у стану. Обучени оператор је пратио субјекта преко видео-камера које су покривале стан, слушао команде, и управљао свим уређајима који су део система, стварајући утисак да систем ради аутономно. Поред етикетираних аудиовизуелних записа, корпус садржи информације о понашању система, тј., о активностима оператора, вербалним и невербалним чиновима робота, и другим релевантним подацима доступним у паметној кући.

Корпус *Herme* [Han et al., 2012b] садржи снимке направљене у Галерији науке у Даблину, а субјекти су били посетиоци који су, током тромесечог периода, комуницирали са роботом. Робот коришћен у експерименту је Хермес, састављен од Лего-компоненти. Субјекти су имали спонтану говорну комуникацију са роботом, којим је управљао оператор из удаљене просторије. Невербална активност робота се огледала у томе да субјекат буде у видном пољу камере коју робот носи на себи. Говорна комуникација између робота и посетилаца се односила на општа питања и коментаре, у облику кратког разговора, и у шаљивом тону. Аутори су спровели слични експеримент, у коме је коришћен робот Нао, са намером да се покаже на који начин невербални чиновници утичу на интеракцију између човека и робота [Han et al., 2012a]. У другом експерименту је учествовало 12 субјеката. Ниједан од два корпуса није етикетиран.

Корпус *Inter-ACT* [Castellano et al., 2010] описује интеракцију између 8 деце (просечне старости 8,5 година) са роботом Ајкет, током партије шаха (*iCat*). Корпус садржи 156 кратких снимака, сваки дужине 6 секунди. Поред видео записа са неколико камера, у корпусу су описани релевантни догађаји у игри, као и понашање робота током интеракције. Сваки субјект је играо неколико партија, са различитим јачинама противника, да би се индуковале емоције код деце. Извршено је етикетирање корпуса од стране 26 евалуатора, и Капа-тестом (*Каппа*) је показана висока интер-субјективна сагласност евалуатора. Овај корпус је један од

ретких који садржи интеракцију између детета и робота. Понашање деце у интеракцији је спонтано, а експеримент је спроведен на тај начин да буде лако поновљив под истим условима.

Корпус *LAST-MINUTE* ([Rösner et al., 2012, 2014]) садржи снимке интеракције људи са персоналним системима, које су типичне за комуникацију са таквим системима у свакодневним ситуацијама. У експерименту је учествовало 130 субјеката. Поред аудиовизуелних снимака интеракције, систем је бележио и био-психолошке податке о субјектима. Интеракција је била подељена у два дела. У првом делу, систем је стављао субјекта у контекст у коме као туриста треба да се у кратком року спреми за летовање, дајући му шансу да одабере ствари које ће га чекати на аеродрому. У другом делу (названом „последњи минути“), систем обавештава корисника да му време истиче, да одабране ствари прелазе дозвољену тежину кофера, итд., са циљем да код саговорника изазива промене у емоционалном стању (фрустрацију, бес). Након експеримента, од субјеката је тражено да коришћењем упитника процене свој учинак. Све експерименталне сесије су транскрибоване и етикетиране.

Корпус *MHHRI* [Celiktutan et al., 2017] се састоји од снимака спонтане интеракције између две особе, и интеракције између две особе и робота. У експерименту је учествовало 18 субјеката, а робот који је примењен у интеракцији је Нао. Корпус садржи и податке о карактеру и ангажованости субјеката.

Корпус *NAO-Children* [Delaborde et al., 2009] садржи аудио снимке интеракције између деце и Нао робота, која садржи и експресије емоција код деце. Током експеримента, роботом је управљао оператер. Улога робота је била да надгледа игру у којој су деца учествовала, да буде емпатичан према њима, и да подстиче њихову жељу за игром. Десеторо деце је у паровима учествовало у експерименту, а понашање робота је било такво да изазове емотивну реакцију код деце. Корпус је етикетиран.

Корпус *NIMITEK* [Gnjatović and Rösner, 2010] је генерисан са намером да се анализира афективно понашање људи у говорној интеракцији са машином. Корпус садржи видео записе у поставци „Чаробњак из Оза“, прилагођеној да индукује аутентична емотивна стања субјеката. У експерименту је учествовало десет драслих, здравих субјеката. Током интеракције са симулираним дијалогским системом, субјекти су решавали шест различитих класа графичких задатака приказаних на екрану, при чему су инструкције могли да задају само вербално. Корпус је транскрибован и етикетиран, и показано је да садржи широк опсег аутентичних емотивних експресија, које су типичне за посматрану врсту комуникације између човека и машине.

Корпус *OPEN_EmoRec_II* [Rukavina et al., 2015] је генерисан у експерименту у ком су код субјеката индуковане емоције. У првој фази, субјектима су показиване стандардизоване слике са намером индуковања емотивних стања, а у другој фази су емотивни стимуланси били присутни у спонтној, вербалној интеракцији између субјекта и дијалогског система којим је управљао оператер са удаљеног места. Поред снимака, корпус садржи и информације о броју откуцаја срца субјеката, проводљивости коже, ЕМГ сигналама, дубини и учесталости дисања. Етикетирање корпуса је извршено у односу на фацијалне експресије субјеката.

Корпус *SMARTKOM* [Schiel and Türk, 2006] је намењен за обуку статистичких модела за препознавање релевантних аспеката понашања субјеката у интеракцији са машином, укључујући и емотивна стања. Садржи снимке интеракције између субјеката и машине, генерисаних симулационом техником „Чаробњак из Оза“, а дијалогски домен се односио на планирање одласка у биоскоп. Корпус је транскрибован и етикетиран.

Speech and Gesture Spatial корпус [Anastasiou, 2012] је сакупљен у оквиру истраживања вербалне и невербалне интеракције код људи који имају потребу за асистивним технологијама, као што су људи са физичким или когнитивним оштећењима. У експерименталној поставци, 20

здравих субјеката је седело у инвалидским колицима, са задатком да са системом комуницирају вербално и невербално. Систем управља окружењем (осветљењем, температуром и сл.), а део система је и робот у облику мобилне платформе, који је у стању да обавља одређене задатке. Наредбе које робот прихвата се односе на просторну оријентацију предмета у окружењу.

Корпус *Vernissage* [Јауџори et al., 2012] је намењен за истраживање говорне интеракције између човека и робота (Нао робот). Поред аудио и видео записа, корпус садржи податке о покретима главе (праћењу погледа робота). Током интеракције, робот је субјекту описивао уметничке слике које су изложене у галерији, а затим испитивао субјекта о тим сликама. Роботом је управљао оператер из удаљене просторије, а интеракција није била ограничена на једног субјекта по сесији. Корпус је транскрибован и детаљно етикетиран.

2.6 Закључак

Увидом у актуелно стање истраживања, може се закључити да још не постоје конверзациони роботски системи који би се могли применити као асистивна средства за мотивацију деце са церебралном парализом да учествују у терапији. Поред тога, описани дијалогски корпуси представљају вредне истраживачке ресурсе, а неки од њих задовољавају све захтеве дефинисане у секцији 2.4. Међутим, ниједан од њих није погодан за истраживање представљено у овој дисертацији, јер не испуњавају услов да субјекатска група укључује децу са церебралном парализом, и да се интеракција одвија у експерименталној поставци која одговара контексту медицинске терапије.

Као одговор на ове недостатке, у поглављу 3 је представљен конверзациони агент интегрисан са хуманоидним роботом који се користи као

асистивно средство у терапији деце са церебралном парализом, а у поглављу 4 је описан корпус који садржи снимке интеракције између деце из циљне групе и овог конверзациног робота.

Поглавље 3

Конверзациони агент

3.1 Увод

У овом поглављу су представљени нова, модулarna архитектура конверзациoног агента, опште намене, и прототипски конверзациони агент који управља вербалном интеракцијом између човека и робота МАРКА, заснован на овој архитектури. Робот Марко је хуманоидни робот намењен да се користи као терапеутско средство у терапији код деце са сметњама у развоју [Bogovac et al., 2014a, 2016]. Робот има покретне руке и ноге, и постављен је на мобилној платформи у облику коња [Bogovac et al., 2014c]. На глави робота се налазе покретне очи, а у очне јабучице су смештене камере. Глава је направљена са намером да изражава скуп емотивних фацијалних експресија (срећа, туга, умор, изненађење) [Bogovac et al., 2014b].

Конверзациони агенти су софтвери који управљају говорном комуникацијом између човека и машине (нпр., робота). Функционалност конверзационих агената у великој мери зависи од домена интеракције и потреба корисника, и тренутно не постоји стандардна софтверска архитектура. Поред тога, спецификација роботских система у већини случајева не предвиђа накнадну интеграцију са конверзационим агентом. Као резултат, постоје различите софтверске архитектуре које омогућавају ин-

теграцију конверзационих агената са роботским системима, од којих већина представља практична решења партикуларних скупова захтеva, и није лако прилагодљива променама захтеva.

Роботске архитектуре општије намене су малобројне. Постојећа решења роботских софтверских платформи подразумевају софтверску архитектуру која омогућава олакшано програмирање различитих роботских система и подсистема. При томе се захтева да таква архитектура обезбеди униформно окружење за програмирање, дефинисање догађаја и извршавање сервиса, могућност вишеструког коришћења постојећих модула, заједничку инфраструктуру за подсистеме који се најчешће примењују (попут рачунарске визије, говорна комуникација, сналажења у неструктурираном окружењу, управљање механичким подсистемима робота, итд.). Примери оваквих софтверских платформи су: *ROS (Robot Operating System)*, *Player*, *YARP (Yet Another Robot Platform)*, *Orca* и *MOOS (Mission Oriented Operating Suite)*.

Решења *YARP* [Metta et al., 2006] и *Orca* [Makarenko et al., 2006] представљају платформе које омогућавају креирање скупа програма, процеса и модула који представљају роботски систем. Такве колекције у оквиру платформе *YARP* међусобно комуницирају директно (*peer-to-peer*), за разлику од решења предложеног у овом поглављу. Платформа *Orca* нема механизам за комуникацију, већ представља репозиторијум у коме се налазе програми и модули који могу бити вишеструко коришћени. Платформа *Player* [Gerkey et al., 2003] представља мрежни сервер, тј., алат који обезбеђује мрежни интерфејс (*tcp/ip*) за различите, унапред припремљене типове роботских модула (система и подсистема). Ова платформа није зависна од програмског језика у којима су написани модули, већ омогућава комуникацију модула путем мреже користећи клијент-сервер модел. Нешто потпуније решење представља платформа *MOOS* [Newman, 2008], која је по механизму регистрације (али не и топологији мреже) слична решењу предложеном у овом поглављу, а најчешће се примењује

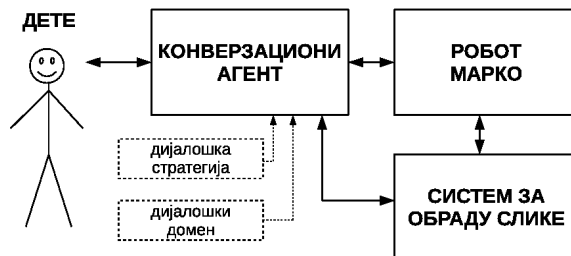
за подводне и мобилне роботе. Срж платформе чини комуникациони ниво који се заснива на мрежној комуникационој архитектури звездасте структуре, при чему комуникација између модула није директна. Апликациони ниво представља модуле који су представљени као клијенти који се региструју на сервер за примање информација.

Најраспрострањенија роботска софтверска платформа је *ROS* [Quigley et al., 2009], и користи се као оперативни систем за роботе, са скупом кључних функционалности које се захтевају од оперативног система те намене. Иако не ради у реалном времену, *ROS* се може прилагодити за рад система у реалном времену. За разлику од платформе *MOOS*, платформа *ROS* нуди комуникациону архитектуру на принципу магистрале података, али истовремено омогућава и директну комуникацију. *ROS* представља скуп независних процеса (попут читавања сензора, управљања мотором, планирања трајекторије и сл.). За разлику од предложеног решења у ком се модули самостално региструју, код *ROS* платформе регистрацију чворова обезбеђује централни подсистем.

3.2 Модули конверзационог агента

Конверзациони агент описан у овом поглављу је дизајниран са намером да управља интеракцијом између човека и робота у терапеутском окружењу. Захтеви за овај систем укључују: препознавање говорних команди, моделовање просторног и вербалног контекста, контекстно зависно интерпретирање дијалošких чинова корисника, генерисање и синтезу говорних чинова, и комуникацију са роботом [Jurafsky and Martin, 2009, Jokinen and McTear, 2009]. На слици 3.1 је дат шематски приказ петље интеракције између детета и робота.

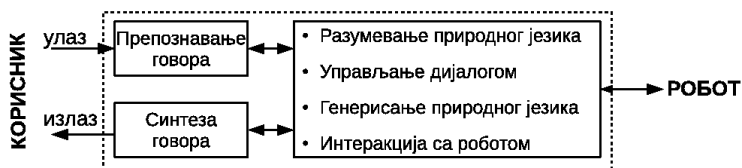
Конверзациони агент укључује модуле за (i) аутоматско препознавање говора, (ii) синтезу говора, (iii) обраду природног језика и управљање



Слика 3.1 Конверзациони агент

дијалогом. Поред тога, интегрисан је са модулом за рачунарску визију и роботским системом. У првобитној имплементацији, конверзациони агент је интегрисан са модулом за рачунарску визију који препознаје објекте на столу, и индустријским роботом АВВ IRB 140 [Tasevski et al., 2012, 2013, Gnjatović et al., 2013a]. У имплементацији представљеној у овој тези, конверзациони агент је интегрисан са роботом МАРКОМ и његовим системом за рачунарску визију.

Блок-дијаграм конверзационог агента посматраног у оквиру ове дисертације је приказан на слици 3.2. Конверзациони агент посредством одговарајућег интерфејса комуницира са роботским системом (у овом случају — роботом Марко), а корисничке вербалне дијалoшке чинове преузима са микрофона. Модули су размотрени у наредним секцијама.



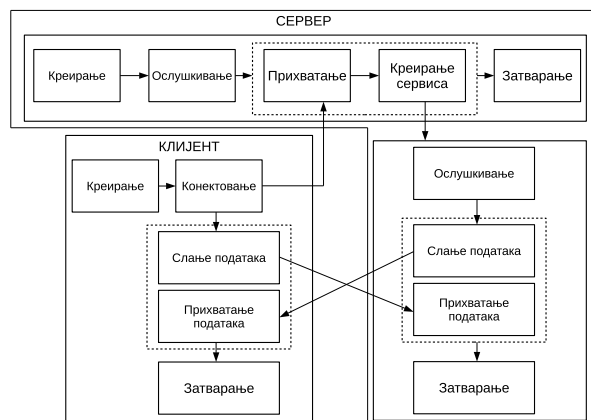
Слика 3.2 Дијалoшки систем

3.2.1 Препознавање и синтеза говора

Аутоматско препознавање говорних команди корисника врши софтверски модул „*Alfanum ASR*“, који је развијен на Факултету техничких наука [Jakovljević et al., 2011, Delić et al., 2007]. Овај модул је дизајниран и имплементиран за препознавање континуалног говора на српском језику.

Препознавање говора се врши на нивоу фонема, и независно је од говорника. Захваљујући фонетском приступу, могуће је адаптивно задати произвољни скуп речи које модул препознаје. Спецификовање речника се врши у форми контекстно слободне граматике која дефинише кључне речи и синтаксне релације између њих на нивоу реченице. Међутим, захтевање од корисника да прати унапред задати скуп синтаксних правила је у општем случају превише рестриктивно, а у конкретном случају интеракције са децом и немогуће. Да би се повећао ниво природности интеракције, спецификује се само речник, а кориснику је дозвољено да у оквиру задатог речника формира говорне команде произвољних синтаксних конструкција. Овакав приступ захтева да систем интерпретира спонтано генерисане корисничке команде, што је дискутовано у следећој секцији [Tasevski et al., 2012].

Систем за аутоматско препознавање континуалног говора је реализован у оквиру ИП-сервера који допушта истовремену конекцију више клијентских апликација. Спрежни модул пружује аудио-узорке са микрофона, врши детекцију говора, и шаље серверу захтев за препознавање. Повратне податке са сервера чине два низа – низ препознатих речи, и низ вредности у опсегу $[0, 100]$ које представљају поузданост препознавања сваке речи засебно. Препознати низ речи се шаље подсистему за интерпретацију природног језика и адаптивно управљање дијалогом. Шематски приказ комуникационог протокола дат је на слици 3.3 [Tasevski et al., 2012].



Слика 3.3 Комуникација са сервером за препознавање говора.

Синтезу говора из текста врши софтверски модул „anReader“, развијен на Факултету техничких наука [Sečujijski et al., 2007]. Овај модул подржава интерфејс „SAPI 5“, и допушта избор између неколико говорника, и подешавања прозодијских својстава синтетизованог говора [Tasevski et al., 2012].

3.2.2 Обрада природног језика и управљање дијалогом

Ослобађање корисника обавезе да говорне команде формулише у складу са унапред дефинисаном синтаксном структуром је установљено са намером да се подигне ниво природности интеракције. Међутим, једна од последица оваквог приступа је да је кориснику дозвољено да формулише непотпуне (елиптичне), контекстно зависне и вишесмислене команде (које су, иначе, честе у природном језику). Задатак овог подсистема је да правилно интерпретира овакве команде, у зависности од тренутног контекста интеракције [Tasevski et al., 2012].

Нпр., корисник може да захтева од робота да помери плави круг, који се налази на површини у радном простору робота, налево. Команде „по-

мери танки плави круг налево” и „танки плави круг помери лево” имају различите синтаксне констукције, али исто значење. Обе команде су коректно дефинисане, у смислу да њихова лингвистичка реализација садрже све неопходне податке, и систем их тумачи на исти начин, без обзира на разлику у синтаксној структури. Команда „помери танки плави круг“ је непотпуна, јер не специфира смер у коме треба померити објекат. У том случају, систем улази у дијалог са корисником да би му помогао да специфира недостајуће податке (нпр., систем пита корисника у ком смеру треба да помери посматрани објекат). Команда „помери га налево“ је контекстно зависна, јер садржи кореференцијално упућивање. Да би је правилно интерпретирао, систем узима у обзир историју интеракције (нпр., податак који је објекат последњи селектован). Команда „помери плави објекат лево“ је вишесмислена, јер се у датом контексту може интерпретирати на више начина (нпр., плави круг, плави троугао, плави квадрат, итд.) (пример је детаљније описан у [Gnjatović et al., 2013b]) [Tasevski et al., 2012].

Стога се адаптивна дијалогска стратегија може описати на следећи начин [Tasevski et al., 2012]:

- Уколико корисник изговори комплетну команду, подсистем је интерпретира и шаље роботском систему налог за њено извршавање. Након извршења задате команде, подсистем по потреби шаље налог за синтезу прикладног говорног обавештења кориснику о успешном извршењу.
- Уколико корисник специфира непотпуну, контекстно зависну или вишесмислену команду — укључују и случајеве када је корисничка команда исправно формулисана, али само парцијално препозната — систем прво проба да допуни недостајуће податке на основу анализе историје интеракције и тренутног контекста интеракције. Уколико недостајући подаци нису доступни, подсистем иницира дијалог у коме

кроз низ итеративно постављених контекстно зависних питања тражи од корисника да специфира недостајуће податке.

- Уколико корисник специфира семантички некоректну команду, под-систем шаље налог за синтезу адекватног говорног обавештења кориснику.

Имплементација функционалности интерпретирања корисничких дијалогских чинова, управљања дијалогом (укључујући примену дијалогске стратегије) и генерисања дијалогских чинова робота је заснована на моделу фокусног стабла [Gnjatović et al., 2012a, Gnjatović and Delić, 2014b, Gnjatović, 2014], валидираном у више различитих дијалогских домена [Gnjatović et al., 2013a, Gnjatović and Borovac, 2016, Gnjatović and Delić, 2014a, Gnjatović et al., 2012b].

3.3 Модуларна архитектура

У овој секцији је представљена нова, модуларна архитектура за конверзационе агенте [Mišković et al., 2015, Gnjatović et al., 2017a]. Ова архитектуре је опште намене, тј., може се применити на широки опсег конверзационих агената, јер дозвољава флексибилно интегрисање модула различитих функционалности. Архитектура је концептуализована као магистрала података која представља основу система, и омогућава комуникацију између произвољног броја различитих модула. Сви модули користе исти интерфејс ка магистрали, а комуникација је асинхрона.

На нивоу спецификације, ова архитектура задовољи следеће захтеве:

- Архитектура је модуларна, јер је функционалност система одређена скупом модула задужених за различите аспекте понашања робота, нпр.: препознавање и синтезу природног језика, обраду видео-сигнала, интерпретацију улазних података, одлучивање о акцијама робота (вер-

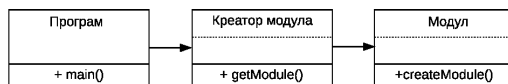
балним и невербалним), управљање механичким подсистемима робота, итд.

- Комуникација између модула је независна од карактеристика и специфичности модула.
- Концептуализација и реализација платформе су независне од специфичних функционалности модула, релизованих кроз екстерне софтверске подсистеме.

Први ниво апстракције је постигнут измештањем извршног дела модула у библиотеку са динамичким повезивањем. На нивоу имплементације, модуларност је обезбеђена преко објектно-орјентисаног интерфејса за креирање објеката без прецизног специфицирања класе (тј., тип објекта и детаљи везани за његово креирање не морају бити познати у тренутку инстанцирања). Овакав вид енкапсулације је неопходан, јер су модули који се интегришу релативно сложени, и развијају се као засебне софтверске целине чије је функционисање условљено бројним конфигурационим параметрима. У овом приступу, функционалност сваког модула је иплементирана одговарајућом библиотеком за динамичко повезивање (*DLL*) која са остатком система комуницира преко интерфејса који је униформан за све модуле.

На слици 3.4 је шематски илустрован предложени приступ за инстанцирање и иницијализацију различитих модула. Софтверска платформа омогућава да се екстерно, у виду једноставних идентификатора, зада скуп модула које је потребно интегрисати. Обавеза библиотека за динамичко повезивање које имплементирају функционалност конкретних модула је да пруже адекватне дефиниције својих метода. На овај начин, имплементациони детаљи остају енкапсулирани (тј., одвојени од архитектуре), чиме се постиже да архитектура буде опште намене и флексибилна.

Други ниво апстракције је постигнут на нивоу комуникације између модула. Комуникација између појединих модула се заснива на принципу

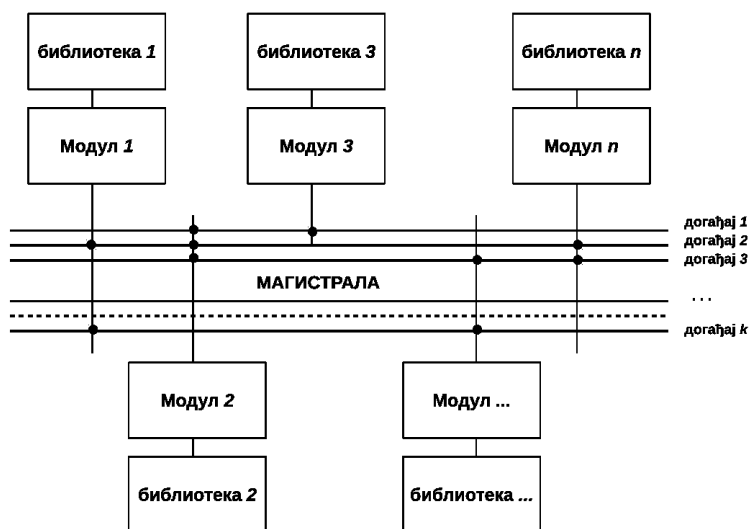


Слика 3.4 Архитектура конверзационог агента. Функционалност сваког модула је иплементирана одговарајућом библиотеком за динамичко повезивање која са остатком система комуницира преко интерфејса који је униформан за све модуле.

заједничке магистрале за пренос података. У основи овог приступа је да модули не комуницирају директно, већ посредно преко магистрале, чиме је елиминисана директна комуникација између појединачних модула. Комуникација између модула је асинхрона, и могућа је између неограниченог броја модула. Свака веза између модула имплементира функционалност која је релевантна за интеракцију између њих. Предложена архитектура за конверзационог агента је дата на слици 3.5. У наставку текста се иницирање преноса информација преко магистрале означава термином *догађај* (енг. *event*), а преузимање информација са магистрале термином *обрада догађаја*. Сваки догађај је дефинисан у виду засебне класе унутар одговарајућег модула. Приликом иницијализације, модули се региструју за прихватање одређеног скупа догађаја које је потребно да обраде. Током рада, могуће је поништавање постојећих регистрација или додавање нових. У оквиру шематског приказа на слици 3.5, линије унутар магистрале одговарају појединачним догађајима, а наглашени спојеви дефинишу одговарајуће подскупове за које се региструју одређени модули. Број и техничка природа свих модула на слици, осим централног, су избрани за потребу илустрације концепта. Централни модул је интегрални део платформе који управља обједињеним системом, и он обрађује све догађаје у систему.

На концептуалном нивоу, свака линија магистрале података одговара једном догађају. Може се, на пример, подесити да једна линија одговара догађају препознавања говора (тј., та линија преноси информацију о препознатом дијалошком чину), док друге линије одговарају догађајима везаним за синтезу говора, препознавању слике, итд. Не постоји

принципијелно ограничење у броју модула који се могу регистровати за дати догађај, као што не постоји ограничење у броју прихваћених догађаја које модул може да обрађује. Приликом дизајнирања конверзационог агента, програмер може да одлучи да неки модул буде регистран и за све догађаје, као што је то случај са модулом за управљање дијалогом.



