

UNIVERZITET U BEOGRADU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Žilbert A. Tafa

**NOVI ALGORITMI ZA POVEĆANJE VEROVATNOĆE
FORMIRANJA SIGURNIH SENZORSKIH BARIJERA
KORIŠĆENJEM MOBILNIH ČVOROVA**

doktorska disertacija

Beograd, 2012

UNIVERSITY OF BELGRADE
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING

Žilbert A. Tafa

**NEW ALGORITHMS
FOR IMPROVING THE PROBABILITY
OF STRONG BARRIER COVERAGE
USING MOBILE NODES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2012

Mentor:

dr Veljko Milutinović, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

Članovi komisije:

dr Veljko Milutinović, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

dr Miroslav Bojović, vanredni profesor

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

dr Ranko Popović, vanredni profesor

Univerzitet Singidunum

Datum odbrane _____

Židijani i Isirijani

Naslov doktorske disertacije: Novi algoritmi za povećanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera korišćenjem mobilnih čvorova

Rezime: U ovoj tezi se razmatra problem pokrivenosti bežičnim senzorskim mrežama u slučaju stohastičkog razmeštaja čvorova u određenom regionu od interesa. Stohastički razmeštaj čvorova je jedini način instalacije mreže u situacijama kada je pristup terenu otežan ili nemoguć. Tipični primeri ovog načina instalacije nalaze se u oblasti vojnih primena. U vojnim aplikacijama, najčešće je potrebno obezbediti dobru pokrivenost regiona od interesa senzorskim poljem, bez obzira na činjenicu što se senzori ne mogu manuelno smestiti u optimalnim pozicijama gde je pokrivenost maksimalna pri minimalnom broju senzorskih čvorova i pri određenom nivou robusnosti i redundatnosti mreže. Štaviše, ovakav vid instalacije se može realizovati uglavnom samo upotrebom artiljerije ili avijacije te je, u ovim uslovima, pre nego što se pristupi optimizaciji mreže po pitanju potrošnje energije, sigurnosti i pouzdanosti, potrebno odrediti fundamentalne parametre pri kojima se može postići osnovna funkcionalnost mreže, odnosno određeni stepen pokrivenosti područja od interesa i potrebna konektivnost. Područje od interesa može biti region bilo kojeg oblika. U vojnim aplikacijama, to je najčešće geografsko područje površine od 5 do 20 km^2 . Ako je cilj očitavanje veličina iz čitavog regiona, govorimo o pokrivenosti regiona. Drugi čest slučaj primene senzorskih mreža u vojnim aplikacijama, odnosi se na obezbeđivanje određene linije između dva regiona po pitanju prelaska neprijateljskih vojnih trupa sa jednog regiona na drugi. U ovom slučaju se govori o pokrivenosti barijere.

U ovoj tezi se vrši modeliranje i analiza stohastičke implementacije bežičnih senzorskih mreža da bi se, u okviru modela, izvršila evaluacija pokrivenosti regiona kao i evaluacija i poboljšanje pokrivenosti senzorskom barijerom korišćenjem mobilnih čvorova ili robota. U ovom pravcu se, pod određenim početnim pretpostavkama i aproksimacijama, daju uslovi za postizanje očekivanog

nivoa određenog tipa pokrivenosti kao i određivanje uticaja fundamentalnih parametara mreže na kvalitet pokrivenosti za one tipove pokrivenosti gde se kvalitet može izraziti u pogledu očekivane verovatnoće detekcije objekata ili događaja. Međutim, kada je u pitanju sigurna senzorska barijera, ona može postojati ili ne postojati. U tom smislu se ne može govoriti o stepenu kvaliteta pokrivenosti već samo o verovatnoći postojanja jakih (ili sigurnih) senzorskih barijera. Na osnovu teorijskih izvedbi iz literature, može se zaključiti da je sigurno postojanje jake senzorske barijere moguće ostvariti samo pod određenim strogim uslovima instalacije. Međutim, kako su ti uslovi praktično teško ostvarivi, u ovom radu se predlažu dva algoritma za dopunjavanje mreže koristeći mobilne čvorove ili robote u uslovima kada nisu zadovoljeni strogi uslovi postojanja jakih senzorskih barijera. Za implementaciju algoritma se razvija simulator kojim se određuje pozicija i broj dodatnih mobilnih čvorova potrebnih da bi se u svakoj situaciji sa velikom verovatnoćom formirala jaka senzorska barijera. Funkcionalnost simulatora se verifikuje korišćenjem teorijski izvedenih rezultata za pokrivenost regiona i pokrivenost slabom senzorskom barijerom. Umesto korišćenja potpuno mobilnih mreža (koje su manje fleksibilne u pogledu troškova realizacije mreže), ovde se koriste hibridne mreže, gde se predloženi algoritmi za određivanje pozicija i broja dodatnih čvorova mogu praktički realizovati na centralizovan ili distribuiran način. Za dopunjavanje mreže se mogu koristiti mobilni čvorovi (koji se kreću do određene tačke, a zatim izvršavaju istu funkciju kao i svi ostali statički čvorovi) ili roboti (koji nose određeni broj fiksnih čvorova i pozicioniraju ih u određenim tačkama mreže). U okviru teze se takođe predlažu algoritmi za pomeranje ovih uređaja u cilju ostvarivanja sigurnih senzorskih barijera.

Uzevši u obzir neke trendove razvoja u sistemskom i softverskom inženjerstvu, koji se odnose na povećanje efikasnosti razvoja rešenja koristeći odgovarajuće modele unapređivanja procesa i na metodologiju mašinskog

prepoznavanja podatkovnih struktura, u ovoj tezi se daje opis razvoja rešenja u kontekstu integracionog modela sazrevanja procesa a najvažniji aspekti procesa automatskog prepoznavanja pozicija i osnovnih funkcionalnih karakteristika čvorova u zavisnosti od okolnosti instalacije se opisuje kroz metode konceptualnog modeliranja.

Ključne reči: algoritmi; bežične senzorske mreže; pokrivenost regiona, pokrivenost barijere; mobilni čvorovi; roboti; konceptualno modeliranje; integracioni model sazrevanja procesa.

Naučna oblast: Elektrotehnika i računarstvo

Uža naučna oblast: Računarska tehnika i informatika

UDK broj: _____

Title of the dissertation: New algorithms for improving the probability of strong barrier coverage using mobile nodes.

Summary: This thesis treats the problem of the network coverage in randomly deployed wireless sensor networks. Placing the nodes quasi-randomly is often the only way of deploying the network in geographically inaccessible regions. This way of deployment is often present in military applications. In military applications, high quality of the network coverage is usually a primary goal, despite the fact that the nodes cannot be placed manually in the optimal positions where they would all together provide the highest coverage, a certain degree of robustness, and redundancy, by using the minimum number of nodes. Bearing in mind that this kind of installation is usually realized by using artillery or the aircrafts, before approaching the energy, security, and reliability optimization, it is important for the application to meet the basic functionality, i. e., it is important for the values of the basic parameters that provide a certain degree of the network coverage and connectivity for a given area of interest to be assessed. The area of interest can be a region of any shape. In military applications, it is usually the region of size 5-20 km^2 . If the aim is for the whole area to be covered, we deal with the area coverage. Another usual example of the appliance of the wireless sensor networks in military applications is related to the detection of intruders while attempting to cross the line between two regions. In this case, we deal with the barrier coverage.

This thesis covers the modeling of the stochastic implementation of the wireless sensor networks, the analysis of the area and the barrier coverage, as well as the methods for improving the barrier coverage by using mobile nodes or robots. Under the initial assumptions and approximations, the conditions for an expected degree of the specific types of coverage are given for those types of

coverage whose quality can be expressed in terms of the expected detection probability. But, regarding the strong barrier coverage, instead of assessing the coverage quality, only the information on barrier coverage creation can be derived, i.e., a strong barrier coverage can either be accomplished or not accomplished. According to the theoretical results from literature, it can be concluded that the full barrier coverage can be achieved almost always if the very strict conditions are met. These conditions, however, are hard to be provided. Therefore, in this thesis, two algorithms for creating the full barrier coverage, by filling the network breaks with mobile nodes or by using robots, in the situations where these conditions are not met, are proposed. In order for the algorithms to be implemented, a simulator is developed. According to the rules defined in algorithms, the simulator determines the number of breaks, the position and the appropriate number of additionally needed nodes for the strong barrier coverage to be provided. The simulator functionality is verified by using the theoretically derived results for the area coverage and the weak barrier coverage. Instead of using the fully mobile network, in order to make the price of the network more flexible, the hybrid networks are considered in this thesis. The proposed algorithms for improving the strong barrier coverage can be executed in centralized or distributed manner. To mend the barrier gaps, either mobile nodes (that fill the gaps and become part of the network just as same as the other stationary nodes) or mobile robots (that place the stationary nodes into the appropriate positions) can be used. Algorithms for moving the mobile devices in hybrid networks are also proposed.

Bearing in mind some of the development trends in system and software engineering, related to improving the efficiency of the development process by using the appropriate methodologies and machine-based identification of the data structures, in this thesis, the description of the technical solution is given in the context of CMMI (Capability Maturity Model Integration) while the most important aspects of the automatic identification of the position and the sensing

characteristics of the nodes are presented by using the methodologies of the conceptual modeling.

Key words: algorithms; wireless sensor networks; area coverage; barrier coverage; mobile nodes; robots; conceptual modeling; capability maturity model integration.

Scientific field: Electrical and Computer Engineering

Scientific subfield: Computer Engineering and Information Theory

UDC number: _____

Rezultati ove teze publikovani su u sledećim SCI časopisima:

- **Z. Tafa** and V. Milutinović, "Detectability of Static and Moving Targets in Randomly Deployed Military Surveillance Networks," *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 291-312, 2011 (IF=0.302).
- **Z. Tafa**, G. Rakocevic, D. Mihailovic, and V. Milutinovic, "Effects of Interdisciplinary Education on Technology-Driven Application Design," *IEEE Transactions on Education*, vol. 54, no.3, pp. 462-470, 2011 (IF=1.157).
- S. Omerovic, Z. Babovic, **Z. Tafa**, V. Milutinovic, and S. Tomazic, "Concept Modeling: From Origins to Multimedia," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 51, no. 3, pp. 1175-1200, 2011 (IF=0.885).
- G. Rakocevic, **Z. Tafa**, and V. Milutinovic, "A Novel Approach to Data Mining in Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, 2012 (IF=0.302).

Rezultati teze su predstavljeni i na sledećim konferencijama:

- **Z. Tafa**, "Robot-Assisted Algorithms on Providing Path Connectivity and Barrier Coverage in Stochastic Network Deployments", *Third International ICST Conference on Ad Hoc Networks*, Paris, France, 2011.
- **Z. Tafa**, "Towards Improving Barrier Coverage by Using Mobile Robots," *IEEE Mediterranean Conference on Embedded Computing 2012*, Bar, Montenegro, pp. 166-169, 2012.
- M. Pejanovic, **Z. Tafa**, G. Dimic, and V. Milutinovic, "A Survey of Military Applications of Wireless Sensor Networks," *Proc. of IEEE Mediterranean Conference on Embedded Computing*, Bar, Montenegro, pp. 196-199, 2012.

SADRŽAJ

1 UVOD	1
1.1 Najvažniji aspekti bežičnih senzorskih mreža	3
1.2 Pokrivenost senzorskom mrežom i senzorske barijere	16
1.3 Pregled integracionog modela sazrevanja procesa - CMMI (Capability Maturity Model Integration)	25
1.4 Pregled konceptualnog modeliranja	30
1.5 Domen istraživanja i kriterijumi evaluacije	34
2 OPIS PROBLEMA	38
2.1 Definicija problema	39
2.2 Važnost korišćenja mobilnih čvorova u poboljšanju pokrivenosti u aktuelnim i budućim vojnim primenama	41
3. POSTOJEĆA REŠENJA	43
3.1 Energetski-svesni algoritmi za postizanje k-pokrivenosti	44
3.2 Metode analize i poboljšanja pokrivenosti mrežom u stohastički razmeštenim mrežama	46
4 PREDLOŽENO REŠENJE	53
5 MODELIRANJE USLOVA INSTALACIJE	58
6 OPIS SIMULATORA I ALGORITAMA	70
7 EVALUACIJA REZULTATA	83
8 OPIS RAZVOJA REŠENJA U KONTEKSTU CMMI PROCESNE OBLASTI "TEHNIČKO REŠENJE"	95

9 OPIS UTICAJA TERENA NA POZICIJU ČVORA	
KORISTEĆI KONCEPTUALNE MAPE.....	103
10 ZAKLJUČAK	107
LITERATURA	111
PRILOZI	
Prilog A: Lista skraćenica.....	124
Prilog B: Lista slika	126
Prilog C: Lista tabela.....	129
Prilog D: Listing koda simulatora.....	130

1 Uvod

Informaciono-komunikacione tehnologije (IKT) danas, svojim masovnim prisustvom i visokim nivoom integracije u svim sferama života, predstavljaju jedan od stubova razvoja modernog društva. Savremeni tehnološki trendovi se kreću u pravcu povećanja procesorskih, memorijskih i komunikacionih kapaciteta, u cilju povećanja brzina obrade i prenosa podataka. Uporedo sa njima, traže se metode za optimizaciju IKT performansi postojećih sistema koristeći odgovarajuće algoritme i softverska rešenja. Zajedno sa zahtevom za minimizacijom cene tehnologije, navedene dve dimenzije su trendovi koji datiraju još od samih početaka elektronskih komunikacija. Međutim, poslednjih godina, nameću se dodatni zahtevi koji, u naučnom i inženjerskom smislu, predstavljaju nove izazove u ovoj oblasti. Od IKT sistema se danas traži da budu sveprisutni, odnosno da budu dostupni u svim geografskim područjima, da se mogu koristiti i u stanju kretanja, da su minimalnih fizičkih dimenzija i da pri tom zadovolje sve potrebne zahteve za obradom i prenosom podataka. S obzirom da trenutno ne postoji tehnologija koja bi obezbedila sve navedene zahteve i bila adekvatna za korišćenje u svim aplikacijama, ovakva postavka ciljeva implicira integrisanje različitih IKT rešenja u jedan zajednički prostor elektronskih komunikacija. Tako npr. WiFi mreže danas nalaze veliku primenu jer obezbeđuju bežične komunikacije (u relativno malom prostoru) uz minimalne troškove i jednostavnu instalaciju. Ali, da bi se obezbedila veća geografska pokrivenost, potrebno je obezbediti povezanost WiFi sistema sa drugim tehnologijama (npr. ADSL, WiMax itd.) preko kojih će se obezbediti konektivnost za veće udaljenosti. Dok se kod prenosa podataka na Internetu prvenstveno zahteva što veći protok, u velikom broju aplikacija primarni zahtevi mogu biti: pokrivenost, mogućnost komunikacije u nepristupačnim područjima (dno okeana, šuma, krater vulkana itd.), sigurnost mreže itd.

Bežične senzorske mreže (BSM) predstavljaju tehnologiju koja omogućava očitavanje fizičkih veličina ili stanja događaja u nekom području od interesa. Ova tehnologija je specijalizovana za one aplikacije kod kojih se primarno zahteva autonomija napajanja i minijaturne fizičke dimenzije uređaja. Jedan od važnijih aspekata ove tehnologije je pokrivenost senzorskom mrežom. U ovoj tezi se razmatra pokrivenost područja od interesa u stohastički instaliranim BSM sistemima. Fokus teze se stavlja na predlog algoritama za dopunjavanje mreže mobilnim čvorovima u cilju ostvarivanja tzv. sigurnih senzorskih barijera. Predložena rešenja se takođe opisuju u svetlu CMMI (Capability Maturity Model Integration, integracioni model sazrevanja procesa) modela a uslovi implementacije se opisuju koristeći metode konceptualnog modeliranja.

Doktorska disertacija sadrži deset poglavlja, skup neophodnih priloga i pregled korišćene literature. U uvodnom delu teze se daje pregled najvažnijih aspekata BSM tehnologija, CMMI modela i konceptualnog modeliranja, zadržavajući (posebnim odelkom) fokus na pokrivenost mrežom i na specijalan slučaj pokrivenošću barijerom. U uvodnoj glavi se takođe predstavlja i uži domen istraživanja i kriterijumi evaluacije. U drugom poglavlju se vrši opis i definicija problema sa akcentiranjem trenutnog značaja problema i rasta njegovog značaja u budućnosti. U trećem poglavlju se daje kratak pregled literature po pitanju pokrivenosti, a postojeća rešenja za poboljšanje verovatnoće formiranja senzorskih barijera se detaljnije opisuju. U četvrtom poglavlju se opisuje suština predloženih rešenja i njihove potencijalne prednosti u odnosu na postojeća rešenja. U petom poglavlju se daju scenariji korišćenja algoritama, modeli razmeštaja čvorova i osnovne pretpostavke za modeliranje mrežnih parametara. Osim toga, ovde se matematički opisuju mogućnosti određivanja ili procene verovatnoće pokrivenosti regiona od interesa u stohastički instaliranim mrežama. Korišćeni algoritmi i razvijeni simulator se opisuju u šestom poglavlju a rezultati simulacije se predstavljaju u sedmom poglavlju. U osmom i devetom poglavlju se predlažu metodologije za opis tehničkog rešenja razvoja novih algoritama za poboljšanje senzorskih barijera

korišćenjem CMMI modela, kao i za opis uslova implementacije koristeći metode konceptualnog modeliranja, respektivno. Konačno, zaključak opisuje najbitnije doprinose i obzervacije koje su proistekle iz, i u toku, izrade ove teze. Pored zaključka, opisuju se okviri budućeg rada autora u ovoj oblasti. Na kraju se daju neophodni prilozi i pregled korišćene literature.

1.1 Najvažniji aspekti bežičnih senzorskih mreža

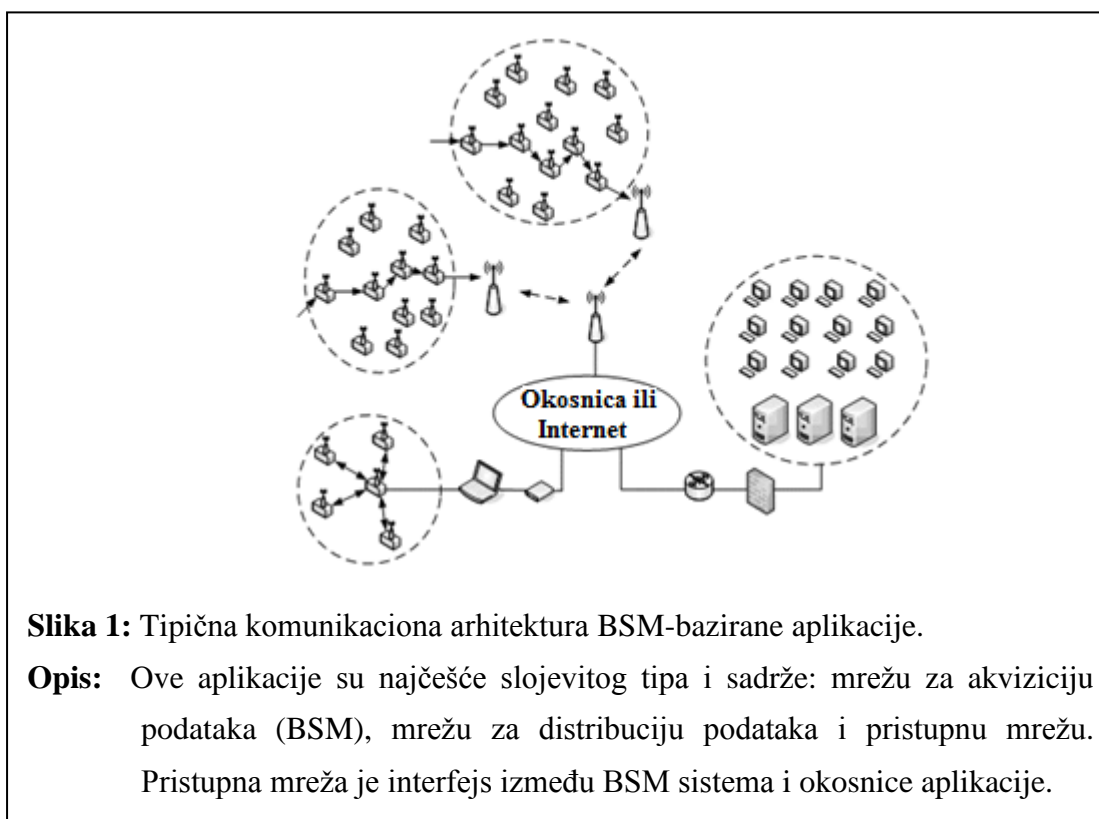
Bežične senzorske mreže predstavljaju novu klasu mikroračunarskih sistema kojima se proširuju mogućnosti ljudske interakcije sa udaljenim lokacijama [1]. Sistemi BSM se sastoje od skupa minijaturnih autonomnih uređaja koji poseduju određene senzorske, procesorske, memorijske i komunikacione kapacitete i koji saraduju u cilju očitavanja i prosleđivanja jednog ili više električnih ekvivalenata fizičkih veličina sa jedne ili više lokacija.

Dizajn BSM-baziranih aplikacija podrazumeva korišćenje tehnoloških dostignuća iz tri naučne i inženjerske oblasti: očitavanje i oblikovanje signala (elektronike), komunikacija i računarstva.

Počeci istraživanja u pravcu razvoja BSM tehnologije bili su motivisani primenom u vojnim aplikacijama. Jedna od prvih primena povezanih autonomnih sistema, preteče današnjih BSM sistema, realizovana je od strane agencije DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, agencija za napredne istraživačke projekte namenjene odbrani) početkom osamdesetih, u domenu ratne mornarice. U to vreme, ovakav projekat je bio veoma ambiciozan zbog relativno slabih elektro-mehaničkih i komunikacionih karakteristika tadašnjih elektronskih i IKT komponenti. Danas, proces očitavanja fizičkih veličina, računarske operacije nad podacima i komunikacija, mogu se ostvariti u energetski autonomnim kombo-čipovima minijaturnih dimenzija. Cilj ove tehnologije je razvoj kompletnog sistema MEMS (Micro Electro Mechanical System, mikro elektro mehanički sistem) zapremine manje od $1mm^3$. U terminologiji BSM sistema, ovi uređaji se nazivaju senzorski čvorovi. Postojeći senzorski čvorovi su ipak najčešće dimenzija reda cm^3 ili većih.