Слика 3.5 Архитектура модуларне платформе.

Интерни механизам за руковање догађајима обезбеђује његову синхронизовану испоруку до свих модула регистрованих за обраду, чиме се елиминишу узајамне зависности између библиотека. На пријемној страни, модули инстанцирају класе за обраду произвољног броја догађаја (*event handler*).

Постоји додатна могућност да класа за обраду догађаја специфицира, поред самог типа догађаја, и модуле од којих очекује пријем информација. Овај механизам подржава обраду порука опште природе, при чему модули самостално специфицирају од којих модула желе пријем података (нпр., модул за препознавање говора не захтева пријем од модула

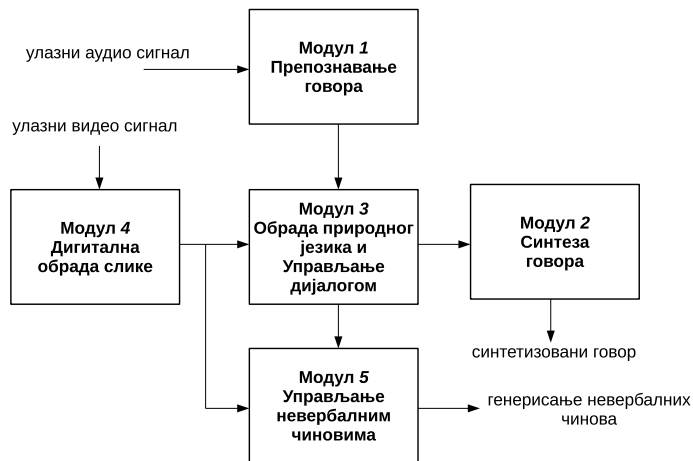
за обраду видео-сигнала, али модул за интерпретацију корисникових дијалогских чинова захтева пријем информација од оба наведена модула). Да би се обезбедио асинхрон рад компоненти, приспели догађаји се, на нивоу модула обрађују по редоследу доласка, при чему модули врше обраду у складу са дефинисаним интерним алгоритмом.

3.4 Прототип

Прототипски конверзациони агент за управљање дијалогом између деце и робота МАРКА је заснован на предложеној архитектури. Блок-шема овог конверзационог агента, која описује модуле и везе између њих, је приказана на слици 3.6, а конкретна архитектура на слици 3.7.

Функционалности свих модула су већ размотрене у овом поглављу. Петља интеракције се може сумирати на следећи начин. Улаз у модул за препознавање говора (Модул 1) је аудио сигнал са микрофона. Улаз у модул за дигиталну обраду слике (Модул 4) је видео сигнал са стерео-камере. Централни модул (Модул 3) преузима податке из модула за препознавање говора и из модула за дигиталну обраду слике, и на основу њих интерпретира корисничке дијалогске чинове и доноси одлуке о управљању дијалогом. Модул за управљање невербалним чиновима (Модул 5) прихвата податке из модула за управљање дијалогом и из модула за дигиталну обраду слике, и генерише захтеве за невербалне чинове робота. Веза од Модула 4 ка Модулу 5 није редундантна, већ је намењена за прослеђивање захтева роботу који не подлежу одлуци централног модула 3 (нпр., робот прати очима саговорника). Коначно, модул за генерисање природног језика (Модул 2) прихвата податке из модула за управљање дијалогом и обраду природног говора, и на основу њих синтетише вербални дијалогски чин робота.

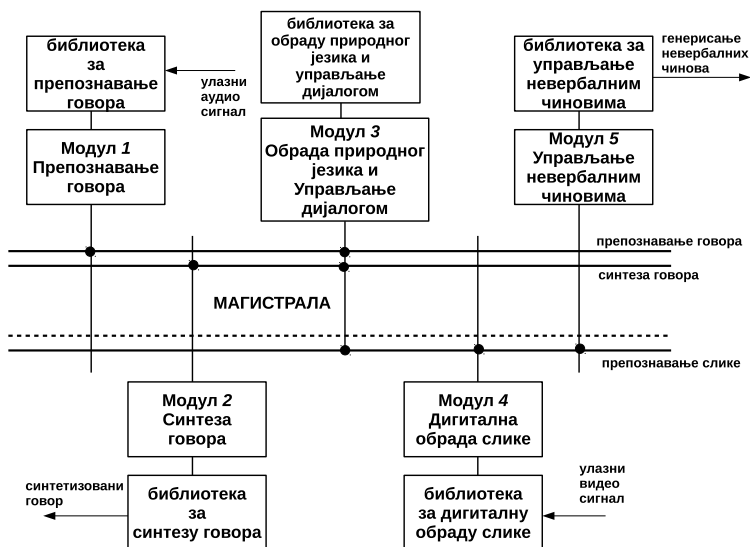
Потребно је напоменути да су сви модули развијени пре него што је уведена предложена архитектура. Модули су претходно развијени за коришћење у конверзационим агентима, као што је онај описан у [Gnjatović et al., 2012b], и развијани су према захтевима који су тада спецификовани и према архитектури приказаној на слици 3.6. Исти ти модули искоришћени су у новој архитектури приказаној на слици 3.7, тако што су укључени кроз одговарајући интерфејс описан у претходној секцији. Чињеница да су постојећи модули успешно интегрисани у предложену модуларну архитектуру, за други домен интеракције и други роботски систем, говори да је предложени приступ одговарајући.



Слика 3.6 Блок-шема прототипског конверзационог агента.

3.5 Закључак

У овом поглављу је дефинисана и имплементирана нова, модуларна архитектура конверзационог агента, опште намене, која омогућава флекси-



Слика 3.7 Конкретна архитектура прототипског конверзационог агента.

билно интегрисање модула различите функционалности. На основу предложене архитектуре је извршено интегрисање робота МАРКА са прототипским конверзационим агентом који управља вербалном интеракцијом између човека и робота. Овај прототип је примењен у експериментима описаним у наредном поглављу.

Поглавље 4

Корпус

4.1 Увод

Истраживање у области интеракције између људи и машина се у великој мери заснива на анализи дијалошких корпуса. Један од фундаменталних захтева за ове корпусе је да буду реалистични. У овом поглављу су описане продукција, етикетирање и процена корпуса који садржи снимке интеракције између деце и хуманоидног робота МАРКА, у реалистичном терапеутском контексту [Tasevski et al., 2018, Gnjatović et al., 2017b].

4.2 Продукција корпуса

Корпус је снимљен у сали за кинезитерапију Клинике за дечју рехабилитацију и хабилитацију, Института за здравствену заштиту деце и омладине Војводине у Новом Саду.

4.2.1 Субјекти

У експерименту је, у улози субјеката, учествовало 29 деце, од којих 13 женског пола, и 16 мушког пола. Просечна старост деце је 9,1 година, са

стандардном девијацијом од 3,54 године. У овој групи, 12 деце је било здраво (7 женског пола и 5 мушког пола, просечне старости 6,75 година, са стандардном девијацијом од 2,45 година), а 17 деце (6 женског пола, 11 мушког пола, просечне старости 10,76 година, са стандардном девијацијом од 3,27 година) су били пацијенти Клинике за дечју рехабилитацију и хабилитацију који болују од церебралне парализе или сличних поремећаја моторичких функција. Родитељи деце из експерименталне групе су упознати са поставком експеримента, и дали су писмену дозволу за учешће своје деце у експерименту. Деца су, на прикладни начин и у обиму у ком су могли да разумеју, упозната са изабраним аспектима експерименталне поставке. Њима је предочено да ће моћи, ако желе, да комуницирају са роботом МАРКОМ, и изводе терапеутске вежбе у његовом присуству. Свако дете старије од пет година се у присуству терапеута сагласило са својим учешћем у експерименту — потписом или цртањем прикладног симбола. Основне информације о субјектима су приказане у табелама 4.1 и 4.2.

4.2.2 Поставка експеримента

У експерименталној поставци дете стоји или седи, у зависности од здравственог стања, наспрам робота МАРКА, на међусобној удаљености од приближно једног метра. Непосредно поред робота се налази мала и лака играчка (плишана жирафа), која је постављена тако да буде лако уочљива и доступна детету (в. сл. 4.1). Роботом управља оператер, који је од робота удаљен приближно један метар, а од детета приближно два и по метра. Експериментима су присуствовали родитељи, и терапеут који је надгледао децу.

Сваки појединачни експеримент је снимљен коришћењем две дигиталне камере, постављене на сталке. Обе камере су снимале комплетну

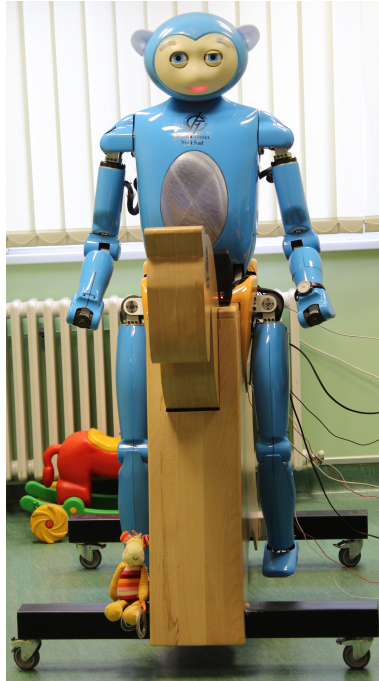
Табела 4.1 Субјекти-пацијенти Клинике за дечју рехабилитацију и хабилитацију. Сви субјекти из ове подгрупе разумеју говор, осим субјекта s_{23} , који разуме само просте вербалне налоге. Субјекти s_{11} , s_{12} , s_{14} , s_{22} , s_{23} и s_{28} су имали претходне сусрете са роботом МАРКОМ.

Субјекат	Старост	Пол	Висина [cm]	Тежина [kg]	Дијагноза	Покретљивост
s_3	15	ж	159	46	<i>Morbus Alexander</i> [*] , нарушена шема хода са повећаном мишићном тензијом	стоји; хода
s_4	12	м	167	69	деформација кичменог стуба, сколиоза	стоји; хода
s_5	12	м	165	41	деформација кичменог стуба, сколиоза	стоји; хода
s_6	13	ж	153	55	церебрална парализа, парализована десна рука, делимично парализована десна нога	стоји; хода
s_7	8	м	135	38	порођајна траума нервне лезије у левој руци, брахијална лезија	стоји; хода, али користи руке за придржавање
s_8	10	м	148	35	слабо држање, сколиоза	стоји; хода
s_{10}	11	м	142	41	порођајна траума нервне лезије у левој руци	стоји; хода
s_{11}	6	ж	120	33	церебрална парализа	стоји; хода
s_{12}	9	ж	129	27	церебрална парализа, проблеми са видом	седи; може да стоји; може ограничено да хода уз помоћ
s_{13}	9	м	127	32	хемипареза, слабост леве стране (кварење у мозгу)	стоји; хода
s_{14}	5	м	124	34	церебрална парализа	седи; не може да стоји, ни хода
s_{16}	13	м	173	75	саобраћајна траума, преломи леве бутне кости и десне кључне кости	седи; не може да стоји, ни хода
s_{17}	13	м	160	51	церебрална парализа	седи; може да стоји, може ограничено да хода уз помоћ
s_{22}	8	м	104	16	церебрална парализа, квадрипареза, потешкоће у говору, епилепсија	седи уз помоћ; хода уз помоћ
s_{23}	8	м	145	30	церебрална парализа, тешко одржава пажњу, потешкоће у говору, поремећаји сензомоторичке интеграције	седи; не може да стоји, ни хода
s_{28}	14	ж	153	38	порођајна траума нервне лезије у десној руци, брахијална лезија	стоји; хода
s_{29}	17	ж	172	58	саобраћајна политраума, напрслине лобање, пелвиса и пубичних костију, успорен процес размишљања	седи; не може да стоји, ни хода

^{*} *Morbus Alexander* је облик леукоенцефалопатије који је по манифестацијама сличан церебралној парализи [van der Knaap et al., 2001].

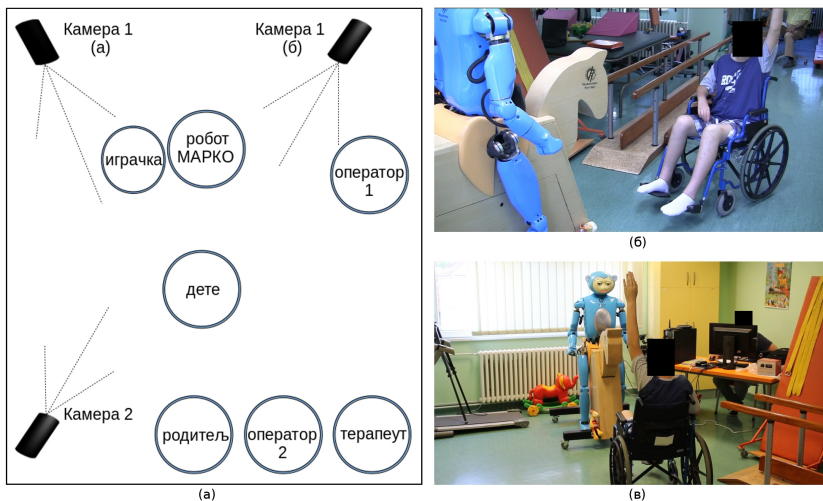
Табела 4.2 Здрави субјекти. У овој подгрупи је једино субјекат s_9 имао претходни сусрет са роботом МАРКОМ.

Субјекти	Старост	Пол	Висина [cm]	Тежина [kg]
s_1	7	ж	120	24
s_2	6	м	110	19
s_9	10	м	145	30
s_{15}	10	м	125	34
s_{18}	9	м	125	32
s_{19}	5	ж	110	25
s_{20}	3	ж	90	17
s_{21}	5	ж	95	20
s_{24}	3	м	104	20
s_{25}	9	ж	110	25
s_{26}	7	ж	105	20
s_{27}	7	ж	104	19



Слика 4.1 Робот МАРКО у сали за кинезитерапију Клинике за децу рехабилитацију и хабилитацију у Новом Саду.

експерименталну сцену, укључујући робота и дете. Притом, једна камера је била постављена тако да примарно снима дете, са приближне удаљености од 3 метра, док је друга камера била постављена тако да примарно снима робота, са приближне удаљености од 5 метара. На сл. 4.2(а) је приказана шема експерименталне поставке, а на сл. 4.2 (б) и (в) су дати примери снимака са две камере. Сваки експеримент је започињао звучним сигналом, који се касније користио за синхронизацију снимака са камера.



Слика 4.2 (а) Шема експерименталне поставке, и (б,в) примери снимака са две камере.

4.2.3 Структура експеримента и управљање дијалогом

Интеракција у оквиру експеримента се примарно одвијала између детета и робота. Иако робот МАРКО може самостално да учествује у интеракцији, због осетљиве групе субјеката је одлучено да роботом управља обучени оператер. За свако дете је вршено засебно снимање. Укључи-

вање других учесника (родитељ, терапеут, оператер) је било дозвољено само уколико је прикладно или неопходно (нпр., да се охрабри дете, или уколико им се дете директно обрати). Целокупна интеракција се одвијала на српском језику.

Сваки експеримент се одвијао у три фазе. Прва фаза је била посвећена укључивању детета у дијалог. Нпр., робот се представља детету и пита га за име и старост. Потом генерише срећну фацијалну експресију и каже да му је драго што упознаје дете. Коначно, предлаже да детету исприча причу.

У другој фази, робот саопштава детету једноставни дискурс и покушава да га подстакне да изврши изабране невербалне активности. Нпр., робот генерише тужну фацијалну експресију и каже да је тужан, јер је изгубио своју омиљену играчку — жуту жирафу — а потом пита дете да ли би му помогло да је пронађе. МАРКО постепено тражи помоћ од детета. Прво изјављује да би му можда пријатељ могао помоћи, а ако дете не реагује, робот га директно пита за помоћ. Кад дете покаже на играчку или је постави на дрвено постоље робота (у зависности од степена своје покретљивости), робот похвали дете, генерише срећну фацијалну експресију, и каже да више није тужан.

У трећој фази, робот изводи изабране невербалне активности (нпр., подизање руке, додиривање главе или стомака, усмеравање погледа, итд.) које су релевантне за терапију, и захтева од детета да их понови. У све три фазе, робот се обраћа детету по имену, охрабрује га и похваљује. По потреби, оператер и родитељ такође могу да охрабре дете или му додатно појасне захтев.

У језичкој размени између детета и робота, посебна пажња је посвећена дечијим реакцијама на захтеве робота. Да бисмо анализирали овај дијалогски аспект, специфичне говорне улоге које су деца и робот прихватили у току интеракције су преликване у фундаменталне типове го-

ворних улога [Halliday and Matthiessen, 2014, стр. 106–111]. Дијалошки чиновни робота су класификовани на следећи начин:

- *наредба* — робот захтева од детета да изврши невербални чин,
- *питање* — робот захтева од детета вербални одговор,
- *изјава* — робот пружа вербалну информацију,
- *понуда* — робот извршава невербални чин,

а дијалошки чиновни деце се пресликавају на следећи скуп:

- *коректни одговор* — дете извршава захтевани невербални чин, или пружа захтевану информацију,
- *делимични одговор* — дете разуме захтев робота, али може само делимично да изврши захтевани невербални чин или пружи захтевану информацију,
- *некоректни одговор* — дете погрешно разуме захтев робота, и генерише погрешну реакцију,
- *нема одговора* — дете не реагује на захтев робота, јер не разуме захтев или не жели да учествује у интеркацији.

Оператер је обучен да током интеракције прати унапред дефинисану дијалошку стратегију. Ова стратегија подразумева секвенцијални пролазак кроз задати низ дијалошких чиновна (терапеутских наредби и питања). Робот задаје наредбе ($R-comm_1$) или поставља питања ($R-ques_1$) редоследом којим су дефинисани. Ако дете пружи коректни одговор ($C-corr$), или делимични одговор ($C-part$), робот похвали дете ($R-stat$), и, уколико је прикладно, изводи пратећи невербални чин ($R-off$). Након тога, робот прелази на наредни захтев. У супротном, ако дете не одговори ($C-nor$), робот понавља наредбу ($R-comm_2$) или питање ($R-ques_2$). А ако дете пружи некоректни одговор ($C-inc$), робот реформулише наредбу ($R-comm_3$) или питање ($R-ques_3$), тако што поједностави формулацију свог захтева.

Да би се дете додатно стимулисало, робот може, у било ком тренутку, да понови или реформулише наредбу ($R-comm_4$) или питање ($R-ques_4$) на које је дете пружило исправни или делимични одговор. Насупрот томе, уколико дете није у стању да пружи исправни или делимични одговор, вишеструко понављање захтева може утицати на индукцију или продубљивање негативних емотивних стања код детета. Да би се то спречило, ако дете одговори некоректно на захтев робота, или не одговори уопште, робот може да понови или реформулише текућу наредбу ($R-comm_2$ или $R-comm_3$) или текуће питање ($R-ques_2$ или $R-ques_3$) само једном. Скуп Φ који представља усвојену општу класификацију дијалошких чинова је приказан у табели 4.3.

Табела 4.3 Скуп Φ : Општа класификација дијалошких чинова у интеракцији између детета и робота.

	Дијалошки чин	Опис
Робот	$R-comm_1$	задаје наредбу први пут
	$R-comm_2$	понавља наредбу на коју дете није дало одговор
	$R-comm_3$	реформулише наредбу на коју је дете пружило некоректни одговор
	$R-comm_4$	понавља или реформулише наредбу на коју је дете пружило исправни или делимични одговор
	$R-ques_1$	поставља питање први пут
	$R-ques_2$	понавља питање на које дете није дало одговор
	$R-ques_3$	реформулише питање на које је дете пружило некоректни одговор
	$R-ques_4$	понавља или реформулише питање на које је дете пружило исправни или делимични одговор
	$R-stat$	пружа вербалну информацију (тврдња)
$R-off$	извршава невербални чин	
Дете	$C-corr$	пружа исправни одговор
	$C-part$	пружа делимични одговор
	$C-inc$	пружа неисправни одговор
	$C-nor$	не одговара

4.2.4 Корпус

У овој фази студије је спроведено 36 појединачних експеримената, са укупним трајањем од приближно 222 минута. Основни подаци о броју и трајањима експеримената су дати у табели 4.4. Сви дијалози између деце и робота су транскрибовани, и сви дијалогски чинови су етикетирани. Статистички подаци о вербалним дијалогским чиновима су дати у табелама 4.5 и 4.6. Статистички подаци о невербалним чиновима су дати у табелама 4.7 и 4.8. Пример транскрибованог и етикетираног дијалога између субјекта s_{25} и робота је дат у прилогу А.

Табела 4.4 Основни подаци о броју и трајању експерименталних снимака.

	Здрава деца	Болесна деца	Укупно
Број снимака	12	24	36
Укупно трајање	~69 мин.	~153 мин.	~222 мин.
Просечно трајање	5 мин. 46 сек.	6 мин. 9 сек.	6 мин. 2 сек.
Стандардна девијација	56 сек.	2 мин. 16 сек.	1 мин. 56 сек.

Табела 4.5 Статистички подаци о вербалним дијалогским чиновима које су генерисали робот, оператер и родитељи.

	Вербални чин	Интеракција са болесном децом	Интеракција са здравом децом	Укупно
Робот	број чинова	559	1172	1771
	просечни број речи по чину	8,69	8,66	8,67
	стандардна девијација	5,43	5,5	5,48
Оператер	број чинова	26	65	89
	просечни број речи по чину	3	2,97	2,98
	стандардна девијација	1,98	2,59	2,43
Родитељ	број чинова	15	73	88
	просечни бр. речи по чину	2,4	3,58	3,38
	стандардна девијација	1,55	1,98	1,96

Табела 4.6 Статистички подаци о дечијим вербалним дијаложким чиновима.

	Здрава деца	Болесна деца	Укупно
Број вербалних дијаложких чинова	240	659	899
Просечни број речи по чину	1,54	2,11	1,96
Стандардна девијација	1,52	2,23	2,08

Табела 4.7 Статистички подаци о невербалним дечијим дијаложким чиновима.

Дечији невербални чиновни	Број чинова		Укупно
	Здрава деца	Болесна деца	
гледа у оператера	30	17	47
показује или додаје играчку	14	44	58
подиже руку	38	88	126
показује своју главу	25	65	90
показује свој стомак	13	55	68
гледа лево	7	12	19
гледа десно	4	12	16
потврђује климањем главе	4	12	16
негира одмахивањем главе	22	30	52
тражи играчку	2	6	8
слеже раменима	0	2	2
аплаудира	0	4	4
показује на себе	0	1	1
показује број прстима руке	0	2	2
гледа у родитеља	0	5	5
маше	5	3	8
Укупно	164	358	522

Табела 4.8 Статистички подаци о невербалним роботским дијаложким чиновима.

Роботски невербални чиновни	Број чинова у интеракцији са:		Укупно
	здравом децом	болесном децом	
буди се, отвара очи	0	1	1
показује своју главу	34	66	100
изненађује се	16	3	19
гледа горе	0	6	6
показује свој стомак	23	48	71
подиже руку	47	93	140
растужује се	13	20	33
гледа лево	9	20	29
гледа десно	3	11	14
гледа на ручни сат	0	3	3
Укупно	145	271	416

4.3 Процена корпуса

Процена корпуса је извршена у односу на три следећа аспекта интеракције: дијалогско понашање робота, дечија вербална продукција, и мотивација деце да учествују у интеракцији.

4.3.1 Процена дијалогског понашања робота

Први аспект процене корпуса се односи на дијалогско понашање робота, и за циљ има да покаже (i) да је оператор доследно пратио унапред задату дијалогску стратегију (описану у секцији 4.2.3) током експерименталних интеракција, и (ii) да примењена стратегија није ограничавала начин на који су се деца изражавала. Да би се извршила оваква процена, уведен је појам профила дијалога између детета и робота, заснован на n -грамима дијалогских чинова.

Полазна тачка оваквог приступа профилисању дијалога је да структура дијалога није унапред задата, већ се развија упоредо са одвијањем дијалога [Searle, 1992, Grosz and Sidner, 1986]. Ово такође важи у случајевима када је основи домен дијалога једноставан и унапред задат (као што је то случај са посматраним терапеутским интеракцијама), и када један од учесника у дијалогу (нпр., терапеут) следи унапред разрађени план за вођење дијалога. Чак и тада, интенционалност, фокус пажње, и лингвистичке конструкције другог учесника у дијалогу (у овом случају — детета) могу значајно да утичу на структуру дијалога. Из тог разлога, у предложеном приступу се не утврђује структура дијалога између детета и робота, нити правила за њено формирање, већ се профилише дијалог који се одвија између два учесника, од којих један прати унапред задату дијалогску стратегију.

На највишем нивоу (и само на том нивоу), дијалог се може посматрати као низ дијалогских чинова. Нека је $\Phi = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ скуп свих могућих

дијалošких чинова који се могу појавити у датом дијалošком домену. Тада се дијалošка инстанца може представити као низ $D_i = d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}$, где важи да $(\forall 1 \leq j \leq k)(d_{ij} \in \Phi)$. У предложеном приступу, дијалог је представљен као *врећа триграма дијалošких чинова*, тј., као скуп триграма дијалošких чинова који се појављују у датој дијалošкој инстанци. На пример, претпоставимо да постоји низ дијалošких чинова $d_1 d_2 d_1 d_2 d_1 d_2 d_1 d_2 d_1$ који се може представити као скуп очигледних триграма $\{d_1 d_2 d_1, d_2 d_1 d_2\}$. Овај скуп је неуређен, јер позиција и учесталост триграма садржаних у датом дијалогу нису узете у обзир.

У секцији 4.2.3 (в. табелу 4.3) је дефинисан уопштени скуп могућих дијалošких чинова који су релевантни за задати домен интеракције. Додатно треба напоменути да дужина n -грама (тј., ред језичког модела) није произвољна, већ је у складу са примењеном дијалošком стратегијом. По овој стратегији, ако дете не одговори тачно, или уопште не одговори на захтев робота, робот треба да реформулише или понови претходно изнет захтев, али само једном. Ово ограничење је утицало на то да се за ред n -грама одабере триграм. Другим речима, триграми дијалošких чинова обухватају довољно дијалošког контекста да се установи ниво одзива код деце.

На имплементационом нивоу, дијалоши профил се може представити као бинарни вектор величине $|\Phi^3|$, где је Φ скуп дијалošких чинова који се могу појавити у датом дијалošком домену. Сваки елемент бинарног вектора је бијективно придружен триграму из скупа Φ^3 , и представља тежину триграма: 1 ако се придружени триграм појављује у датом дијалогу, односно 0 у супротном. Оваква концептуализација омогућује примену метрике удаљености над бинарним подацима.

Да би се проценила сличност између два дијалošка профила D_1 и D_2 , примењене су две мере за сличност скупова [Deza and Deza, 2009].

- Рендова сличност над $\{0, 1\}^n$ (тј., Сокал-Мајкенерово просто поређење) је примењена за процену *сличности дијалošких стратегија које*

робот примењује у интеракцији са различитом децом:

$$R(D_1, D_2) = 1 - \frac{|D_1 \Delta D_2|}{n}, \quad (4.1)$$

где је n број могућих триграма у посматраном дијалошком домену, а $D_1 \Delta D_2$ представља симетричну разлику између скупова D_1 и D_2 , тј.:

$$D_1 \Delta D_2 = (D_1 \setminus D_2) \cup (D_2 \setminus D_1). \quad (4.2)$$

- Жакарова сличност над $\{0, 1\}^n$ (позната и као Танимотова сличност) је примењена да би се проценила сличност *између начина на које различита деца учествују у интеракцији* са роботом, под претпоставком да је робот примењивао идентичну дијалошку стратегију у интеракцији са свом децом:

$$J(D_1, D_2) = \frac{|D_1 \cap D_2|}{|D_1 \cup D_2|} = 1 - \frac{|D_1 \Delta D_2|}{|D_1 \cup D_2|}. \quad (4.3)$$

У табели 4.3 описано је четрнаест дијалошких чинова који се могу појавити у посматраном дијалошком домену, од чега су десет дијалошки чинови робота, а четири дијалошки чинови деце. У принципу, број могућих триграма у овом дијалошком домену је $n = |\Phi^3| = 14^3 = 2744$, али усвојена дијалошка стратегија допушта само триграме следећих форми: робот–дете–робот, робот–робот–дете, дете–робот–робот и дете–робот–дете. Тиме се редукује број триграма дијалошких чинова који се заиста могу појавити у интеракцији на следећу вредност:

$$n = 3 \cdot (10 \cdot 4 \cdot 10) + 4 \cdot 10 \cdot 4 = 1360. \quad (4.4)$$

У формулама (4.1) и (4.3), коефицијенти сличности профила D_1 и D_2 су дефинисани на основу нормализоване Хемингове удаљености између профила, која је пропорционална броју елемената у симетричној разлици

између скупова D_1 и D_2 :

$$\begin{aligned} \text{сличност} &= 1 - \text{нормализовано Хемингово растојање} \\ &= 1 - \frac{|D_1 \Delta D_2|}{j}. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Међутим, фактори нормализације Хемингове удаљености у овим формулама се разликују. Да би се проценила сличност дијалošких стратегија које робот примењује у интеракцији са рзличитом децом, Хемингово растојање у формули за Рендову сличност се нормализује бројем n , тј., бројем свих могућих триграма који се могу појавити у посматраном домену. Идеја за овакву нормализацију се може објаснити на следећи начин. По предвиђеној дијалošкој стратегији за оператера, роботски дијалošки чинови су одређени претходним дечијим дијалošким чином и задатим низом терапеутских наредби и питања. То значи да је очекивани број триграма дијалošких чинова знатно мањи од n . Ако оператер доследно прати задату дијалošку стратегију, нормализовано Хемингово растојање ће имати мање вредности, тј., Рендова сличност дијалošких профила ће бити већа.

Насупрот томе, фактор нормализације у формули за Жакарову сличност је $|D_1 \cup D_2|$, тј., једнак је броју различитих триграма коју се јављају у профилима D_1 и D_2 . Под претпоставком да оператер доследно примењује дијалošку стратегију у оба дијалога, ова мера указује на степен сличност у начину на који деца учествују у интракцији са роботом.

Корпус је етикетиран у складу са општом категоризацијом дијалošких чинова датом у табели 4.3, и генерисани су профили свих 36 експеримената. Просечни број триграма који се појављују у профилима је 23,26, са стандардном девијацијом од 7,98. Минимални број триграма у профилима је 6, а максималан број триграма у профилима је 44. Укупни број различитих триграма дијалošких чинова који се појављују у профилима износи 127, што је знатно мање од броја могућих триграма $n = 1360$.

Применом формула (4.1) и (4.3) извршено је поређење сваког од $\binom{36}{2} = 630$ могућих парова дијалošких профила садржаних у корпусу. Просечна Рендова сличност између профила износи 0,9855, са стандардном девијацијом од 0,0057. Рандова сличност најмање сличних дијалošких профила износи чак 0,9654, док за два најсличнија дијалošка профила износи 0,9978. Високе вредности Рандове сличности и њихов уски опсег указују на то да је оператер доследно примењивао задату дијалošку стратегију. Насупрот томе, просечна вреднос Жакарове сличности између дијалošких профила је 0,4197, са стандардном девијацијом од 0,0640. Жакарова сличност најмање сличних дијалošких профила износи 0,1, док за најсличније дијалošке профиле износи 0,8571. Овај широки опсег вредности за Жакарову меру сличности указује да, иако је оператер доследно примењивао задату дијалošку стратегију, деца на различите начине учествују у интеракцији са роботом. Другим речима, роботска дијалošка стратегија не ограничава експресивност деце.

4.3.2 Процена вербалне продукције

Процена вербалне продукције је примарно фокусирана на део субјектске групе који чине болесна деца. За потребе извршавања процене, у обзир је узета додатна контролна група деце, тј., коришћен је корпус снимака које су терапеути Клинике за дечју рехабилитацију и хабилитацију у Новом Саду одабрали као типичне примере терапеутских вежби (без учешћа робота) за децу оболелу од церебралне парализе. Петнаесторо деце (6 женског пола, 9 мушког пола, просечне старости 6,8 година, са стандардном девијацијом од 3,19 година) учествовало је у овим вежбама. Сва деца су пацијенти Клинике за дечју рехабилитацију и хабилитацију у Новом Саду. Основне информације о деци из контролне групе су дате у табели 4.9. Контролни корпус садржи 20 снимака у укупном трајању

од приближно 10 минута и 20 секунди. Просечно трајање снимака износи 31 секунду, са стандардном девијацијом од 17 секунди. Сви снимци су транскрибовани и етикетирани. Статистички подаци о вербалним дијаложким чиновима су дати у табели 4.10. У оквиру ове фазе процене

Табела 4.9 Контролна група пацијената.

Субјекат	Старост	Пол	Дијагноза	Покретљивост
o_1	6	м	церебрална парализа	стоји; хода
o_2	6	ж	церебрална парализа	стоји; хода
o_3	7	м	церебрална парализа	стоји; хода
o_4	6	ж	церебрална парализа	стоји; хода
o_5	10	м	церебрална парализа	стоји; хода
o_6	12	ж	церебрална парализа	стоји; хода
o_7	12	ж	расцеп кичменог стуба	стоји; хода
o_8	8	м	церебрална парализа	стоји; хода
o_9	5	ж	церебрална парализа	стоји; хода
o_{10}	10	м	церебрална парализа	стоји; хода
o_{11}	7	ж	церебрална парализа	стоји; хода
o_{12}	3	м	церебрална парализа	стоји; хода
o_{13}	2	м	церебрална парализа	стоји; хода
o_{14}	2	м	церебрална парализа	стоји; хода
o_{15}	6	м	церебрална парализа	стоји; хода

извршено је поређење вербалне продукције експерименталне групе пацијената који су имали интеракцију са роботом (в. табелу 4.1) и контролне групе пацијената који нису имали интеракцију са роботом током терапије (в. табелу 4.9). Уочљиво је знатно веће ангажовање у интеракцији код деце из експерименталне групе. Просечни број речи по дијаложком чину код деце у експерименталној групи је 1,52 пута већи него код деце из контролне групе ($\frac{2,11}{1,39}$, в. табеле 4.6 и 4.10). Додатно се може приметити да су деца из експерименталне групе у просеку генерисала 2,97 дијаложких чинова у минути ($\frac{659}{222}$, в. табелу 4.6), док су деца из контролне групе у просеку генерисала 1,74 дијаложка чина у минути ($\frac{18}{10,33}$, в. табелу 4.10). Ова разлика добија много више на значају када се узме у обзир да деца из циљне групе (тј., деца оболела од церебралне парализе и сличних поремећа моторичких функција) често имају имају поремећаје

комуникације услед којих је степен њиховог ангажовања у интеракцији мањи од нормалог (в. Rosenbaum et al. [2007]).

Табела 4.10 Статистички подаци о вербалним дијалогским чинovima за децу из контролне групе.

Дете (Пацијент)	Број вербалних дијалогских чинова	18
	Просечан број речи по чину	1,39
	Стандардна девијација	0,70
Терапеут	Број вербалних дијалогских чинова	17
	Просечан број речи по чину	3
	Стандардна девијација	2,81
Родитељ	Број вербалних дијалогских чинова	31
	Просечан број речи по чину	3,06
	Стандардна девијација	2,21

Још један важни показатељ је податак да је ниво учешћа родитеља у интеракцији знатно мањи у случају експерименталне групе. У овој групи, број дечијих дијалогских чинова је за ред величине већи од броја дијалогских чинова родитеља и оператера. У контролној групи, број дијалогских чинова које су генерисали родитељи је 1,72 пута већи од броја дијалогских чинова детета. Ово је показатељ да су деца из експерименталне групе имала значајније мању потребу за подршком родитеља током интеракције са роботом МАРКОМ.

4.3.3 Процена мотивације

Прелиминарним квалитативним увидом у корпус је утврђено да су деца позитивно реаговала на работа, и да робот представља значајни мотивациони фактор. Повећана мотивација код деце из групе пацијената је потврђена од стране њихових дугорочних терапеута. Илустрације ради, наведено је неколико примера, у чијим описима се израз „нормално понашање“ односи на понашање детета у стандардним терапеутским условима, без учешћа работа:

- Дете s_4 обично избегава да користи десну руку током извођења терапеутских вежби, али је у току интеракције са МАРКОМ, на захтев робота, користило десну руку да би извело вежбу у којој додирује своју главу.
- Дете s_7 се током експеримента уморило, а интензитет и обим његових покрета су постепено опадали, све док у једном тренутку дете није потпуно одустало од извођења вежби. Ипак, на поновљени налог и инсистирање робота МАРКА, дете је успешно извело вежбу.
- Дете s_{11} је било свесно где се налази жута жирафа, али се претварало да је тражи да би продужило интеракцију са роботом.
- Дете s_{12} се афективно везало за робота у изразитој мери, питало га је да процени да ли добро хода, и тражило од робота да потврди њихово пријатељство.
- Дете s_{14} обично није мотивисано за учешће у терапији, док је дете s_{17} само повремено мотивисано. Међутим, током интеракције са роботом је уочено знатно повећање мотивације код оба детета.

Да би се квантитативно проценила мотивација субјекатске групе за учешће у интеракцији са роботом МАРКОМ, агажована је група од пет испитаника: 2 женског пола, старости 28 и 30 година, и 3 мушког пола, старости 27, 30 и 32 године. Испитаници су били из редовне популације, матерњи говорници српског језика, сви са високом стручном спремом, а један од њих је по образовању психолог.

Један од снимљених експеримената из корпуса није био погодан за процену и етикетирање — због тешког здравственог стања, дете је током експеримента придржавао родитељ, тако да се дете не види на снимцима у мери довољној да се изврши процена. Снимци осталих 35 експеримената су подељени на сегменте у трајању од 30 секунди. Укупан број сегмената је био 359. Независно један од другог, испитаници су гледали и слушали снимке из корпуса. Њихов задатак је био да за сваки сегмент процене емоционално стање детета у односу на његову мотивисаност да учествује

у интеракцији са роботом МАРКОМ. Скуп ознака за етикетирање је био унапред задат:

- *позитивно*, што означава да је дете мотивисано да учествује у интеракцији,
- *негативно*, што означава да дете није мотивисано да учествује у интеракцији, или испољава негативна осећања према интеракцији или окружењу,
- *неутрално*.

Интерсубјективна сагласност је заснована на принципу већинског гласања, на следећи начин:

- слаба сагласност — најмање три испитаника се слаже у процени,
- јака сагласност — најмање четири испитаника се слаже у процени,
- потпуна сагласност — свих пет испитаника се слаже у процени.

Табела 4.11 садржи детаље процене и етикетирања корпуса. Резултати упућују на закључак да робот представља значајни мотивациони фактор. За све типове већинског гласања, позитивно оцењени сегменти представљају најдоминантнију класу, док је класа негативно оцењених сегмената знатно мања.

Табела 4.11 Резултати процене мотивације субјекатске групе за учешће у интеракцији са роботом МАРКОМ.

Процена сегмената	Позитивно [%]	Негативно [%]	Неутрално [%]	Без сагласности [%]
Потпуна сагласност	49,3036	1,1142	1,3928	48,1894
Јака сагласност	66,8524	3,3426	6,1281	23,6769
Слаба сагласност	77,3481	4,1436	16,2983	2,2099

4.4 Закључак

У овом поглављу је представљен корпус снимака интеракције између деце и хуманоидног робота МАРКА, у реалистичном терапеутском контексту. Процена корпуса је показала да су деца позитивно реаговала на робота МАРКА. Важно је приметити да позитивни ефекти превазилазе ефекат активирања интеракције између детета и робота, који се обично пријављује у истраживањима примене робота у терапије деце са аутизмом. Током интеракције, робот МАРКО је издавао налоге којима је од деце захтевао да изврше изабране невербалне чинове који су релевантни за терапију, а процена корпуса је показала да су деца показала повећану мотивацију, која је резултовала већим учешћем у терапеутским вежбама. У наредном поглављу, овај корпус је примењен за валидирање предложеног приступа аутоматском детектовању критичних промена у интеракцији између деце и робота.

Поглавље 5

Детекција критичних промена у дијалогу

5.1 Увод

Једна од кључних функционалности конверзационих агената је препознавање критичних промена у дијалогу. Овде се под критичном променом подразумева значајно повећане дијаложке ентропије, што је појам који ће бити размотрен касније у поглављу. У овом поглављу се предлаже приступ аутоматском препознавању критичних промена у дијалогу [Gnjatović et al., 2018]. Предложени приступ је објашњен и илустрован на дијалозима садржаним у корпусу представљеном у поглављу (4), али је важно приметити да није ограничен на неки специфични дијаложки домен, нити специфични модел дијалога, већ је дизајниран за примену у широком опсегу дијаложких домена и модела.

Свака интеракција између детета и робота у посматраном корпусу може се поделити на два дела. У првом делу робот покушава да охрабри и мотивише дете да се укључи у интеракцију. Интеракција у овом делу сесије је организована око теме дијалога, и карактерише је једноставни дијаложки дискурс. У другом делу интеракције робот води дете кроз низ различитих терапеутских вежби. Без обзира на то што у и овом делу робот прати строго дефинисану дијаложку стратегију, интеракција у овом делу је организована у односу на терапеутски циљ, а не у односу

на постизање конзистентне структуре дијалога. Другим речима, ако се посматра из перспективе детета (или неког ко експеримент посматра са стране) интеракција у другом делу је мање организована и мање предвидљива.

Захтев за приступ који се предлаже у овом поглављу је да за дату етикетирану интеракцију између детета и робота аутоматски детектује критичну промену.

5.2 Ентропија и интеракција

Ентропија представља меру неуређености посматраног система. У информатичкој теорији, ентропија случајне променљиве X над скупом $\{x_1, \dots, x_n\}$ је једнака [Shannon, 1948a,b, Shannon and Weaver, 1949]:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log p(x_i) . \quad (5.1)$$

Појам ентропије је широко познат у природним и примењеним научним дисциплинама, и знатно мање у друштвеним наукама. У област психологије и конверзациној анализи, препознаје се важност ентропије као значајног показатеља уређености дијалога [Campbell, 2016, Bonin, 2016, Dishion et al., 2004]. У овим истраживањима постоји сагласност да већа ентропија рефлектује мању уређеност дијалога, мада се у различитим приступима ентропија посматра за различите типове података: речи у реченицама [Genzel and Charniak, 2002], социјалним знаковима у дијалогским сегментима [Campbell, 2016, Bonin, 2016], и информационе јединице које се појављују у дијалогу [Dishion et al., 2004].

У приступу преложеном у овом поглављу, ентропија се посматра за класе дијалогских чинова. У поглављу 4 је приказана општа класификација дијалогских чинова на основу којих је вршено етикетирање корпуса (Табела 4.3). За потребе предложеног приступа, посматраћемо, без гу-

битка општости, само вербалне дијаложке чинове робота¹. Дијаложки чинови робота су класификовани у 9 општих класа. Коришћењем овакве класификације се сваки експеримент може представити као низ класа дијаложких чинова. Примера ради, интеракције између деце s_{25} и s_{12} са роботом су представљене табелама 5.1, односно 5.2. Прилог ?? садржи етикетиране репрезентације свих дијалога из корпуса.

Табела 5.1 Етикетирана интеракција између детета s_{25} и робота.

Позиција	1	2	3	4	5	6	7
Дијаложки чин	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-stat}$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-stat}$
Позиција	8	9	10	11	12	13	14
Дијаложки чин	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-stat}$	$R\text{-stat}$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-comm}_1$
Позиција	15	16	17	18	19	20	21
Дијаложки чин	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-ques}_4$	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-ques}_1$
Позиција	22	23	24	25			
Дијаложки чин	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-comm}_3$	$R\text{-comm}_4$	$R\text{-comm}_4$			

Табела 5.2 Етикетирана интеракција између детета s_{12} и робота.

Позиција	1	2	3	4	5	6	7
Дијаложки чин	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-stat}$	$R\text{-ques}_1$
Позиција	8	9	10	11	12	13	14
Дијаложки чин	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-stat}$	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-stat}$	$R\text{-stat}$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-stat}$
Позиција	15	16	17	18	19	20	21
Дијаложки чин	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-stat}$	$R\text{-comm}_4$	$R\text{-stat}$	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-comm}_1$
Позиција	22	23	24	25	26	27	28
Дијаложки чин	$R\text{-stat}$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-stat}$	$R\text{-comm}_1$	$R\text{-comm}_4$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-comm}_4$
Позиција	29	30	31	32	33	34	35
Дијаложки чин	$R\text{-stat}$	$R\text{-comm}_4$	$R\text{-stat}$	$R\text{-comm}_4$	$R\text{-stat}$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-comm}_4$
Позиција	36	37	38	39	40	41	42
Дијаложки чин	$R\text{-comm}_4$	$R\text{-stat}$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-comm}_4$	$R\text{-stat}$	$R\text{-ques}_1$	$R\text{-stat}$

¹ Дијаложки чинови деце нису директно узети у обзир, јер се по дефиницији дијаложке стратегије коју примењује робот, описане у поглављу 4, они могу одредити на основу дијаложких чинова робота који им непосредно претходе и следе. Због тога, занемаривање дечијих дијаложких чинова не утиче суштиски на излагање.

5.3 Појам дијаложке ентропије

У овој секцији је предложен нови појам дијаложке ентропије. Нека је дат скуп свих дијаложких чинова $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ који се могу појавити у датом дијаложком домену. Нека је $D = d_1, d_2, \dots, d_n$, краће записано као d_1^n , хронолошки низ дијаложких чинова у датој интеракцији, где важи $(\forall 1 \leq i \leq n)(d_i \in T)$. Тада се дијаложка ентропија дијалога $D = d_1^n$ може дефинисати као:

$$H(D = d_1^n) = - \sum_{i=1}^k P(t_i) \log P(t_i), \quad (5.2)$$

где је вероватноћа $P(t_i)$ израчуната као учесталост појављивања типа дијаложког чина t_i у посматраном дијалогу, и уз усвојену конвенцију, потребну за практичне примене, да важи: $0 \cdot \log 0 = 0$. Дијаложка ентропија зависи од учесталости појављивања типова дијаложких чинова, али не и од њиховог редоследа јављавања у дијалогу. Да би се и редослед дијаложких чинова узео у обзир, посматрамо вредности ентропије како се дијалог $D = d_1^n$ одвија, тј., дијаложка ентропија се рачуна након сваког дијаложког чина, стварајући на тај начин низ вредности:

$$\mathcal{H}(d_1^n) = h_1, h_2, \dots, h_n = h_1^n, \quad (5.3)$$

где важи:

$$(\forall 1 \leq i \leq n) h_i = H(D = d_1^i). \quad (5.4)$$

Примера ради, у прве три колоне табеле 5.3 је приказан прорачун свих дијаложких ентропија за улазни дијаложки низ a, b, c, b, b .

Основа логаритма у једначини (5.2) није суштински важна, докле год се доследно примењује. Уколико је познат број свих могућих типова дијаложких чинова, дијаложка ентропија се може нормализовати на вредност у опсегу од 0 до 1. Ентропија је максимална за униформну расподелу вероватноћа, тј. када се сви типови дијаложких чинова из скупа T

Табела 5.3 Дијаложка ентропија за низ a, b, c, b, b .

Низ	Вероватноћа	Дијаложка Нормализована	
		ентропија	диј. ентропија
a	$P(a) = 1$	0	0
a, b	$P(a) = P(b) = \frac{1}{2}$	0,6931471806	0,6309297536
a, b, c	$P(a) = P(b) = P(c) = \frac{1}{3}$	1,0986122887	1
a, b, c, b	$P(a) = P(c) = \frac{1}{4}, P(b) = \frac{1}{2}$	1,0397207708	0,9463946304
a, b, c, b, b	$P(a) = P(c) = \frac{1}{5}, P(b) = \frac{3}{5}$	0,9502705392	0,8649735207

појављују са истом учесталошћу:

$$(\forall t_i \in T) P(t_i) = \frac{1}{|T|}. \quad (5.5)$$

Стога, максимум дијаложке ентропије се може израчунати као:

$$H_{max} = - \sum_{i=1}^k P(t_i) \log P(t_i) = \log |T|, \quad (5.6)$$

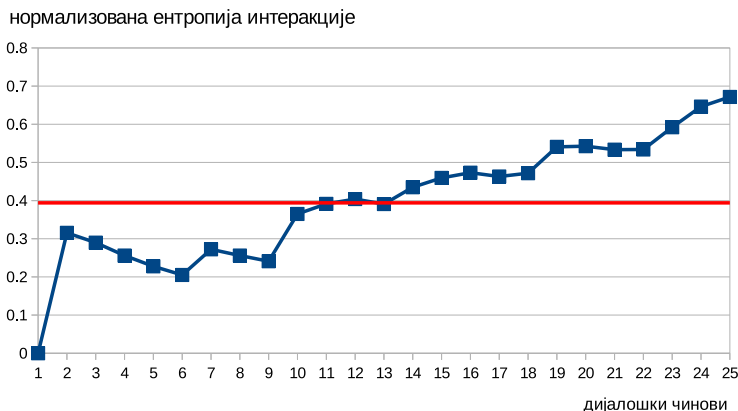
а дијаложке ентропије се могу нормализовати као:

$$\tilde{h}_i = \frac{h_i}{\log |T|} = - \sum_{i=1}^k P(t_i) \log_{|T|} P(t_i). \quad (5.7)$$

У овом поглављу ћемо посматрати нормализоване дијаложке ентропије. Илустрације ради, нормализоване дијаложке ентропије дијалогског низа a, b, c, b, b су дате у последњој колони табеле 5.3, док су нормализоване дијаложке ентропије дијалога представљеног у табели 5.1 дате у табели 5.4 и графички приказане на слици 5.1.

Табела 5.4 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{25} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,2559297536$
$h_9 = 0,2410796805$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,3908298323$	$h_{14} = 0,4349577649$	$h_{15} = 0,4594950232$	$h_{16} = 0,4731973152$
$h_{17} = 0,4631310775$	$h_{18} = 0,4717897203$	$h_{19} = 0,5408007288$	$h_{20} = 0,5425911002$
$h_{21} = 0,5334302247$	$h_{22} = 0,5339491139$	$h_{23} = 0,5921297626$	$h_{24} = 0,6462867759$
$h_{25} = 0,6716327903$			



Слика 5.1 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{25} и робота МАРКА.