Osnovni zadaci senzorskih čvorova su: pretvaranje mernih veličina u električne ekvivalente, lokalna obrada podataka i prosleđivanje informacije prema određenom čvoru na dalji prenos ili na finalnu obradu. Čvor može proslediti podatak ka drugom (susednom) čvoru, ka nekom čvoru koji je zajednički za set čvorova (*sink* čvor ili *master* čvor), ili direktno ka korisniku. Sistem BSM tipično koristi Internet ili druge vrste konvencionalnih računarskih mreža za prenos podataka na veće udaljenosti, ka tačkama gde se obavlja finalna agregacija i analiza podataka. Većina BSM-baziranih aplikacija je realizovana u više komunikacionih nivoa (tzv. *multi-tier* arhitektura). Glavne komunikacione komponente arhitekture ovih aplikacija su (slika 1):

- Bežična senzorska mreža.
- Pristupna mreža (*gateway* čvorovi).
- Mreža za distribuciju podataka - okosnica.



U tipičnim primenama, u cilju detekcije pojava ili događaja, BSM pokriva određeni region i, preko pristupne mreže, prosleđuje informaciju prema

komunikacionoj kičmi aplikacije. BSM sistem može sadržati i tzv. *sink* čvorove a, na svojim ivicama, i *gateway* uređaje. Zadatak *sink* čvora je prikupljanje podataka iz senzorske mreže i njihova agregacija. Podaci se najčešće šalju prema nekom *gateway* čvoru koji povezuje senzorsku mrežu sa višim nivoima komunikacije, obično sa nekom širokopojasnom mrežom.

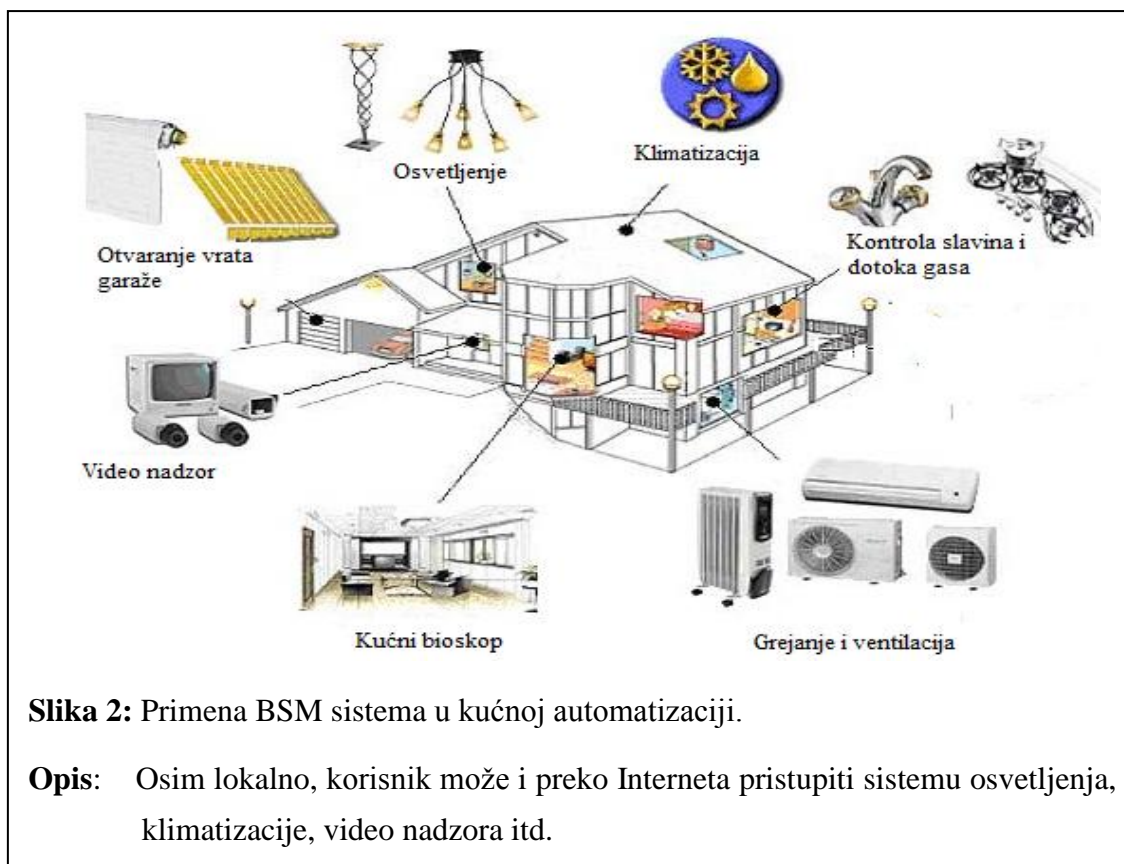
Komunikacija BSM-korisnik može biti jednosmerna (od senzora ka korisniku) ili dvosmerna. U zavisnosti od funkcije senzorskih čvorova, BSM sistem može biti homogen ili heterogen. Ako se senzorski čvorovi razlikuju u pogledu hardvera (i funkcije u mreži), tada je mreža heterogena. Ako su svi senzorski čvorovi ravnopravni u mreži, tada se radi o homogenoj mreži. Mreža može biti sastavljena samo od statičkih čvorova ili može sadržati i mobilne čvorove. U literaturi se, mreže koje sadrže i mobilne čvorove, diferenciraju kao posebne mreže MANET (Mobile Ad-hoc NETWORKS, mobilne ad-hoc mreže), aktuatorske mreže ili VANET (Vehicular Ad-hoc NETWORKS, ad-hoc mreže u saobraćaju). Takođe, mreža može biti ravne komunikacione arhitekture ili hierarhijske. U praksi se mreže češće organizuju u hierarhijskom obliku, u više komunikacionih nivoa. U zavisnosti od toga da li se fizička veličina očitava po dešavanju ili periodično, način očitavanja može biti reaktivan ili periodičan, respektivno.

Arhitektura BSM sistema može biti organizovana slično kao kod konvencionalnih računarskih mreža, tj. u obliku: tačka-tačka, zvezda, ili proširena zvezda. Ovi tipovi mreža podrazumevaju prosleđivanje podataka direktno ka korisniku ili ka nekoj centralnoj tački, slično kao kod drugih bežičnih tehnologija (radio-relejnih sistema, WiFi i WiMax tehnologija, mobilne telefonije itd.). Međutim, zbog relativno malog dometa bežičnih linkova, ovako organizovan BSM sistem je ograničen na male prostore kao što su npr. kućna okruženja, industrijski objekti, manje javne površine itd.

Tipične senzorske mreže ipak najčešće podrazumevaju *ad-hoc mesh* topologiju gde čvorovi pokrivaju veću geografsku oblast. Ovde se, u cilju pokrivanja većeg geografskog regiona, i istovremenog zadržavanja malog

dometa radio uređaja (zbog manje potrošnje energije), koristi manir prenosa podataka preko više čvorova, tj. skokova (engl. *multi-hop*), gde se informacija sa jednog čvora prenosi preko ostalih čvorova do mesta korišćenja. Za razliku od konvencionalnih računarskih mreža, ovde ne postoje namenski čvorovi (ruteri, komutatori ili habovi), već je uloga svakog čvora u mreži podložna promeni.

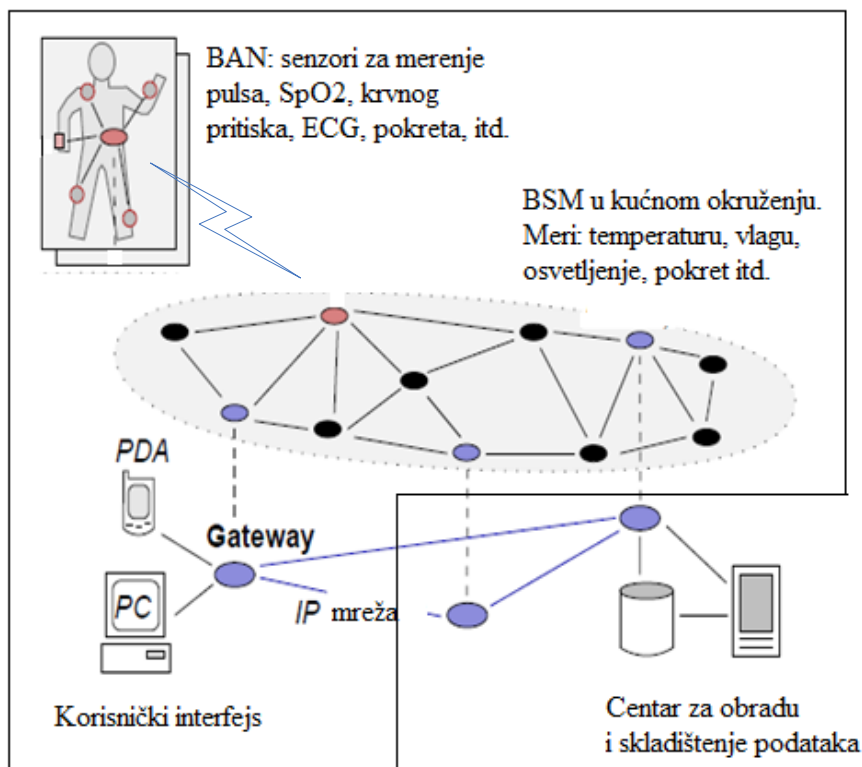
Sistemi BSM nalaze široku primenu u raznim oblastima kao što su: nauka, industrija, medicina, očuvanje životne sredine, kućna automatizacija i inteligentna okruženja, vojni monitoring itd. Oni predstavljaju podesne sisteme za primenu u svim oblastima gde se zahteva da uređaji budu minijaturnih dimenzija, da su pri tome energetske autonomni i bežično povezani, da su jeftini i pouzdani, a često da se mogu instalirati i u nepristupačnim uslovima. Primer jedne BSM-bazirane aplikacije, realizovane sa malim brojem čvorova za kućnu automatizaciju, dat je na slici 2.



U kućnoj automatizaciji, senzorska mreža se, kao što je predstavljeno na slici 2, može koristiti za upravljanje nivoom osvetljenja i grejanja, sistemom ventilacije i klimatizacije, u kontroli korišćenja struje, vode i gasa itd.

Zbog mogućnosti direktnog uticaja na kvalitet pružanja zdravstvene nege, primena BSM tehnologije postaje posebno interesantna za oblast medicine. U ovom pravcu je realizovan veliki broj inženjerskih projekata i objavljen veliki broj naučnih radova. Primeri takvih aplikacija dati su u [2] i [3], gde su razvijeni bežični sistemi oksimetrije, merač brzine pulsa i EKG (ElektroKardioGram). Senzorski čvorovi su programirani tako da, u slučaju odstupanja vitalnih znakova od normalnih vrednosti, pošalju alarm obližnjem centru hitne službe. Aplikacija može biti instalirana na PDA (Personal Digital Assistant, personalna digitalna pomoć), laptop ili desktop uređajima i može funkcionisati u uslovima unutar zdravstvene ustanove, na terenu, ili u kućnom lečenju. Jedan opis Bluetooth baziranog sistema za praćenje osnovnih fizioloških signala (puls, EKG i SpO₂) u kućnom ili bolničkom okruženju, dat je i u [4]. Izgled arhitekture jedne tipične BSM-bazirane aplikacije za praćenje fizioloških signala u kućnim ili ambulatnim uslovima je prikazan na slici 3.

Osim u oblasti praćenja vitalnih fizioloških signala, BSM nalazi primenu i u raznim drugim oblastima medicine kao što su: oftalmologija, neurologija, sportska medicina itd.



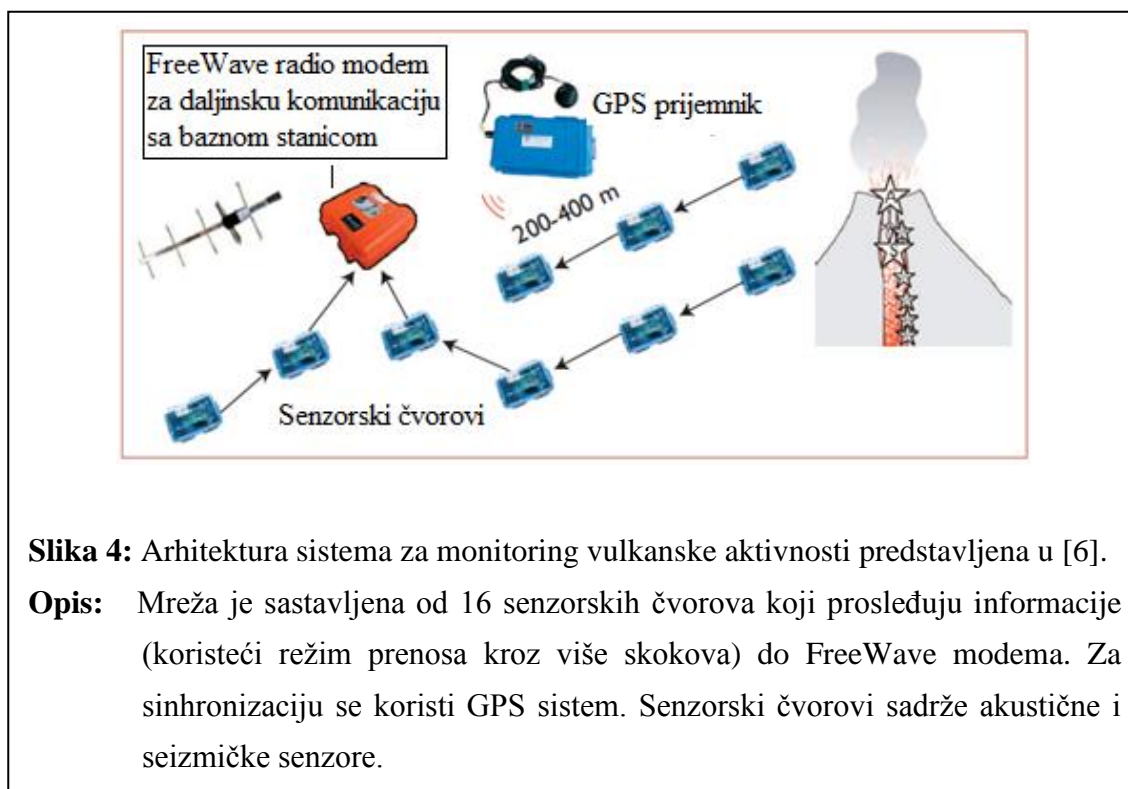
Slika 3: Arhitektura sistema za praćenje fizioloških signala i parametara okruženja pacijenta u kućnim ili ambulatnim uslovima.

Opis: U ovoj aplikaciji se koriste dve senzorske mreže: BAN (Body Area Network, mreža dometa regiona tela) koja se sastoji od senzora koji vrše kontinuiranu akviziciju signala sa pacijenta, i senzorski sistem koji je integrisan u životnom okruženju pacijenta. Podaci dobijeni od svih senzora mogu se pratiti direktno na PDA ili personalnom računaru. Oni se takođe, koristeći Internet ili specijalno projektovanu mrežu, u realnom vremenu šalju medicinskoj ustanovi, odnosno centru za obradu i čuvanje podataka.

Određeni broj projekata je realizovan ili se realizuje u pravcu korišćenja BSM tehnologije u zaštiti od požara. Jedna takva aplikacija, koja je praktički implementirana, prezentovana je u [5]. Za detekciju požara, senzorski čvorovi su instalirani na određenim lokacijama regiona Asturije i Galicije na severu Španije. Senzorski čvorovi očitavaju temperaturu, relativnu vlažnost,

koncentraciju ugljen-monoksida i koncentraciju ugljen-dioksida. Na osnovu svih očitanih veličina, donosi se zaključak o postojanju požara ili opasnosti od požara u određenoj oblasti.

Primer korišćenja BSM sistema u proučavanju vulkana je dat u [6]. Istraživanje je sprovedeno od strane Univerziteta Harvard, a primenjeno je na analizu aktivnosti vulkana Tunguraha u centralnom Ekvadoru. Umesto konvencionalnog načina merenja, u vidu niza stanica sačinjenih od seta žičano povezanih senzorskih čvorova napajanim uz pomoć velikih akumulatora, u ovom radu se praktično vrši praćenje infrazvučnih i seizmičkih signala sa vulkana koristeći bežičnu senzorsku mrežu koja, zbog redukovanja potrošnje, informaciju prosleđuje samo kada postoji određeni događaj. Arhitektura sistema je prikazana na slici 4.

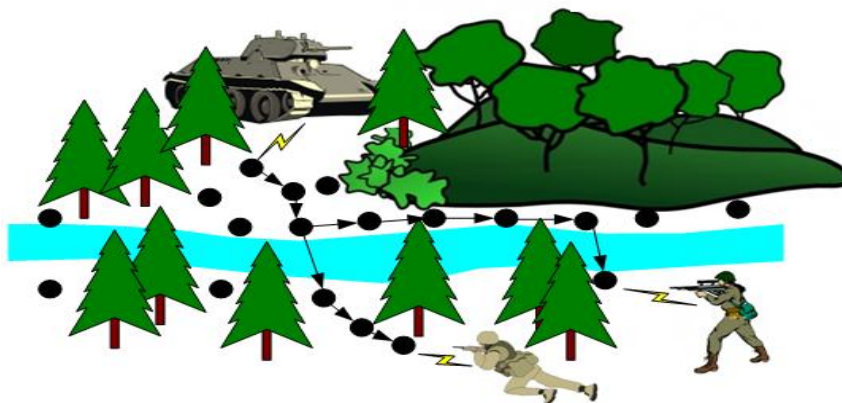


Sistemi BSM predstavljaju posebno interesantnu tehnologiju u scenarijima kada je potrebno da se monitoring određenih veličina vrši na duži vremenski

period bez prisustva čoveka. Tako npr. za praćenje staništa i kretanja životinja, važno je da mreža neprimetno prati određene parametre, ne remeteći uslove pod kojima se vrši monitoring. Opis nove tehnologije za primenu u ovim uslovima, i jedan primer monitoringa kretanja životinjskog sveta pomoću BSM sistema, dati su u [7] i [8], respektivno.

Primeri korišćenja BSM tehnologije se mogu naći i u raznim drugim oblastima kao što su: praćenje karakteristika zemljišta u poljoprivredi [9], sistemi za zaštitu od poplava kao što je ALERT (Automated Local Evaluation in Real Time), aplikacije za monitoring osobina konstrukcija mostova [10], rada mašina i nadgledanje industrijskih procesa [11], u praćenja saobraćaja [12] itd. U [13] se pominje preko 200 mogućnosti primene BSM sistema u raznim oblastima.

Posebno interesantna i istovremeno najzahtevnija oblast primene BSM sistema je oblast vojnih aplikacija. U vojne svrhe se BSM koristi za akviziciju podataka sa bojnog polja ([14], [15]), u zaštiti vojnih objekata [16], u zaštiti vojnih trupa i zaštiti regiona ([17], [18], [19], [20]). Pregled načina primene BSM sistema u vojnim aplikacijama dat je u [21]. U vojnim primenama, osim tehnoloških ograničenja vezanih za minijaturizaciju fizičkih dimenzija uređaja, optimizaciju po pitanju potrošnje i komunikaciju, potrebno je uzeti u obzir i dodatna ograničenja koja se odnose na uslove instalacije i razmeštaja čvorova, te načina funkcionisanja senzorskih čvorova u ovim uslovima. Ovi uslovi često podrazumevaju daljinsku instalaciju mreže (bez mogućnosti manualne intervencije na mreži), funkcionisanje čvorova u kontaminiranim područjima ili pod uticajem jakog elektromagnetnog polja itd. U ovim uslovima instalacije, potrebno je planirati rbusniju elektro-mehaničku i komunikacionu arhitekturu čvorova i mreže. Primer mogućeg scenarija instalacije BSM sistema za vojne potrebe, dat je na slici 5.

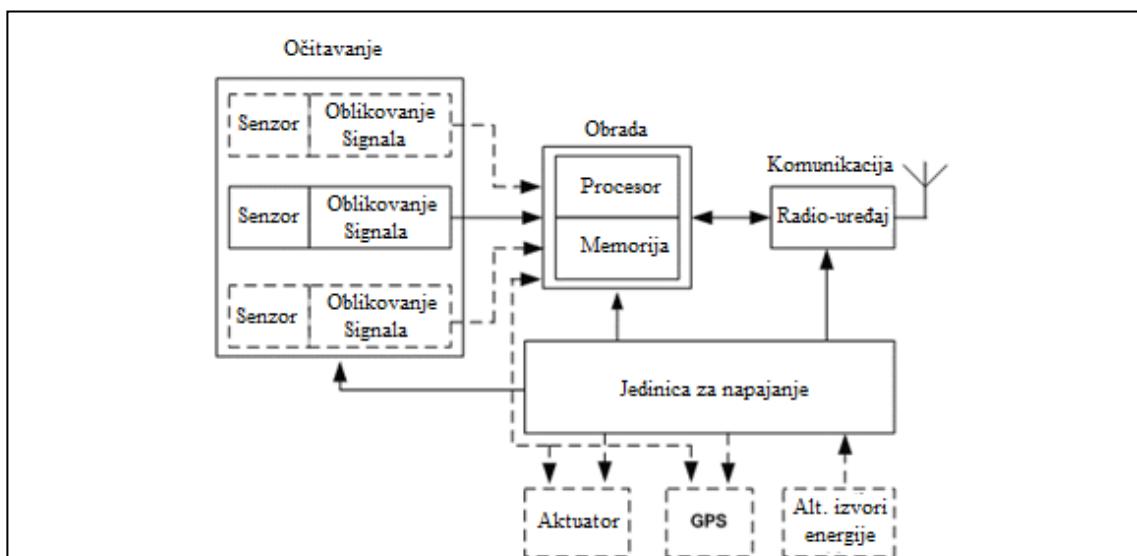


Slika 5: Primena BSM sistema u vojnim aplikacijama.

Opis: Osim ograničenja karakterističnih za BSM tehnologiju, u vojnim aplikacijama se instalacija BSM-a često radi iz vazduha na reljefno razuđenom terenu sa preprekama koji dodatno onemogućuje normalno očitavanje i bežično prosleđivanje podataka korišćenjem senzorskih čvorova. Ovo implicira potrebu za projektovanjem protokola koji umanjuju uticaj efekata sredine na funkcionalnost i kvalitet mreže.