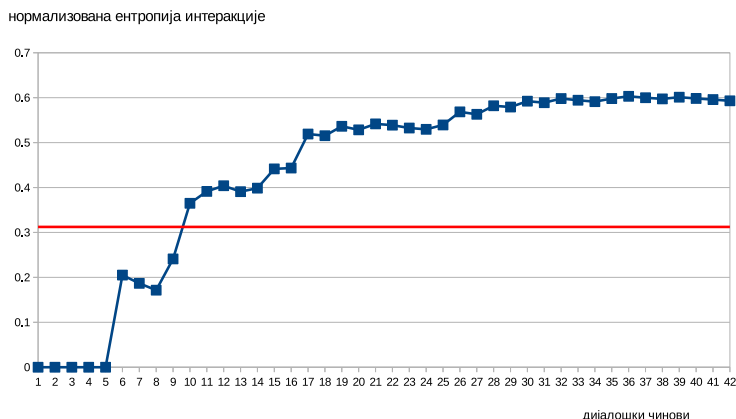
Табела 5.5 Нормализоване дијалошке ентропије за дијалог између детета s_{12} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0$	$h_4 = 0$
$h_5 = 0$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,1866519802$	$h_8 = 0,1714754901$
$h_9 = 0,2410796805$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,3908298323$	$h_{14} = 0,3986874053$	$h_{15} = 0,4415187205$	$h_{16} = 0,4434297536$
$h_{17} = 0,5191641347$	$h_{18} = 0,5153848813$	$h_{19} = 0,5363608683$	$h_{20} = 0,5284488578$
$h_{21} = 0,5416660586$	$h_{22} = 0,5388451344$	$h_{23} = 0,5324861139$	$h_{24} = 0,529593156$
$h_{25} = 0,5392955138$	$h_{26} = 0,5684821009$	$h_{27} = 0,5630376142$	$h_{28} = 0,5820139616$
$h_{29} = 0,5791923403$	$h_{30} = 0,5922753021$	$h_{31} = 0,5888299434$	$h_{32} = 0,5981334674$
$h_{33} = 0,5943399115$	$h_{34} = 0,5911752004$	$h_{35} = 0,5981790021$	$h_{36} = 0,6030380589$
$h_{37} = 0,5999236765$	$h_{38} = 0,5972969465$	$h_{39} = 0,6010787957$	$h_{40} = 0,5982696597$
$h_{41} = 0,5958750956$	$h_{42} = 0,5930842092$		

5.4 Аутоматска детекција критичне промене у дијалогу

Критичну промену у дијалогу можемо концептуализовати као тренутак који дели дијалог на два дела, тако да су дијалошке ентропије у другом делу значајно веће од ентропија у првом делу.

Ради илустрације, посматрајмо графичку репрезентацију дијалошких ентропија на слици 5.1. Из овог приказа може се уочити да се дијалог може поделити у два дела. Део дијалога пре дијалошког чина d_{10} садржи опадајуће обрасце дијалошке ентропије који указују на једноставни ди-



Слика 5.2 Графичка репрезентација нормализованих дијалогских ентропија за дијалог између детета s_{12} и робота МАРКА.

јалогски дискурс у првој фази интеракције (в. опис дат на почетку поглавља). Део дијалога који почиње чином d_{10} садржи растуће обрасце дијалогске ентропије који указују на мање уређени и мање предвидљиви дијалогски дискурс у другој фази интеракције. Дијалогски чин d_{10} се може интуитивно означити као критична промена у посматраном дијалогу.

У случају детета s_{12} , графичка репрезентација нормализованих дијалогских ентропија је приказана на слици 5.2. На тој слици се такође може уочити јасна подела на два дела. Видљива је промена обрасца лево и десно од дијалогских чинова d_9 и d_{10} , као што је већ објашњено у претходном примеру. Оба ова дијалогска чина представљају кандидате за место критичне промене у посматраном дијалогу.

Да би критична промена била формалније представљена, уведе се следеће ознаке:

- $D = d_1^n$ — дијалог,
- d_c — дијалогски чин из D који представља критичну промену,
- $\mathcal{H} = h_1^n$ — вектор дијалогских ентропија за дијалог D , видети једначину (5.3),

- h_c — дијалoшка ентропија из \mathcal{H} која се везује за дијалoшки чин d_c .

Уколико за дијалoшки чин d_c кажемо да представља критичну промену унутар дијалoга D , интуитивно је јасно да следећи услов мора да буде задовољен:

$$(\forall 1 \leq i < c)(h_i < h_c) \wedge (\forall c \leq j \leq n)(h_j \geq h_c). \quad (5.8)$$

Међутим, овај услов је неопходан, али није довољан. У практичним применама, вредности дијалoшких ентропија везаних за појединачне дијалoшке чинове се разликују за вредности које се могу сматрати занемарљивим. Због тога, претходни услов се може релаксирати на следећи начин:

$$(\forall 1 \leq i < c)(h_i < h_c + \delta) \wedge (\forall c \leq j \leq n)(h_j \geq h_c - \delta), \quad (5.9)$$

где је δ вредност која дефинише малу околину око вредности критичне дијалoшке ентропије.

Ова промена услова га још увек не чини довољним. Уопштено, нека је $\mathcal{C} = \{d_{c1}, d_{c2}, \dots, d_{cp}\}$ скуп свих дијалoшких чинова у дијалогу D који задовољавају услов (5.9), за дату вредност параметра δ . Аутоматско одабирање дијалoшког чина који представља критичну промену је засновано на следећој интуицији. Пошто се критична промена везује за дијалoшки чин који раздваја посматрани дијалог на два дела, може се рећи да је њему припадајућа дијалoшка ентропија једна врста прага. Због тога се сматра да критична промена која се везује за дијалoшки чин $d_i \in \mathcal{C}$ чија је дијалoшка ентропија h_i најближа прагу.

Вредност прага за посматрани дијалог се рачуна адаптивно, према следећим корацима (инспирисано методом за аутоматски одабир прага приликом сегментације слике, видети [Shih, 2010, pp. 120–1]):

1. Почетна вредност прага се рачуна као средња вредност дијалoшких ентропија у \mathcal{H} :

$$\tau = \text{mean}(\mathcal{H}) . \quad (5.10)$$

2. Низ \mathcal{H} се дели на два дела коришћењем тренутног прага τ , након чега се рачунају средње вредности за обе групе које су настале дељењем тренутним прагом:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \text{mean}(\mathcal{H}_1 = h_1^m \mid h_i \in \mathcal{H} \wedge h_i \leq \tau) , \\ \tau_2 &= \text{mean}(\mathcal{H}_2 = h_1^{n-m} \mid h_i \in \mathcal{H} \wedge h_i > \tau) . \end{aligned} \quad (5.11)$$

Нова вредност прага се зати израчунава као:

$$\hat{\tau} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} . \quad (5.12)$$

3. Уколико је промена прага довољно мала, тј.,

$$|\tau - \hat{\tau}| \leq \varepsilon , \quad (5.13)$$

сматра се да је алгоритам завршен, и да је коначна вредност прага једнака $\hat{\tau}$. У супротном, нова вредност прага $\hat{\tau}$ се проглашава за тренутну вредност прага τ , (тј., $\tau \leftarrow \hat{\tau}$), и алгоритам наставља израчунавање од другог корака.

За низ дијалošких ентропија приказаних на слици 5.1 и у табели 5.4, вредност прага израчуната на основу приказаног алгоритма је $\tau = 0,3940479620$ (са параметром $\varepsilon = 10^{-6}$). За низ дијалošких ентропија приказаних на слици 5.2 и у табели 5.5, вредност прага израчуната на основу приказаног алгоритма је $\tau = 0,3122610741$. Ове вредности прагова су на сликама 5.1 и 5.2 приказане хоризонталним линијама.

Посматрајмо сад како се вредност прага користи за одређивање критичне промене у дијалогу. За посматрани дијалог у коме учествује дете s_{25} могу се издвојити дијалošки чинови који задовољавају услов (5.8) (тј., услов (5.9) за који важи $\delta = 0$):

$$\mathcal{C} = \{d_1, d_{10}, d_{14}, d_{15}, d_{23}\}, \quad (5.14)$$

и њима припадајуће дијаложке ентропије су:

$$\begin{aligned} h_1 &= 0, \\ h_{10} &= 0,3649233496, \\ h_{14} &= 0,4349577649, \\ h_{15} &= 0,4594950232, \\ h_{23} &= 0,5921297626. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Дијаложка ентропија h_{10} је најближа добијеној вредности прага, па се дијаложки чин d_{10} може прогласити за тренутак критичне промене у посматраном дијалогу.

За посматрани дијалог у коме учествује дете s_{12} могу се издвојити дијаложки чинови који задовољавају услов (5.8) (тј., услов (5.9) за који важи $\delta = 0$):

$$\mathcal{C} = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_9, d_{10}, d_{15}, d_{16}\}, \quad (5.16)$$

и њима припадајуће дијаложке ентропије су²:

$$\begin{aligned} h_1 &= h_2 = h_3 = h_4 = h_5 = 0, \\ h_9 &= 0,2410796804, \\ h_{10} &= 0,3649233495, \\ h_{15} &= 0,4415187205, \\ h_{16} &= 0,4434297536. \end{aligned} \quad (5.17)$$

Дијаложка ентропија h_{10} је најближа добијеној вредности прага, па се дијаложки чин d_{10} може прогласити за тренутак критичне промене у посматраном дијалогу.

² Вредности дијаложких ентропија h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 једнаке су нули, јер првих пет дијаложких чинова припадају истој класи, што овај део интеракције чини максимално уређеним.

Изложени приступ је валидиран на свим дијалозима садржаним у корпусу. У примерима које смо посматрали до сад, предложени алгоритам исправно функционише без потребе за релаксирањем услова (5.8) (тј., за $\delta = 0$). Међутим, у неким дијалозима је потребно применити релаксирани услов (5.9), што је илустровано на примеру дијалога између детета s_{23} и робота. Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за овај дијалог је дата на слици 5.3, нормализоване ентропије у табели 5.6, а вредност прага је $\tau = 0,3755$. У овом примеру, дијалошки чин d_{10} представља тренутак критичне промене. Међутим, применом услова (5.8) добија се скуп кандидата

$$\mathcal{C} = \{d_9\} \quad (5.18)$$

који не укључује дијалошки чин d_{10} , јер важи:

$$h_{10} > h_{11} \wedge h_{10} > h_{12}, \quad (5.19)$$

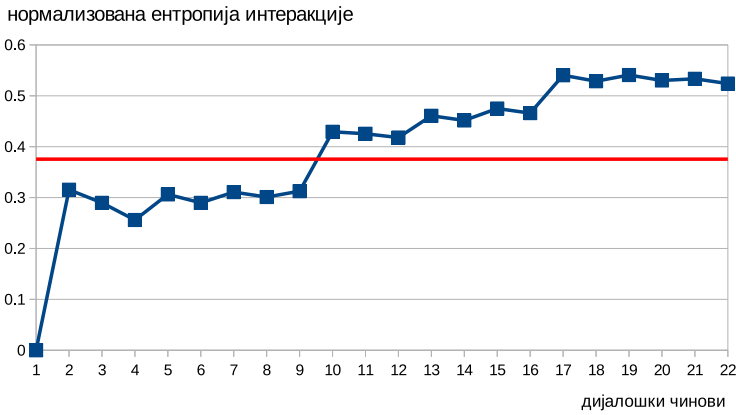
а тренутак критичне промене је некоректно придружен дијалошком чину d_9 . Претпоставимо да параметар δ има вредност 0,03, која је значајно мања од могућег опсега нормализованих дијалошких ентропија (тј., $[0, 1]$). Применом релаксираног услова (5.9) за ову вредност параметра δ добијамо шири скуп кандидата:

$$\mathcal{C} = \{d_i \mid 5 \leq i \leq 22\} \quad (5.20)$$

у коме је ентропија која припада дијалошком чину d_{10} најближа прагу τ , па је овај чин коректно изабран да представља тренутак критичне промене.

Алгоритам за аутоматску детекцију критичних промена у дијалогу се може формално представити на следећи начин:

- (i) Улазни аргументи:



Слика 5.3 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_{23} и робота МАРКА.

Табела 5.6 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{23} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,3063008096$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,3108048725$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,3126496871$	$h_{10} = 0,4293363555$	$h_{11} = 0,4254321145$	$h_{12} = 0,4179944984$
$h_{13} = 0,46073162$	$h_{14} = 0,4516069887$	$h_{15} = 0,4750342988$	$h_{16} = 0,4660100794$
$h_{17} = 0,540416206$	$h_{18} = 0,5286629989$	$h_{19} = 0,5408007288$	$h_{20} = 0,5301330546$
$h_{21} = 0,5334302247$	$h_{22} = 0,5240154489$		

- низ дијалошких чинова d_1^n ,
- параметар ε ,
- параметар δ .

(ii) Кораци алгоритма:

1. израчунавање дијалошких ентропија h_1^n ,
2. израчунавање прага τ за дати низ h_1^n и параметар ε ,
3. генерисање скупа кандидата \mathcal{C} који испуњавају услов (5.9) за вредност параметра δ ,
4. одабирање оног дијалошког чина из скупа \mathcal{C} чија је ентропија најближа прагу τ .

5.5 Закључак

У овом поглављу је предложен и илустрован приступ за аутоматску детекцију критичних промена у интеракцији између детета и робота. Важно је приметити да спецификација приступа не узима у обзир дијалогски домен, нити примењени модел дијалога, што омогућава примену приступа у широком опсегу дијалогских домена и модела, и његово комбиновање са другим моделима за обраду природних језика.

У практичним применама, вредност параметра δ зависи од конкретних дијалога на којима се систем обучава. У општем случају, „научена“ вредност параметра δ одговара минималној вредности овог параметра за коју предложени алгоритам исправно детектује критичне промене у свим дијалозима садржаним у подацима за обуку. Потом се ова вредност процењује на подацима за тестирање.

Предложени приступ је валидиран на доступном корпусу, који садржи 36 дијалога, датих у прилогу ???. Нормализоване дијалогске ентропије и њихови графички прикази за све дијалоге садржане у корпусу су дати у прилогу В. За вредност параметра $\delta = 0$, алгоритам исправно детектује критичне промене у 21 дијалогу. За $\delta = 0,009$, број исправно детектованих критичних промена је 26. За $\delta = 0,017$, алгоритам исправно детектује критичне промене у 31 дијалогу, а за $\delta = 0,035$, број исправно детектованих критичних промена је 35. За један преостали дијалог у коме учествује дете s_9 , алгоритам не детектује исправно критичну промену, без обзира на избор вредности параметра δ .

Поглавље 6

Закључак

Доприноси ове дисертације се могу сумирати следећим напоменама:

- Прво је дефинисана и имплементирана нова, модуларна архитектура конверзационог агента, опште намене. Предност ове архитектуре је што се може применити на широки опсег конверзационих агената, јер имплементира интерфејсе за појединачне модуле који су дизајнирани и имплементирани без увида у архитектуру у којој ће бити интегрисани. Потом је хуманоидни робот МАРКО интегрисан са конверзационим агентом који управља вербалном интеракцијом између човека и робота у посматраном терапеутском контексту.
- Дефинисана је и имплементирана адаптивна бихевиористичка стратегија коју робот примењује у интеракцији са децом. По овој стратегији, робот усклађује своје дијалогске чинове у односу на мотивисаност детета, и општи степен извршења терапеутских налога, без узимања у обзир специфичности терапије.
- Предложена дијалогска стратегија је спроведена и процењена у интеракцији између деце и робота, у реалистичном терапеутском контексту, у сали за кинезитерапију Клинике за дечју рехабилитацију и хабилитацију, Института за здравствену заштиту деце и омладине Војводине у Новом Саду. Корпус снимака интеракције између деце и хуманоидног робота МАРКА је транскрибован, етикетиран, и позитиво проце-

њен у односу на дијалошко понашање робота, дечију вербалну продукцију, и мотивисаност деце да учествују у интеракцији.

- Коначно, предложен је приступ за аутоматско детектовање критичних промена у дијалогу, заснован на појму нормализоване дијалошке ентропије. Предложени алгоритам је независан од конкретних дијалошких домена и модела на којем се примењује, а валидиран је на дијалозима између деце и робота садржаним у доступном корпусу.

Предвиђени смерови будућих истраживања укључују експериментално испитивање дугорочних ефеката на мотивисаност деце остварених применом конверзационог робота МАРКА, и дефинисање приступа за аутоматску детекцију вишеструких критичних промена у дужим дијалошким инстанцама.

Литература

- N. Amir, S. Ron, and N. Laor. Analysis of an emotional speech corpus in hebrew based on objective criteria. In *ISCA Tutorial and Research Workshop (ITRW) on Speech and Emotion*, 2000.
- D. Anastasiou. A speech and gesture spatial corpus in assisted living. In *Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12)*, 2012.
- V. Aubergé, N. Audibert, and A. Rilliard. E-wiz: a trapper protocol for hunting the expressive speech corpora in lab. In *LREC*, 2004.
- P. Azagra, Y. Mollard, F. Golemo, AC. Murillo, M. Lopes, and J. Civera. A multimodal human-robot interaction dataset. In *NIPS 2016, workshop Future of Interactive Learning Machines*, 2016.
- R. Barra-Chicote, J. Montero, J. Macias-Guarasa, S. Lebai-Lutfi, J. Lucas-Cuesta, F. Fernández-Martínez, L. D'Haro, R. Hernandez, J. Ferreiros, R. Cordoba, and J. Manuel Pardo Muñoz. Spanish expressive voices: Corpus for emotion research in spanish. 2008.
- E. Bastianelli, G. Castellucci, D. Croce, L. Iocchi, R. Basili, and D. Nardi. Huric: a human robot interaction corpus. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, 2014.
- A. Batliner, C. Hacker, S. Steidl, E. Nöth, S. D'Arcy, M. J. Russell, and M. Wong. "you stupid tin box"-children interacting with the aibo robot: A cross-linguistic emotional speech corpus. In *Proc LREC*, 2004.
- A. Batliner, S. Steidl, and E. Nöth. Releasing a thoroughly annotated and processed spontaneous emotional database: the fau aibo emotion corpus. In *Proc. of a Satellite Workshop of LREC*, volume 2008, page 28, 2008.
- C. Bayon, R. Raya, S. L. Lara, O. Ramirez, I. Serrano, and E. Rocon. Robotic therapies for children with cerebral palsy: a systematic review. *Translational Biomedicine*, 7(1), 2016.

- F. Bechet, B. Maza, N. Bigouroux, T. Bazillon, M. El-Beze, R. De Mori, and E. Arbillot. Decoda: a call-centre human-human spoken conversation corpus. In *Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12)*, 2012.
- G. Beller, T. Hueber, D. Schwarz, and X. Rodet. An overview of talkapillar. 2006.
- M. Belokopytov and M. Fridin. Motivation of children with cerebral palsy during motor involvement by rac-cp fun. *Proceedings of the workshop on motivational aspects of robotics in physical therapy*, pages 40–45, 2012.
- T. Belpaeme, P. E. Baxter, R. Read, R. Wood, H. Cuayáhuitl, B. Kiefer, S. Racioppa, I. Kruijff-Korbayová, G. Athanasopoulos, V. Enescu, et al. Multimodal child–robot interaction: Building social bonds. *Journal of Human–Robot Interaction*, 1(2):33–53, 2012.
- J. L. Blanco, L. A. Hernández, R. Fernández, and D. Ramos. Improving automatic detection of obstructive sleep apnea through nonlinear analysis of sustained speech. *Cognitive Computation*, 5(4):458–472, 2013.
- M. P. Blázquez. Clinical application of robotics in children with cerebral palsy. In J. L. Pons, D. Torricelli, and M. Pajaro, editors, *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*, pages 1097–1102. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- F. Bonin. *Content and Context in Conversations: The Role of Social and Situational Signals in Conversation Structure*. PhD thesis, Trinity College Dublin, 2016.
- B. Borovac, V. Delić, M. Gnjatović, B. Karan, M. Raković, M. Penčić, S. Savić, M. Nikolić, J. Tasevski, and D. Mišković. Humanoid robot marko - an assistant in therapy for children. In *10th International Symposium Research and Design for Industry*, 12 2014a. doi: 10.13140/2.1.3511.5840.
- B. Borovac, M. Raković, M. Nikolić, J. Tasevski, and A. Batinica. Control system for facial expressions of the head of humanoid robot marko. In *16th International Scientific Conference on Industrial Systems*, page 87, 2014b.

- B. Borovac, M. Rakovic, S. Savic, and M. Nikolic. Design and control of humanoid robot marko: an assistant in therapy for children. In *Proc. International Exploratory Workshop on New Trends in Medical and Service Robotics-MESROB*, 2014c.
- B. Borovac, M. Gnjatović, S. Savić, M. Raković, and M. Nikolić. Human-like robot marko in the rehabilitation of children with cerebral palsy. In *New Trends in Medical and Service Robots*, pages 191–203. Springer, 2016.
- H. Bunt, V. Petukhova, A. Malchanau, K. Wijnhoven, and A. Fang. The dialogbank. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 2016.
- F. Burkhardt, A. Paeschke, M. Rolfes, W. F. Sendlmeier, and B. Weiss. A database of german emotional speech. In *Ninth European Conference on Speech Communication and Technology*, 2005.
- C. Busso, M. Bulut, C. Lee, A. Kazemzadeh, E. Mower, S. Kim, J. N. Chang, S. Lee, and S. S. Narayanan. Iemocap: interactive emotional dyadic motion capture database. *Language Resources and Evaluation*, 42(4):335, 2008.
- N. Campbell. The recording of emotional speech: Jst/crest database research. In *Proc LREC*. Citeseer, 2002.
- N. Campbell. Machine processing of dialogue states; speculations on conversational entropy. In *International Conference on Speech and Computer*, pages 18–25. Springer, 2016.
- G. Castellano, I. Leite, A. Pereira, C. Martinho, A. Paiva, and P. W. McOwan. Inter-act: An affective and contextually rich multimodal video corpus for studying interaction with robots. In *Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia*, pages 1031–1034, 2010.
- E. Castelli. Robotic movement therapy in cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53(6):481–481, 2011.
- O. Celiktutan, E. Skordos, and H. Gunes. Multimodal human–human–robot interactions (mhhri) dataset for studying personality and engagement. *IEEE Transactions on Affective Computing*, PP(99):1–1, 2017.

- C. Chastagnol and L. Devillers. Collecting spontaneous emotional data for a social assistive robot. In *Workshop Programme LREC'12*, page 62, 2012.
- S. Chung. *Expression and Perception of Emotion extracted from the Spontaneous Speech in Korean and English*. PhD thesis, Sorbonne Nouvelle University, Paris, France, 2000.
- M. Colton, D. J. Ricks, M. Goodrich, B. Dariush, K. Fujimura, and M. Fujiki. Toward therapist-in-the-loop assistive robotics for children with autism and specific language impairment. In *Proceedings of the AISB 2009 symposium on new frontiers in human-robot interaction*, 2009.
- A. Coninx, P. E. Baxter, E. Oleari, S. Bellini, B. Bierman, O. Henkemans, L. Cañamero, P. Cosi, V. Enescu, R. Espinoza, et al. Towards long-term social child-robot interaction: using multi-activity switching to engage young users. *Journal of Human-Robot Interaction*, 2016.
- A. M. Cook, K. Adams, J. Volden, N. Harbottle, and C. Harbottle. Using lego robots to estimate cognitive ability in children who have severe physical disabilities. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 6(4):338–346, 2011.
- R. Cowie, E. Douglas-Cowie, and C. Cox. Beyond emotion archetypes: Databases for emotion modelling using neural networks. *Neural networks*, 18(4):371–388, 2005.
- K. Dautenhahn, C. L. Nehaniv, M. L. Walters, B. Robins, H. Kose-Bagci, N. A. Mirza, and M. Blow. Kaspar – a minimally expressive humanoid robot for human-robot interaction research. *Applied Bionics and Biomechanics*, 6(3–4):369–397, 2009.
- K. Lopez de Ipiña, J. B. Alonso, J. Solé-Casals, N. Barroso, P. Henriquez, M. Faundez-Zanuy, C. M. Travieso, M. Ecay-Torres, P. Martínez-Lage, and H. Eguiraun. On automatic diagnosis of alzheimer’s disease based on spontaneous speech analysis and emotional temperature. *Cognitive Computation*, 7(1):44–55, 2015.

- A. Delaborde, M. Tahon, C. Barras, and L. Devillers. A wizard-of-oz game for collecting emotional audio data in a children-robot interaction. In *Proceedings of the International Workshop on Affective-Aware Virtual Agents and Social Robots*, page 5. ACM, 2009.
- V. Delić, D. Pekar, R. Obradović, N. Jakovljević, and D. Mišković. A review of alfanum continuous automatic speech recognition system. *Proceedings of 12th SPECOM (Speech and Computer)*, pages 702–707, 2007.
- L. Devillers and I. Vasilescu. Reliability of lexical and prosodic cues in two real-life spoken dialog corpora. In *Proc LREC*. Citeseer, 2004.
- L. Devillers and L. Vidrascu. Real-life emotions detection with lexical and paralinguistic cues on human-human call center dialogs. In *Ninth International Conference on Spoken Language Processing*, 2006.
- M.M. Deza and E. Deza. *Encyclopedia of Distances*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- L. Dipietro, H. I. Krebs, B. T. Volpe, J. Stein, C. Bever, S. T. Mernoff, S. E. Fasoli, and N. Hogan. Learning, not adaptation, characterizes stroke motor recovery: Evidence from kinematic changes induced by robot-assisted therapy in trained and untrained task in the same workspace. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 20(1):48–57, 2012.
- T. J. Dishion, S. E. Nelson, C. E. Winter, and B. M. Bullock. Adolescent friendship as a dynamic system: Entropy and deviance in the etiology and course of male antisocial behavior. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 32(6):651–663, 2004.
- E. Douglas-Cowie, N. Campbell, R. Cowie, and P. Roach. Emotional speech: Towards a new generation of databases. *Speech Communication*, 40(1): 33–60, 2003.
- E. Douglas-Cowie, R. Cowie, I. Sneddon, C. Cox, O. Lowry, M. McRorie, J. C. Martin, L. Devillers, S. Abrilian, A. Batliner, N. Amir, and K. Karpouzis. The humane database: Addressing the collection and annotation of

- naturalistic and induced emotional data. In A. C. R. Paiva, R. Prada, and R. W. Picard, editors, *Affective Computing and Intelligent Interaction*, pages 488–500. Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- T. J. Eilersen and C. Navarretta. A multimodal corpus of communicative behaviors of disabled individuals during hri. In *LREC Workshop Multimodal Corpora – Combining applied and basic research targets*, pages 33–36, 2014.
- I. S. Engberg, A. V. Hansen, O. Andersen, and P. Dalsgaard. Design, recording and verification of a danish emotional speech database. In *Fifth European Conference on Speech Communication and Technology*, 1997.
- Do. Estival, S. Cassidy, F. Cox, and D. Burnham. Austalk: an audio-visual corpus of australian english. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, 2014.
- J. Fasola and M. J. Mataric. Using socially assistive human – robot interaction to motivate physical exercise for older adults. *Proceedings of the IEEE*, 100(8):2512–2526, 2012.
- M. Faundez-Zanuy, A. Hussain, J. Mekyska, E. Sesa-Nogueras, E. Monte-Moreno, A. Esposito, M. Chetouani, J. Garre-Olmo, A. Abel, Z. Smekal, and K. Lopez de Ipiña. Biometric applications related to human beings: There is life beyond security. *Cognitive Computation*, 5(1):136–151, 2013.
- R. Fernandez and R. W. Picard. Modeling drivers' speech under stress. *Speech Communication*, 40(1):145–159, 2003.
- G. G. Fluet, Q. Qiu, D. Kelly, H. D. Parikh, D. Ramirez, S. Saleh, and S. V. Adamovich. Interfacing a haptic robotic system with complex virtual environments to treat impaired upper extremity motor function in children with cerebral palsy. *Developmental neurorehabilitation*, 13(5):335–345, 2010.
- D. J. France, R. G. Shiavi, S. Silverman, M. Silverman, and M. Wilkes. Acoustical properties of speech as indicators of depression and suicidal risk. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 47(7):829–837, 2000.

- N. M. Fraser and G. N. Gilbert. Simulating speech systems. *Computer Speech & Language*, 5(1):81–99, 1991.
- M. Fridin and M. Belokopytov. Robotics agent coacher for cp motor function (rac cp fun). *Robotica*, 32(8):1265–1279, 2014.
- D. Genzel and E. Charniak. Entropy rate constancy in text. In *Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*, ACL '02, pages 199–206, Stroudsburg, PA, USA, 2002. Association for Computational Linguistics. doi: 10.3115/1073083.1073117.
- B. Gerkey, R. T. Vaughan, and A. Howard. The player/stage project: Tools for multi-robot and distributed sensor systems. In *Proceedings of the 11th international conference on advanced robotics*, volume 1, pages 317–323, 2003.
- M. Gnjatović. Therapist-centered design of a robot’s dialogue behavior. *Cognitive Computation*, 6(4):775–788, 2014.
- M. Gnjatović and B. Borovac. *Toward Conscious-Like Conversational Agents*, pages 23–45. Springer International Publishing, 2016.
- M. Gnjatović and V. Delić. End-user design of emotion-adaptive dialogue strategies for therapeutic purposes. In S. Bassis, A. Esposito, and F. C. Morabito, editors, *Recent Advances of Neural Network Models and Applications*, pages 371–378. Springer International Publishing, 2014a.
- M. Gnjatović and V. Delić. Cognitively-inspired representational approach to meaning in machine dialogue. *Knowledge-Based Systems*, 71:25–33, 2014b.
- M. Gnjatović and D. Rösner. Inducing genuine emotions in simulated speech-based human-machine interaction: The nimitex corpus. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1(2):132–144, 2010.
- M. Gnjatović, M. Janev, and V. Delić. Focus tree: modeling attentional information in task-oriented human-machine interaction. *Applied Intelligence*, 37(3):305–320, 2012a.
- M. Gnjatović, J. Tasevski, M. Nikolić, D. Mišković, B. Borovac, and V. Delić. Adaptive multimodal interaction with industrial robot. In *Intelligent*

- Systems and Informatics (SISY)*, 2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium on, pages 329–333. IEEE, 2012b.
- M. Gnjatović, J. Tasevski, and D. Mišković. Human-machine interaction in therapy of gross motor skill disorders in children. In *Proc. 2nd International Conference TAKTONS*, 2013a.
- M. Gnjatović, J. Tasevski, D. Mišković, M. Nikolić, B. Borovac, and V. Delić. Linguistic encoding of motion events in robotic system. In *Proc. 6th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology*, 2013b.
- M. Gnjatović, D. Mišković, S. Savić, B. Borovac, N. Maček, and B. Trenkić. A novel modular architecture for conversational robotic agents. 2017a.
- M. Gnjatović, J. Tasevski, D. Mišković, S. Savić, B. Borovac, A. Mikov, and R. Krasnik. Pilot corpus of child-robot interaction in therapeutic settings. In *2017 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, pages 000253–000258, Sept 2017b. doi: 10.1109/CogInfoCom.2017.8268252.
- M. Gnjatović, J. Tasevski, B. Borovac, and N. Maček. An entropy-based approach to automatic detection of critical changes in human-machine interaction. In *9th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, 2018. in press.
- P. Gómez-Vilda, V. Rodellar-Biarge, V. Nieto-Lluis, C. Muñoz-Mulas, L. M. Mazaira-Fernández, R. Martínez-Olalla, A. Álvarez-Marquina, C. Ramírez-Calvo, and M. Fernández-Fernández. Characterizing neurological disease from voice quality biomechanical analysis. *Cognitive Computation*, 5(4): 399–425, 2013.
- J. Gorisch, C. Astésano, E. G. Bard, B. Bigi, and L. Prévot. Aix map task corpus: the french multimodal corpus of task-oriented dialogue. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, 2014.
- G. Gravier, G. Adda, N. Paulsson, M. Carré, A. Giraudel, and O. Galibert. The etape corpus for the evaluation of speech-based tv content processing

- in the french language. In *Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12)*, 2012.
- B.J. Grosz and C.L. Sidner. Attention, Intentions, and the Structure of Discourse. *Computational Linguistics*, 12(3):175–204, 1986.
- K. El Haddad, H. Cakmak, S. Dupont, and T. Dutoit. Avab-dbs: an audio-visual affect bursts database for synthesis. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 2016.
- M.A.K. Halliday and C.M.I.M. Matthiessen. *An introduction to functional grammar*. Routledge, 3 edition, 2014.
- J. G. Han, N. Campbell, K. Jokinen, and G. Wilcock. Investigating the use of non-verbal cues in human-robot interaction with a nao robot. In *2012 IEEE 3rd International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, 2012a.
- J. G. Han, E. Gilmartin, C. DeLooze, B. Vaughan, and N. Campbell. The herme database of spontaneous multimodal human-robot dialogues. In *Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12)*, 2012b.
- J. H. L. Hansen and S. E. Bou-Ghazale. Getting started with susas: A speech under simulated and actual stress database. In *Fifth European Conference on Speech Communication and Technology*, 1997.
- S. Hennig, R. Chellali, and N. Campbell. The d-ans corpus: the dublin-autonomous nervous system corpus of biosignal and multimodal recordings of conversational speech. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, 2014.
- R. Herms, L. Seelig, S. Münch, and M. Eibl. A corpus of read and spontaneous upper saxon german speech for asr evaluation. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 2016.

- P. Holthaus, C. Leichsenring, J. Bernotat, V. Richter, M. Pohling, B. Carlmeyer, N. Köster, S. Meyer zu Borgsen, R. Zorn, B. Schiffhauer, K. F. Engelmann, F. Lier, S. Schulz, P. Cimiano, F. Eyssel, T. Hermann, F. Kummert, D. Schlangen, S. Wachsmuth, P. Wagner, B. Wrede, and S. Wrede. How to address smart homes with a social robot? a multi-modal corpus of user interactions with an intelligent environment. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 2016.
- M. Jakovljević, D. Mišković, M. Janev, and D. Pekar. A decoder for large vocabulary speech recognition. In *Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2011 18th International Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2011.
- D. B. Jayagopi, S. Sheikhi, D. Klotz, J. Wienke, JM. Odobez, S. Wrede, V. Khalidov, L. Nguyen, B. Wrede, and D. Gatica-Perez. The vernissage corpus: A multimodal human-robot-interaction dataset. page 8, 2012.
- M. J. Johnson. Recent trends in robot-assisted therapy environments to improve real-life functional performance after stroke. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 3:29–34, 2006.
- K. Jokinen and M. McTear. Spoken dialogue systems. *Synthesis Lectures on Human Language Technologies*, 2(1):1–151, 2009.
- D. Jurafsky and J. H. Martin. *Speech and language processing*, volume 3. Pearson London / Prentice Hall, 2009.
- G. Keren and M. Fridin. Kindergarten social assistive robot (kindsar) for children’s geometric thinking and metacognitive development in preschool education: A pilot study. *Computers in Human Behavior*, 35:400–412, 2014.
- M. Kienast and W. F. Sendlmeier. Acoustical analysis of spectral and temporal changes in emotional speech. In *ISCA Tutorial and Research Workshop (ITRW) on Speech and Emotion*, 2000.
- V. Konovalov, R. Artstein, O. Melamud, and I. Dagan. The negochat corpus of human–agent negotiation dialogues. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC*

- 2016), 2016.
- V. Kozyavkin, O. Kachmar, and I. Ablikova. Humanoid social robots in the rehabilitation of children with cerebral palsy. In *Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, pages 430–431. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2014.
- H. I. Krebs, B. Ladenheim, C. Hippolyte, L. Monterroso, and J. Mast. Robot-assisted task-specific training in cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 51:140–145, 2009.
- G. Kwakkel, B. J. Kollen, and H. I. Krebs. Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: A systematic review. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 22(2):111–121, 2008.
- J. Lopes, A. Chorianopoulou, E. Palogiannidi, H. Moniz, A. Abad, K. Louka, E. Iosif, and A. Potamianos. The spedal datasets: datasets for spoken dialogue systems analytics. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 2016.
- N. Lubis, R. Gomez, S. Sakti, K. Nakamura, K. Yoshino, S. Nakamura, and K. Nakadai. Construction of japanese audio-visual emotion database and its application in emotion recognition. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 2016.
- A. Makarenko, A. Brooks, and T. Kaupp. Orca: Components for robotics. In *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 163–168, 2006.
- N. A. Malik, H. Yussof, and F. A. Hanapiah. Interactive scenario development of robot-assisted therapy for cerebral palsy: A face validation survey. *Procedia Computer Science*, 105:322–327, 2017.
- N. Abdul Malik, H. Yussof, F. A. Hanapiah, and S. J. Anne. Human robot interaction (hri) between a humanoid robot and children with cerebral palsy: Experimental framework and measure of engagement. In *2014 IEEE*

- Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)*, pages 430–435, 2014.
- E. McMahon, R. Cowie, S. Kasderidis, J. Taylor, and S. Kollias. What chance that a dc could recognise hazardous mental states from sensor outputs. *Tales of the disappearing computer*, 2003.
- C. S. Mejías, C. Echevarría, P. Nuñez, L. Manso, P. Bustos, S. Leal, and C. Parra. Ursus: A robotic assistant for training of children with motor impairments. pages 249–253, 2013.
- G. Metta, P. Fitzpatrick, and L. Natale. Yarp: yet another robot platform. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 3(1):8, 2006.
- A. Meyer-Heim and H. J. A. van Hedel. Robot-assisted and computer-enhanced therapies for children with cerebral palsy: current state and clinical implementation. In *Seminars in pediatric neurology*, volume 20, pages 139–145. Elsevier, 2013.
- D. Mišković, M. Gnjatović, V. Delić, B. Borovac, and J. Tasevski. Когнитивна платформа за управљање конверзационим агентом. Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2015.
- C. Morris. Definition and classification of cerebral palsy: a historical perspective. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49:3–7, 2007.
- R. Muhr. The pronouncing dictionary of austrian german (agpd) and the austrian phonetic database (adaba): Report on a large phonetic resources database of the three major varieties of german. In *LREC*, 2008.
- P. M. Newman. Moos-mission orientated operating suite. Ouel report, Department of Engineering Science, University of Oxford, 2008.
- N. Oostdijk, W. Goedertier, and J. P. Martens. The spoken dutch corpus project. *The ELRA newsletter*, 5(2):4–8, 2000.
- V. Perez-Rosas, R. Mihalcea, A. Narvaez, and M. Burzo. A multimodal dataset for deception detection. In *Proceedings of the Ninth International*

- Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, 2014.
- H. Pirker and G. Loderer. I said "two tickets": How to talk to a deaf wizard. In *ESCA Tutorial and Research Workshop (ETRW) on Dialogue and Prosody*, 1999.
- C. Plaisant, A. Druin, C. Lathan, K. Dakhane, K. Edwards, J. M. Vice, and J. Montemayor. A storytelling robot for pediatric rehabilitation. In *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies*, pages 50–55. ACM, 2000.
- T. S. Polzin and A. Waibel. Emotion-sensitive human-computer interfaces. 2000.
- J. C. Pulido, J. C. González, C. Suárez-Mejías, A. Bandera, P. Bustos, and F. Fernández. Evaluating the child–robot interaction of the naotherapist platform in pediatric rehabilitation. *International Journal of Social Robotics*, 9(3):343–358, 2017.
- M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Y. Ng. Ros: an open-source robot operating system. In *ICRA workshop on open source software*, volume 3, page 5. Kobe, Japan, 2009.
- D. J. Ricks and M. B. Colton. Trends and considerations in robot-assisted autism therapy. In *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 4354–4359, 2010.
- A. R. Rincón, K. Sirard, A. Wainer, and K. Adams. Lego robots promoting mother-child communication during free play: A pilot study with a child with severe motor impairment, 2013.
- F. Ringeval, A. Sonderegger, J. Sauer, and D. Lalanne. Introducing the recola multimodal corpus of remote collaborative and affective interactions. In *Automatic Face and Gesture Recognition (FG), 2013 10th IEEE International Conference and Workshops on*, pages 1–8. IEEE, 2013.
- P. Rosenbaum, N. Paneth, A. Leviton, M. Goldstein, M. Bax, D. Damiano, B. Dan, and B. Jacobsson. A report: the definition and classification of

- cerebral palsy april 2006. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49: 8–14, 2007.
- D. Rösner, J. Frommer, R. Friesen, M. Haase, J. Lange, and M. Otto. Last minute: a multimodal corpus of speech-based user-companion interactions. In *LREC*, pages 2559–2566, 2012.
- D. Rösner, R. Friesen, S. Günther, and R. Andrich. Modeling and evaluating dialog success in the last minute corpus. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, 2014.
- S. Rukavina, S. Gruss, S. Walter, H. Hoffmann, and H. C. Traue. Open_emorec_ii: A multimodal corpus of human-computer interaction. volume 9, pages 977–983, 2015.
- K. Scherer and G. Ceschi. Lost luggage: A field study of emotion–antecedent appraisal. 21:211, 09 1997.
- F. Schiel and U. Türk. *Wizard-of-Oz Recordings*, pages 541–570. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- S. Schreitter and B. Krenn. The ofai multi–modal task description corpus. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 2016.
- B. Schuppler, M. Hagmueller, J. A. Morales-Cordovilla, and H. Pessentheiner. Grass: the graz corpus of read and spontaneous speech. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, 2014.
- J. R. Searle. Collective intentions and actions. *Intentions in communication*, 401:401–02, 1990.
- J.R. Searle. Conversation. In J. L. Mey, X. Parret, and J. Verschueren, editors, *(On) Searle on conversation*, pages 7–29. John Benjamins Publishing Company, Philadelphia/Amsterdam, 1992.
- M. Sečujski, V. Delić, D. Pekar, R. Obradović, and D. Knežević. An overview of the alfanum text-to-speech synthesis system. *Proceedings of*

- 12th SPECOM (Speech and Computer)*, pages 3–7, 2007.
- C. E. Shannon. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3):379–423, 1948a. ISSN 0005-8580. doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.
- C. E. Shannon. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(4):623–656, 1948b. ISSN 0005-8580. doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x.
- C.E. Shannon and W. Weaver. *The Mathematical Theory of Communication*. Number 1 in The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, 1949.
- S. Shen, P. Slovak, and M. F. Jung. Stop, i see a conflict happening.: A robot mediator for young children’s interpersonal conflict resolution. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pages 69–77. ACM, 2018.
- F. Y. Shih. *Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques*. John Wiley & Sons, 2010.
- J. Sinclair. Corpus and text-basic principles. *Developing linguistic corpora: A guide to good practice*, pages 1–16, 2005.
- R. Stibbard. *Vocal expression of emotions in non-laboratory speech*. PhD thesis, University of Reading, 2001.
- T. Sukal-Moulton, T. Clancy, LQ. Zhang, and D. Gaebler-Spira. Clinical application of a robotic ankle training program for cerebral palsy compared to the research laboratory application: does it translate to practice? *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95(8):1433–1440, 2014.
- M. Tahon, A. Delaborde, C. Barras, and L. Devillers. A corpus for identification of speakers and their emotions. In *Proc LREC*, 2010.
- J. Tasevski, D. Mišković, M. Gnjatović, M. Nikolić, B. Borovac, and V. Delić. Роботски систем са интегрисаним системима за обраду слике и говора и конверзационим агентом. Ново техничко решење – прототип, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2012.

- J. Tasevski, M. Nikolić, and D. Mišković. Integration of an industrial robot with the systems for image and voice recognition. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 10(1):219–230, 2013.
- J. Tasevski, M. Gnjatović, and B. Borovac. Assessing the children’s receptivity to the robot marko. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2018. in press.
- S. Thill, C. A. Pop, T. Belpaeme, T. Ziemke, and B. Vanderborght. Robot-assisted therapy for autism spectrum disorders with (partially) autonomous control: Challenges and outlook. *Paladyn*, 3(4):209–217, 2012.
- E. Tognini-Bonelli. *Corpus linguistics at work*, volume 6. John Benjamins Publishing, 2001.
- T. Tokunaga, R. Iida, A. Terai, and N. Kuriyama. The rex corpora: A collection of multimodal corpora of referring expressions in collaborative problem solving dialogues. In *Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC’12)*, 2012.
- M.S. van der Knaap, S. Naidu, S.N. Breiter, S. Blaser, H. Stroink, S. Springer, J.C. Begeer, R. van Coster, P.G. Barth, N.H. Thomas, J.Valk, and J.M. Powers. Alexander disease: Diagnosis with mr imaging. *American Journal of Neuroradiology*, 22(3):541–552, 2001.
- B. Vanderborght, R. Simut, J. Saldien, C. Pop, A. Rusu, S. Pintea, D. Lefeber, and D. O. David. Using the social robot proba as a social story telling agent for children with asd. 13, 2012.
- M. A. Walker, R. Passonneau, and J. E. Boland. Quantitative and qualitative evaluation of darpa communicator spoken dialogue systems. In *Proceedings of the 39th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics, ACL ’01*, pages 515–522. Association for Computational Linguistics, 2001.
- Y. Wilks. Is there progress on talking sensibly to machines? *Science*, 318 (5852):927–928, 2007.
- S. Yacoub, S. Simske, X. Lin, and J. Burns. Recognition of emotions in interactive voice response systems. In *Eighth European conference on speech*

- communication and technology*, 2003.
- J. W. Yoo, D. R. Lee, Y. J. Sim, J. H. You, and C. J. Kim. Effects of innovative virtual reality game and emg biofeedback on neuromotor control in cerebral palsy. *Bio-medical materials and engineering*, 24(6):3613–3618, 2014.
- S. H. You, S. H. Jang, YH. Kim, YH. Kwon, I. Barrow, and M. Hallett. Cortical reorganization induced by virtual reality therapy in a child with hemiparetic cerebral palsy. *Developmental medicine and child neurology*, 47(9):628–635, 2005.
- S. Zarrieß, J. Hough, C. Kennington, R. Manuvinakurike, D. DeVault, R. Fernandez, and D. Schlangen. Pentoref: A corpus of spoken references in task-oriented dialogues. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*, 2016.

Прилог А

Транскрипт изабраног дијалога

У овом прилогу је дат пример транскрибованог и етикетираног дијалога између детета *s25* и конверзационог робота МАРКА.

Значење ознака:

- *rv* — вербални дијалошки чин робота,
- *cv* — вербални дијалошки чин детета,
- *rn* — невербални дијалошки чин робота,
- *cn* — невербални дијалошки чин детета,
- *ma* — низ дијалошких чинова робота, чија реализовања могу бити и преклопљена,
- *mac* — низ дијалошких чинова детета, чија реализовања могу бити и преклопљена,
- *mix* — преклопљено реализовање дечијих и роботских дијалошких чинова.

```
<session id="s25" date="21.06.2017." durationF="5m41s" durationC="6m21s">
```

```
<beep />
```

```
<part>
```

```
<seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
```

```
<ma>
```

```
<rn2 />
```

```
<rv>zdravo bas sam srecan sto mozemo da se druzimo danas</rv>
```

```
<rv>ja sam robot marko i do sao sam ovde da upoznam sto vise  
drugara a kako se ti zoves</rv>
```

```
</ma>
```

```
<cv><ime deteta></cv>
```

```
<cn1 />
```

```

</seq>
<seq dact="R-stat" outcome="" time="_">
  <rv><ime deteta> to je bas lepo ime</rv>
</seq>
<seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>kazi mi <ime deteta> jesmo li se mi vec upoznali</rv>
  <cv>da</cv>
</seq>
<seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>jesmo da da delujes mi jako poznato da li ti je drago sto me opet
  vidis</rv>
  <cn1 />
  <cv>da</cv>
</seq>
<seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
  <mix>
    <rv><ime deteta> ja imam sedam godina ali se ne secam koliko ti imas
    godina hoces li mi ponovo reci</rv>
    <cv>sest</cv>
  </mix>
  <cv>sest</cv>
</seq>
</part>

<part>
  <seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
    <rv>super da li zelis da cujes sta ja imam da ti ispri sam sada</rv>
    <cv>da</cv>
  </seq>
  <seq dact="R-stat" outcome="" time="_">
    <ma>
      <rn6 />
      <rv>nekada davno robot marko je bio tuzan</rv>
    </ma>
    <ma>
      <rn7 />
      <rv>marko je bio tuzan jer je izgubio omiljenu igracku
      svoju zutu zirafu</rv>
    </ma>
    <ma>
      <rn7 />
      <rv>odjednom necega se setio</rv>
    </ma>
    <rv>pomislio je da ti mozes da mu pomognes</rv>
    <rv>pomislio je da njegov drugar <ime deteta> moze da mu pomogne</rv>
    <cn1 />
  </seq>
  <seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
    <rv><ime deteta> hoces li da mi pomognes</rv>
    <cv>da</cv>
  </seq>
  <seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
    <rv><ime deteta> zuta zirafa je moja omiljena igracka da li znas
    gde je moja igracka</rv>
    <mix>
      <cv>mnn</cv>
    <ma>
      <rn6 />
      <rv>ne znam sta da odgovorim</rv>
      <rv><ime deteta> jesi li mozda videla moju igracku bila

```

```

        je tu negde ali je ja sada ne vidim</rv>
        <cv>da</cv>
    </ma>
</mix>
<cv>dole</cv>
<cn1 />
</seq>
<seq dact="R-comm1" outcome="C-corr" time="_">
    <rv><ime deteta> molim te da mi je dodas</rv>
    <cn1 />
</seq>
<seq dact="R-stat" outcome="" time="_">
    <rv>hvala ti puno sada vise necu biti tuzan zato sto imam svoju
    igracku i novog prijatelja a to si ti</rv>
    <cn1 />
</seq>
</part>

<part>
    <seq dact="R-stat" outcome="" time="_">
        <rv>znas meni su rekli da ovde mozemo da radimo vezbe</rv>
        <rv>hajde da uradimo neke vezbe zajedno</rv>
        <rv>ja sam naucio neke pre nego sto sam dosao</rv>
    </seq>
    <seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
        <mix>
            <rv>hoces li da ti pokazem kako ja izvodim vezbu</rv>
            <cv>da</cv>
            <cv>da</cv>
        </mix>
    </seq>
    <seq dact="R-comm1" outcome="C-corr" time="_">
        <ma>
            <rn6 />
            <rv>vidi koliko mogu da podignem ruku koliko visoko ti
            mozes da podignes ruku</rv>
        </ma>
        <cn3 />
    </seq>
    <seq dact="R-comm1" outcome="C-corr" time="_">
        <rv>da li mozes da ponovis isto sto i ja</rv>
        <mix>
            <cv>da</cv>
            <ma>
                <rn2 />
                <rv>ovde se nalazi moja glava ja umem da je pokazem
                mozes li ti da pokazes svoju glavu</rv>
            </ma>
            <cn3 />
            <cv>da</cv>
            <cn4 />
        </mix>
    </seq>
    <seq dact="R-comm1" outcome="C-corr" time="_">
        <ma>
            <rn5 />
            <rv>vidis li ovo ovde to je moj stomak moj stomak
            ponekad moze da svetli gde se nalazi tvoj stomak</rv>
        </ma>
        <mac>

```

```

    <cn5 />
    <cv>tu</cv>
    <cn1 />
  </mac>
</seq>
<seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>moze li tvoj stomak da svetli</rv>
  <cv>ne</cv>
</seq>
<seq dact="R-comm1" outcome="C-corr" time="_">
  <ma>
    <rn8 />
    <rv>ja mogu da gledam u levu stranu a da ne pomeram
      glavu umes li ti tako</rv>
  </ma>
  <mac>
    <cn6 />
    <cv>da</cv>
  </mac>
</seq>
<seq dact="R-ques4" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>zelis li da ja ponovo uradim tu vezbu</rv>
  <cv>ne</cv>
  <rv>ne</rv>
</seq>
<seq dact="R-comm1" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>ja mogu da gledam u levu stranu a da ne pomeram
    glavu umes li ti tako</rv>
  <mac>
    <cn7 />
    <cv>da</cv>
    <cn6 />
  </mac>
</seq>
<seq dact="R-ques1" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>hoces li da ti pokazem kako ja izvodim vezbu</rv>
  <cv>da</cv>
</seq>
<seq dact="R-comm1" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>ovde se nalazi moja glava ja umem da je pokazem
    mozes li ti da pokazes svoju glavu</rv>
  <mix>
    <rn2 />
    <cv>da</cv>
    <cn4 />
  </mix>
</seq>
<seq dact="R-comm3" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>nisam te najbolje razumeo</rv>
  <rv>da li mozes da ponovis isto sto i ja</rv>
  <cv>da</cv>
  <cn4 />
</seq>
<seq dact="R-comm4" outcome="C-corr" time="_">
  <rv>gledaj me kako cu ja da ponovim ono sto sam dugo
    uvezbavao hajde i ti vezbaj sa mnom</rv>
  <rn5 />
  <cn5 />
</seq>
<seq dact="R-comm4" outcome="C-corr" time="_">

```

```
<rn6 />  
<mix>  
  <rv>da li mozes da ponovis isto sto i ja</rv>  
  <cn3 />  
  <cv>da</cv>  
</mix>  
<cn5 />  
<cn3 />  
</seq>  
</part>  
  
</session>
```


Прилог Б

Етикетирани дијалози

У овом прилогу су приказани сви етикетирани дијалози између субјеката и конверзационог хуманоидног робота МАРКА. Дијалози су етикетирани у односу на усвојену општу класификацију дијалošких чинова.