Senzorski čvor je osnovna funkcionalna jedinica BSM sistema. Osobine senzorskog čvora imaju najveći uticaj na ukupne performanse aplikacije.

Blok šema strukture senzorskog čvora je data na slici 6.



Slika 6: Blok-šema arhitekture senzorskog čvora.

Opis: Svaki senzorski čvor sadrži: jedinicu za očitavanje i oblikovanje signala, mikroprocesorsku jedinicu, primopredajnik i jedinicu za napajanje.

Jedinica za očitavanje, mikroračunarska jedinica, jedinica za napajanje i radio uređaj, su neophodni delovi svakog senzorskog čvora, dok su ostali delovi opcioni.

Senzorske tehnologije danas uključuju: senzore za detektovanje električnog i magnetnog polja, seizmičke senzore, senzore za očitavanje radio-frekvencija, optičke i infracrvene senzore, lasere, radare, senzore za lokalizaciju/navigaciju, senzore za merenje pritiska sile, senzore za očitavanje temperature, vlage, biohemijske senzore itd. Senzori se generalno dele na pasivne i aktivne. Pasivni senzori (kao što su npr. akustički, seizmički, infracrveni, magnetni itd.) očitavaju intenzitet prijema određene veličine i predstavljaju manje potrošače energije. Aktivni senzori (npr. radar, sonar) emituju određenu energiju pre očitavanja povratne informacije.

U tipičnim BSM sistemima procesorski kapaciteti su reda nekoliko MHz a memorijski reda nekoliko KB. Uglavnom se koriste osmobarbitni ili šesnaestobarbitni procesori. Komunikacioni kapaciteti su reda nekoliko stotina Kbps do ~1Mps a dometa su od nekoliko desetina metara do reda km. Povećanjem dometa linkova, povećava se u velikoj meri potrošnja čvorova. Konzervacija energije predstavlja glavni razlog korišćenja linkova malih dometa i režima višestrukih skokova prenosa podataka u BSM.

Jedinica koja je takođe često sastavni dio senzorskog čvora je GPS (Global Positioning System, sistem za globalno određivanje pozicije). Ona služi za pozicioniranje i lokalizaciju, tj. za dobijanje apsolutnih koordinata u prostoru ili određivanje relativne pozicije jednog čvora u odnosu drugi, respektivno. Ovaj modul se često koristi u tehnikama rutiranja, ali se takođe koristi i prilikom dizajniranja drugih protokola koji zahtevaju poznavanje apsolutne ili relativne pozicije čvorova. Aktuator obezbeđuje reakciju senzorskog čvora u određenom smislu. Tako npr. on može obezbediti kretanje čvora u određenom pravcu u cilju povećanja pokrivenosti mrežom ili, u određenom trenutku, pobuđen određenim događajem, može npr. emitovati određeno zračenje ili izvršiti neku drugu aktivnost.

Osnovna osobina koja karakteriše senzorske čvorove i koja ih, zajedno sa fizičkim dimenzijama, suštinski razlikuje od čvorova konvencionalnih računarskih mreža, je energetska autonomija. Čvorovi se napajaju baterijski i/ili koristeći alternativne izvore energije. Ovo ih posebno ograničava po pitanju: procesorskog i memorijskog kapaciteta kao i po pitanju dometa bežičnih linkova, pogotovo ako se ima u vidu da životni vek nekih aplikacija (bez zamene baterije) treba da bude reda godina. Druga osobina senzorskog čvora, koja je opet korelisana sa pripadajućim kapacitetima svih ostalih komponenti sistema, je fizička veličina čvora. Baterijski kapacitet je direktno proporcionalan fizičkoj veličini baterije [22]. Ovo praktično znači da, minimizacija fizičkih dimenzija čvorova implicira potrebu za dodatnim iznalaženjem metoda za minimizaciju potrošnje, bilo da se one traže u kvalitetnijim komponentama, u smanjenju radnog ciklusa (engl. *duty-cycle*), u efikasnijem lokalnom procesuiranju podataka, u korišćenju energetski-svesnih komunikacionih protokola, u korišćenju režima komunikacije višestrukih skokova, u upotrebi mobilnih čvorova ili u alternativnim izvorima energije. Konačno, cena senzorskog čvora je bitan parametar, posebno u slučaju velikih mreža sačinjenih od nekoliko hiljada ili desetina hiljada čvorova. Ciljna vrednost koštanja senzorskog čvora je trenutno manja od \$1, što ne odgovara aktuelnim mogućnostima tehnologije [13]. Uzevši u obzir navedeno, inženjerski cilj u projektovanju fizičkog aspekta senzorskog čvora je projektovanje mehanički-robustnog minijaturnog i jeftinog čvora male potrošnje koji zadovoljava IKT zahteve u datoj implementaciji.

Osim u pomenutim kontekstima elektro-mehaničke i cost/benefit efikasnosti, senzorski čvor je potrebno posmatrati i u kontekstu komunikacije sa ostalim čvorovima, tim pre što je upravo komunikacija najosetljiviji deo BSM funkcionalnosti. Komunikacioni moduli su generalno najveći potrošači u senzorskom čvoru. Osim toga, njihov propusni opseg je opterećen velikim brojem bežičnih linkova. U [23] je pokazano da se komunikacioni kapacitet čvora asimptotski smanjuje povećanjem gustine i ukupne veličine mreže,

odnosno broja čvorova. U uslovima guste i geografski velike mreže, izazov predstavlja način efikasnog ostvarivanja više komunikacionih sesija s kraja na kraj između baterijski napajanih minijaturnih uređaja malih komunikacionih i procesorskih kapaciteta. Osim toga, deljenje propusnog opsega u dometu bežičnog linka u ovim uslovima najčešće povlači veliko kašnjenje ili malu iskorišćenost propusnog opsega po čvoru, uz manju ili veću potrošnju energije, u zavisnosti od postavljenih prioriteta. Ipak, u literaturi postoje razni protokoli kojima se vrši optimizacija po pitanju kašnjenja, iskorišćenosti propusnog opsega, potrošnje itd. Struktura ovih protokola najčešće zavisi od: veličine mreže, tipa organizacije mreže (topologije), tipa očitavanja (bazirano na događaju, na upitu ili periodično), vrste okruženja (dinamičko ili statičko), da li je mreža homogena ili heterogena itd.

Može se primetiti da, u slučaju korišćenja slojevitog modela za predstavljanje funkcionalnosti BSM sistema, osim naučno interesantnih specifičnosti svakog sloja, komunikacioni slojevi imaju i određeni stepen međuzavisnosti, kao i stalno prisutni faktor potrošnje energije koji se mora uzimati u obzir prilikom projektovanja svakog protokola. Tako npr. povećanjem emisione snage radio uređaja (što predstavlja pitanje fizičkog sloja) postiže se veća stabilnost a time i pouzdanost linka, čime se povećava pouzdanost s kraja na kraj, što tipično predstavlja pitanje transportnog sloja. Ipak, povećanjem emisione snage, povećava se interferencija, što može dovesti do preopterećenja i zagušenja u mreži, a što predstavlja pitanje fizičkog sloja i sloja veze. U zavisnosti od vrste aplikacije, uvek je potrebno odrediti raspored prioriteta po važnosti. Parametri koji najčešće služe za određivanje kvaliteta mreže, ne uzimajući u obzir ukupnu cenu mreže, u tipičnim BSM aplikacijama se mogu podeliti u:

- a) Fundamentalne (pokrivenost i konektivnost).
- b) Važne (tolerantnost na greške, mala potrošnja energije i dugi vek trajanja, niska cena, otpornost na mehanička oštećenja itd.).
- c) Poželjne (malo kašnjenje, veliki protok itd.).

Zbog velikog broja parametara koji se sreću u svakom od slojeva komunikacionog modela, i zbog činjenice da parametri jednog sloja utiču na protokole drugih slojeva, projektovanje protokola BSM sistema je kompleksan zadatak koji nema standardizovano rešenje za sve primene. Integrisani pristupi projektovanja BSM-baziranih aplikacija dati su u [24] i [25]. Iako protokoli mogu pojedinačno biti projektovani za postizanje veoma visokih performansi u okviru metrike pripadajućeg sloja, oni nisu optimizovani za postizanje maksimalnih ukupnih performansi mreže pri minimalnoj potrošnji energije [26]. Tako npr. minimizacija kašnjenja povlači minimizaciju broja skokova, što implicira povećanje distanci između čvorova a to opet povlači veću potrošnju. S druge strane, minimizacija potrošnje povlači minimizaciju vremena koje čvor provodi u aktivnom stanju, što povećava kašnjenje i smanjuje protok. Iz navedenih razloga, sve više se teži takozvanim inter-slojevnim (engl. *cross-layer*) rešenjima kojima se ukidaju stroge granice između slojeva, odnosno koja konceptualno izlaze iz paradigme slojevitog pristupa komunikaciji. Iako postoje rešenja koja kombinuju i druge slojeve, kao što je npr. združena optimizacija MAC (Media Access Control, upravljanje pristupa medijima) i protokola rutiranja po pitanju energetske efikasnosti ([27], [28]), najčešće se u ovom pravcu realizuje sprega između fizičkog sloja i ostalih slojeva, definišući na taj način energetske svesne (engl. *energy aware*) MAC protokole ([29], [30]), protokole rutiranja ([31], [32]), ili transportne protokole ([33]). Postoje i razne druge interakcije između slojeva. Tako npr. regulisanjem emisije snage i brzine prenosa u zavisnosti od detektovanog nivoa interferencije na linku, može se poboljšati pouzdanost linka, što zahteva interakciju između transportnog, MAC i fizičkog sloja. Na sličan način, u senzorskim mrežama baziranim na periodičnom očitavanju, aplikacijski sloj može regulisati učestanost očitavanja, u zavisnosti od dinamike promene veličine koja se očitava. Štaviše, faza između očitavanja i prosleđivanja podataka od strane senzorskih čvorova se može podesiti da bude takva da obezbeđuje manju verovatnoću kolizije.

Osim navedenih ograničenja, kao što se vidi iz polja primene, BSM sistem mora da obezbedi dobre performanse i u slučaju implementacije u veoma zahtevnim okruženjima. Dinamička promena arhitekture mreže kao i stohastički način instalacije, predstavljaju veliki izazov po pitanju dizajna i optimizacije svih elektro-mehaničkih, topoloških i komunikacionih karakteristika mreže. Ipak, osnovni pokazatelji funkcionalnosti svake BSM-bazirane aplikacije su pokrivenost područja od interesa senzorskom mrežom i konektivnost, odnosno sposobnost mreže da očita sve interesantne podatke sa područja od interesa i mogućnost prosleđivanja ovih podataka ka korisniku. Štaviše, postoji povezanost između pokrivenosti i konektivnosti. Kako se pokazuje u [34], postojanje pokrivenosti implicira postojanje konektivnosti ako je komunikacioni radijus jednak ili veći od dvostruke vrednosti radijusa očitavanja. Zbog ove činjenice, kao i zbog sličnosti modeliranja senzorskog i komunikacionog polja, pokrivenost i konektivnost BSM sistema se često izučavaju zajedno ([35], [36], [37]).

U ovoj tezi se razmatra pokrivenost područja od interesa poljem BSM sistema u slučaju stohastičke instalacije mreže. Kako su stohastičke instalacije tipične za vojne aplikacije, razmatra se pokrivenost područja od interesa vojnih aplikacija sa posebnim akcentom na evaluaciju kvaliteta i povećanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera korišćenjem mobilnih robota ili mobilnih čvorova.

1.2 Pokrivenost senzorskom mrežom i senzorske barijere

Jedan od najvažnijih pokazatelja kvaliteta servisa BSM-bazirane aplikacije je stepen pokrivenosti područja od interesa senzorskim poljem [38]. Pokrivenost podrazumeva prisutnost domena očitavanja senzora u području ili tačkama od interesa, odnosno sposobnost mreže da očitava fizičke veličine ili događaje u polju od interesa. Polje od interesa može biti u obliku određenog skupa tačaka u prostoru, čitavog jednog geografskog područja, određene linije kretanja ili linije

razdvajanja dva regiona. Na slici 7 je prikazana pokrivenost određenih tačaka za akviziciju podataka u poljoprivredi.



U zavisnosti od primene, BSM sistem može biti veoma gusto raspoređen u prostoru. Ipak povećanje gustine mreže, iako u velikom broju slučajeva poželjno (zbog redundantosti u slučaju ispada određenog broja čvorova iz režima rada), ograničeno je cenom, pa čak i performansama mreže. Naime, u slučaju preguste mreže može doći do prosleđivanja redundantnih podataka, što bespotrebno troši energiju čvorova. Osim toga, veća gustina čvorova znači i veću mogućnost kolizije. Zbog toga se može zahtevati da tačno određeni broj čvorova istovremeno očitava podatke sa određenog područja, dok se ostali čvorovi stavljaju u režim spavanja i naknadno se po potrebi aktiviraju. Ako je broj takvih čvorova k ($k \geq 1$), onda se govori o k -pokrivenošću mrežom. Ovaj tip pokrivenosti je interesantan u pogledu štednje energije kao i u pogledu robusnosti mreže (u slučaju ispada nekih od čvorova). Najveći dio naučnih radova po pitanju pokrivenosti senzorskom mrežom, fokusiran je upravo na razvoj algoritama i dizajn protokola i sistema za postizanje k -konektivnosti ili k -pokrivenošću mrežom, kao i na evaluaciji performansi predloženih algoritama. Ipak, fundamentalna pitanja i ograničenja iz ove oblasti vezana su za uticaj osnovnih parametara na performanse BSM protokola koji tretiraju pokrivenost. Ova svojstva su:

- gustina mreže,
- model očitavanja čvorova,
- oblik oblasti od interesa i
- strategija razmeštaja čvorova.

Ova teza je upravo fokusirana na analizu uticaja osnovnih parametara na pokrivenost regiona i pokrivenost barijerom kao i na uticaj osnovnih parametara na potreban broj dodatnih mobilnih čvorova kojima se u mreži, prema novo predloženim algoritmima, može poboljšati pokrivenost barijerom.

Osnovni parametar u modeliranju mreže je model očitavanja senzora. U analizi pokrivenosti, najviše su zastupljena pet modela očitavanja senzora i to: Bulov ili binarni model, Elfetov model, opšti model, shadow-fading model i Neyman-Pearson model.

Bulov model ([39], [40], [41]) je idealizacija koja se najčešće koristi kada je fokus analize na mrežnoj topologiji, odnosno kada se sprovodi generalna analiza po pitanju uticaja osnovnih parametara mreže na funkcionalnost aplikacije. Po ovom modelu, senzorsko polje je disk fiksnog radijusa očitavanja R_s . Svi događaji koji se nalaze u unutrašnjem regionu ovog diska se detektuju od strane senzora sa verovatnoćom $Pd=1$, dok se događaji koji se nalaze van kruga radijusa R_s ne detektuju.

Elfetov [35] i opšti model ([42], [43], [44]) su nešto složeniji, ali uzimaju u obzir i uticaj prostiranja signala, kao i uticaj emitovane energije od strane događaja koji se očitavaju. Elfetov model je dat relacijom (1):

$$p(x) = \begin{cases} 1, & x \leq R_1 \\ e^{-\lambda(x-R_1)^\gamma}, & R_{max} > x > R_1 \\ 0, & x \geq R_{max} \end{cases} \quad \dots (1)$$

gde su λ i γ parametri koji opisuju fizičke karakteristike senzora. Ukoliko se događaj nalazi u krugu poluprečnika R_1 , on se detektuje sa verovatnoćom $Pd=1$. Ako se nalazi na prstenu unutrašnjeg i spoljašnjeg radijusa R_1 i R_{max} ,

respektivno, detekcija zavisi od ostalih parametara po eksponencijalnoj funkciji, a ako se objekat nalazi izvan kruga radujusa R_{max} , objekat se ne detektuje od strane čvora. Kod kružnih modela očitavanja, smatra se da se senzor nalazi u centru kruga.

Generalni model očitavanja, dat je relacijom (2):

$$S(s, p) = f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha}{d(s,p)^\beta}, & a_1 \leq d(s, p) \leq a_2 \\ d, & \text{drugačije} \end{cases} \quad \dots (2)$$

Generalni model uključuje i emitovanje energije od strane objekata, a u relaciji se kvantifikuje sa α . Parametar β je faktor slabljenja prilikom propagacije signala. Tačka a_1 je obično pozicija samog senzorskog čvora.

Precizniji model po pitanju prostiranja signala je tzv. *shadow-fading* model ([45]). On je složeniji ali preciznije definiše polje očitavanja senzora. On se definiše relacijom:

$$P_{det}(x) = Q\left(\frac{10n \log_{10}(x/R_s)}{\sigma}\right) \quad \dots (3)$$

gde je $2 \leq n \leq 4$ indeks slabljenja, R_s je radijus očitavanja bez fedinga, dok je σ parametar fedinga. $Q(x)$ se definiše:

$$Q(x) \triangleq \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad \dots (4)$$

Neyman-Pearson-ov model, koji je dat u [46], je najsloženiji. Osim navedenih uticaja sredine, on inkorporira i pitanje lažnog alarma u mreži. Detekcija signala se obavlja u prisutnosti belog Gausovog šuma sa nultom srednjom vrednosti, varijansom σ_n^2 , i indeksom slabljenja η . Verovatnoća da se meta, koja se nalazi u tački v , detektuje od strane objekta i , kada je stepen lažnog alarma dat sa α , data je relacijom:

$$p_{vi} = 1 - \Phi \left(\Phi^{-1}(1 - \alpha) - \sqrt{\gamma L d_{vi}^{-\eta}} \right) \quad \dots (5)$$

gde je $\Phi(x)$ kumulativna funkcija nulte srednje vrednosti, jedinične varijanse Gausove slučajne promenljive u tački x . Svaka odluka se donosi na osnovu L uzoraka. Parametar d_{vi} predstavlja geometrijsku (Euklidsku) udaljenost tačke v od tačke i . Parametar γ se računa kao $\gamma = A\psi/\sigma_n^2$, gde su A i Ψ antensko pojačanje i emisiona snaga, respektivno.

Bez obzira što takva aproksimacija u manjoj meri preslikava realnu implementaciju, u literaturi se zbog jednostavnosti, bilo da se radi o opisu senzorskog ili bežičnog komunikacionog polja, najčešće koristi Bulov model. Ovo posebno važi kada je u pitanju gušća mreža čvorova malog senzorskog ili komunikacionog dometa, u kojoj uslovi implementacije manje utiču na oblik senzorskog ili elektromagnetnog polja.

Osim modela očitavanja, način razmeštaja čvorova po regionu je veoma važan element koji definiše topologiju mreže a, posredno, kroz stepen pokrivenosti i konektivnosti, i kvalitet servisa. Pozicioniranje čvorova u regionu od interesa može biti:

- Pravilno, kada su čvorovi razmešteni po temenima ili unutrašnjosti pravilnih geometrijskih oblika kao što su jednakostranični trougao, kvadrat ili pravilni šestougao.
- Planirano, kada su senzorski čvorovi instalirani u tačno određenim tačkama od interesa.
- Stohastičko, kada su senzorski čvorovi razmešteni na kvazi slučajan način u određenom regionu.

Instalacija mreže po temenima ili centrima pravilnih geometrijskih oblika obezbeđuje ravnomernu raspodelu mreže po regionu. Zbog jednostavnosti i skalabilnosti, ona je pogodna u srednjim i velikim mrežama u kojima je

primarni cilj visok kvalitet pokrivenosti kompletnog područja [47]. Kao i planirana mreža, ova mreža je izvodljiva u situacijama gde se pozicijama čvorova može lako pristupiti, odnosno gde se čvorovi mogu instalirati u tačno definisanim pozicijama. Jedna analiza po pitanju efikasnosti pomenutih topologija data je u [48]. Autori analitički dokazuju da, u slučaju relativno malog domena očitavanja, najefikasnija metoda za pokrivanje određenog područja je korišćenje pravilnog šestougla, dok u slučaju velikog radijusa očitavanja, trouglasta struktura pokazuje bolje rezultate u smislu postizanja željene pokrivenosti sa manjim brojem čvorova. Kvadratna struktura pokazuje zadovoljavajuće rezultate za opšti slučaj, tj. efikasnost korišćenja kvadratne strukture se bitno ne menja promenom veličine radijusa očitavanja.

Kod tzv. planirane instalacije, senzori su smešteni sa većim stepenom gustine u područjima gde je koncentrisana fizička pojava koja se očitava [49]. Ova instalacija je pogodna u malim mrežama a u inženjerskom smislu je interesantna samo po pitanju odabira najadekvatnijih komponenti u cilju optimizacije parametara mreže.

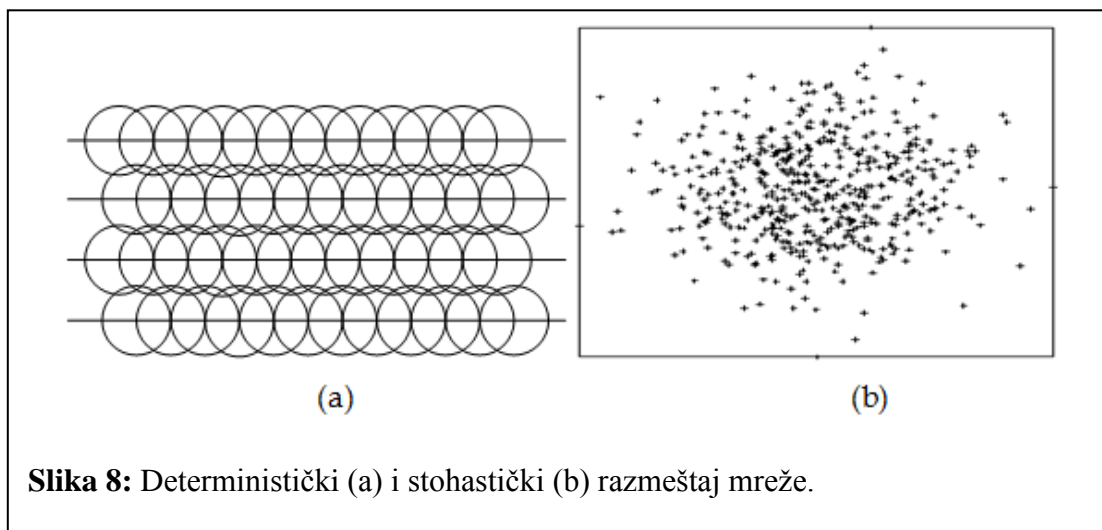
Uzevši u obzir sva tehnološka (elektro-mehanička i komunikaciona) ograničenja senzorskih čvorova kao i uslove implementacije BSM sistema, situacija kada mreža mora biti razmeštena stohastički dodatno otežava kompletan dizajn mreže, prvenstveno po pitanju pokrivenosti i konektivnosti a zatim i po pitanju ostalih pokazatelja. Ipak, u zavisnosti od načina instalacije, a u cilju procene pokrivenosti i konektivnosti, u literaturi se verovatnoća slučajnog pozicioniranja čvorova u regionu, opisuje koristeći neku od funkcija raspodele verovatnoće.