S₁

R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₄ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr

S₂

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₄ C-inc R-comm₃ C-corr R-ques₃ C-corr

S₃

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-ques₁ C-corr

S₄

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-off R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr

S5

*R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat
R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁
C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr
R-stat R-comm₁ C-nor R-comm₃ C-nor R-ques₃ C-corr R-comm₄ C-corr*

S6

*R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat
R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁
C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr
R-comm₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr*

S7

*R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat
R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-comm₁
C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-
corr R-comm₄ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄
C-corr R-ques₃ C-corr R-ques₂ C-corr*

S8

*R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-
ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁
C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-nor R-ques₃ C-corr
R-comm₄ C-corr R-ques₁ C-nor R-ques₃ C-corr R-ques₄ C-corr R-ques₄ C-corr R-ques₄
C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-inc R-comm₃ C-corr*

S9

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-ques₁ C-part R-stat R-ques₁ C-
corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat
R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-
comm₁ C-inc R-ques₃ C-inc R-ques₃ C-inc R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₄
C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr
R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄
C-corr R-ques₄ C-corr R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-part R-comm₃ C-corr
R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat*

S10

*R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-part R-ques₂ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁
C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-comm₁ C-part R-ques₃
C-corr R-comm₃ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr
R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr*

*R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr
R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-ques₄ C-corr R-comm₄
C-corr R-comm₄ C-corr R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-stat*

S₁₁

*R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-
corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr
R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr
R-comm₄ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-
corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr
R-stat R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-ques₁
C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-ques₄
C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-ques₄ C-corr*

S₁₂

*R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat
R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr
R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr
R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-ques₁
C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-inc R-stat R-ques₁
C-corr R-comm₄ C-inc R-comm₄ C-inc R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-inc R-stat
R-ques₁ C-corr R-stat*

S₁₃

*R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr
R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-
corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-nor R-comm₃ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁
C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁
C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-inc R-comm₄
C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-inc R-ques₁ C-corr R-comm₄
C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-stat*

S₁₄

*R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-
stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr
R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-nor R-ques₃ C-nor R-
ques₃ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-comm₄
C-corr R-stat R-comm₁ C-nor R-comm₃ C-nor R-stat R-ques₁ C-nor R-ques₃ C-nor R-
stat*

S₁₅

R-stat R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₂ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-inc R-ques₃ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₂ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-inc R-comm₃ C-inc R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-part R-ques₃ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat

S16

R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat

S17

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-ques₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-inc R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-part R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat

S18

R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-comm₃ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-nor R-stat

S19

R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-part R-ques₃ C-inc R-ques₁ C-part R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₄ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-inc R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-inc R-comm₃ C-corr R-stat R-comm₁ C-inc R-comm₃ C-corr R-comm₁ C-inc R-comm₃ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr R-stat

S20

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat

S21

R-ques₁ C-corr R-ques₂ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat

S22

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat

S23

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat

S24

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat

S25

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₄ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₃ C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₄ C-corr

S26

R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-

*ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-inc R-comm₁ C-corr R-ques₁
C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr*

S27

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-stat R-
ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁
C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-
corr R-comm₄ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-comm₁ C-corr*

S28

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-
corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₄ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat
R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat
R-ques₁ C-inc R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄
C-inc R-comm₃ C-corr R-comm₃ C-corr R-comm₄ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-
comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-inc R-comm₃ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁
C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat*

S29

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-
corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁
C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr
R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr
R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat
R-ques₄ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-ques₄
C-corr R-comm₄ C-inc R-comm₃ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat
R-ques₁ C-corr R-stat*

S30

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-part R-ques₃ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr
R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-stat R-
comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-
stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁
C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr
R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₄ C-corr
R-stat R-ques₃ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr
R-stat*

S31

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-
corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat*

*R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr
R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-comm₃ C-corr
R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁
C-corr R-stat*

S32

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-
corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr
R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr
R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄
C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat*

S33

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-part R-ques₃ C-corr R-ques₁ C-part R-ques₃ C-corr R-
ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr
R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-
comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr
R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₄ C-inc R-
comm₃ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁
C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat*

S34

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-
corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-stat R-ques₁
C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-comm₃ C-corr
R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄ C-corr
R-stat R-ques₁ C-corr R-stat*

S35

*R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-
ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₃ C-corr R-comm₁ C-
corr R-stat R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₁ C-corr R-stat R-
comm₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-
comm₄ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat*

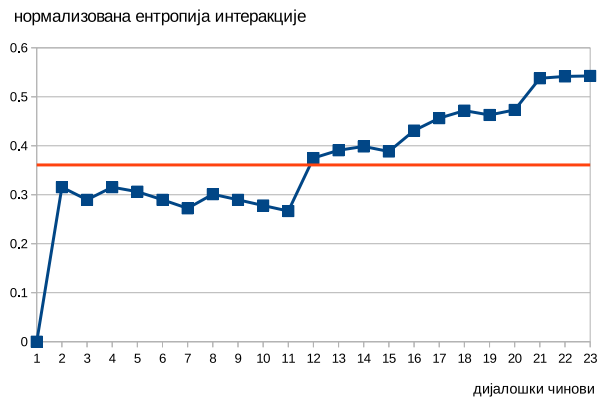
S36

*R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-ques₂ C-corr R-
stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat
R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-comm₁
C-corr R-stat R-comm₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-comm₄
C-corr R-stat R-comm₄ C-corr R-stat R-ques₁ C-corr R-stat*

Прилог В

Нормализоване дијалошке ентропије

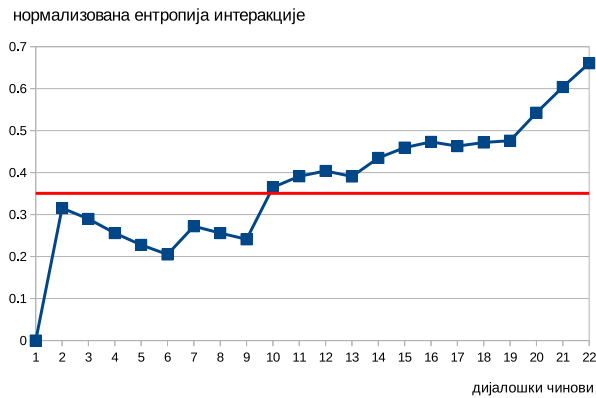
У овом прилогу су дате нормализоване дијалошке ентропије и њихови графички прикази за све дијалоге између субјеката и конверзационог хуманоидног робота МАРКА. За сваки дијалог су назначене вредност прага и дијалошки чин који означава тренутак критичне промене у дијалогу.



Слика В.1 Графичка репрезентација нормализованих дијалошких ентропија за дијалог између детета s_1 и робота МАРКА.

Табела В.1 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_1 и робота МАРКА.

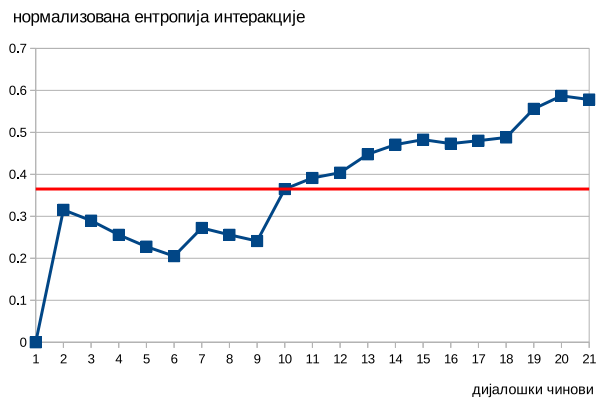
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3354648768$	$h_3 = 0,2896900823$	$h_4 = 0,3354648768$
$h_5 = 0,3063008096$	$h_6 = 0,2896900823$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,3030904053$
$h_9 = 0,2896900823$	$h_{10} = 0,2780363249$	$h_{11} = 0,2666785293$	$h_{12} = 0,375$
$h_{13} = 0,3908298323$	$h_{14} = 0,3986874053$	$h_{15} = 0,3883245069$	$h_{16} = 0,4330242849$
$h_{17} = 0,4563666203$	$h_{18} = 0,4737897203$	$h_{19} = 0,4629334463$	$h_{20} = 0,4733973352$
$h_{21} = 0,5377940662$	$h_{22} = 0,5435786373$	$h_{23} = 0,542620424$	
Вредност прага $\tau = 0,360848599$		Критична промена: d_{12}	

**Слика В.2** Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_2 и робота МАРКА.**Табела В.2** Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_2 и робота МАРКА.

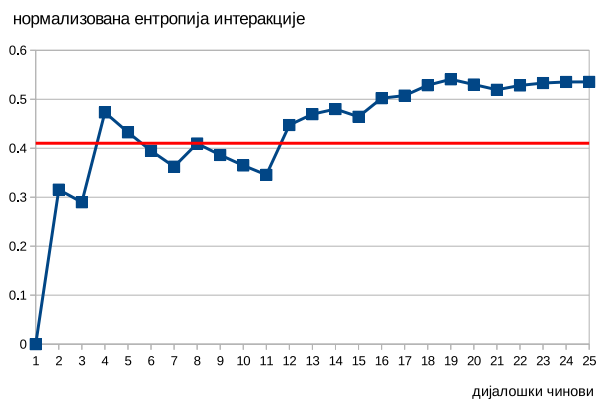
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3354648768$	$h_3 = 0,2896900823$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,2559297536$
$h_9 = 0,2430796805$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,3933879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,3908298323$	$h_{14} = 0,4349577649$	$h_{15} = 0,4594950232$	$h_{16} = 0,4733973352$
$h_{17} = 0,4633330775$	$h_{18} = 0,4737897203$	$h_{19} = 0,4760453783$	$h_{20} = 0,5425933002$
$h_{23} = 0,6038833853$	$h_{22} = 0,6605893245$		
Вредност прага $\tau = 0,350652986$		Критична промена: d_{10}	

Табела В.3 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_3 и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,2559297536$
$h_9 = 0,2410796805$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4478201528$	$h_{14} = 0,4708673131$	$h_{15} = 0,4827006836$	$h_{16} = 0,4731973152$
$h_{17} = 0,4801974405$	$h_{18} = 0,487907952$	$h_{19} = 0,5560706324$	$h_{20} = 0,5870687939$
$h_{21} = 0,5782029528$	$h_{22} =$		
Вредност прага $\tau = 0,3650155728$		Критична промена: d_{11}	



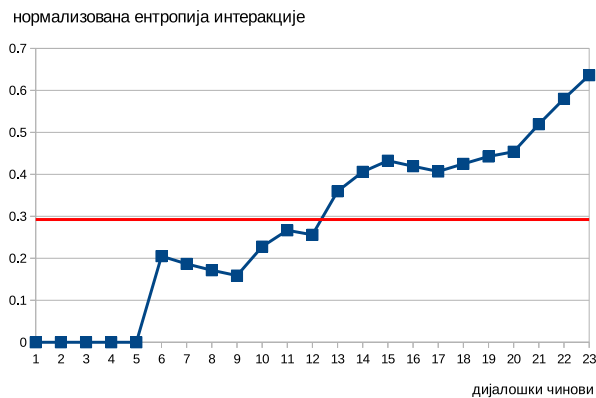
Слика В.3 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_3 и робота МАРКА.



Слика В.4 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_4 и робота МАРКА.

Табела В.4 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_4 и робота МАРКА.

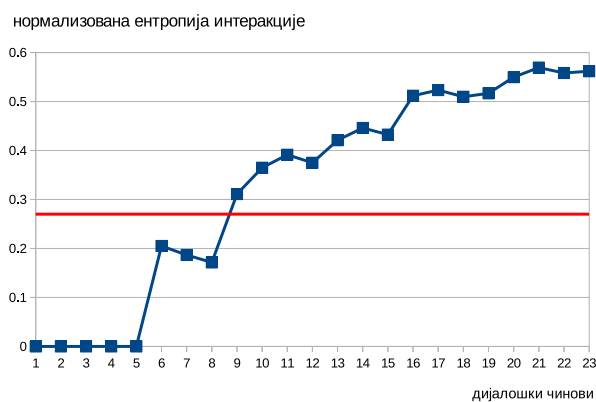
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,4731973152$
$h_5 = 0,4324867604$	$h_6 = 0,3948450411$	$h_7 = 0,3624170458$	$h_8 = 0,4097241859$
$h_9 = 0,3862534429$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,3456849151$	$h_{12} = 0,4474225205$
$h_{13} = 0,4695774487$	$h_{14} = 0,4800241759$	$h_{15} = 0,4642388261$	$h_{16} = 0,5021939592$
$h_{17} = 0,5074883995$	$h_{18} = 0,5286629989$	$h_{19} = 0,5408007288$	$h_{20} = 0,5301330546$
$h_{21} = 0,5193945566$	$h_{22} = 0,528180934$	$h_{23} = 0,5331186575$	$h_{24} = 0,5352943059$
$h_{25} = 0,5354450524$			
Вредност прага $\tau = 0,4102534176$		Критична промена: d_{12}	



Слика В.5 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_5 и робота МАРКА.

Табела В.5 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_5 и робота МАРКА.

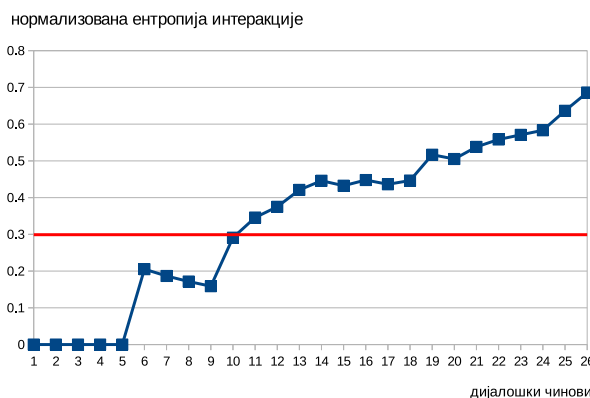
$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0$	$h_4 = 0$
$h_5 = 0$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,1866519802$	$h_8 = 0,1714754901$
$h_9 = 0,1587603286$	$h_{10} = 0,2277429575$	$h_{11} = 0,2666785291$	$h_{12} = 0,2559297536$
$h_{13} = 0,359666452$	$h_{14} = 0,4060203404$	$h_{15} = 0,4324867604$	$h_{16} = 0,4193897339$
$h_{17} = 0,406826205$	$h_{18} = 0,4250015503$	$h_{19} = 0,4425951459$	$h_{20} = 0,45387783$
$h_{21} = 0,5193945566$	$h_{22} = 0,5799406971$	$h_{23} = 0,6361217117$	
Вредност прага $\tau = 0,2923148973$		Критична промена: d_{13}	



Слика В.6 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_6 и робота МАРКА.

Табела В.6 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_6 и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0$	$h_4 = 0$
$h_5 = 0$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,1866519802$	$h_8 = 0,1714754901$
$h_9 = 0,3111829864$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,375$
$h_{13} = 0,4210443908$	$h_{14} = 0,4460041054$	$h_{15} = 0,4324867604$	$h_{16} = 0,5118595071$
$h_{17} = 0,5233498431$	$h_{18} = 0,5097295776$	$h_{19} = 0,5168113942$	$h_{20} = 0,5497725176$
$h_{21} = 0,569338533$	$h_{22} = 0,5582915614$	$h_{23} = 0,5619201271$	
Вредност прага $\tau = 0,2699692572$		Критична промена: d_9	



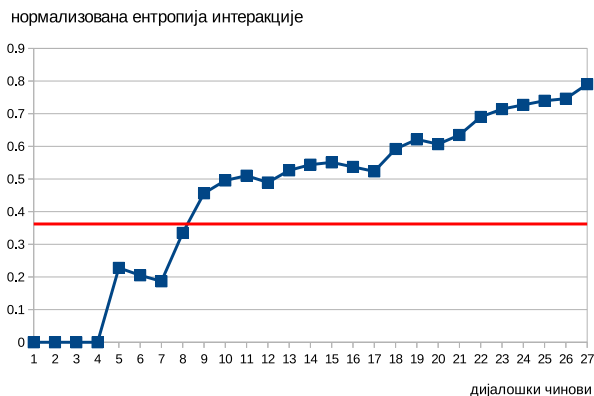
Слика В.7 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_7 и робота МАРКА.

Табела В.7 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_7 и робота МАРКА.

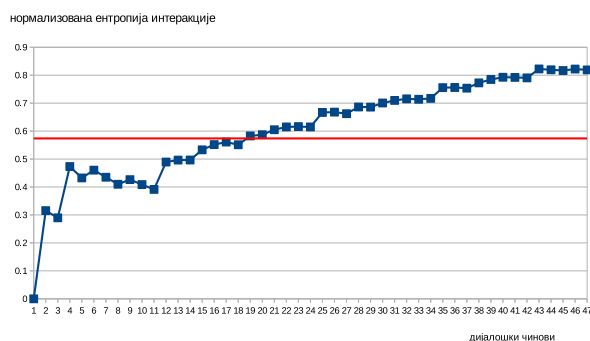
$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0$	$h_4 = 0$
$h_5 = 0$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,1866519802$	$h_8 = 0,1714754901$
$h_9 = 0,1587603286$	$h_{10} = 0,2908359329$	$h_{11} = 0,3456849151$	$h_{12} = 0,375$
$h_{13} = 0,4210443908$	$h_{14} = 0,4460041054$	$h_{15} = 0,4324867604$	$h_{16} = 0,4478770688$
$h_{17} = 0,4363194683$	$h_{18} = 0,4464676449$	$h_{19} = 0,5168113942$	$h_{20} = 0,5050637807$
$h_{21} = 0,5380988071$	$h_{22} = 0,5582915614$	$h_{23} = 0,5709043204$	$h_{24} = 0,5832907682$
$h_{25} = 0,636393813$	$h_{26} = 0,6861123791$		
Вредност прага $\tau = 0,2989469980$		Критична промена: d_{11}	

Табела В.8 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_8 и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0$	$h_4 = 0$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,1866519802$	$h_8 = 0,3347959728$
$h_9 = 0,4563567488$	$h_{10} = 0,4955797357$	$h_{11} = 0,5101665093$	$h_{12} = 0,4893169934$
$h_{13} = 0,5265677693$	$h_{14} = 0,5439900998$	$h_{15} = 0,5509486179$	$h_{16} = 0,5371797536$
$h_{17} = 0,5233498431$	$h_{18} = 0,5919249315$	$h_{19} = 0,621406205$	$h_{20} = 0,606708257$
$h_{21} = 0,6349030702$	$h_{22} = 0,6901988237$	$h_{23} = 0,7141542783$	$h_{24} = 0,7270156765$
$h_{25} = 0,7396069151$	$h_{26} = 0,7459819383$	$h_{27} = 0,7904487351$	
Вредност прага $\tau = 0,3621618162$		Критична промена: d_9	



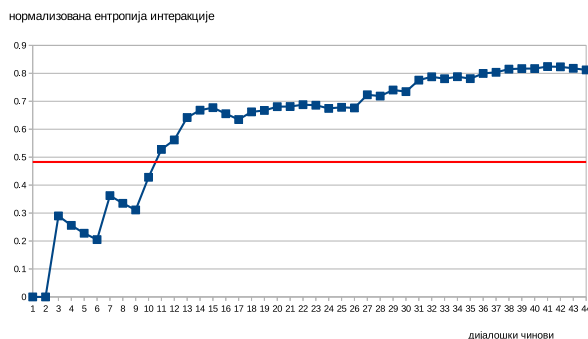
Слика В.8 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_8 и робота МАРКА.



Слика В.9 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_9 и робота МАРКА.

Табела В.9 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_9 и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,4731973152$
$h_5 = 0,4324867604$	$h_6 = 0,4603099179$	$h_7 = 0,4349577649$	$h_8 = 0,4097241859$
$h_9 = 0,4263962442$	$h_{10} = 0,4086727111$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4893169934$
$h_{13} = 0,4963532108$	$h_{14} = 0,4966733997$	$h_{15} = 0,5329723152$	$h_{16} = 0,5517478244$
$h_{17} = 0,5608917887$	$h_{18} = 0,5511698846$	$h_{19} = 0,5827961605$	$h_{20} = 0,5870687939$
$h_{21} = 0,6048587962$	$h_{22} = 0,6149875161$	$h_{23} = 0,6161510403$	$h_{24} = 0,6148670061$
$h_{25} = 0,6667070015$	$h_{26} = 0,6679383119$	$h_{27} = 0,6623755038$	$h_{28} = 0,6863090871$
$h_{29} = 0,6858549618$	$h_{30} = 0,7005374619$	$h_{31} = 0,7097735005$	$h_{32} = 0,7152975383$
$h_{33} = 0,7138545335$	$h_{34} = 0,7170623548$	$h_{35} = 0,7556223938$	$h_{36} = 0,756108023$
$h_{37} = 0,7536042869$	$h_{38} = 0,7725537798$	$h_{39} = 0,7847324711$	$h_{40} = 0,7927277839$
$h_{41} = 0,7921207466$	$h_{42} = 0,7904488668$	$h_{43} = 0,8223356829$	$h_{44} = 0,8193882974$
$h_{45} = 0,8168017849$	$h_{46} = 0,8219563423$	$h_{47} = 0,8188810245$	
Вредност прага $\tau = 0,5738582023$		Критична промена: d_{12}	

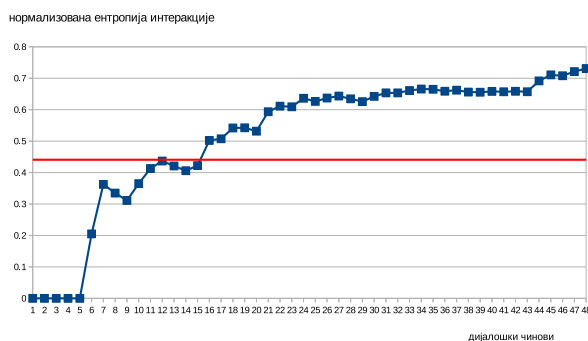


Слика В.10 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{10} и робота МАРКА.