U zavisnosti od načina definisanja polja od interesa, postoje različite mere kojima se opisuje kvalitet pokrivenosti.

Pokrivenost tačaka (engl. *point coverage*) predstavlja meru pokrivenosti kojom se opisuje kvalitet pokrivenosti u određenim tačkama od interesa (slika 7). Tačke od interesa se mogu nalaziti u unutrašnjosti određenih mašina ili prostorija u industriji, na određenim tačkama zemljišta u poljoprivredi, u

pozicijama gde se očitavaju parametri ili kontrolišu uređaji u kućnoj automatizaciji itd. S obzirom da se čvorovi instališu u tačno određenim pozicijama, gde postoji mogućnost ostvarivanja optimalne pokrivenosti i konektivnosti uz optimizaciju i drugih parametara, ovakav vid instalacije ne predstavlja izazov u naučnom i inženjerskom smislu.

Druga mera pokrivenosti je tzv. **pokrivenost područja** (engl. *area coverage*) koje se izučava za slučaj determinističke ili stohastičke raspodele čvorova i koja predstavlja meru kojom je određeno geografsko područje pokriveno sa jednim ili više polja očitavanja senzorskih čvorova (slika 8).



Slika 8: Deterministički (a) i stohastički (b) razmeštaj mreže.

Pokrivenost područja je posebno interesantna u aplikacijama za zaštitu životne sredine (npr. u detekciji kontaminacije zemljišta ili vazduha, u zaštiti od požara itd.) i u vojnim aplikacijama (npr. u detekciji radioaktivnih elemenata, biološkog ili hemijskog oružja, u detekciji i prepoznavanju vojne mehanizacije itd.). Domen očitavanja čvora definišemo kao područje u okviru kojeg jedan senzor može da očitava vrednosti, a domen očitavanja senzorske mreže kao geografsko područje koje, svojim senzorskim domenima, pokrivaju svi čvorovi BSM arhitekture.

Treći slučaj primene je tzv. **pokrivenost barijerom** (engl. *barrier coverage*). Pokrivenost barijerom je mera pokrivenosti kojom se izražava sposobnost mreže da detektuje prelaze preko određene linije – barijere, sa jednog regiona

na drugi. Ovaj vid primene je najčešće prisutan u aplikacijama gde se određeno područje teži zaštititi od neželjenih upada, npr. u obezbeđivanju državne granice, u zaštiti linije razdvajanja vojno interesantnih područja i slično.

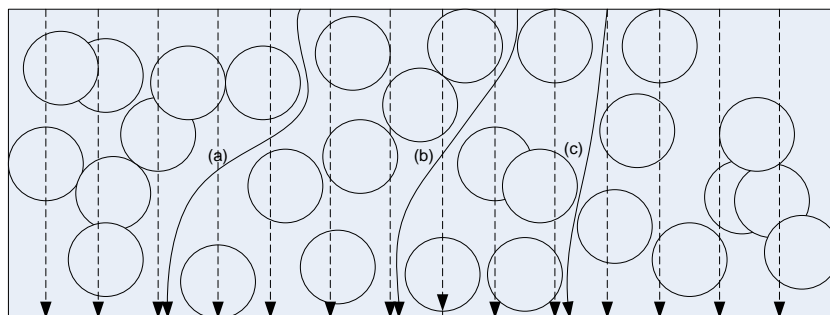
Konačno, sposobnost mreže da detektuje pokretne entitete u senzorskom polju se generalno naziva **detektabilnost**. Detektabilnost senzorske mreže je važna mera kvaliteta, posebno u vojnim aplikacijama, kada se od mreže zahteva da, sa određenom sigurnošću, detektuje pokretne mete. Pokrivenost barijere se takođe može smatrati specijalnim slučajem detektabilnosti. Međutim, u literaturi se ona izučava odvojeno od ostalih vidova detektabilnosti. Detektabilnost se u literaturi deli na: pokrivenost najboljeg slučaja (engl. *best case coverage*), pokrivenost najgoreg slučaja (engl. *worst case coverage*) i pokrivenost putanje (engl. *path coverage*). Pokrivenost najboljeg slučaja podrazumeva kretanje entiteta po putanji koja je najbolje pokrivena senzorskim poljem. S druge strane, pokrivenost najgoreg slučaja podrazumeva putanju koja daje najveću verovatnoću da entitet, prilikom kretanja po njoj, prođe nedetektovan od strane mreže. U [50] i [51] dati su pristupi izračunavanju pokrivenosti najgoreg i najboljeg slučaja. Konačno, matematičko određivanje asimptotske vrednosti verovatnoće detekcije pokretnog entiteta prilikom kretanja po senzorskom polju, za slučaj kada su pozicije čvorova slučajne i uniformno raspodeljene po beskonačnom pravougaonom regionu, dato je u [52].

Kada se govori o senzorskoj barijeri kao specijalnom slučaju opšteg koncepta pokrivenosti BSM sistemom, osim navedenih načina implementacije i modela očitavanja, kod stohastičkih instalacija je veoma važna i **putanja prelaska preko barijere**. Naime, senzorska barijera može biti formirana na nekoliko načina:

- Postojanjem određenog broja manjih nepovezanih barijera koji obezbeđuju sigurnu detekciju po predefinisanoj putanji, npr. po putanji ortogonalnoj na dužinu pravougaonika kao na slici 9. Ovaj vid pokrivenosti se još naziva i **slaba senzorska barijera**. Ovaj tip

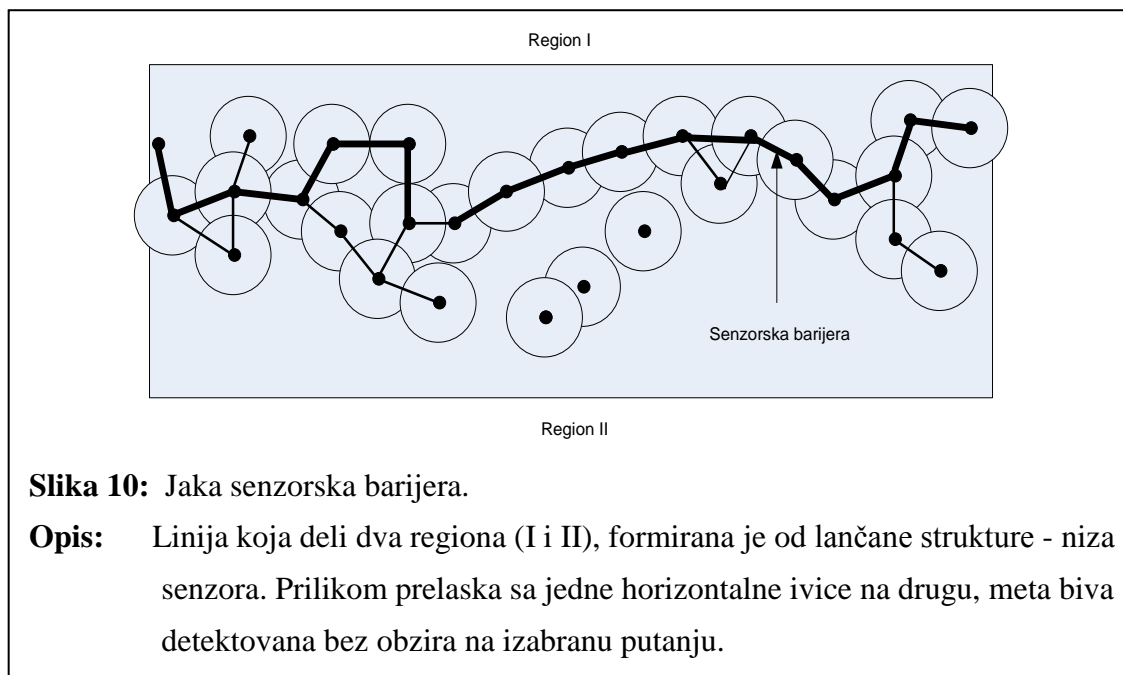
senzorske barijere je interesantan kada meta, ne znajući pozicije senzora, pokušava da pređe određeno područje najkraćom putanjom, odnosno putanjom sa najmanjom verovatnoćom detekcije (isprekidane linije kretanja na slici 9). Postojanje slabe senzorske barijere ne znači i nepostojanje putanje po kojoj entitet nedetektovano može preći iz jednog regiona u drugi. Na slici 9, primeri takvih prolaza su označeni sa (a), (b) i (c).

- Postojanjem lančane strukture čvorova čiji se dometi očitavanja preklapaju ili dodiruju kao na slici 10. U ovoj topologiji mreže, objekat se detektuje prilikom prelaska sa regiona I na region II, bez obzira na putanju koju odabere. Ovaj tip senzorske barijere se u literaturi naziva **jaka (sigurna) senzorska barijera**.
- Postojanjem barijere u odnosu na određenu veličinu objekta koji se detektuje. U ovoj situaciji se ne formiraju ni slabe ni sigurne senzorske barijere po određenoj putanji, već barijere imaju nepokrivene delove koji su po širini manji od veličine objekata koji se detektuju, te pružaju dovoljan uslov za sigurnu detekciju tih objekata.



Slika 9: Slaba senzorska barijera.

Opis: Ne postoji mogućnost nedetektovanog prelaska regiona po vertikali. Ipak, postoji mogućnost prelaska iz jednog regiona u drugi, kada se znaju pozicije senzorskih čvorova.



Slika 10: Jaka senzorska barijera.

Opis: Linija koja deli dva regiona (I i II), formirana je od lančane strukture - niza senzora. Prilikom prelaska sa jedne horizontalne ivice na drugu, meta biva detektovana bez obzira na izabranu putanju.

U ovom radu se analizira stepen formiranja slabih i jakih senzorskih barijera kod stohastički instaliranih mreža u zavisnosti od mrežnih parametara kao što su: radijus očitavanja, gustina mreže i način razmeštaja čvorova. Fokus se stavlja na opis novih algoritama za efikasan razmeštaj mobilnih čvorova ili robota u cilju povećanja verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera.

1.3 Pregled integracionog modela sazrevanja procesa - CMMI (Capability Maturity Model Integration)

Integracioni model sazrevanja procesa je osmišljen je od strane DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency, agencija za napredne projekte istraživanja u odbrani) a proizveden je od strane Software Engineering instituta na Univerzitetu Carnegie Mellon. Njegova glavna uloga je praćenje poboljšanja procesa kroz faze razvoja projekta, što ga čini podesnim alatom u domenu rukovođenja projektima, rukovođenja procesima, inženjerstvu i podršci. CMMI se, međutim, može koristiti i u raznim drugim disciplinama. Ono predstavlja metodologiju kojom se verifikuje postojanje efektivnih procedura za

unapređenje određenih radnih procesa, projekata ili organizacija u celini. Drugim rečima, CMMI je vodič kroz optimizaciju procesa unutar projekta kao i projekta u celini [53]. Jedan primer primene CMMI modela u optimizaciji procesa razvoja BSM sistema i odgovarajućih tehnologija za prenos multimedijalnih podataka u praćenju suša u Taiwanu, dat je u [54].

Proces se definiše kao sekvencijalna aktivnost koja se izvršava po utvrđenom redosledu a uključuje definisane aktivnosti, ograničenja, resurse i predefinisane izlazne rezultate [55]. Svaki proces ima sljedeće karakteristike procesa i aktivnosti:

- Propisuje sve glavne aktivnosti.
- Posедуje skup vodećih principa koji definišu ciljeve pojedinačnih aktivnosti.
- Aktivnosti su organizovane u sekvence.
- Svaka aktivnost poseduje kriterijume za početak i kraj.
- Svaka aktivnost koristi resurse u skladu sa definisanim ograničenjima, među-rezultatima, ili očekivanim proizvodima.
- Aktivnosti mogu biti strukturane.

Model procesa je skup strukturiranih elemenata koji opisuju karakteristike efektivnih procesa. Procesi uključeni u model su empirijski dokazani kao efektivni i efikasni [56]. CMMI integriše najbolje prakse vodećih industrijskih organizacija iz raznih oblasti kao što su: softversko inženjerstvo, sistemsko inženjerstvo, biznis, hardversko inženjerstvo itd. On predstavlja spisak procesnih oblasti koji ukazuju na to šta treba raditi (a ne kako treba raditi), integrišući prakse iz raznih polja primene. Drugim rečima, CMMI je metodologija na koju se mogu dodati razne ekstenzije, u zavisnosti od oblasti primene. Procesna oblast predstavlja kluster povezanih praksi u datoj oblasti takav da, kada se implementira u celosti, vodi ka ispunjenju seta ciljeva koji su važni za unapređenje određenog procesa. Model CMMI uključuje 22

standardnih procesnih oblasti (tabela 1). Svaka procesna oblast se sastoji od ciljeva i praksi. Ciljevi i prakse se dele na:

- Opšte, GG (Generic Goals, opšti ciljevi) i GP (Generic Practices, opšte prakse). Ovi ciljevi i prakse su isti za sve procesne oblasti.
- Specifične, SG (Specific Goals, specifični ciljevi) i SP (Specific Practices, specifične prakse).

Opšti ciljevi definišu šta generalno treba postići na nivou određene procesne oblasti. Opšte prakse su očekivani rezultati procesne oblasti. Obe stavke (GG i GP) predstavljaju nivo institucionalizacije procesa. Specifični ciljevi i prakse određuju koje korake sekvencijalno treba preduzeti da bi se zadovoljili opšti ciljevi. Oni uključuju određeni set predefinisanih aktivnosti koje korisnik treba preduzeti da bi se ostvario cilj. Postoje pet CMMI nivoa zrelosti. Za svaki od nivoa su propisani ciljevi. Ispunjenjem ciljeva iz određenog nivoa zrelosti, svrstava organizaciju u jednu od pet kategorija. Svaki od nivoa se sastoji od predefinisano seta **procesnih oblasti** koji se mere nivoom dostizanja generičkih i specifičnih ciljeva.

CMMI model ima četiri discipline:

- Sistemsko inženjerstvo.
- Softversko inženjerstvo.
- Integrisani razvoj procesa i proizvoda.
- Izbor snabdevača i podrška.

Reprezentacija po oblastima primene i nivoima zrelosti data je u tabeli 1.

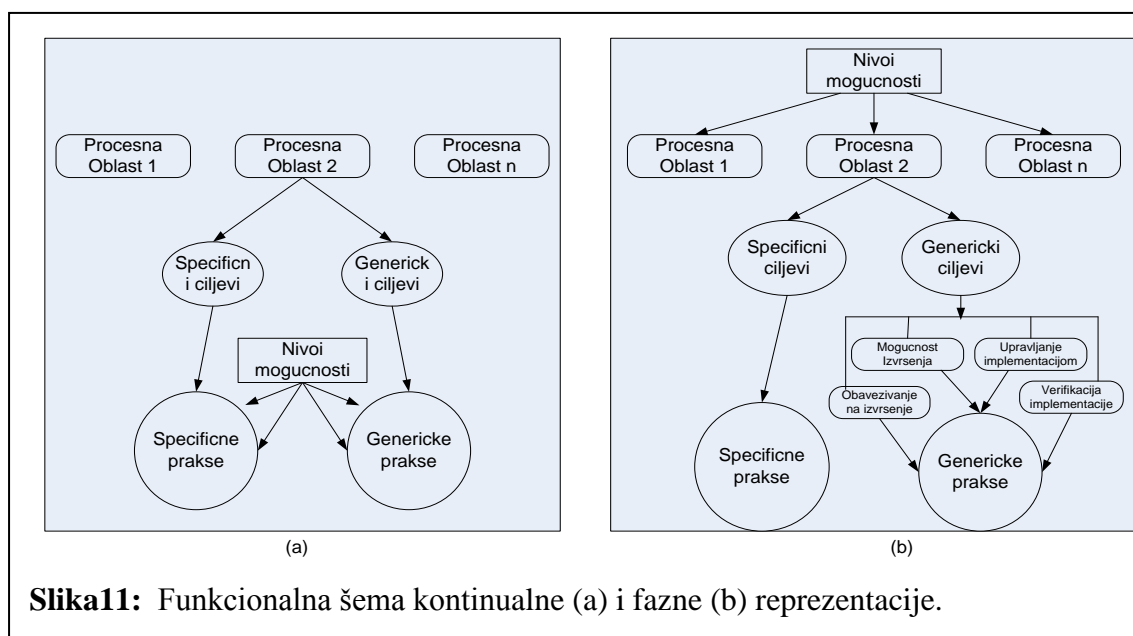
Tabela 1: Procesne oblasti kategorisane po oblastima primene i CMMI nivoima.

Kategorija (CL)	Procesna Oblast	Nivo zrelosti
Upravljanje procesom	OPF (Organizational Process Focus, fokusiranje na organizacione procese)	3

	OPD (Organizational Process Definition, definicija organizacionih procesa)	3
	OT (Organizational Training, organizaciona obuka)	3
	OPP (Organizational Process Performance, izvršavanje organizacionih procesa)	4
	OID (Organizational Innovation and Deployment, organizacione inovacije i implementacija)	5
Upravljanje projektom	PP (Project Planning, planiranje projekta)	2
	PMC (Project Monitoring and Control, kontrola i nadzor projekta)	2
	SAM (Supplier Agreement Management, upravljanje sporazumom sa snabdevačem)	2
	IPM (Integrated Project Management, upravljanje integrisanim projektima)	3
	RSKM (RiSK Management, upravljanje rizikom)	3
	QPM (Quantitative Project Management, kvantitativno upravljanje projektima)	4
Inženjerstvo	REQM (REQUIREMENTS Management, upravljanje zahtevima)	2
	RD (Requirements Developement, razvoj zahteva)	3
	TS (Technical Solution, tehnička rešenja)	3
	PI (Product Integration, integracija proizvoda)	3
	VER (VERification, verifikacija)	3
	VAL (VALidation, vrednovanje)	3
Podrška	CM (Configuration Management, upravljanje konfiguracijom)	2
	PPQA (Process and Product Quality Assurance, garancija kvaliteta procesa i proizvoda)	2
	MA (Measurement and Analysis, merenje i analiza)	2

	DAR (Decision Analysis and Resolution, analiza odluka i rešenja)	3
	CAR (Causal Analysis and Resolution, uzročno posledična analiza i rešenje)	5

CMMI model se može koristiti na dva načina i to: koristeći **kontinualnu reprezentaciju** (engl. *continuous representation*) i koristeći **faznu reprezentaciju** (engl. *staged representation*). Funkcionalne šeme kontinualne i fazne reprezentacije date su na slici 11.



Kod kontinualne reprezentacije se poboljšanje meri unutar samog procesa koristeći nivoe sposobnosti (engl. *capability levels*). Ovde se procesne oblasti prvo biraju na osnovu prioriteta a zatim se svaka procesna oblast unapređuje do određenog predefinisano nivoa zrelosti.

Kod fazne reprezentacije unapređivanje procesa se meri koristeći **nivoe zrelosti** (engl. *maturity levels*), odnosno procesne oblasti se biraju na osnovu nivoa zrelosti na kome se organizacija nalazi.

Fazna reprezentacija je karakteristična za organizacije. Organizacija treba ispuniti svaki od ciljeva svakog procesa određenog nivoa, odnosno realizovati

sve aktivnosti definisane u okviru svakog od procesa određenog nivoa da bi se, u pogledu razvoja određene delatnosti, nalazila na određenom CMMI nivou.

Dobra praksa implementacije CMMI modela je da se sistemsko inženjerstvo i softversko inženjerstvo izaberu zajedno. Sistemsko inženjerstvo je disciplina koja je fokusirana na dizajn i upravljanje procesima u razvoju kompleksnih interdisciplinarnih sistema.

U ovom radu se, proces rešenja za dopunjavanje senzorske mreže u cilju formiranja jake senzorske barijere, opisuje u kontekstu CMMI disciplina sistemskog i softverskog inženjerstva a glavni fokus analize se stavlja na procesnu oblast "tehničko rešenje", koje pripada trećem nivou CMMI modela i koje vrši interakciju sa ostalim procesnim oblastima iz različitih nivoa. Neki primeri primene CMMI procesnih oblasti kao što su: MA u softverskom inženjerstvu i DAR u odabiru opreme u IKT industriji dati su u [57] i [58], respektivno. Primer primene CMMI procesnih oblasti sistemskog i softverskog inženjerstva u obrazovanju, na kursovima projektovanja BSM-baziranih rešenja od strane multidisciplinarnih grupa, i postizanje sinergijskih efekata u projektima kompjuterskog inženjeringa, dat je u [53]. Dalje izlaganje u ovoj tezi, vezano za primenu CMMI modela u projektovanju rešenja za poboljšanje pokrivenosti barijere kod BSM sistema, bazirano je upravo na metodologiji prikazanoj u [53].

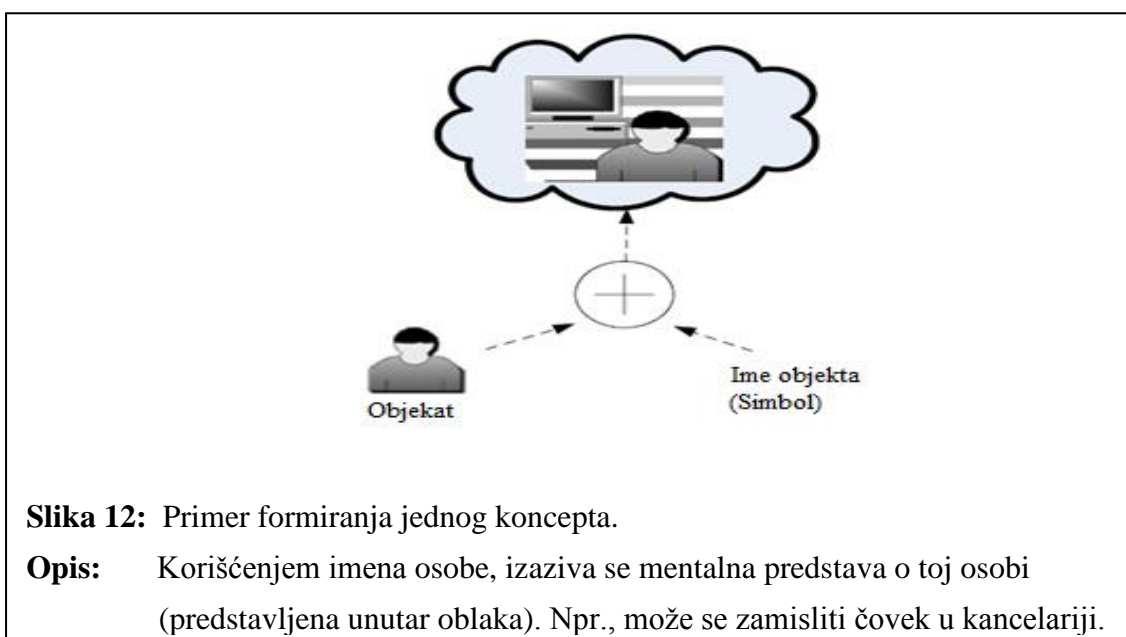
1.4 Pregled konceptualnog modeliranja

Konceptualno modeliranje vodi poreklo iz oblasti veštačke inteligencije. Osnovni zadaci u ovom polju fokusirani su na mašinsko prepoznavanje sadržaja i konteksta. Da bi mašina bila u mogućnosti da prepozna određeni sadržaj, potrebno je predefinisati određeno znanje koje mora biti unificirano. Zadatak unificiranja znanja sastoji se iz dva dela [59]:

- 1) Izučavanje određene oblasti znanja i identifikacija relevantnih koncepata, relacija i pretpostavki.

- 2) Prevod rezultata analize u određenu notaciju koja se može procesuirati od strane računarskih sistema.

Osnovna jedinica procesa predstavljanja znanja je koncept. Međutim, ne postoji opšte prihvaćena definicija koncepta. Ono može biti sve što izaziva određeni mentalni nadražaj – viziju ili osećaj, npr. nervna eksitacija izazvana od strane objekta koji je povezan za imenom objekta [60]. Jedno takvo definisanje koncepta, predstavljeno je na slici 12.



Konceptom se, dakle, teži predstaviti mentalni slikovni i/ili smisaoni, odnosno ne samo tekstualni, opis realnih objekata, bića i događaja. Sadržaj koncepta može biti apstraktan ili konkretan, elementaran ili kompozitan, stvaran ili imaginaran. Koncept može predstavljati radnju, funkciju, aktivnost, strategiju, proces razmišljanja itd. [61], ili može biti predstavljen kroz drugi koncept [62].

Konceptualno modeliranje teži da obezbedi sve mogućnosti interpretacije koncepta koristeći određenu reprezentaciju znanja. Koncepti se mogu prepoznati i definisati na dva načina. Jedan pristup dat je modelom VSM (Vector Space Model, model vektorskog prostora) u [63]. Ovaj način

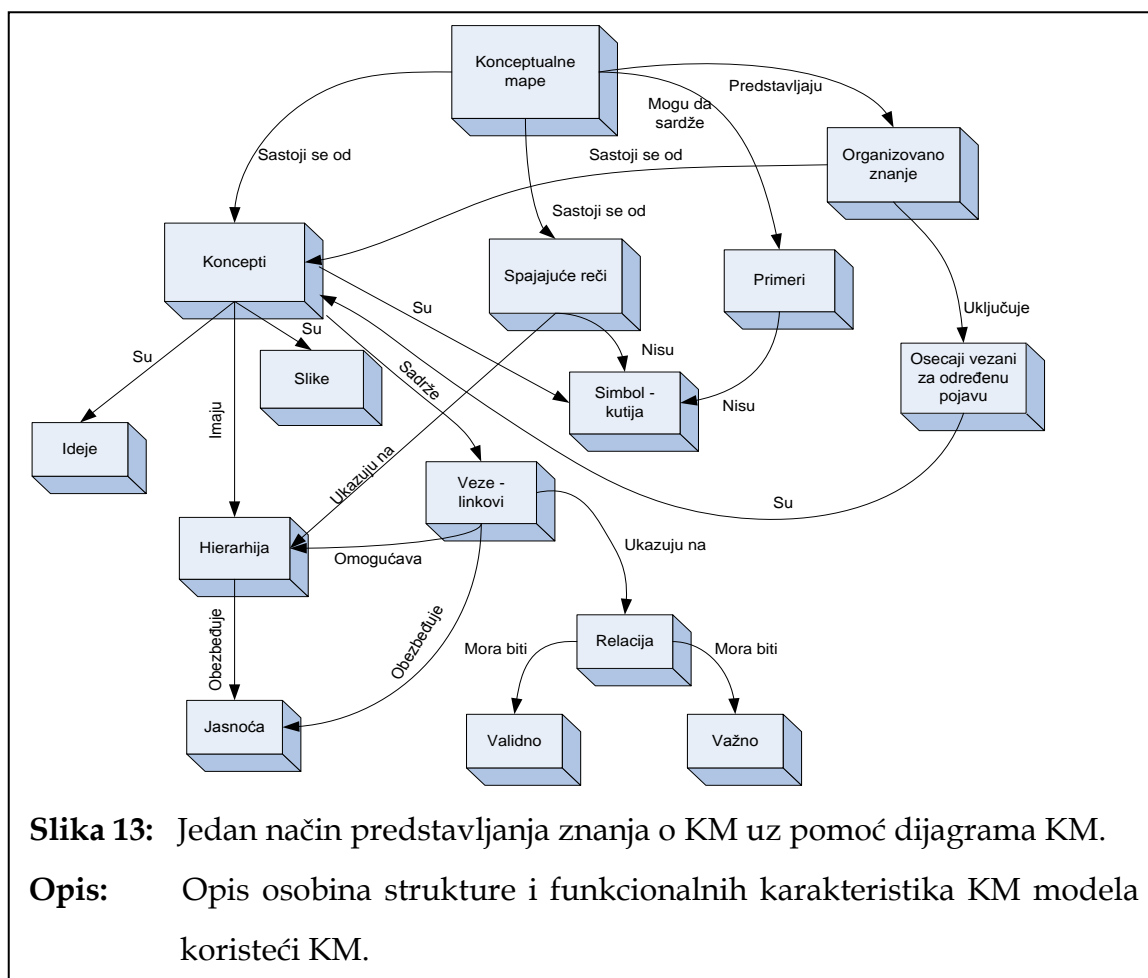
prepoznavanja koncepta, naziva se **implicitna definicija koncepta**. Po ovom modelu, svaki indeksirani dokument predstavlja se uz pomoć j -dimenzionog vektora, gde je j broj različitih indeksnih reči – izraza. Pre uključivanja svakog indeksnog izraza, vrši se upoređivanje uglova između vektora dokumenata. Ako dodavanje nove indeksne reči znači povećanje ugla između vektora, to ukazuje da novo dodata indeksna reč ima dobre diskriminatorske karakteristike, odnosno da će proširiti mogućnosti automatskog prepoznavanja dokumenata. Na taj način se dobri indeksni izrazi mogu prepoznati kao koncepti, jer predstavljaju najmanje jedinice znanja koje nose najviše značenja.

Koncepti se mogu definisati i eksplicitno, koristeći simulirano znanje, opisnu logiku i konceptualne mape (KM). Prvi način predstavlja koncepte u obliku atoma [64]. Da bi koncept bio atom, mora posedovati mogućnost dinamičke apstrakcije u više nivoa, relacije i/ili procese. Drugi model je baziran na klasama i ulogama. Koncepti se interpretiraju kao skupovi objekata a uloge kao binarne relacije između objekata [65]. Konačno, u KM se koncepti definišu kao doživljena regularnost između objekata ili događaja, ili zapisa objekata i događaja, i označavaju se labelama [66].

Organizacija koncepata se vrši u tzv. KRDB (Knowledge Rich Data Base, baza podataka sa integrisanim znanjem). Koncepti se organizuju po nivoima, počev od primitivnih podataka raznog tipa, do podataka visokog nivoa gde se vrši grupisanje primitivnih podataka na veće celine i koji, za razliku od primitivnih podataka, mogu posedovati attribute. Hierarhijske veze se modeliraju preko određenih tipova relacija kao što su npr. *je*, *podskup_od*, *je_deo* itd. Ovakvi semantički odnosi omogućuju inteligentno odgovaranje na upite, što je pogodno za kreiranje alatki za obradu znanja. U pravcu izgradnje semantičke baze znanja opšte namene i širokog spektra, najveći uspeh su do sada imali baze WordNet, Cyc i WordNet [67]. Predstavljanje koncepata se izvodi koristeći grafičku, tekstualnu ili vizuelnu reprezentaciju. Grafičko predstavljanje koncepata realizuje se uz pomoć konceptualnih grafova i konceptualnih mapa. Model CM se često opisuje kao najvažnija grafička alatka

za predstavljanje znanja [66]. Koncepti su najčešće vizualno organizovani u „kutijama“ ili unutar krugova, dok se relacije obeležavaju lukovima.

Konceptualni grafovi sadrže dva tipa čvorova: koncepte i relacije. Znanje u KM je hirerarhijski organizovano a struktura zavisi od konteksta u kome se znanje razmatra ili primenjuje. S obzirom da se, u ovom radu, znanje predstavlja upravo koristeći KM, primer jednog oblika predstavljanja konceptualnih mapa uz pomoć konceptualne mape, dat je na slici 13.



Slika 13: Jedan način predstavljanja znanja o KM uz pomoć dijagrama KM.

Opis: Opis osobina strukture i funkcionalnih karakteristika KM modela koristeći KM.

Jedna od naučno interesantnih oblasti primene konceptualnog modeliranja odnosi se na multimedijalne aplikacije. U ovom pravcu najzastupljenije je prepoznavanja slika i video zapisa. Za razliku od tekstualnih podataka, potrebno je da multimedijalne aplikacije obezbede pretraživanje kroz veliku količinu podataka dobijenih od sadržaja i konteksta objekata u multimedijalnim

fajlovima. U procesu stvaranja baze znanja, kod multimedijalnih aplikacija se najviše koriste tehnike mašinskog učenja [68], kojima se formiraju ontologijski sadržaji. Korišćenjem ontologija očekuje se povećanje sposobnosti kompjuterskih sistema da automatski detektuju koncepte i događaje iz vizuelnih podataka [69]. Ontologije se takođe smatraju kao budući osnovni građevinski blokovi semantičkog Web-a. One sadrže delove znanja o specifičnim domenima koji se mogu višekratno upotrebljavati. Pojam ontologija postupno počinje obuhvatati čitav niz značenja i uključuje sve: od taksonomija, rečnika koji se koriste u metapodacima, popisa proizvoda ili klasifikacija usluga, do rečnika baza podataka i njihovih odnosa [70]. Jedan način korišćenja označavanja multimedijalnog sadržaja u kreiranju, a kasnije i korišćenju ontologija, dat je u [71]. Ontologija se izgrađuje tokom temeljne logičke procedure, a rezultat toga je određena klasifikaciona struktura sa jasno određenim kategorijama i pojmovnim odnosima koje se može opisati uz pomoć KM i prikazati putem konceptualnih grafova a zatim i formatizirati na mašinski prepoznatljiv jezik.

U ovom radu se, uspomoć konceptualnih mapa, bazirajući se na metodologiji opisanoj u [72], modelira uticaj reljefa na pozicije senzorskih čvorova a, posledično, i njegov uticaj na oblik senzorskog polja i na pokrivenost područja od interesa. Da bi se pristupilo ovom zadatku, uzimaju se podaci iz tzv. DTM (Digital Terrain Modeling, digitalno modeliranje terena) domena, čiji parametri služe kao ulazne veličine u modeliranju pozicija senzorskih čvorova nakon određene slučajne instalacije mreže u reljefno razuđenom regionu sa preprekama.

1.5 Domen istraživanja i kriterijumi evaluacije

Fokus istraživanja ove teze nalazi se u domenu pokrivenosti za slučaj stohastičke instalacije BSM sistema i obuhvata analizu pokrivenosti područja i pokrivenosti barijere sa akcentom na predlog rešenja - algoritama za povećanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera korišćenjem mobilnih

čvorova u hibridnoj senzorskoj mreži. Pod hibridnom mrežom se, u ovom radu, podrazumeva mreža koja sadrži statičke i mobilne čvorove. Izvedeni rezultati evaluacije i predloženi algoritmi u najvećoj meri odgovaraju primenama u vojnim aplikacijama gde je potrebno detektovati prisutnost nepokretnih i pokretnih meta na određenom geografskom području, ili detektovati prelazak entiteta preko određene granične linije. Ove mreže se često instaliraju u nepristupačnim ili teže pristupačnim područjima, što zahteva korišćenje tehnologije za daljinski razmeštaj mrežnih uređaja (n.pr. koristeći artiljeriju ili avijaciju) i predstavlja dodatni naučni i inženjerski izazov. Jedan od ciljeva ove teze jeste definisanje vrednosti parametara instalacije mreže tako da, u predefinisanim uslovima, verovatnoća detekcije mete ili formiranja senzorske barijere bude preko određene propisane granice.

Osnovni parametri koji se razmatraju su: radijus očitavanja senzora, model pozicioniranja senzorskih čvorova, oblik geografskog područja od interesa, gustina statičkih senzorskih čvorova i (u delu predlaganja algoritama za poboljšanje kvaliteta senzorskih barijera) potreban broj mobilnih čvorova ili nepokretnih čvorova instaliranih pomoću mobilnih robota. Jedan od ciljeva rada je razvijanje simulatora koji u sebi inkorporira module za eksperimentalnu analizu uticaja navedenih parametara na kvalitet pokrivenosti područja i pokrivenošću barijerom kao i međusobni uticaj parametara u procesu formiranja sigurnih senzorskih barijera.

Procena očekivane vrednosti verovatnoće i evaluacija rezultata vezano za pokrivenost područja mrežom fiksnih čvorova kao i po pitanju detektabilnosti pokretnih meta na istoj konfiguraciji mreže i terena, obavlja se u odnosu na potrebnu gustinu mreže, tj. u odnosu na potreban broj senzorskih čvorova po jedinici površine, uz predefinisani prag verovatnoće pokrivenosti područja ili detektabilnosti pokretne mete.

Kada je u pitanju formiranje senzorskih barijera, istraživanjem se obuhvata tzv. hibridni tip mreže u kojoj se mobilni čvorovi mogu naknadno

uključiti ili se razmeštaj dodatnih nepokretnih čvorova može uraditi korišćenjem pokretnih robota. Naime, nakon instalacije mreže nepokretnih bežičnih senzora, razmatra se mogućnost efikasnog pokrivanja mreže korišćenjem dodatnih mobilnih senzorskih čvorova ili mobilnih robota tako da se oformi bar jedna senzorska barijera po čitavoj dužini određene pravougaone površine. Površina trakastog oblika, odnosno pravougaona površina čija je jedna strana mnogo duža od druge, u ovom slučaju predstavlja područje od interesa, s obzirom da senzorska barijera, u idealnom slučaju, instalira po što užoj oblasti pokrivenoj (po dužini) nizom senzorskih čvorova čija se senzorska polja preklapaju. U tom pravcu, imajući u vidu fiksne vrednosti radijusa očitavanja, glavni parametri evaluacije su: potreban broj inicijalno instaliranih fiksnih senzorskih čvorova po jedinici površine i potreban broj doinstaliranih mobilnih čvorova ili fiksnih čvorova instaliranih pomoću pokretnih robota u cilju formiranja senzorske barijere. Ovde se takođe kao osnovni kriterijum evaluacije dodaje i minimalna ukupna cena formiranja senzorskih barijera. U ovu cenu, osim broja inicijalno instaliranih fiksnih i/ili mobilnih senzorskih čvorova, treba uračunati i potrebnu energiju mobilnih čvorova koja se troši u procesu njihovog učestvovanja u formiranju barijere, odnosno cenu korišćenja mobilnih čvorova ili robota. U skladu sa navedenim, kriterijum evaluacije je u stvari ukupna cena formiranja senzorskih barijera, tj. pronalaženje najboljeg odnosa broja fiksnih i mobilnih čvorova kako bi se, u području definisanih dimenzija, pri određenom radijusu očitavanja senzorskog čvora, i pri određenom načinu stohastičkog razmeštaja senzorskih čvorova, sa velikom verovatnoćom oformila jaka senzorska barijera.

U domenu istraživanja je i opis metodologije istraživanja i projektovanja rešenja koristeći CMMI procesne oblasti (sa akcentom na procesnu oblast „tehničko rešenje“), kao i uvođenje konceptualnog modeliranja u opisu uslova stohastičke instalacije BSM sistema.

Ciljevi istraživanja se mogu sažeti u sledećem:

- Pregled postojećih pristupa analizi pokrivenosti regiona senzorskim poljem, detektabilnosti pokretnih meta i proceni kvaliteta senzorskih barijera za slučaj stohastičkog razmeštaja senzorskih čvorova, odnosno pregled reprezentativnih scenarija i tipova pokrivenosti senzorskom mrežom u vojnim primenama BSM sistema.
- Razvijanje softverskog okruženja za eksperimentalno određivanje očekivane vrednosti verovatnoće pokrivenosti regiona senzorskim poljem i verovatnoće formiranja senzorskih barijera, te procena pozicija i potrebnog broja dodatnih mobilnih čvorova za formiranje sigurnih senzorskih barijera u zavisnosti od radijusa očitavanja, načina instalacije, dimenzija regiona i početne gustine mreže.
- Procena zavisnosti broja i veličine prekida povezane strukture formirane od senzorskih polja od odnosa radijusa očitavanja i širine barijere i, posledično, procena dodatnog broja čvorova za duže regione sastavljene od niza manjih kvadrata.
- Opis metodologije istraživanja koristeći CMMI model.
- Uvođenje konceptualnog modeliranja u opisu uslova implementacije BSM sistema.

2 Opis problema

Senzorska barijera može imati proizvoljan oblik. Uglavnom služi kao linija razdvajanja dva regiona ili u obezbeđivanju granice neke zatvorene konture. Kvalitet pokrivenosti koji se postiže stohastičkim razmeštajem čvorova senzorske mreže, opisuje se koristeći metode geometrijske verovatnoće. U ovim uslovima, potrebno je prvo odrediti zavisnost verovatnoće za postizanje pokrivenosti područja i formiranje senzorskih barijera od zadatih osnovnih parametara mreže kao što su: radijus očitavanja, gustina mreže i pozicije senzorskih čvorova u odnosu na zadatu konturu područja od interesa. Međutim, strogi uslovi za sigurno postojanje određenog tipa pokrivenosti kod pozicioniranja svakog čvora po modelu slučajne i uniformne raspodele verovatnoće za određenu tačku regiona, izvode se koristeći perkolacionu teoriju, koja daje tačno određene rezultate samo za površine beskonačnih dimenzija gde gustina mreže prelazi određenu kritičnu vrednost. Kako su u realnim primenama dimenzije regiona i gustina senzorskih čvorova uvek ograničene veličine, potrebno je definisati uslove pod kojima će se, sa velikom verovatnoćom, postići određeni stepen pokrivenosti za traženu vrstu pokrivenosti.

Povećanje verovatnoće formiranja senzorskih barijera za slučaj stohastičke instalacije mreže se generalno može izvesti na sledeće načine:

- a) poboljšanjem preciznosti instalacije, tj. povećanjem gustine mreže po određenoj liniji,
- b) povećanjem ukupnog broja senzorskih čvorova, ili
- c) uvođenjem mobilnih čvorova/robotu.

Kada postoji mogućnost da se instalacija senzorske mreže uradi na takav način da se najveći broj čvorova može naći u okolini određene linije, odnosno po što užoj površini trakastog oblika, pokrivenost barijere se može postići sa minimalnim brojem čvorova, uz najveću efikasnost. Međutim, kada je, zbog uslova istalacije, nemoguće na efikasan način povećati gustinu mreže po liniji razgraničenja regiona, ili kada je zbog ukupne cene mreže nemoguće obezbediti dovoljan broj čvorova kojim bi se povećala verovatnoća formiranja senzorskih barijera, razmatra se mogućnost uvođenja mobilnih čvorova ili mobilnih robota za u cilju dopunjavanja mreže. U nastavku se definiše problem dizajniranja algoritma za povećanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera korišćenjem mobilnosti čvorova ili robota u mreži.

2.1 Definicija problema

U idealnom slučaju, povećanje gustine mreže po određenoj liniji daje najefikasniju pokrivenost barijerom. Međutim, kada ta koncentracija u manjoj ili većoj meri odstupa od idealnog slučaja - linije, potrebno je ispitati uticaj vrednosti gustine mreže i parametara koji karakterišu ofset (ili odstupanje pozicija čvorova u odnosu na idealnu barijeru) na verovatnoću formiranja senzorskih barijera. U ovom radu se razmatraju slučajevi instalacije BSM sistema u vojne svrhe, kada se bežična mreža statičkih čvorova razmešta preko artiljerije ili kada se senzori bacaju iz aviona. Ova dva slučaja je potrebno modelirati na dva različita načina. Zatim, nakon implementacije modela razmeštaja mreže i modela očitavanja senzora, potrebno je odrediti gustinu mreže kojom se može postići određeni nivo pokrivenosti barijere. Međutim, ako prilikom inicijalne instalacije, uz procenjeni ofset i određenu gustinu mreže, nije moguće postići sigurnu pokrivenost barijerom ili željenu očekivanu verovatnoću, jedina mogućnost za formiranje sigurnih senzorskih barijera je korišćenje mobilnih čvorova. U ovoj tezi se, pod pretpostavkom da početni uslovi ne omogućavaju ispunjenje kritičnih uslova za perkolaciju u mreži,

određuje broj potrebnih mobilnih čvorova kojima se na najefikasniji način može, sa velikom verovatnoćom, formirati bar jedna jaka senzorska barijera u zadatoj implementaciji.