Табела В.10 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{10} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,3624170458$	$h_8 = 0,3347959728$
$h_9 = 0,3111829864$	$h_{10} = 0,4280163249$	$h_{11} = 0,5277516128$	$h_{12} = 0,5617395139$
$h_{13} = 0,6419523847$	$h_{14} = 0,6681429921$	$h_{15} = 0,6771345686$	$h_{16} = 0,6554790824$
$h_{17} = 0,6346903878$	$h_{18} = 0,6620282375$	$h_{19} = 0,6671467443$	$h_{20} = 0,6806840755$
$h_{21} = 0,681175991$	$h_{22} = 0,6878357475$	$h_{23} = 0,6858319573$	$h_{24} = 0,674438197$
$h_{25} = 0,6783467532$	$h_{26} = 0,6761992885$	$h_{27} = 0,7232506278$	$h_{28} = 0,7185503078$
$h_{29} = 0,7402821442$	$h_{30} = 0,7344913145$	$h_{31} = 0,7756552615$	$h_{32} = 0,7875468862$
$h_{33} = 0,7806504936$	$h_{34} = 0,7879712704$	$h_{35} = 0,7809309263$	$h_{36} = 0,7994811548$
$h_{37} = 0,8036464737$	$h_{38} = 0,8150122119$	$h_{39} = 0,816838502$	$h_{40} = 0,8169600429$
$h_{41} = 0,8242518507$	$h_{42} = 0,8231730169$	$h_{43} = 0,8178677323$	$h_{44} = 0,8121811988$

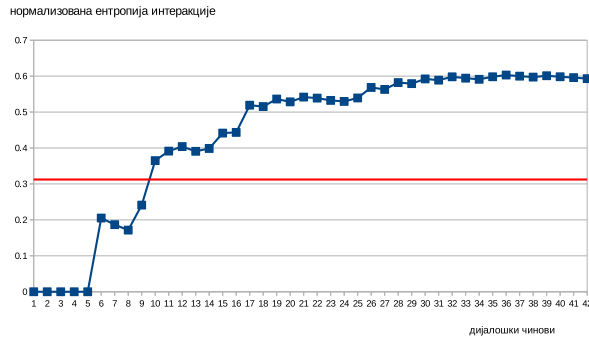
Вредност прага $\tau = 0,4827905264$ Критична промена: d_{11}



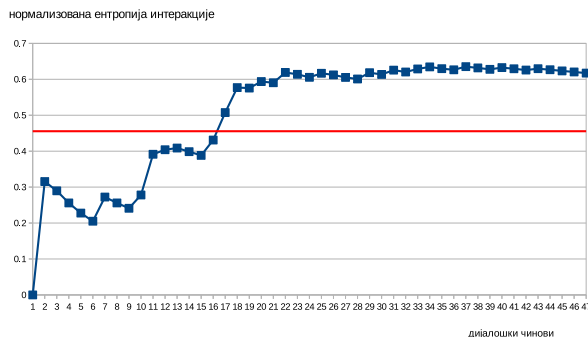
Слика В.11 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{11} и робота МАРКА.

Табела В.11 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{11} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0$	$h_4 = 0$
$h_5 = 0$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,3624170458$	$h_8 = 0,3347959728$
$h_9 = 0,3111829864$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,4130371121$	$h_{12} = 0,4367395139$
$h_{13} = 0,4210443908$	$h_{14} = 0,4060203404$	$h_{15} = 0,4221768425$	$h_{16} = 0,5021939592$
$h_{17} = 0,5074883995$	$h_{18} = 0,5418930263$	$h_{19} = 0,5424588366$	$h_{20} = 0,531708257$
$h_{21} = 0,5935187727$	$h_{22} = 0,6111924377$	$h_{23} = 0,6092075565$	$h_{24} = 0,6363642553$
$h_{25} = 0,626340181$	$h_{26} = 0,6370716171$	$h_{27} = 0,6433975076$	$h_{28} = 0,6345943612$
$h_{29} = 0,6256496068$	$h_{30} = 0,642338952$	$h_{31} = 0,6534523619$	$h_{32} = 0,6534523999$
$h_{33} = 0,6609467973$	$h_{34} = 0,6657107285$	$h_{35} = 0,6649138723$	$h_{36} = 0,6586695498$
$h_{37} = 0,6621041264$	$h_{38} = 0,6560626463$	$h_{39} = 0,655575825$	$h_{40} = 0,6580979313$
$h_{41} = 0,6570355107$	$h_{42} = 0,658579946$	$h_{43} = 0,6571024073$	$h_{44} = 0,6915356955$
$h_{45} = 0,7106478324$	$h_{46} = 0,7079841703$	$h_{47} = 0,7212919677$	$h_{48} = 0,7310251769$
Вредност прага $\tau = 0,4409072670$		Критична промена: d_{10}	

**Слика В.12** Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{12} и робота МАРКА.**Табела В.12** Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{12} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0$	$h_4 = 0$
$h_5 = 0$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,1866519802$	$h_8 = 0,1714754901$
$h_9 = 0,2410796805$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,3908298323$	$h_{14} = 0,3986874053$	$h_{15} = 0,4415187205$	$h_{16} = 0,4434297536$
$h_{17} = 0,5191641347$	$h_{18} = 0,5153848813$	$h_{19} = 0,5363608683$	$h_{20} = 0,5284488578$
$h_{21} = 0,5416660586$	$h_{22} = 0,5388451344$	$h_{23} = 0,5324861139$	$h_{24} = 0,529593156$
$h_{25} = 0,5392955138$	$h_{26} = 0,5684821009$	$h_{27} = 0,5630376142$	$h_{28} = 0,5820139616$
$h_{29} = 0,5791923403$	$h_{30} = 0,5922753021$	$h_{31} = 0,5888299434$	$h_{32} = 0,5981334674$
$h_{33} = 0,5943399115$	$h_{34} = 0,5911752004$	$h_{35} = 0,5981790021$	$h_{36} = 0,6030380589$
$h_{37} = 0,5999236765$	$h_{38} = 0,5972969465$	$h_{39} = 0,6010787957$	$h_{40} = 0,5982696597$
$h_{41} = 0,5958750956$	$h_{42} = 0,5930842092$		
Вредност прага $\tau = 0,3122610741$		Критична промена: d_{10}	

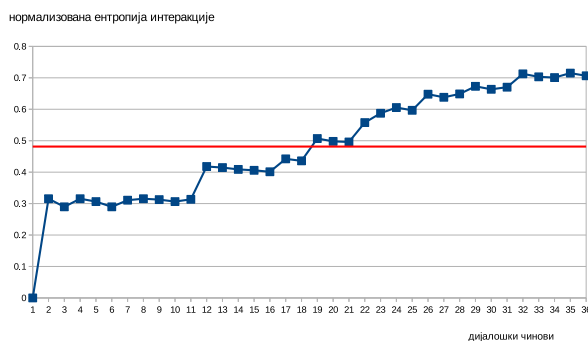


Слика В.13 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{13} и робота МАРКА.

Табела В.13 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{13} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,2559297536$
$h_9 = 0,2410796805$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4087597656$	$h_{14} = 0,3986874053$	$h_{15} = 0,3883245069$	$h_{16} = 0,4310242849$
$h_{17} = 0,5074883995$	$h_{18} = 0,5769446793$	$h_{19} = 0,5756656657$	$h_{20} = 0,5937770509$
$h_{21} = 0,5904145831$	$h_{22} = 0,6190539154$	$h_{23} = 0,6138907066$	$h_{24} = 0,6054944984$
$h_{25} = 0,6167606334$	$h_{26} = 0,6122788235$	$h_{27} = 0,6052122359$	$h_{28} = 0,6008806995$
$h_{29} = 0,6184583675$	$h_{30} = 0,6135196125$	$h_{31} = 0,6255626785$	$h_{32} = 0,620348886$
$h_{33} = 0,6288464202$	$h_{34} = 0,6345544801$	$h_{35} = 0,6296288345$	$h_{36} = 0,6263928315$
$h_{37} = 0,6352362132$	$h_{38} = 0,631680206$	$h_{39} = 0,6277151326$	$h_{40} = 0,6325647577$
$h_{41} = 0,6293337278$	$h_{42} = 0,6257462074$	$h_{43} = 0,6295609011$	$h_{44} = 0,626618158$
$h_{45} = 0,62336133$	$h_{46} = 0,6204659859$	$h_{47} = 0,6172987663$	

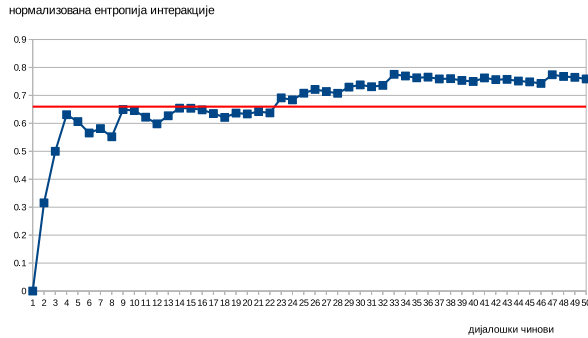
Вредност прага $\tau = 0,4555454752$ Критична промена: d_{11}



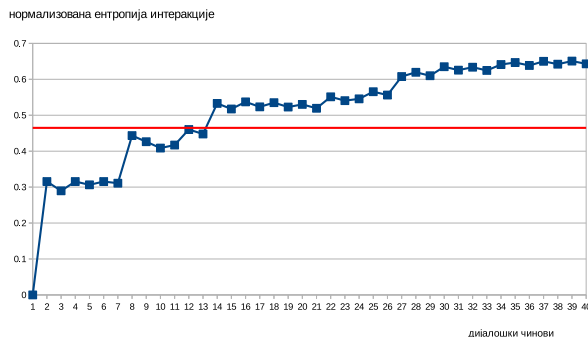
Слика В.14 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{14} и робота МАРКА.

Табела В.14 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{14} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,3154648768$
$h_5 = 0,3063008096$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,3108048725$	$h_8 = 0,3154648768$
$h_9 = 0,3126496871$	$h_{10} = 0,3063008096$	$h_{11} = 0,3135816182$	$h_{12} = 0,4179944984$
$h_{13} = 0,4146219504$	$h_{14} = 0,4087908669$	$h_{15} = 0,4059063441$	$h_{16} = 0,4012026218$
$h_{17} = 0,442307437$	$h_{18} = 0,436004717$	$h_{19} = 0,5068991467$	$h_{20} = 0,4979265516$
$h_{21} = 0,4960217237$	$h_{22} = 0,5576302657$	$h_{23} = 0,5873495707$	$h_{24} = 0,6054944984$
$h_{25} = 0,5967052144$	$h_{26} = 0,647950265$	$h_{27} = 0,638028006$	$h_{28} = 0,6488029548$
$h_{29} = 0,6729398724$	$h_{30} = 0,6635383224$	$h_{31} = 0,6702583406$	$h_{32} = 0,7126020643$
$h_{33} = 0,7031272035$	$h_{34} = 0,700812667$	$h_{35} = 0,7150064042$	$h_{36} = 0,706466838$
Вредност прага $\tau = 0,4813833593$		Критична промена: d_{12}	

**Слика В.15** Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{15} и робота МАРКА.**Табела В.15** Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{15} и робота МАРКА.

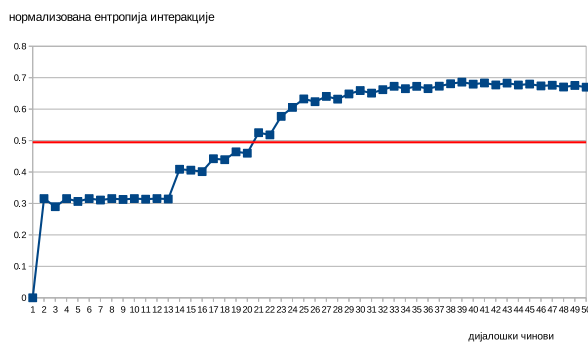
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,5$	$h_4 = 0,6309297536$
$h_5 = 0,6063008096$	$h_6 = 0,5654648768$	$h_7 = 0,5812033384$	$h_8 = 0,5520635344$
$h_9 = 0,6494834702$	$h_{10} = 0,6455797357$	$h_{11} = 0,6220170055$	$h_{12} = 0,5981973152$
$h_{13} = 0,6270726817$	$h_{14} = 0,6543261251$	$h_{15} = 0,6539289082$	$h_{16} = 0,6482918465$
$h_{17} = 0,6351188186$	$h_{18} = 0,6212731906$	$h_{19} = 0,6366761087$	$h_{20} = 0,6336727111$
$h_{21} = 0,6418792521$	$h_{22} = 0,6374686401$	$h_{23} = 0,6911484398$	$h_{24} = 0,6840211781$
$h_{25} = 0,7078578164$	$h_{26} = 0,7214019883$	$h_{27} = 0,713859044$	$h_{28} = 0,7074570293$
$h_{29} = 0,7295713926$	$h_{30} = 0,7376417193$	$h_{31} = 0,7309777058$	$h_{32} = 0,7358391122$
$h_{33} = 0,7753434513$	$h_{34} = 0,7694145129$	$h_{35} = 0,7629043619$	$h_{36} = 0,7653046142$
$h_{37} = 0,7588308831$	$h_{38} = 0,7598629891$	$h_{39} = 0,7535097369$	$h_{40} = 0,7497509812$
$h_{41} = 0,7624539555$	$h_{42} = 0,7564715782$	$h_{43} = 0,7572461471$	$h_{44} = 0,7514014666$
$h_{45} = 0,748391999$	$h_{46} = 0,7427785969$	$h_{47} = 0,7738369437$	$h_{48} = 0,7677422321$
$h_{49} = 0,7646695444$	$h_{50} = 0,7588416481$		
Вредност прага $\tau = 0,6597623761$		Критична промена: d_{14}	



Слика В.16 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{16} и робота МАРКА.

Табела В.16 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{16} и робота МАРКА.

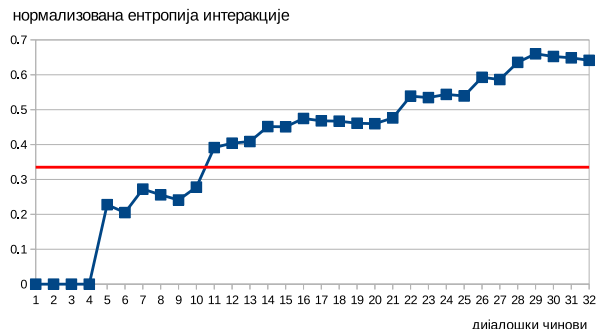
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,3154648768$
$h_5 = 0,3063008096$	$h_6 = 0,3154648768$	$h_7 = 0,3108048725$	$h_8 = 0,4434297536$
$h_9 = 0,4263962442$	$h_{10} = 0,4086727111$	$h_{11} = 0,4171011443$	$h_{12} = 0,4603099179$
$h_{13} = 0,4478201528$	$h_{14} = 0,5329437592$	$h_{15} = 0,5174330396$	$h_{16} = 0,5371797536$
$h_{17} = 0,5233498431$	$h_{18} = 0,535051653$	$h_{19} = 0,5228638033$	$h_{20} = 0,5301330546$
$h_{21} = 0,5193945566$	$h_{22} = 0,5512620719$	$h_{23} = 0,5405797146$	$h_{24} = 0,5456198357$
$h_{25} = 0,565466908$	$h_{26} = 0,5562016307$	$h_{27} = 0,6076973277$	$h_{28} = 0,6195555151$
$h_{29} = 0,6099209344$	$h_{30} = 0,6350725851$	$h_{31} = 0,6255053013$	$h_{32} = 0,6336627203$
$h_{33} = 0,6246738983$	$h_{34} = 0,6411307151$	$h_{35} = 0,6467072164$	$h_{36} = 0,6384307568$
$h_{37} = 0,6500567831$	$h_{38} = 0,642079324$	$h_{39} = 0,6506895515$	$h_{40} = 0,6430539407$
Вредност прага $\tau = 0,464859201$		Критична промена: d_8	



Слика В.17 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{17} и робота МАРКА.

Табела В.17 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{17} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,3154648768$
$h_5 = 0,3063008096$	$h_6 = 0,3154648768$	$h_7 = 0,3108048725$	$h_8 = 0,3154648768$
$h_9 = 0,3126496871$	$h_{10} = 0,3154648768$	$h_{11} = 0,3135816182$	$h_{12} = 0,3154648768$
$h_{13} = 0,314117038$	$h_{14} = 0,4087908669$	$h_{15} = 0,4059063441$	$h_{16} = 0,4012026218$
$h_{17} = 0,442307437$	$h_{18} = 0,4391735524$	$h_{19} = 0,464160662$	$h_{20} = 0,4598586618$
$h_{21} = 0,5250905868$	$h_{22} = 0,5181270727$	$h_{23} = 0,5769956362$	$h_{24} = 0,6054944984$
$h_{25} = 0,6324722039$	$h_{26} = 0,6236883736$	$h_{27} = 0,6404923089$	$h_{28} = 0,6317929196$
$h_{29} = 0,648304649$	$h_{30} = 0,6590838671$	$h_{31} = 0,6509220275$	$h_{32} = 0,6618787918$
$h_{33} = 0,6726025644$	$h_{34} = 0,6649885265$	$h_{35} = 0,6725016809$	$h_{36} = 0,6651428014$
$h_{37} = 0,6729388866$	$h_{38} = 0,6806483892$	$h_{39} = 0,6859199056$	$h_{40} = 0,6794172402$
$h_{41} = 0,6831650956$	$h_{42} = 0,6768952248$	$h_{43} = 0,6828099056$	$h_{44} = 0,6767111727$
$h_{45} = 0,679688873$	$h_{46} = 0,6738179699$	$h_{47} = 0,6759426501$	$h_{48} = 0,6703030408$
$h_{49} = 0,6752993768$	$h_{50} = 0,6698183308$		
Вредност прага $\tau = 0,4945825034$		Критична промена: d_{14}	



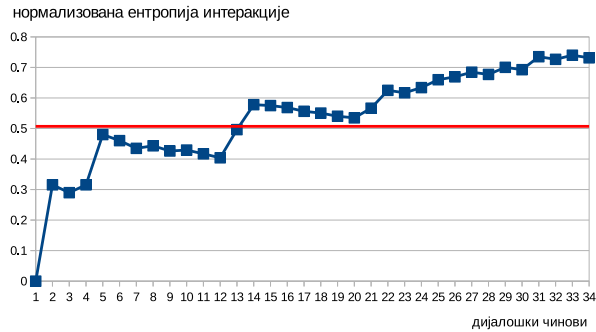
Слика В.18 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{18} и робота МАРКА.

Табела В.18 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{18} и робота МАРКА.

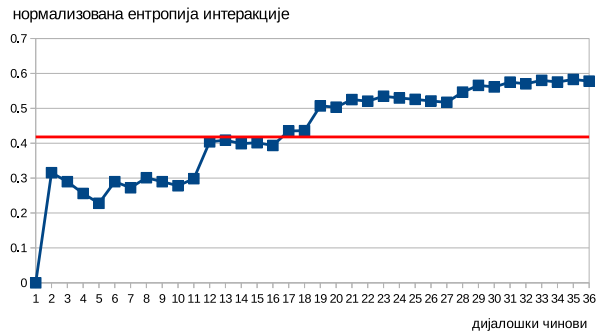
$h_1 = 0$	$h_2 = 0$	$h_3 = 0$	$h_4 = 0$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,2559297536$
$h_9 = 0,2410796805$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4087597656$	$h_{14} = 0,4516069887$	$h_{15} = 0,4509486179$	$h_{16} = 0,4748506082$
$h_{17} = 0,4680423555$	$h_{18} = 0,467103201$	$h_{19} = 0,4611586074$	$h_{20} = 0,4598586618$
$h_{21} = 0,4763420623$	$h_{22} = 0,5388451344$	$h_{23} = 0,5346893058$	$h_{24} = 0,5437932219$
$h_{25} = 0,5392955138$	$h_{26} = 0,5927486299$	$h_{27} = 0,5864053828$	$h_{28} = 0,6355853901$
$h_{29} = 0,6601780858$	$h_{30} = 0,6524676172$	$h_{31} = 0,6485511554$	$h_{32} = 0,6414323901$
Вредност прага $\tau = 0,360848599$		Критична промена: d_{12}	

Табела В.19 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{19} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,3154648768$
$h_5 = 0,4801148589$	$h_6 = 0,4603099179$	$h_7 = 0,4349577649$	$h_8 = 0,4434297536$
$h_9 = 0,4263962442$	$h_{10} = 0,4293363555$	$h_{11} = 0,4171011443$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4963532108$	$h_{14} = 0,5780101702$	$h_{15} = 0,5750342988$	$h_{16} = 0,5686006082$
$h_{17} = 0,5562776496$	$h_{18} = 0,5504365343$	$h_{19} = 0,5401059758$	$h_{20} = 0,5348586618$
$h_{21} = 0,5664748843$	$h_{22} = 0,6248810099$	$h_{23} = 0,616984491$	$h_{24} = 0,6338946304$
$h_{25} = 0,6597363306$	$h_{26} = 0,6691832993$	$h_{27} = 0,6843067032$	$h_{28} = 0,6771503644$
$h_{29} = 0,700309785$	$h_{30} = 0,6926426495$	$h_{31} = 0,7351565535$	$h_{32} = 0,7265179523$
$h_{33} = 0,7399692888$	$h_{34} = 0,7314045769$		
Вредност прага $\tau = 0,5070885033$		Критична промена: d_{13}	



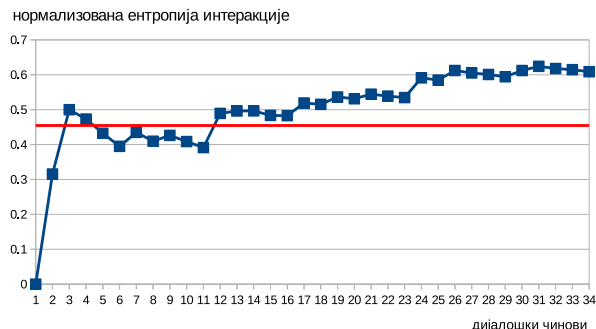
Слика В.19 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{19} и робота МАРКА.



Слика В.20 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{20} и робота МАРКА.

Табела В.20 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{20} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,2896900821$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,2983226115$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4087597656$	$h_{14} = 0,3986874053$	$h_{15} = 0,4015570068$	$h_{16} = 0,3935601783$
$h_{17} = 0,435114549$	$h_{18} = 0,436004717$	$h_{19} = 0,5068991467$	$h_{20} = 0,5033121741$
$h_{21} = 0,5250905868$	$h_{22} = 0,5204304097$	$h_{23} = 0,5346893058$	$h_{24} = 0,529593156$
$h_{25} = 0,5256634504$	$h_{26} = 0,5209830116$	$h_{27} = 0,5172977504$	$h_{28} = 0,546412682$
$h_{29} = 0,5658685575$	$h_{30} = 0,5613017398$	$h_{31} = 0,5750292533$	$h_{32} = 0,5702080474$
$h_{33} = 0,580225001$	$h_{34} = 0,5753279502$	$h_{35} = 0,5827845305$	$h_{36} = 0,577917794$
Вредност прага $\tau = 0,4180192463$		Критична промена: d_{12}	

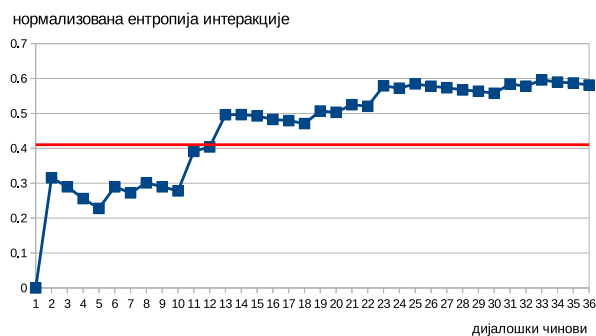


Слика В.21 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{21} и робота МАРКА.

Табела В.21 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{21} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,5$	$h_4 = 0,4731973152$
$h_5 = 0,4324867604$	$h_6 = 0,3948450411$	$h_7 = 0,4349577649$	$h_8 = 0,4097241859$
$h_9 = 0,4263962442$	$h_{10} = 0,4086727111$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4893169934$
$h_{13} = 0,4963532108$	$h_{14} = 0,4966733997$	$h_{15} = 0,483580704$	$h_{16} = 0,4828628632$
$h_{17} = 0,5191641347$	$h_{18} = 0,5153848813$	$h_{19} = 0,5363608683$	$h_{20} = 0,5313008096$
$h_{21} = 0,5443822032$	$h_{22} = 0,5388451344$	$h_{23} = 0,5346893058$	$h_{24} = 0,5912396714$
$h_{25} = 0,5848441053$	$h_{26} = 0,6122788235$	$h_{27} = 0,6052122359$	$h_{28} = 0,6008806995$
$h_{29} = 0,594407818$	$h_{30} = 0,6121385562$	$h_{31} = 0,6242261724$	$h_{32} = 0,6178675628$
$h_{33} = 0,6147315097$	$h_{34} = 0,6088195616$		

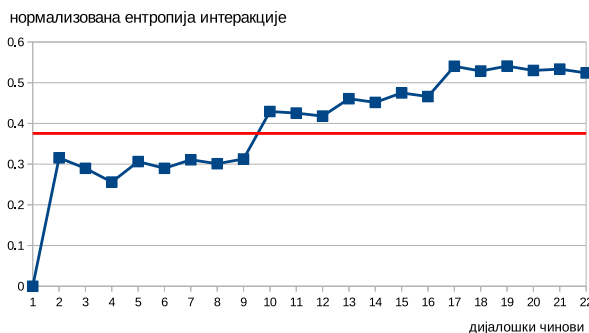
Вредност прага $\tau = 0,4547271463$ Критична промена: d_{12}



Слика В.22 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{22} и робота МАРКА.

Табела В.22 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{22} и робота МАРКА.