Poboljšanje pokrivenosti BSM sistemom korišćenjem mobilnih čvorova, može biti izvedeno: a) korišćenjem samo mobilnih čvorova, b) sa ograničenim brojem mobilnih čvorova instalisanih zajedno sa nepokretnim čvorovima, ili c) korišćenjem nepokretnih čvorova sa mogućnošću naknadnog uvođenja mobilnih čvorova. Prva metoda je najefikasnija ali ujedno i najskuplja. Druga metoda podrazumeva slučajnu raspodelu mobilnih čvorova po regionu i njihovo naknadno pomeranje u cilju formiranja senzorskih barijera. Problem kod ove metode je u tome što zahteva centralizovan pristup a raspodela mobilnih čvorova je takođe slučajan proces. U ovim uslovima može doći do situacije kada je za dopunjavanje mreže do sigurne senzorske barijera potrebno relativno veliko pomeranje mobilnih čvorova. Treća mogućnost, u čijem domenu projektovanja pripadaju i rešenja predložena u ovom radu, koristi postojeću mrežu kao vodič za mobilne senzore (ili robote) koji putuju kroz mrežu i zatvaraju procepe u barijeri.

Problem poboljšanja verovatnoće formiranja senzorskih barijera korišćenjem mobilnih čvorova ili robota se može definisati u dva koraka:

1. Određivanje optimalnih pozicija i broja novih (mobilnih) čvorova kojima se obezbeđuje popunjavanje procepa i formiranje sigurne senzorske barijere.
2. Definisavanje metodologije za efikasno pomeranje mobilnih čvorova ili mobilnih robota.

U okviru navedene idejne konstrukcije, u ovoj tezi definišemo metodologiju razvoja rešenja za povećanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera korišćenjem mobilnih čvorova u stohastički instaliranoj hibridnoj mreži, izvršavajući sledeće korake:

- a) Matematički opis uticaja načina instalacije na pokrivenost područja i na slabu pokrivenost barijerom pri korišćenju binarnog modela za dve vrednosti radijusa očitavanja.
- b) Projektovanje algoritama za:
 - Eksperimentalno određivanje uticaja sredine i (posredno) modela očitavanja, dimenzija regiona i gustine mreže, na verovatnoću formiranja sigurnih senzorskih barijera.
 - Procenu broja i pozicija dodatnih čvorova koji se dodaju između lančanih povezanih struktura za stvaranje jakih senzorskih barijera, u zavisnosti od: gustine mreže, načina razmeštaja čvorova i oblika senzorskog polja. U ovom slučaju parametar upoređivanja je ukupan broj potrebnih mobilnih čvorova.
- c) Opis distribuiranog i centralizovanog algoritma za upravljanje mobilnim robotima uz implicitno razmatranje načina redukcije ukupne potrošene energije kretanja i ukupnog broja mobilnih čvorova ili robota.
- d) Opis procesa projektovanja koristeći CMMI metodologiju.
- e) Postavljanje platforme za buduća poboljšanja rešenja koristeći prepoznavanje multimedijalnog sadržaja, bazirajući se na opis uslova instalacije preko konceptualnih mapa.

2.2 Važnost korišćenja mobilnih čvorova u poboljšanju pokrivenosti u aktuelnim i budućim vojnim primenama

Kako se tehnološki trendovi kreću u pravcu minimizacije fizičkih veličina senzorskih čvorova, smanjenju potrošnje radio-uređaja, kao i smanjenju ukupne cene koštanja senzorskih čvorova, očekuje se da senzorske barijere postanu važna informaciono-komunikaciona tehnologija u vojnoj zaštiti regiona od neželjenih upada neprijateljskih trupa. Ova tehnologija je posebno važna zbog neprimetnosti uređaja, mogućnosti njihove daljinske instalacije, i mogućnosti

monitoringa velikog geografskog područja. Uzevši u obzir navedene karakteristike i prednosti ove tehnologije, rezultati dobijeni u okviru ove teze imaju najveću važnost u domenu vojnih aplikacija, a tiču se razumevanja uticaja parametara instalacije na pokrivenost područja i formiranje senzorskih barijera kao i na otvaranje novih mogućnosti za doinstalaciju mobilnih čvorova u cilju povećanja verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera. Dobijeni rezultati mogu poslužiti kao osnov za procenu vrednosti parametara mreže u cilju postizanja željenog nivoa pokrivenosti barijerom, pri zadatom radijusu očitavanja, ako se verovatnoća pozicioniranja čvorova u određenim tačkama regiona može modelirati koristeći neku od funkcija raspodele verovatnoće.

S obzirom da je radijus komunikacije senzorskih čvorova obično mnogo veći od radijusa očitavanja, dobra konektivnost mreže može omogućiti informaciju o optimalnim pozicijama novih čvorova koje treba instalirati da bi se obezbedila jaka pokrivenost senzorskom barijerom. Dobra konektivnost obezbeđuje mogućnost optimalnog korišćenja mobilnosti u mreži. U takvim situacijama može biti isplativije i jednostavnije koristiti mobilne čvorove ili mobilne robote kojima bi se u mreži dodavali novi čvorovi. Sprovedena analiza je upravo važna u pravcu određivanja granice isplativosti između povećanja broja instalisanih nepokretnih čvorova i uvođenja određenog broja mobilnih čvorova, posebno ako se uzmu u obzir cena i potrošnja energije robota (po jedinici pređenog puta). U takvim, i drugim stohastičkim implementacijama, unapređenje metoda za formiranje sigurnih senzorskih barijera će povećati efikasnost instalacije i kvalitet usluge BSM sistema, istovremeno smanjujući ukupnu cenu koštanja mreže.

Pristup opisan u ovom radu može biti posebno interesantan kada se proces pokrivanja prekida u senzorskim barijerama obavlja koristeći robote nove generacije (koji uključuju i leteće robote), odnosno robote na koje manje utiče konfiguracija terena i dužina regiona od interesa.

3 Postojeća rešenja

Pokrivenost područja od interesa BSM sistemom se, u literaturi, najčešće istražuje i unapređuje u dva pravca:

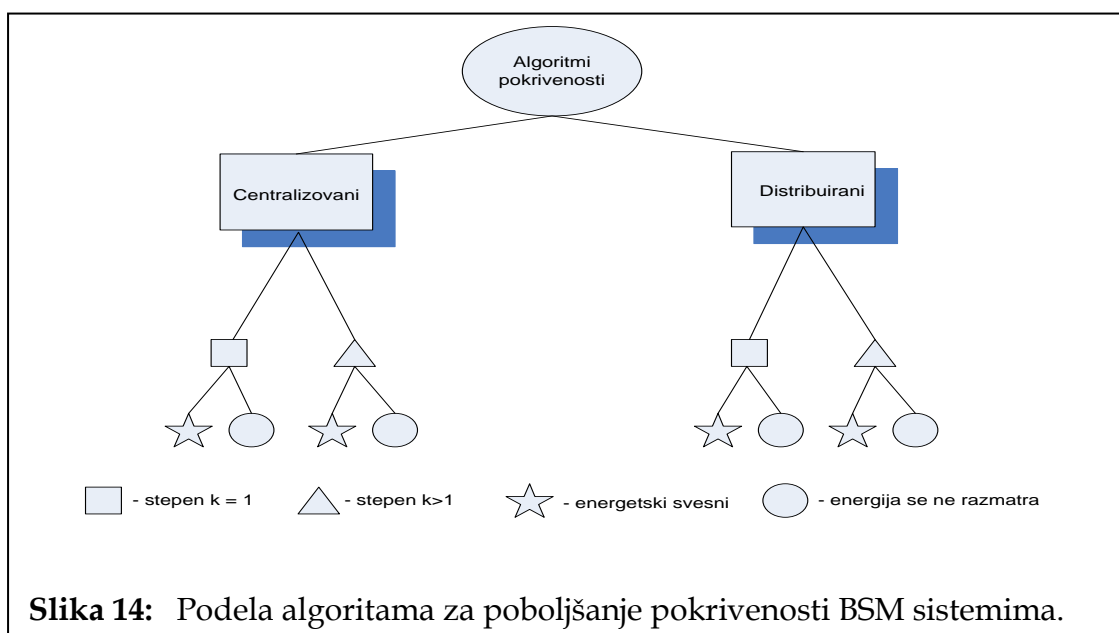
- U pravcu definisanja fundamentalnih uslova za postizanje određenog tipa i nivoa pokrivenosti i projektovanje algoritama za poboljšanje osnovnog servisa mreže - zahtevanog nivoa pokrivenosti (i konektivnosti) za određeno područje od interesa, bez obzira na energetska efikasnost, pouzdanost servisa itd.
- U pravcu poboljšanja performansi sistema, najčešće u pogledu energetske efikasnosti i pouzdanosti. Ovde se projektuju energetske algoritmi kojima se postiže željena pouzdanost u smislu pokrivenosti regiona od interesa uz minimalna kašnjenja i uz korišćenje minimalnog broja čvorova, pri pretpostavci postojanja određenog tipa osnovne pokrivenosti mrežom i konektivnosti mreže s kraja na kraj.

Najveći broj objavljenih radova iz literature, odnosi se na optimizaciju energetske potrošnje čvorova pri zadržavanju određenog stepena k -pokrivenošću ($k \geq 1$) mrežom. U ovim implementacijama se pretpostavlja da je mreža dovoljno gusta, te da postoje uslovi za obezbeđivanje k -pokrivenosti ili k -konektivnosti. Energetska efikasnost se postiže vremenskim i prostornim rasporedom aktivnog stanja određenog broja čvorova, koji se u određenim vremenskim intervalima stavljaju u modu spavanja (engl. *sleep mode*). Međutim, u određenom broju slučajeva, potrebno je odrediti kritične uslove za postojanje k -pokrivenošću mrežom. U slučaju da parametri mreže ne obezbeđuju dovoljne uslove za postojanje određenog tipa k -pokrivenosti, potrebno je obezbediti osnovni kvalitet servisa - funkcionalnost mreže za $k=1$, odnosno potrebno je obezbediti da mreža ima osnovnu sposobnost da detektuje pojave i da

parametre detekcije prosledi do određene tačke, bez obzira na potrošnju i ostale kriterijume ocenjivanja performansi. S obzirom da se istraživanje u okviru ove teze odnosi upravo na ovaj tip analize i poboljšanja pokrivenosti barijerom, kriterijumi komparacije i pregled literature po pitanju predloženih algoritama za optimizaciju energije pri zadržavanju k -pokrivenošću mrežom će, u nastavku, biti samo ukratko predstavljene. S druge strane, s obzirom da se u okviru ove teze predlažu algoritmi za poboljšanje senzorskih barijera koji se odnose na opšti koncept pokrivenosti mrežom, fokus u pregledu literature biće stavljen na one radove koji se bave fundamentalnim parametrima vezanim za analizu i poboljšanje pokrivenosti mrežom, a posebno analizom i poboljšanjem kvalitetom formiranja senzorskih barijera. Umesto konteksta energetske efikasnosti, k -pokrivenost se u ovim radovima pominje u kontekstu povećanja robusnosti i pouzdanosti implementacije.

3.1 Energetski-svesni algoritmi za postizanje k -pokrivenosti

U literaturi je predložen veliki broj šema za redukciju potrošnje senzorskih čvorova isključivanjem redundantnih senzora pri zadržavanju pokrivenosti određenog područja. Postoji više parametara po kojima se ovi algoritmi mogu upoređivati. Na osnovu kriterijuma i načina funkcionisanja algoritama za poboljšanje pokrivenosti, njihova podela se može opisati kao na slici 14.



Centralizovani algoritmi su retki, prvenstveno zbog činjenice da centralizovana obrada informacije u gusto razmeštenoj bežičnoj mreži zahteva veći kapacitet linkova i u većoj meri crpi energiju čvorova. Ipak, u odsustvu energetske ograničenosti, sa centralizovanim pristupom se mogu postići rezultati koji su bliski optimalnim [73]. Primeri centralizovanih algoritama dizajniranih u pravcu postizanja energetske efikasnosti, uz zadržavanje k -pokrivenosti, su dati u [74] i [75].

Distribuirani algoritmi su, zbog relativno malih dometa bežičnih linkova kao i zbog manje potrošnje, češće u fokusu interesovanja istraživača. Primeri nekih algoritama iz literature (referenci) koji koriste distribuirani način širenja informacije kroz mrežu, u odnosu na kriterijume date na slici 14, klasifikovani su u tabeli 2.

Tabela 2: Primeri algoritama (iz literature) za projektovanje pokrivenosti uz optimizaciju potrošnje i pouzdanosti.

Algoritam	Energetski svestan	Stepen	Referenca
PAC	Ne	$k \geq 1$	[76]
CCP	Da	$k \geq 1$	[77]
OGDC	Da	$k = 1$	[36]
ADS	Da	$k \geq 1$	[78]
KNCCA	Ne	$k > 1$	[79]

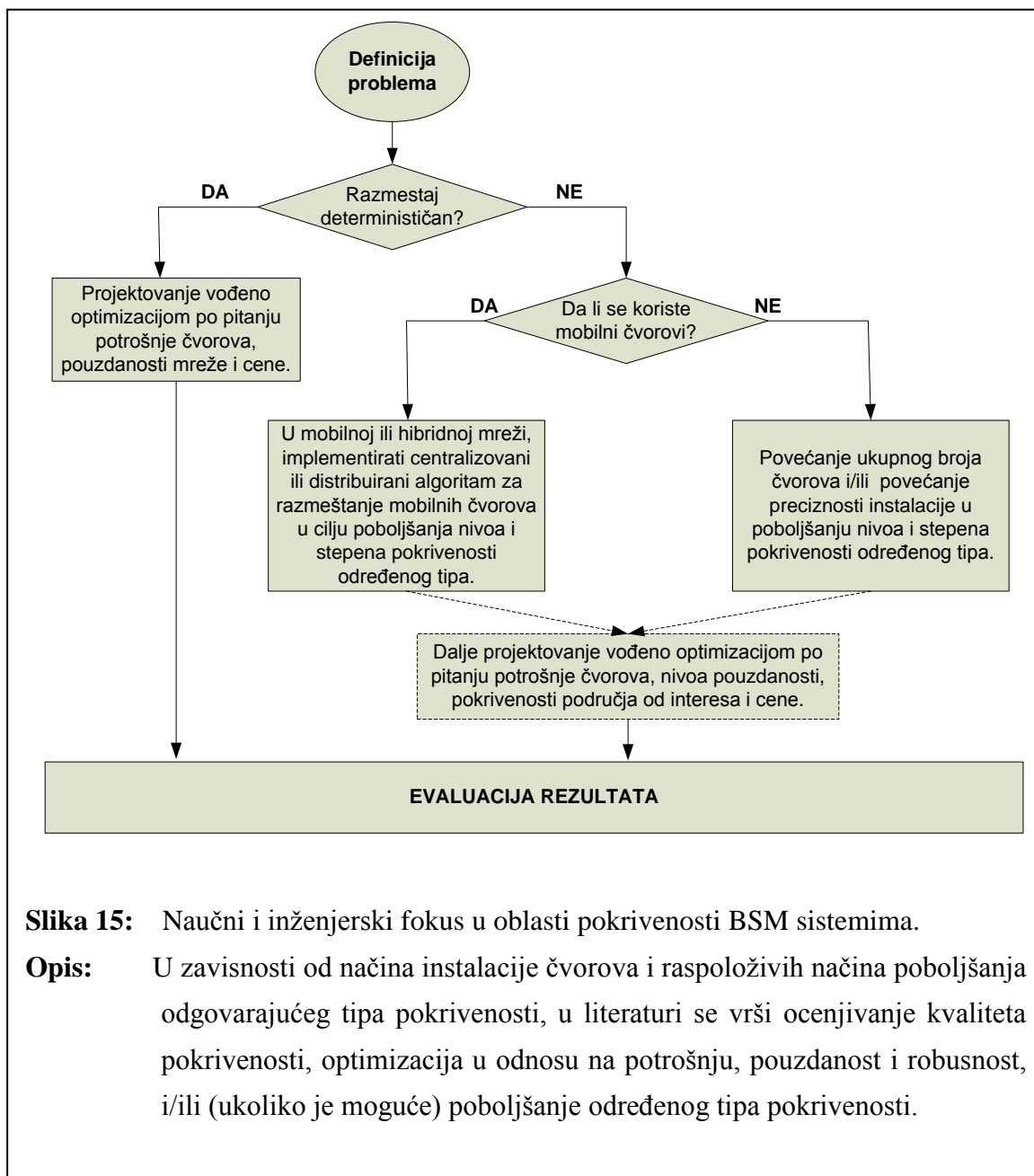
Legenda: PC – Perimeter-Area Coverage, CCP – Coverage Configuration Protocol, OGDC – Optimal Geographical Density Control, ADS - Area Dominating Set, KNCCA – K-Neighbors Constrained Coverage Algorithm.

U nastavku se ukratko opisuju postojeće metodologije koje se odnose na evaluaciju i poboljšanje osnovnog servisa pokrivenosti senzorskim mrežama, sa posebnim naglaskom na analizu i poboljšanje kvaliteta senzorskih barijera u slučaju stohastički razmeštenih senzorskih čvorova.

3.2 Metode analize i poboljšanja pokrivenosti mrežom u stohastički razmeštenim mrežama

Kao što je pomenuto, druga grupa istraživanja, vezana za pokrivenost područja od interesa BSM sistemima, odnosi se na analizu i/ili na iznalaženje načina za poboljšanje određenog tipa pokrivenosti, uglavnom ne fokusirajući se na optimizaciju po pitanju energije ($k=1$). U ovim radovima, cilj je matematičko i/ili eksperimentalno utvrđivanje uticaja raznih parametara mreže na postojeći kvalitet pokrivenosti ili na predloženu metodologiju za poboljšanje određenog tipa pokrivenosti.

Kada govorimo o određivanju kvaliteta pokrivenosti mrežom, pored radijusa očitavanja, gustine mreže i oblika područja od interesa, ključni parametar je i način razmeštaja mreže, odnosno pitanje da li se čvorovi instaliraju u tačno predefinisanim i planiranim pozicijama ili se pak verovatnoća pozicioniranja čvora u određenoj tački regiona treba opisati koristeći odgovarajuću funkciju raspodele verovatnoće. S druge strane, u poboljšanju kvaliteta pokrivenosti mrežom, tehnologija pokretnih čvorova ili robota danas predstavlja interesantno područje istraživanja. Klasifikacija naučnih i inženjerskih fokusa i aktivnosti u pravcu analize i poboljšanja pokrivenosti mrežom koji se sreću u literaturi, u zavisnosti od načina razmeštaja čvorova i mogućnosti korišćenja mobilnih čvorova, prikazana je na slici 15. Ukoliko se radi o determinističkoj instalaciji, proces istraživanja se svodi na optimizaciju po pitanju potrošnje čvorova u cilju obezbeđivanja k -pokrivenosti. Ovde je problem same analize ili poboljšanja pokrivenosti do željenog nivoa trivijalan zadatak koji je uglavnom ograničen ukupnom cenom projekta. Kada se radi o stohastičkoj instalaciji mreže, analiza se vrši u području geometrijske verovatnoće a poboljšanje pokrivenosti se izvodi: a) povećanjem gustine mreže, b) podesnijim načinom instalacije, odnosno što preciznijim razmeštajem čvorova u području od interesa, ili c) korišćenjem mobilnih čvorova.



Slika 15: Naučni i inženjerski fokus u oblasti pokrivenosti BSM sistemima.

Opis: U zavisnosti od načina instalacije čvorova i raspoloživih načina poboljšanja odgovarajućeg tipa pokrivenosti, u literaturi se vrši ocenjivanje kvaliteta pokrivenosti, optimizacija u odnosu na potrošnju, pouzdanost i robusnost, i/ili (ukoliko je moguće) poboljšanje određenog tipa pokrivenosti.

U ovoj tezi je fokus stavljen na analizu i poboljšanje kvaliteta stohastički instaliranih BSM sistema, gde se mobilni čvorovi koriste za dopunu senzorske mreže do nivoa potpune pokrivenosti barijerom.

Jedan analitički pristup pokrivenosti putanje, čiji specijalan slučaj predstavlja i pokrivenost barijerom, dat je u [52]. Autori koriste Poasonov proces da bi opisali, a zatim i ocenili, pokrivenost regiona, pokrivenost tačaka i detektabilnost u slučaju beskonačnog dvo-dimenzionalnog područja, kada se u

opisu senzorskog polja koriste binarni i generalni modeli očitavanja. Bazirajući se na rezultate prekolacione teorije [34], i uz pretpostavku beskonačnosti područja od interesa, autori izvlače uslove za asimptotsku detektabilnost u senzorskoj mreži. Naime, pod navedenim uslovima, ako je gustina mreže veća od određene kritične vrednosti, mreža će skoro sigurno detektovati bilo koji prelaz preko regiona. Međutim, kako se pokazuje u [80], perkolacija ne postoji u jedno-dimenzionom slučaju, te samim tim ni u slučaju trake konačne širine. Sprovedena analiza pruža dobru teorijsku osnovu za izučavanje pokrivenosti regiona kao i pokrivenosti slabom senzorskom barijerom za slučaj beskonačnih dimenzija, međutim njome su obuhvaćeni samo asimptotski slučajevi. Rad takođe ne obuhvata analizu formiranja jakih senzorskih barijera. Ipak, pokazuje se da se rezultati analize mogu koristiti, na nivou aproksimacije, i u slučajevima kada su dimenzije regiona konačne veličine a radijus očitavanja $R_s \ll w$ i $R_s \ll l$, gde su w i l širina i dužina regiona, respektivno.

Analiza data u [81] predstavlja jedan od prvih radova po pitanju pokrivenosti barijerom. Ovaj rad u literaturu uvodi pojmove slabe i jake pokrivenosti. Autori predstavljaju kritične uslove za postojanje slabih k -pokrivenih regiona senzorskim barijerama za površinu trakastog oblika u zavisnosti od broja instalisanih senzora, kada se distribucija pozicije čvorova posmatra kao Poasonov proces. Dodatno, autori predlažu jedan algoritam za utvrđivanje da li na određenoj površini trakastog izgleda postoji slaba k -pokrivenost barijerom. Kao ni u prethodnom primeru, ovde se ne izvode uslovi za postojanje jake k -pokrivenosti barijerom.