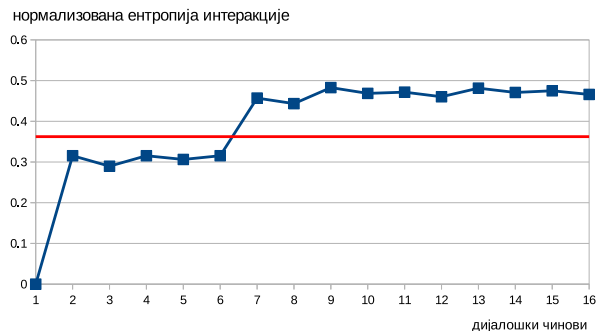
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,2896900821$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4963532108$	$h_{14} = 0,4966733997$	$h_{15} = 0,4930106015$	$h_{16} = 0,4828628632$
$h_{17} = 0,4794209519$	$h_{18} = 0,47105637$	$h_{19} = 0,5068991467$	$h_{20} = 0,5033121741$
$h_{21} = 0,5250905868$	$h_{22} = 0,5204304097$	$h_{23} = 0,5791988281$	$h_{24} = 0,5722481149$
$h_{25} = 0,5848441053$	$h_{26} = 0,5778874874$	$h_{27} = 0,5737831019$	$h_{28} = 0,5674661843$
$h_{29} = 0,5635742064$	$h_{30} = 0,5578181787$	$h_{31} = 0,5843286865$	$h_{32} = 0,5781217543$
$h_{33} = 0,5960699452$	$h_{34} = 0,5897499183$	$h_{35} = 0,5871892789$	$h_{36} = 0,5813567488$
Вредност прага $\tau = 0,4103902902$		Критична промена: d_{13}	

**Слика В.23** Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{23} и робота МАРКА.**Табела В.23** Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{23} и робота МАРКА.

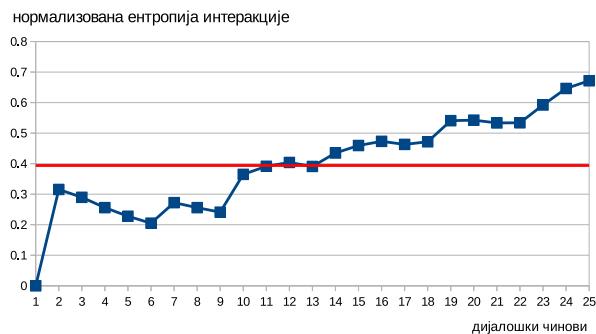
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,3063008096$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,3108048725$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,3126496871$	$h_{10} = 0,4293363555$	$h_{11} = 0,4254321145$	$h_{12} = 0,4179944984$
$h_{13} = 0,46073162$	$h_{14} = 0,4516069887$	$h_{15} = 0,4750342988$	$h_{16} = 0,4660100794$
$h_{17} = 0,540416206$	$h_{18} = 0,5286629989$	$h_{19} = 0,5408007288$	$h_{20} = 0,5301330546$
$h_{21} = 0,5334302247$	$h_{22} = 0,5240154489$		
Вредност прага $\tau = 0,375527816$		Критична промена: d_{10}	

Табела В.24 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{24} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,3154648768$
$h_5 = 0,3063008096$	$h_6 = 0,3154648768$	$h_7 = 0,457050446$	$h_8 = 0,4434297536$
$h_9 = 0,4828168036$	$h_{10} = 0,4686152816$	$h_{11} = 0,4715943903$	$h_{12} = 0,4603099179$
$h_{13} = 0,4814735078$	$h_{14} = 0,4708673131$	$h_{15} = 0,4750342988$	$h_{16} = 0,4660100794$
Вредност прага $\tau = 0,3623922164$		Критична промена: d_7	



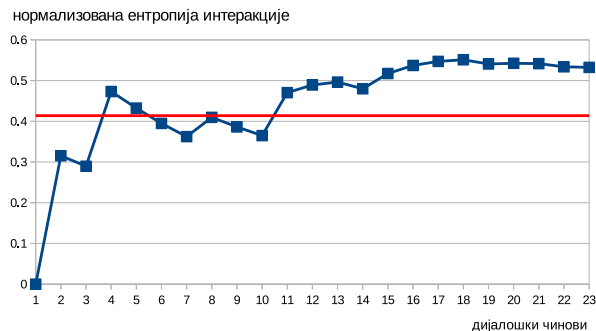
Слика В.24 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{24} и робота МАРКА.



Слика В.25 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{25} и робота МАРКА.

Табела В.25 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{25} и робота МАРКА.

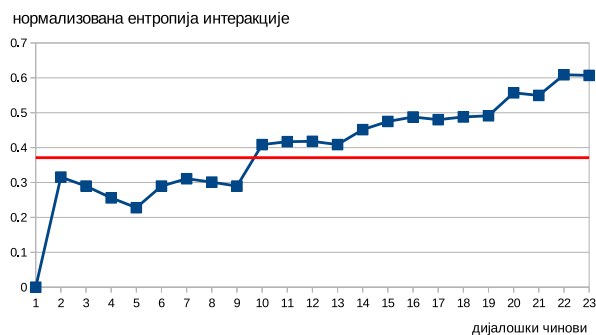
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2050592432$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,2559297536$
$h_9 = 0,2410796805$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,3908298323$	$h_{14} = 0,4349577649$	$h_{15} = 0,4594950232$	$h_{16} = 0,4731973152$
$h_{17} = 0,4631310775$	$h_{18} = 0,4717897203$	$h_{19} = 0,5408007288$	$h_{20} = 0,5425911002$
$h_{21} = 0,5334302247$	$h_{22} = 0,5339491139$	$h_{23} = 0,5921297626$	$h_{24} = 0,6462867759$
$h_{25} = 0,6716327903$			
Вредност прага $\tau = 0,394047962$		Критична промена: d_{10}	



Слика В.26 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{26} и робота МАРКА.

Табела В.26 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{26} и робота МАРКА.

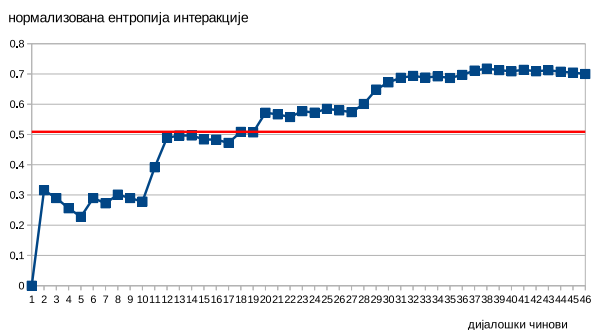
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,4731973152$
$h_5 = 0,4324867604$	$h_6 = 0,3948450411$	$h_7 = 0,3624170458$	$h_8 = 0,4097241859$
$h_9 = 0,3862534429$	$h_{10} = 0,3649233496$	$h_{11} = 0,4703943624$	$h_{12} = 0,4893169934$
$h_{13} = 0,4963532108$	$h_{14} = 0,4800241759$	$h_{15} = 0,5174330396$	$h_{16} = 0,5371797536$
$h_{17} = 0,5471806633$	$h_{18} = 0,5511698846$	$h_{19} = 0,5408007288$	$h_{20} = 0,5425911002$
$h_{21} = 0,5416660586$	$h_{22} = 0,5339491139$	$h_{23} = 0,5324861139$	
Вредност прага $\tau = 0,4139150189$		Критична промена: d_{11}	



Слика В.27 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{27} и робота МАРКА.

Табела В.27 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{27} и робота МАРКА.

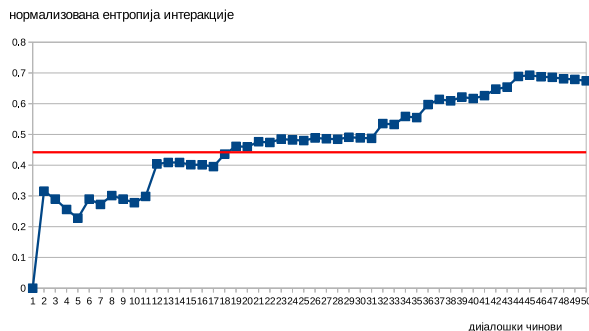
$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,3108048725$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,2896900821$	$h_{10} = 0,4086727111$	$h_{11} = 0,4171011443$	$h_{12} = 0,4179944984$
$h_{13} = 0,4087597656$	$h_{14} = 0,4516069887$	$h_{15} = 0,4750342988$	$h_{16} = 0,487765386$
$h_{17} = 0,4801974405$	$h_{18} = 0,487907952$	$h_{19} = 0,491315082$	$h_{20} = 0,5570975087$
$h_{21} = 0,5496588716$	$h_{22} = 0,6088293614$	$h_{23} = 0,6069472228$	
Вредност прага $\tau = 0,3712755462$		Критична промена: d_{10}	



Слика В.28 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{28} и робота МАРКА.

Табела В.28 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{28} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,2896900821$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4893169934$
$h_{13} = 0,4963532108$	$h_{14} = 0,4966733997$	$h_{15} = 0,483580704$	$h_{16} = 0,4828628632$
$h_{17} = 0,4722280639$	$h_{18} = 0,5085915982$	$h_{19} = 0,5068991467$	$h_{20} = 0,5719023701$
$h_{21} = 0,5664748843$	$h_{22} = 0,5576302657$	$h_{23} = 0,5769956362$	$h_{24} = 0,5722481149$
$h_{25} = 0,5848441053$	$h_{26} = 0,5796408766$	$h_{27} = 0,5737831019$	$h_{28} = 0,6008806995$
$h_{29} = 0,648426307$	$h_{30} = 0,6722944453$	$h_{31} = 0,6874302189$	$h_{32} = 0,6936524843$
$h_{33} = 0,6882199184$	$h_{34} = 0,692181699$	$h_{35} = 0,6866944372$	$h_{36} = 0,6969515332$
$h_{37} = 0,7111756133$	$h_{38} = 0,7178788862$	$h_{39} = 0,7126021494$	$h_{40} = 0,7088302912$
$h_{41} = 0,7137194966$	$h_{42} = 0,7088974637$	$h_{43} = 0,712295618$	$h_{44} = 0,7074725404$
$h_{45} = 0,7045954789$	$h_{46} = 0,6999341751$		
Вредност прага $\tau = 0,5088574147$		Критична промена: d_{12}	

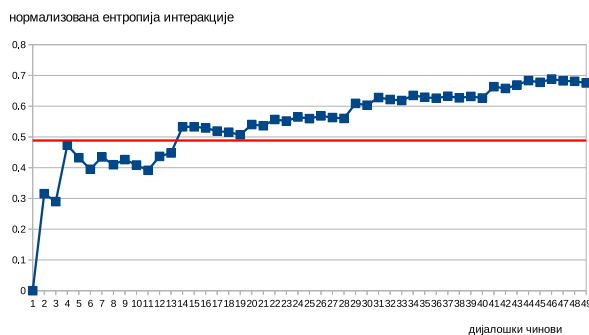


Слика В.29 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{29} и робота МАРКА.

Табела В.29 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{29} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,2896900821$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,2983226115$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4087597656$	$h_{14} = 0,4087908669$	$h_{15} = 0,4015570068$	$h_{16} = 0,4012026218$
$h_{17} = 0,3953713662$	$h_{18} = 0,436004717$	$h_{19} = 0,4611586074$	$h_{20} = 0,4598586618$
$h_{21} = 0,4763420623$	$h_{22} = 0,4738977273$	$h_{23} = 0,4851799672$	$h_{24} = 0,4821467065$
$h_{25} = 0,4801148589$	$h_{26} = 0,4885227902$	$h_{27} = 0,4860397595$	$h_{28} = 0,4843362358$
$h_{29} = 0,4908466917$	$h_{30} = 0,4887806029$	$h_{31} = 0,4873372768$	$h_{32} = 0,5353972837$
$h_{33} = 0,5323541984$	$h_{34} = 0,5585304326$	$h_{35} = 0,554775651$	$h_{36} = 0,597133797$
$h_{37} = 0,6140556537$	$h_{38} = 0,6092786072$	$h_{39} = 0,6216784883$	$h_{40} = 0,6167818584$
$h_{41} = 0,6261512859$	$h_{42} = 0,6474289934$	$h_{43} = 0,6540289354$	$h_{44} = 0,6885320753$
$h_{45} = 0,692696868$	$h_{46} = 0,6876754574$	$h_{47} = 0,6857677681$	$h_{48} = 0,6809497643$
$h_{49} = 0,6789331716$	$h_{50} = 0,6743140539$		

Вредност прага $\tau = 0,4419914474$ Критична промена: d_{12}

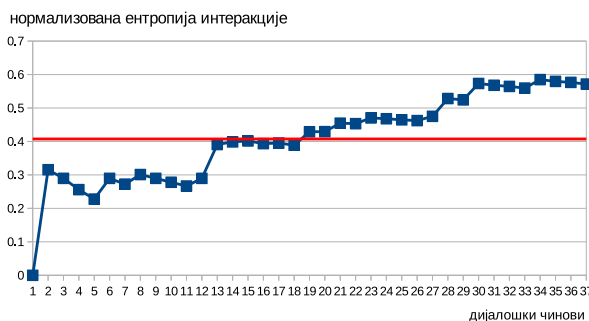


Слика В.30 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{30} и робота МАРКА.

Табела В.30 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{30} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,4731973152$
$h_5 = 0,4324867604$	$h_6 = 0,3948450411$	$h_7 = 0,4349577649$	$h_8 = 0,4097241859$
$h_9 = 0,4263962442$	$h_{10} = 0,4086727111$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4367395139$
$h_{13} = 0,4478201528$	$h_{14} = 0,5329437592$	$h_{15} = 0,5329723152$	$h_{16} = 0,5291674986$
$h_{17} = 0,5191641347$	$h_{18} = 0,5153848813$	$h_{19} = 0,5068991467$	$h_{20} = 0,5403558825$
$h_{21} = 0,5364306103$	$h_{22} = 0,5566991917$	$h_{23} = 0,5517670997$	$h_{24} = 0,5649509317$
$h_{25} = 0,5596069151$	$h_{26} = 0,5684821009$	$h_{27} = 0,5630376142$	$h_{28} = 0,5602123142$
$h_{29} = 0,6091602799$	$h_{30} = 0,6031504048$	$h_{31} = 0,6281985827$	$h_{32} = 0,6217158353$
$h_{33} = 0,6184631679$	$h_{34} = 0,6351026532$	$h_{35} = 0,6291600939$	$h_{36} = 0,6259371114$
$h_{37} = 0,632316035$	$h_{38} = 0,6270584521$	$h_{39} = 0,6317500078$	$h_{40} = 0,6266015899$
$h_{41} = 0,6635050432$	$h_{42} = 0,6577032689$	$h_{43} = 0,668869773$	$h_{44} = 0,6832840246$
$h_{45} = 0,6775401612$	$h_{46} = 0,6882220533$	$h_{47} = 0,6825050312$	$h_{48} = 0,6809465553$
$h_{49} = 0,6755134368$			

Вредност прага $\tau = 0,4884315042$ Критична промена: d_{14}

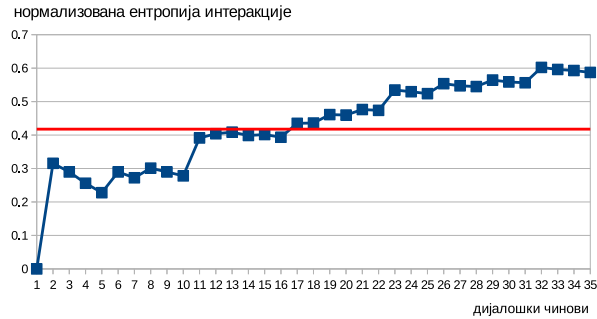


Слика В.31 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{31} и робота МАРКА.

Табела В.31 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{31} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,2896900821$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,2666785291$	$h_{12} = 0,2896900821$
$h_{13} = 0,3908298323$	$h_{14} = 0,3986874053$	$h_{15} = 0,4015570068$	$h_{16} = 0,3935601783$
$h_{17} = 0,3953713662$	$h_{18} = 0,388861016$	$h_{19} = 0,429029864$	$h_{20} = 0,4293363555$
$h_{21} = 0,4546374263$	$h_{22} = 0,4531796656$	$h_{23} = 0,470362507$	$h_{24} = 0,4679466405$
$h_{25} = 0,4646592708$	$h_{26} = 0,4623251465$	$h_{27} = 0,4751231286$	$h_{28} = 0,5282775022$
$h_{29} = 0,5243081793$	$h_{30} = 0,5733445802$	$h_{31} = 0,5679485241$	$h_{32} = 0,5645351739$
$h_{33} = 0,5595471886$	$h_{34} = 0,584923629$	$h_{35} = 0,5794851491$	$h_{36} = 0,5765872859$
$h_{37} = 0,5715406575$			

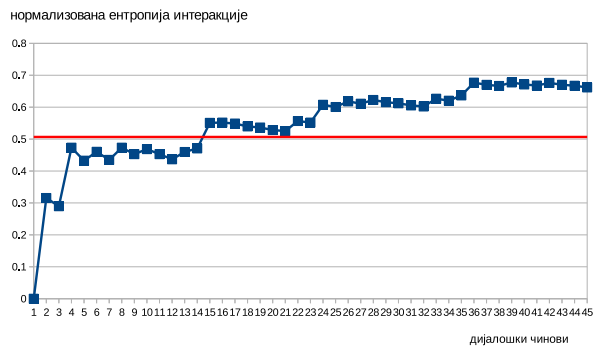
Вредност прага $\tau = 0,4074848123$ Критична промена: d_{13}



Слика В.32 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{32} и робота МАРКА.

Табела В.32 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{32} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,2896900821$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4087597656$	$h_{14} = 0,3986874053$	$h_{15} = 0,4015570068$	$h_{16} = 0,3935601783$
$h_{17} = 0,435114549$	$h_{18} = 0,436004717$	$h_{19} = 0,4611586074$	$h_{20} = 0,4598586618$
$h_{21} = 0,4763420623$	$h_{22} = 0,4738977273$	$h_{23} = 0,5346893058$	$h_{24} = 0,529593156$
$h_{25} = 0,5238399256$	$h_{26} = 0,5536209584$	$h_{27} = 0,5471923774$	$h_{28} = 0,5449329788$
$h_{29} = 0,5644398785$	$h_{30} = 0,5586549951$	$h_{31} = 0,5562941624$	$h_{32} = 0,6021992666$
$h_{33} = 0,5960699452$	$h_{34} = 0,5928543508$	$h_{35} = 0,5871892789$	
Вредност прага $\tau = 0,4177249279$		Критична промена: d_{13}	

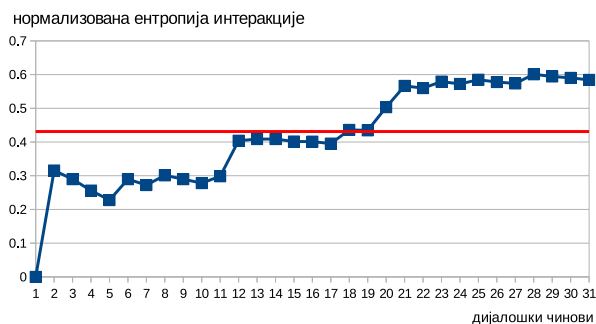


Слика В.33 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{33} и робота МАРКА.

Табела В.33 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{33} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,4731973152$
$h_5 = 0,4324867604$	$h_6 = 0,4603099179$	$h_7 = 0,4349577649$	$h_8 = 0,4731973152$
$h_9 = 0,452856299$	$h_{10} = 0,4686152816$	$h_{11} = 0,4528092589$	$h_{12} = 0,4367395139$
$h_{13} = 0,4597162119$	$h_{14} = 0,4708673131$	$h_{15} = 0,5509486179$	$h_{16} = 0,5517478244$
$h_{17} = 0,5487367038$	$h_{18} = 0,5396900821$	$h_{19} = 0,5363608683$	$h_{20} = 0,5284488578$
$h_{21} = 0,5250905868$	$h_{22} = 0,5566991917$	$h_{23} = 0,5517670997$	$h_{24} = 0,6076058906$
$h_{25} = 0,6005556757$	$h_{26} = 0,618226853$	$h_{27} = 0,6109399681$	$h_{28} = 0,6226823468$
$h_{29} = 0,6154576844$	$h_{30} = 0,6121385562$	$h_{31} = 0,6054910815$	$h_{32} = 0,6021992666$
$h_{33} = 0,6266342146$	$h_{34} = 0,6203721869$	$h_{35} = 0,6368642236$	$h_{36} = 0,6769421315$
$h_{37} = 0,6700038538$	$h_{38} = 0,6665321363$	$h_{39} = 0,6774639783$	$h_{40} = 0,6711727111$
$h_{41} = 0,6678547508$	$h_{42} = 0,6760493988$	$h_{43} = 0,6703428483$	$h_{44} = 0,6672127028$
$h_{45} = 0,66182598$			

Вредност прага $\tau = 0,506779909$ Критична промена: d_{15}

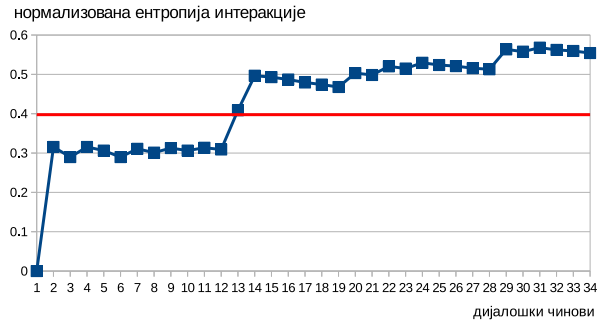


Слика В.34 Графичка репрезентација нормализованих дијалогских ентропија за дијалог између детета s_{34} и робота МАРКА.

Табела В.34 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{34} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,2722842238$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,2896900821$	$h_{10} = 0,2780163249$	$h_{11} = 0,2983226115$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4087597656$	$h_{14} = 0,4087908669$	$h_{15} = 0,4015570068$	$h_{16} = 0,4012026218$
$h_{17} = 0,3953713662$	$h_{18} = 0,436004717$	$h_{19} = 0,4346989403$	$h_{20} = 0,5033121741$
$h_{21} = 0,5664748843$	$h_{22} = 0,5599336028$	$h_{23} = 0,5791988281$	$h_{24} = 0,5722481149$
$h_{25} = 0,5848441053$	$h_{26} = 0,5778874874$	$h_{27} = 0,5737831019$	$h_{28} = 0,6008806995$
$h_{29} = 0,594407818$	$h_{30} = 0,590270748$	$h_{31} = 0,5843286865$	

Вредност прага $\tau = 0,4311285669$ Критична промена: d_{12}

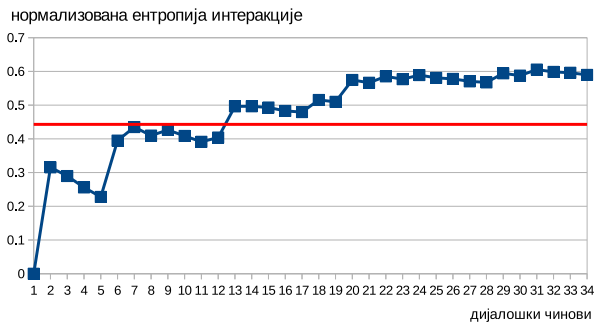


Слика В.35 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{35} и робота МАРКА.

Табела В.35 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{35} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,3154648768$
$h_5 = 0,3063008096$	$h_6 = 0,2896900821$	$h_7 = 0,3108048725$	$h_8 = 0,3010904051$
$h_9 = 0,3126496871$	$h_{10} = 0,3063008096$	$h_{11} = 0,3135816182$	$h_{12} = 0,3091141766$
$h_{13} = 0,4087597656$	$h_{14} = 0,4966733997$	$h_{15} = 0,4930106015$	$h_{16} = 0,4869403669$
$h_{17} = 0,4794209519$	$h_{18} = 0,4742252054$	$h_{19} = 0,4679057695$	$h_{20} = 0,5033121741$
$h_{21} = 0,4984347435$	$h_{22} = 0,5204304097$	$h_{23} = 0,5148720294$	$h_{24} = 0,529593156$
$h_{25} = 0,5238399256$	$h_{26} = 0,5209830116$	$h_{27} = 0,5157632434$	$h_{28} = 0,5129981667$
$h_{29} = 0,5635742064$	$h_{30} = 0,5578181787$	$h_{31} = 0,5679485241$	$h_{32} = 0,5622534719$
$h_{33} = 0,5595471886$	$h_{34} = 0,5543013604$		

Вредност прага $\tau = 0,3975276907$ Критична промена: d_{13}



Слика В.36 Графичка репрезентација нормализованих дијаложких ентропија за дијалог између детета s_{36} и робота МАРКА.

Табела В.36 Нормализоване дијаложке ентропије за дијалог између детета s_{36} и робота МАРКА.

$h_1 = 0$	$h_2 = 0,3154648768$	$h_3 = 0,2896900821$	$h_4 = 0,2559297536$
$h_5 = 0,2277429575$	$h_6 = 0,3948450411$	$h_7 = 0,4349577649$	$h_8 = 0,4097241859$
$h_9 = 0,4263962442$	$h_{10} = 0,4086727111$	$h_{11} = 0,3913879764$	$h_{12} = 0,4040070755$
$h_{13} = 0,4963532108$	$h_{14} = 0,4966733997$	$h_{15} = 0,4930106015$	$h_{16} = 0,4828628632$
$h_{17} = 0,4794209519$	$h_{18} = 0,5153848813$	$h_{19} = 0,5099012012$	$h_{20} = 0,574754322$
$h_{21} = 0,5664748843$	$h_{22} = 0,5853778169$	$h_{23} = 0,5769956362$	$h_{24} = 0,5891282792$
$h_{25} = 0,5809936439$	$h_{26} = 0,5778874874$	$h_{27} = 0,570560146$	$h_{28} = 0,5674661843$
$h_{29} = 0,594407818$	$h_{30} = 0,5876240033$	$h_{31} = 0,6054910815$	$h_{32} = 0,5986228244$
$h_{33} = 0,5960699452$	$h_{34} = 0,5897499183$		
Вредност прага $\tau = 0,4430237574$		Критична промена: d_{13}	