Uslovi za jaku k -pokrivenost barijerom su dati u [82]. Ovde je predstavljeno jedno rešenje za analizu i formiranje jakih senzorskih barijera u mreži u kojoj su senzori razmešteni po trakastoj površini, i kada se broj senzora u određenom regionu može opisati kao homogeni Poasonovi proceso. Autori prvo izvode kritične uslove za postojanje jakih (sigurnih) senzorskih barijera u dvo-dimenzionoj pravougaonoj površini gde su senzori smešteni nezavisno, uniformno i na slučajan način. Oni dokazuju da, ako gustina mreže dostigne

određenu kritičnu vrednost, odnos širine (w) i dužine područja (n) određuje postojanje jakih barijera. Naime, ako je $w(n)=\Omega(\log n)$, odnosno ako je širina područja asimptotski veća od logaritma dužine područja, kada gustina mreže dostigne određenu kritičnu vrednost, mreža obezbeđuje jaku pokrivenost barijerom. U tom slučaju se čak formira i više nepovezanih barijera po dužini date površine. Autori predlažu distribuirani algoritam za formiranje podužnih i poprečnih senzorskih barijera u cilju postizanja veće robusnosti, manje potrošnje energije po čvoru i manjeg opterećenja linkova, kao i dobijanja većeg broja lokalnih barijera. Međutim, da bi se izvršio predloženi algoritam, potrebno je da gustina mreže i dimenzije regiona trakastog 2-D izgleda zadovolje kritične uslove postojanja sigurnih senzorskih barijera, što može biti nerealna pretpostavka kako zbog cene tako i zbog nemogućnosti uticaja na dimenzije područja instalacije.

U [83] autori procenjuju potrebnu gustinu mreže za postizanje pokrivenosti (i konektivnosti) u uskim područjima konačne dužine, za četiri tipa pokrivenosti i pri uniformnoj raspodeli čvorova. U [84] se daje distribucija broja procepa po određenoj putanji kada se zahteva potpuna pokrivenost puta i kada je veličina mreže (u smislu geografske veličine i ukupnog broja instaliranih čvorova) konačna veličina. U uslovima varijabilnog radijusa očitavanja, ovde se određuje: a) distribucija broja procepa po putanji, odnosno verovatnoća da, po određenoj putanji, broj procepa g bude jednak k , tj. $P(g=k)$ b) potpuna pokrivenost putanje, koja se izvlači iz nultog broja procepa po putanji ($g=0$), c) pouzdanost mreže u detektovanju objekata određene veličine čak i kada mreža ne pruža potpunu pokrivenost putanje i d) distribucija pokrivenih delova putanje. Svi navedeni zaključci zavise od broja čvorova N .

U [85] se pokazuje da, čak i kada su čvorovi manuelno instalirani, zbog nepreciznosti u pozicioniranju senzora i promene njihovih lokacija posle instalacije (npr. zbog vetra, konfiguracije terena itd.) kao i zbog kvara na određenim čvorovima, njihov se razmeštaj može opisati koristeći model Poasonovog procesa. Iz ovog razloga se ovaj način modeliranja lokacija čvorova

najčešće koristi u literaturi. Tako, u svim navedenim radovima vezanim za analizu i poboljšanje pokrivenosti područja, i pokrivenosti barijerom kao specijalnog slučaja, autori razmatraju samo slučaj kada se pozicije čvorova mogu opisati uz pomoć Poasonovog procesa. Ipak, on više služi kao teorijski model. U stohastičkim implementacijama (koje se najviše koriste u vojnim aplikacijama), čvorovi se najčešće instaliraju iz aviona. U tom slučaju, najveća verovatnoća pozicioniranja senzorskih čvorova je u okolini linije leta.

Povećanje verovatnoće formiranja senzorskih barijera kod stohastički razmeštenih čvorova mreže, kao što je pomenuto, može se uraditi na tri načina. Stoga se i literatura iz ove oblasti može, u zavisnosti od korišćene metode, podeliti na radove koji poboljšanja postižu na jedan od sledećih načina:

- a) Povećanjem gustine mreže.
- b) Efektivnijim razmeštajem čvorova.
- c) Korišćenjem mobilnih čvorova.

Prva i druga metoda su manje fleksibilne. Jedna je ograničena cenom koštanja mreže a druga okolnostima instalacije. Naime, gustina mreže se može povećati do određene granice (koja obezbeđuje skoro sigurno formiranje barijera), ali je broj korišćenih čvorova tada veliki, što povećava ukupnu cenu mreže a i kvalitet komunikacije (jer dolazi do povećane kolizije a time i do većih kašnjenja, te smanjenja komunikacionih kapaciteta mreže). Pristup povećanju kvaliteta verovatnoće povećanjem gustine mreže dat je u [86], [87], [88] i [89]. S druge strane, idealan razmeštaj čvorova često nije moguće izvesti. Štaviše, prilikom stohastičke implementacije, ovaj parametar je samo ponekad moguće podesiti u veoma ograničenom opsegu. Model razmeštaja mreže iz aviona, koji inkorporira elemente koje utiču na odstupanje razmeštaja od idealne instalacije u parametar standardne devijacije, dat je u [90] i [89]. Konačno, mobilni čvorovi obezbeđuju jedinu mogućnost poboljšanja povezanosti senzorske barijere u situacijama kada je nemoguće povećavati gustinu mreže ili obezbediti bolji

razmeštaj mreže. Pregled postojećih metoda za poboljšanje kvaliteta senzorskih barijera koristeći mobilne čvorove dat je u [90].

U ovoj tezi se takođe, u cilju povećanja verovatnoće formiranja jakih senzorskih barijera, koriste mobilni čvorovi. Formiranje jakih senzorskih barijera korišćenjem mobilnih čvorova izvršava se u jednom od sledeća dva tipa mreže:

- a) U mreži formiranoj samo od mobilnih čvorova.
- b) U hibridnoj mreži, formiranoj od nepokretnih i pokretnih čvorova.

Mobilna mreža pruža potpunu fleksibilnost u formiranju senzorskih barijera svih tipova. U [91] se predlaže distribuirani algoritam za automatsko formiranje senzorske barijere između dve tačke, dok se proširenje algoritama na formiranje K nivoa senzorskih barijera, daje u [92]. U [93] autori predlažu nekoliko algoritama za određivanje optimalne lokacije mobilnih čvorova u cilju formiranja senzorske barijere po obimu kruga. Ovi algoritmi podrazumevaju mrežu formiranu samo od mobilnih čvorova. Međutim, nedostatak potpuno mobilnih mreža je visoka cena mobilnih senzorskih čvorova ili robota.

Hibridna mreža omogućava optimizaciju po pitanju cene na taj način što samo određeni broj čvorova ima osobinu mobilnosti. Ipak, malo je rešenja u literaturi baziranih na hibridnoj mreži. Jedan centralizovani algoritam dat je u [89]. Umesto ispunjavanja uslova za formiranje višestrukih barijera, autori istražuju mogućnost dopunjavanja bar jedne barijere tako da ona predstavlja globalnu i jaku barijeru, odnosno neprekidnu strukturu lančano povezanih čvorova. Autori matematički modeliraju scenario bacanja senzora iz aviona koristeći normalnu distribuciju pozicija čvorova. U cilju ispunjavanja prekida u globalnim barijerama, u ovom radu se koriste mobilni čvorovi ograničenog opsega kretanja. Algoritam se izvršava u dve faze. U prvoj fazi se mreža skenira po dužini, čime se nalaze najbolje pozicije za lociranje mobilnih čvorova. U drugoj fazi algoritam bira mobilne čvorove koji treba da budu dislocirani da bi ispunili nepokrivene delove barijere. Predloženi algoritam međutim nije

optimizovan za opšti slučaj, kada npr. mreža nije instalirana iz aviona. Tada postoji mogućnost formiranja drugih barijera, koje su efikasnije od one date u ovom rešenju. Osim toga, ovaj algoritam je centralizovan. Centralizovani algoritmi su, kako je već pomenuto, manje efikasni od distribuiranih algoritama, posebno u velikim mrežama sa velikim brojem čvorova raspoređenih na većem geografskom regionu. Popunjavanje prekida u globalnim senzorskim barijerama, kod ovog algoritma, zahteva da se upravo mobilni čvorovi nalaze u blizini formiranih procepa a, pošto je mreža stohastički instalisana, to nije realna pretpostavka. Konkretno, autori izvode i minimalni opseg kretanja mobilnih senzora u cilju dopunjavanja prekida u barijerama. Na osnovu izvedenih rezultata, međutim, može se zaključiti da predloženi algoritam nije optimizovan ni po pitanju efektivnosti kretanja (i potrošnje) mobilnih čvorova.

4 Predloženo rešenje

U ovoj tezi se predlažu novi algoritmi koji su pogodni za korišćenje u hibridnoj stohastički rezmeštenoj mreži, uz centralizovanu ili distribuiranu kontrolu kretanja mobilnih čvorova ili robota po regionu, u cilju poboljšanja verovatnoće formiranja senzorskih barijera. Kako je navedeno u sekciji 2.1, prvo se daje matematički opis i izvršava simulaciona analiza pokrivenosti regiona i pokrivenosti slabom senzorskom barijerom koje odgovara tipičnim vojnim scenarijima. Pod utvrđenim pretpostavkama i aproksimacijama, razvijena aplikacija, kroz ponovljeni eksperiment, potvrđuje zanemarljiv uticaj graničnih efekata na rezultate istraživanja za slučaj guste mreže ili malog dometa očitavanja. Takođe se, uz pomoć simulacije, vrši procena mogućnosti naknadnog uključivanja mobilnih senzorskih čvorova u mreži korišćenjem distribuiranih algoritama za razmeštaj mobilnih čvorova ili robota.

U okviru istraživanja u pravcu projektovanja predloženog rešenja, izvršeno je:

- Upoređivanje matematički izvedenih rezultata za pokrivenost regiona sa rezultatima simulacije.
- Upoređivanje verovatnoće detekcije mete prilikom njenog prelaska po ortogonalni u odnosu na dužinu regiona trakastog oblika, odnosno upoređivanje matematičkih i simulacionih rezultata za dobijanje slabe senzorske barijere, za dva slučaja razmeštaja čvorova: a) kada je BSM sistem instaliran uniformno i b) kada je instalacija izvršena iz aviona, odnosno kada se verovatnoća pozicioniranja čvora u datoj tački opisuje koristeći Gausovu funkciju raspodele verovatnoće za modeliranje ofseta po osi ortogonalnoj na liniju leta. Ovi uslovi simulacije opisuju slučaj kada meta ne vidi senzorsku mrežu i

pokušava da pređe pravougaonu površinu koristeći najkraći put - put koji je ortogonalan na osu koja se poklapa sa dužinom regiona.

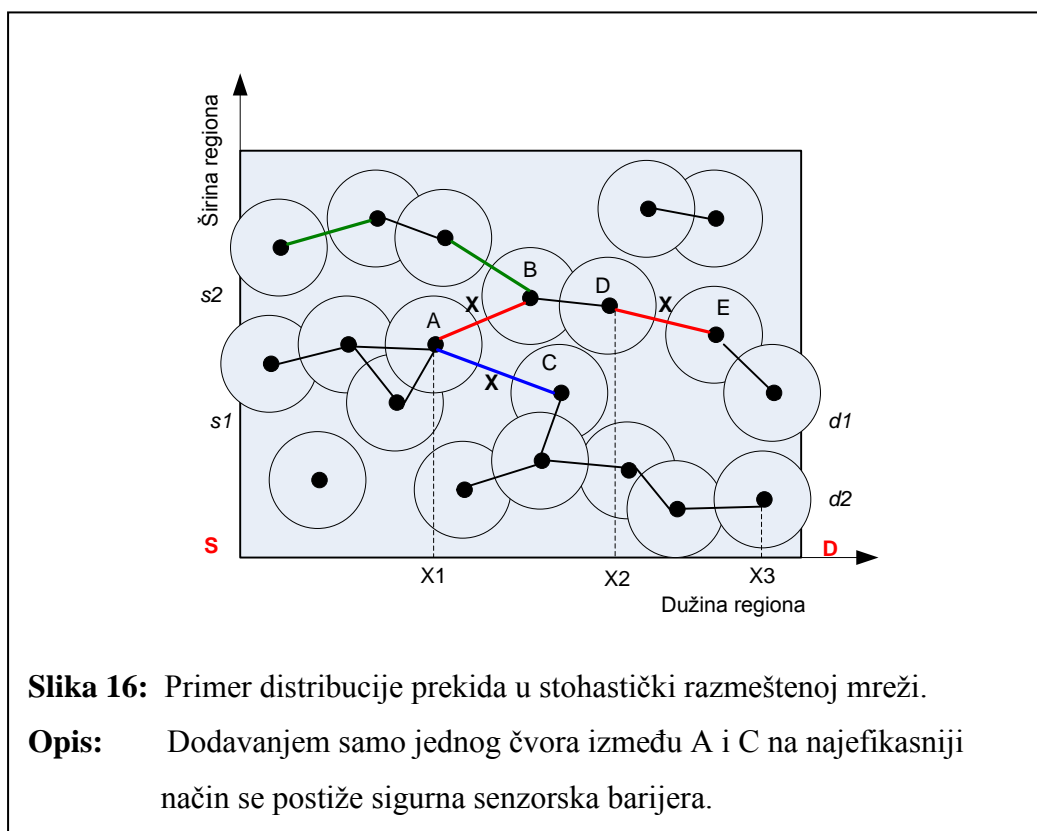
- Evaluacija kvaliteta i poboljšanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera prilikom razmeštaja senzorskih čvorova na slučajan način, bazirajući verovatnoću pozicioniranja čvorova na uniformnu i Gausovu funkciju raspodele verovatnoće, za slučaj proizvoljne putanje između dva regiona koja su ograničena senzorskom barijerom. Proces povećanja verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera obavlja se metodom doinstalacije čvorova, tj. naknadnim uvođenjem mobilnih senzorskih čvorova ili korišćenjem robota za instalaciju dodatnih fiksnih čvorova.
- Predlog metodologije za distribuiranu kontrolu kretanja robota u cilju poboljšanja verovatnoće formiranja jakih senzorskih barijera.
- Predlog metodologije za opis projektovanja rešenja uz pomoć SG i SP CMMI procesne oblasti „tehničko rešenje“.
- Predlog metodologije za opis uslova implementacije mreže koristeći konceptualno modeliranje.

Povećanjem gustine mreže i/ili radijusa očitavanja, povećava se verovatnoća da kompletna mreža postane jedan povezani graf. Ipak, radijus očitavanja je najčešće vrednost koja se ne može povećavati a povećanje gustine mreže znači i veću cenu mreže (kao i moguću degradaciju komunikacionih performansi). Kako povezanost mreže u ovom smislu zavisi od načina instalacije, radijusa očitavanja i gustine mreže, u opštem slučaju se, u većoj ili manjoj meri između formiranih grafova kao i između ostalih trivijalnih grafova pojavljuju prekidi u pravcu linije formiranja barijere. Cilj je pronalaženje puta između navedenih grafova, takvog da potreban broj doinstaliranih čvorova u pravcu dopunjavanja procepa bude minimalan.

U odnosu na postojeća rešenja, iz rezultata sprovedene analize se, osim za centralizovana rešenja, mogu isvesti zaključci i o najpovoljnijim uslovima za izvršenje distribuiranih algoritama u cilju dopunjavanja senzorskih rupa i formiranja senzorskih barijera u hibridnim mrežama gde mobilni čvorovi naknadno učestvuju u formiranju senzorskih barijera. Naime, kako bi se u ovakvim uslovima obezbedilo što manje pretraživanje pozicija dodatnih čvorova od strane robota ili mobilnih čvorova, potrebno je da maksimalna dužina svakog prekida bude jednaka prečniku područja očitavanja jednog senzora. Ovo podrazumeva da broj inicijalno instaliranih fiksnih čvorova bude veći od određene kritične vrednosti. U ovim uslovima, roboti relativno brzo, uz minimalnu potrošnju energije kretanja, otkrivaju „najbolji“ sledeći čvor na koji treba premostiti mrežu, te između postojeće mreže i novog čvora smeštaju samo po jedan dodatni čvor. Uz pomoć novo formirane konstrukcije, oni sukcesivno dobijaju informaciju o poziciji sledećeg prekida sve dok se svi prekidi ne premoste novim čvorovima. Naime, roboti se kreću najkraćom putanjom prema sledećem prekidu u mreži ili se, uz pomoć više robota, mreža dopunjava sve dok se ne dobije informacija da je, po pitanju pokrivenosti barijere, postignuta „povezanost“ s kraja na kraj. U slučaju postojanja samo dve pristupne ivice trakastog regiona, npr. leve i desne, predloženi distribuirani algoritam je moguće realizovati uz pomoć dva, ili čak i samo jednog robota. Međutim, pređeni put robota može biti energetski neefikasan. Kada su dostupne tri strane regiona, pomeranje robota, koristeći distribuirani algoritam, može se obavljati na mnogo efikasniji način. U ovom slučaju se može koristiti veći broj robota. Ipak, pored predloženih metoda, uz predloženu metodologiju za pronalaženje broja prekida i potrebnog broja dodatnih čvorova za pokrivanje prekida, uvek se mogu koristiti i postojeći centralizovani algoritmi iz literature.

Superiornost distribuiranih algoritama za poboljšanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera u hibridnim, stohastički instaliranim, mrežama korišćenjem mobilnih robota, ogleda se u efikasnijem pronalaženju najboljih pozicija za instalaciju dodatnih čvorova u BSM sistemima gde

komunikacioni dometi svih čvorova ne dosežu do zajedničke tačke. Dobile pozicije omogućavaju postizanje jakih senzorskih barijera uz minimalan broj dodatih čvorova i (potencijalno) minimalan pređeni put mobilnih čvorova ili robota. Najbolje su one pozicije koje obezbeđuju namanji kost/benefit, odnosno najmanji broj dodatnih čvorova potrebnih da na najefikasniji način omogući formiranje senzorske barijera. Npr. na slici 16 instaliranje dodatnog čvora između A i C je efikasnije od instaliranja čvora između A i B, jer se samo jednim čvorom može formirati senzorska barijera. U slučaju odabira pozicije između A i B, potrebno je takođe dodati čvor između D i E da bi se formirala senzorska barijera. S druge strane, ako se kao početni čvor odabere čvor s_2 , potrebno je obezbediti tri dodatna čvora da bi se stvorila barijera između s_2 - d_1 . U oba predložena algoritma, razmatramo samo mogućnost kretanja od jedne ivice regiona ka drugoj, odnosno ne razmatramo mogućnost formiranja barijera npr. koristeći putanju s_2 -B-A-C- d_2 .



Rezultati dobijeni izvršavanjem rutina simulatora baziranih na predloženim algoritmima obezbeđuju važne odrednice u pravcu projektovanja hibridne mreže u zadatim uslovima. Analiza uticaja dimenzija regiona, načina implementacije, gustine mreže i radijusa očitavanja na uslove formiranja sigurnih senzorskih barijera, kao i adekvatna primena navedenih kriterijuma algoritma ima za posledicu povećanje verovatnoće formiranja senzorskih barijera uz mogućnost regulacije troškova instalacije.

U narednom poglavlju, modeliraju se uslovi stohastičke instalacije mreže koji dalje služe kao osnov za analizu (i poboljšanje) određenog stepena i tipa pokrivenosti senzorskom mrežom u tipičnim vojnim scenarijima.

5 Modeliranje uslova instalacije

Postizanje visokog nivoa očekivane pokrivenosti područja od interesa senzorskom mrežom predstavlja važan QoS (Quality of Service, kvalitet servisa) pokazatelj, posebno kada su u pitanju vojne aplikacije. Analiza koja sledi se najviše odnosi na problem pokrivenosti u tipičnim vojnim scenarijima.

Dok se u drugim implementacijama može tolerisati nemogućnost očitavanja događaja u manjem geografskom regionu, u vojnim aplikacijama je veoma važno pokriti ceo region od interesa. Region od interesa, u ovim uslovima, najčešće predstavlja čitavo geografsko područje, određenu putanju ili liniju razgraničenja. Najčešće je potrebno obezbediti dovoljan stepen pouzdanosti po pitanju odluke da li se u određenom geografskom području ili na određenoj putanji nalaze vojni objekti, biološki ili hemijski agensi, ili da li meta prelazi određenu liniju razdvajanja dva regiona.

U svakom od slučaja, da bi se pristupilo analizi, važno je definisati scenarije od interesa i, u skladu sa njima, modelirati:

- Očitavanje senzora.
- Način instalacije mreže i oblik područja od interesa.
- Karakteristike terena.

Po pitanju modela očitavanja, i u ovom radu se, kao i najčešće u literaturi, koristi Bulov model. Područje očitavanja je savršeni disk radijusa R_s . U praksi je ova pretpostavka nerealna, ali binarni model može omogućiti procenu donje i gornje granice za realna neregularna područja očitavanja [94]. Određena tačka područja je pokrivena ako se nalazi u domenu očitavanja bar jednog senzora. Dok se kod pokrivenosti područja traži da senzori pokriju region svojim domenima očitavanja, kod senzorskih barijera se zahteva da senzorsko polje postoji u određenom pravcu tako da meta ne može proći neprimećena po dimenziji regiona koja je uspravna na pravac prožimanja barijere.

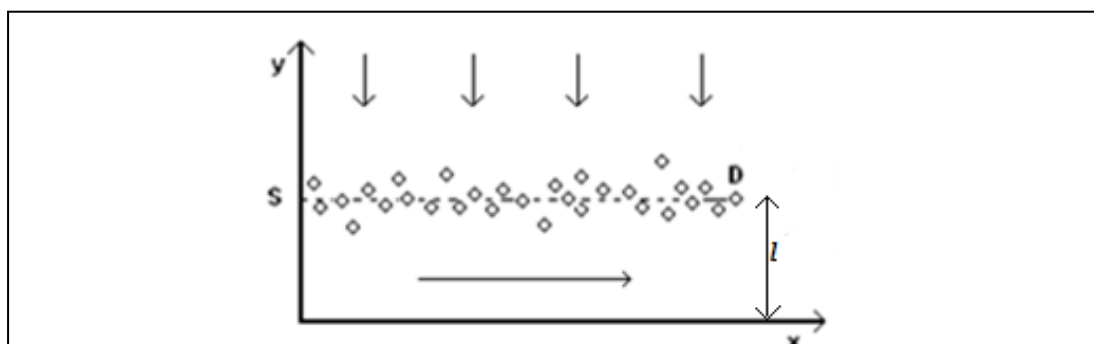
U vojnim aplikacijama, tipično je korišćenje senzora na otvorenom prostoru. Ovde se najčešće koriste magnetni, mikrotalasni, akustični, infracrveni i radarski sistemi. Na osnovu [95], tipičan radijus očitavanja u vojnim aplikacijama nalazi se između 3m i 350m. Međutim, vojni BSM sistemi se obično implementiraju u uslovima gde se radijus očitavanja (usled postojanja prepreka, raznih geomorfoloških karakteristika terena itd.), u velikoj meri može smanjiti u odnosu na nominalni. Zbog toga je važno sprovesti analizu za niže područje ovog domena. U [95], područje očitavanja magnetnih senzora je između 3m i 15m dok u [96] radar može da detektuje pokret na udaljenosti od 18,3m od senzora. U literaturi se, u kontekstu raznih analiza vezanih za korišćenje senzora u vojnim aplikacijama, koriste vrednosti: 9m [97], 12m-18m [98], veće od 10m [99], 10m i 20 m ([100], [101], [102]), 18m [103] itd. Uzevši u obzir navedeno, u ovoj tezi se vrednosti 10m i 18m uzimaju kao reprezentativne. Veće vrednosti rapidno poboljšavaju pokrivenost pa ne predstavljaju kritičan dio područja istraživanja.

Pozicioniranje senzorskih čvorova mreže, kako je opisano u poglavlju 1, može biti determinističko ili stohastičko. U ovoj tezi se razmatra stohastička implementacija mreže i to za dva karakteristična scenarija:

- a) Kada se mreža instalira koristeći artiljeriju.
- b) Kada se mreža instalira uz pomoć avijacije – iz vazduha.

U prvom scenariju se raspored pozicija senzora u regionu, kao što se radi i u literaturi, modelira koristeći uniformnu gustinu raspodele verovatnoće po obe dimenzije. Takođe, kao i u pripadajućoj literaturi, pod određenim uslovima, može se smatrati da se koncentracija senzora u određenom delu regiona može opisati koristeći model Poasonovog homogenog stacionarnog procesa.

Situacija kada se senzori instaliraju iz vazduha ima za posledicu veću gustinu mreže po liniji leta (slika 17).



Slika 17: Model razmeštaja mreže iz aviona.

Opis: Po liniji leta između S i D, koncentracija senzora je veća. U ovom radu se pozicije senzora po osi upravnoj na pravac S-D modeliraju koristeći normalnu gustinu raspodele verovatnoće.

U ovom radu se ovakav scenario modelira na dva različita načina po dvema osama (x i y). Smatra se da su senzori slučajno i uniformno pozicionirani po x osi, dok se po y osi uzima u obzir određeni ofset kao posledica uticaja raznih faktora kao što su: vetar, promenljiva brzina leta (inercija), karakteristike terena itd. U ovom pravcu je izvršen prvi nivo aproksimacije združenog uticaja navedenih parametara koristeći koncept standardne devijacije σ , odnosno predstavljajući raspodelu verovatnoće pozicija senzora po y osi u obliku normalne distribucije:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \dots(6)$$

Srednja vrednost μ predstavlja poziciju linije leta po y osi. Implementacija se smatra kvalitetnijom ako se može opisati sa manjom σ . Razmeštaj čvorova na slučajan način, gde se verovatnoća pozicioniranja čvorova bazira na uniformnoj raspodeli po x osi i Gausovoj raspodeli po y osi, u daljem tekstu će biti imenovan kao uniformno-Gausov (UG) način razmeštaja čvorova.

Oba scenarija se baziraju na pretpostavci da se senzori, nakon instalacije u određenom regionu, samo-organizuju, uspostavljaju bežičnu komunikaciju između sebe i počinju da očitavaju fizičke veličine.

U analizi se region opisuje u dvodimenzionoj ravni, što predstavlja dodatnu aproksimaciju. Naime, u realnosti, region je 3-D površ u kojem postoje prepreke. Prepreke utiču, kako na poziciju senzora, tako i na oblik senzorskog i radio-komunikacionog polja. Međutim, kako se uticaj prepreka ne može opisati na univerzalan način, kada se traže opšte osobine mreže i kada je mreža relativno gusta, opšti zaključci se mogu izvesti zadržavajući 2-D model i očekivajući manja ili veća odstupanja radijusa očitavanja od nominalnog. Ovaj model se može dalje učiniti preciznijim ukoliko se radijus očitavanja, u zavisnosti od uslova instalacije, učini promenljivim. U analizi koja sledi, kao i u najvećem delu literature, usvaja se pretpostavka konstantnog radijusa očitavanja.

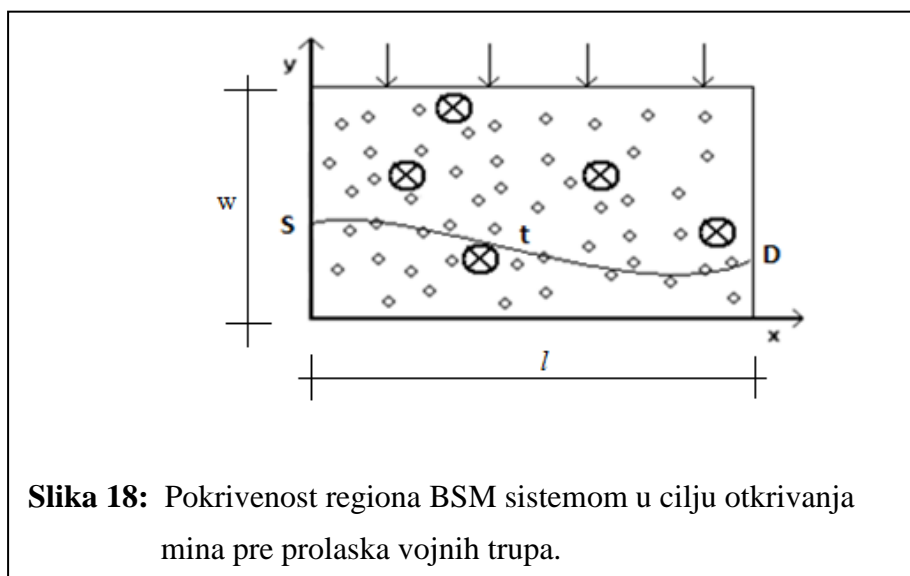
Analiza uključuje kvadratnu površinu i tzv. trakastu površinu, odnosno pravougaonu površinu gde je jedna ivica pravougaonika mnogo veća od druge.

Kao što je navedeno, u vojnim aplikacijama, najčešće je cilj prekriti ceo region senzorskim poljem ili obezbediti mogućnost detekcije pokretnih meta po regionu, tj. obezbediti određeni stepen detektabilnosti mreže. Potpuna pokrivenost regiona znači da senzorska mreža može očitavati događaje ili fizičke veličine sa čitavog regiona bez ijedne praznine u očitavanju [104]. Međutim, postizanje takvog cilja, kada je razmeštaj pozicija čvorova u regionu slučajan i uniforman, znači ispunjavanje uslova perkolacione teorije. Ovi uslovi podrazumevaju beskonačne ivice regiona i visoku gustinu mreže. Na osnovu zaključaka perkolacione teorije [79], postoji kritična vrednost gustine mreže koja inicira tranziciju faze. Kada se dostigne kritična gustina mreže, formira se povezani klaster u mreži takav da je gotovo nemoguće da objekat pređe region nedetektovan. Međutim, uslovi perkolacione teorije su u praksi teško dostižni.

Kada su ivice regiona konačne vrednosti, postavlja se potreban prag očekivane verovatnoće za detekciju objekata na određenom području.

Bazirajući se na neke preporuke iz literature, ([102], [96], [104]) u ovoj tezi se takođe usvaja da vrednost minimalnog potrebnog praga očekivane verovatnoće za detekciju nepokretnih meta bude 0,95. Ova vrednost se u literaturi koristi da bi se izrazila vrlo visoka verovatnoća pokrivanja regiona ili postojanja konektivnosti mreže. S obzirom da matematički opis pokrivenosti regiona predstavlja fundamentalnu analizu za određivanje svih oblika pokrivenosti BSM sistemom, u nastavku se prvo sprovodi navedena analiza.

Neka je dat pravougaoni region površine $A=w*l$, gde je w -širina regiona a l dužina (slika 18). Neka su senzori slučajno i uniformno razmešteni po regionu i neka je model očitavanja binarni model. Pod zadatim pretpostavkama, potrebno je odrediti gustinu mreže tako da verovatnoća detekcije nepokretne mete bude veća od 0,95.



Ako su (x,y) koordinate pozicije svakog senzora, funkcija gustine verovatnoće se može opisati sa:

$$f(x,y) = f(x) = \begin{cases} \frac{1}{lw}, & 0 \leq x \leq l, 0 \leq y \leq w \\ 0, & \text{drugačije} \end{cases} \quad \dots(7)$$

Ako je radijus očitavanja R_s , verovatnoća da se događaj detektuje od strane jednog senzora je:

$$p_{d1} = \frac{R_s^2 \pi}{A} \quad \dots(8)$$

Ako je broj čvorova N , verovatnoća da će događaj biti detektovan od strane bar jednog čvora je:

$$p_A = 1 - (1 - p_{d1})^N = 1 - \left(1 - \frac{R_s^2 \pi}{lw}\right)^N \quad \dots(9)$$

Ako je površina A velika, ova relacija se može aproksimirati sa:

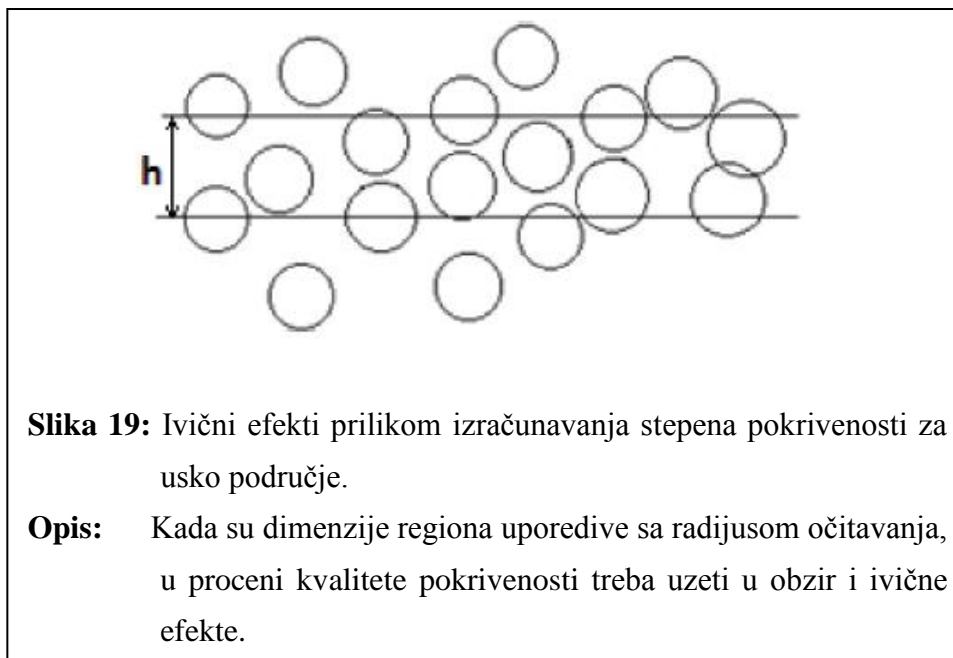
$$p_A \approx 1 - e^{-\frac{NR_s^2 \pi}{lw}} \quad \dots(10)$$

Tada je gustina mreže ρ , koja je potrebna da bi se postigla određena verovatnoća detekcije nepokretne mete, data sa:

$$\rho = \frac{1}{R_s^2 \pi} \ln \frac{1}{1 - p_A} \quad \dots(11)$$

U ovoj tezi, početni parametri implementacije imaju sledeće vrednosti: dimenzije regiona - $180 \times 1200 m^2$, radijusi očitavanja - $R_s=10m$ i $R_s=18m$. Početna gustina mreže je promenljiva veličina. Tada, na osnovu relacije (11), početni broj čvorova potrebnih da se region inicijalno pokrije sa verovatnoćom $p_A > 0,95$, veći je od 2060 i 637, respektivno. Međutim, potrebno je istaći da navedena analiza važi samo kada se senzorska polja svakog senzora nalaze unutar pravougaonog regiona. Analiza ne obuhvata situaciju kada se senzorski čvorovi nalaze u blizini manjoj od R_s od ivica pravougaonika. Kada se senzori nalaze u blizini ivica pravougaonika i kada je dodatno radijus očitavanja uporediv sa dužinama ivica regiona, tada dolazi do pojave ivičnih efekata.

Primer situacije kada je širina regiona reda nekoliko vrednosti radijusa očitavanja dat je na slici 19.

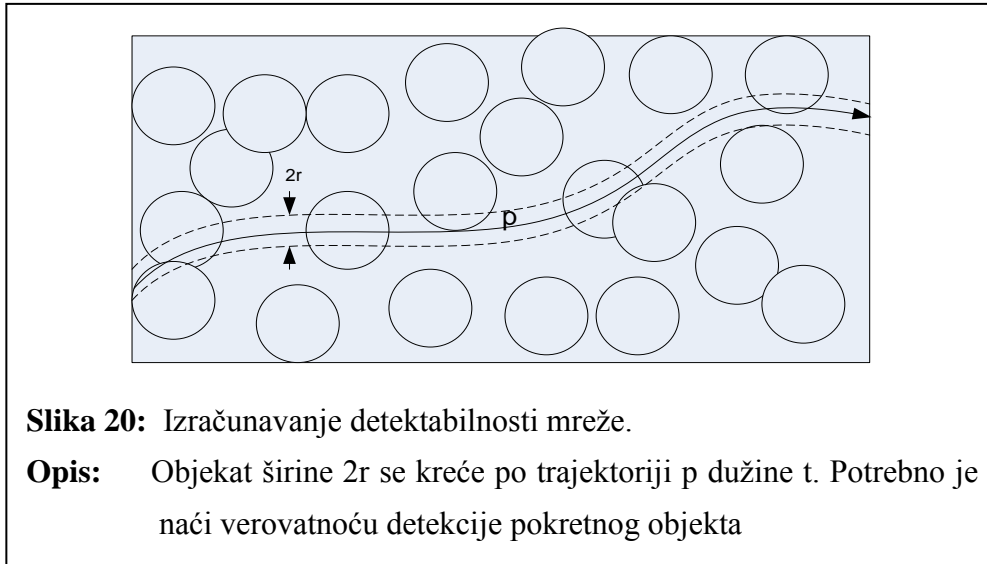


Detektabilnost putanje predstavlja meru kojom je određena putanja pokrivena senzorskim poljem. Ova mera predstavlja verovatnoću detekcije mete koja se kreće po određenoj putanji.

Kako se pokazuje u [105], a koristi se od strane većine radova iz literature, kada su pozicije senzora uniformno i nezavisno distribuirane u regionu, gde svaki senzor ima podjednaku verovatnoću da bude pozicioniran u bilo kojoj tački regiona, lokacija senzora se može modelirati koristeći stacionarni dvo-dimenzioni Poasonov proces. Koristeći ovaj model, ako se gustina Poasonovog procesa označi sa ρ , površina određenog pravouganog regiona sa A , tada je verovatnoća da se tačno k senzora nalaze u regionu A može izraziti sa:

$$P(N(A) = k) = \frac{e^{-\rho A} (\rho A)^k}{k!} \quad \dots(12)$$

Neka se objekat kreće po liniji p dužine t kao na slici 20.



Ako se površina regiona oko linije p označi sa A , verovatnoća da objekat ne bude detektovan jednak je verovatnoći da se nijedan čvor ne nađe unutar površine A :

$$P(N(Y) = 0) = e^{-\rho A} \quad \dots(13)$$

Površina A je u ovom slučaju:

$$A = 2tr + r^2\pi \quad \dots(14)$$

Verovatnoća detektovanja pokretnog objekta po putanji p je sada:

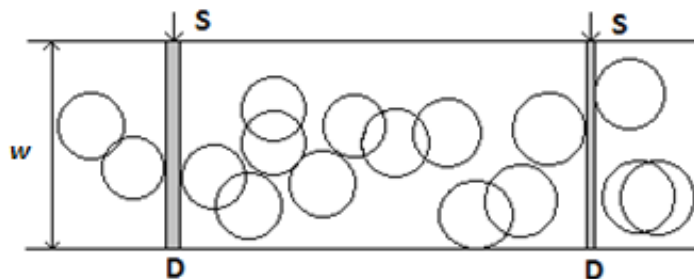
$$P(t) = 1 - e^{-\lambda(2tr + \pi r^2)} \quad \dots(15)$$

U opštem slučaju, kada se trajektorija ili dio trajektorije mogu predstaviti analitički funkcijom $f_i(x)$, sa početnom tačkom x_1 i završnom tačkom x_2 ($x_2 > x_1$), relacija (15) se može predstaviti u obliku:

$$P_{di} = 1 - e^{-\rho(2r \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + (f_i'(x))^2} + \pi r^2)} \quad \dots(16)$$

Iako izvedena za slučaj beskonačne ravni, verovatnoća detekcije objekta za slučaj kada je mreža gusta i kada je radijus očitavanja mnogo manji od dimenzija regiona, praktično može predstavljati aproksimaciju za slučaj konačnih dimenzija regiona. Kao što se može zaključiti, kada dužina trajektorije teži beskonačnosti, verovatnoća detekcije teži 1. S druge strane, bazirajući se na perkolacionu teoriju [79], kada gustina mreže dostigne kritičnu vrednost λ_c , ne postoji putanja kroz mrežu kojom se objekat može kretati i ostati nedetektovan od strane mreže. Povećavanjem radijusa očitavanja, kritična vrednost gustine mreže za postizanje perkolacije je manja.

Slučaj slabih senzorskih barijera se može takođe opisati uz pomoć relacije (15). Naime, kada je cilj konstruisanje senzorske barijere, uglavnom se teži instalaciji senzora po uskoj (trakastoj) površini. Ukoliko je širina trake mnogo veća od radijusa očitavanja, odnosno $w \gg R_s$, ivični efekti se mogu zanemariti a relacija (15) se može koristiti za opis verovatnoće detekcije mete koja se kreće perpendikularno u odnosu na dužinu regiona (slika 21).



Slika 21: Prekidi kod slabih senzorskih barijera.

Opis: U slučaju da meta ne zna pozicije senzora, ona će odabrati najkraću putanju od S do D. Ovde je zadatak ocena verovatnoću detekcije mete po vertikali, odnosno ocena verovatnoće formiranja tzv. slabe senzorske barijere.

Scenario predstavljen u na slici 21 odgovara situaciji kada meta ne zna pozicije senzora te prelazi region u najužem delu, odnosno po širini. Analogno prethodnim analizama, tretirajući kretanje mete kao specijalan slučaj

pokrivenosti putanje, verovatnoća da će objekat biti detektovan krećući se od S prema D (ili obrnuto) se može odrediti iz relacije:

$$Pd = 1 - e^{-2\rho h} \quad \dots(17)$$

Odakle je:

$$\rho = \frac{1}{2rh} \ln \frac{1}{1-Pd} \quad \dots(18)$$

Kada meta zna poziciju senzora, kao i u prethodnom slučaju, verovatnoća njene detekcije zavisi od gustine mreže, radijusa očitavanja i širine regiona tako što se povećanjem bilo kojeg od navedenih parametara povećava i verovatnoća detekcije. Ipak, u [80] se pokazuje da se perkolacija nikada ne dešava u regionu trakastog oblika konačne širine. U dvodimenzionoj trakastoj površini, teoretski uvek postoji mogućnost pronalaska putanje između S i D (slika 9) ukoliko su meti poznate pozicije čvorova. Promenljivi parametri u (15) su dužina putanje i gustina mreže. Kada bilo koji od ova dva parametra teži beskonačnosti, verovatnoća detekcije mete teži 1. Praktično, perkolacija u određenoj mreži će postojati samo ako gustina mreže postigne određenu graničnu vrednost i kada širina regiona teži beskonačnosti ili, kako se pokazuje u literaturi kada je širina područja asimptotski veća od logaritma dužine područja. Tada se verovatnoća detekcije mete, sa malih vrednosti, naglo menja i postiže vrednost blizu 1. U asimptotskim uslovima se može govoriti o sigurnoj detekciji mete i sigurnom stvaranju senzorske barijere. U [82] se daju kritični uslovi za gotovo sigurno postojanje višestrukih senzorskih barijera u regionima ograničenih dimenzija. S druge strane, kada su vrednosti gustine mreže i dimenzija regiona ograničene, može se govoriti samo o očekivanim vrednostima verovatnoće. Ipak, dimenzije regiona i radijus očitavanja često nisu podesivi parametri. Da bi se postigla sigurna pokrivenost barijerom u uslovima kada dimenzije regiona ne odgovaraju vrednostima potrebnih uslova za perkolaciju u mreži, potrebno je

prekide u mreži dopuniti uz pomoć mobilnih čvorova ili korišćenjem robota za instalaciju dodatnih čvorova.

Metodologija za formiranje barijere predložena u ovom radu obezbeđuje mogućnost korišćenja centralizovanih ili distribuiranih algoritama za doinstalaciju novih čvorova. Kako se pokazuje u [34], postojanje pokrivenosti implicira postojanje konektivnosti ako je komunikacioni radijus jednak ili veći od dvostruke vrednosti radijusa očitavanja. U ovom radu se usvaja pretpostavka da je radijus dometa bežičnih linkova veći od dvostruke vrednosti radijusa očitavanja.

Model mreže i pristup dopunjavanju senzorske mreže novim čvorovima do formiranja sigurne senzorske barijere, prikazan je na slici 16. Pri stohastički razmeštenom BSM sistemu i zadatim parametrima instalacije, prvo se u mreži inicira formiranje povezanih grafova. Potrebno je razlikovati povezanost čvorova u smislu pokrivenosti u odnosu na povezanost u smislu komunikacije. Za dva čvora koja se nalaze na lokacijama X_i i X_j kaže se da su povezana u smislu pokrivenosti barijerom ako je $|X_i - X_j| \leq 2R_s$. Na ovaj način se formiraju manji povezani i trivijalni grafovi. Nakon toga se nalaze najbolje lokacije za pozicioniranje novih čvorova koji, dopunjavajući praznine između formiranih povezanih i/ili trivijalnih grafova, omogućavaju formiranje jakih senzorskih barijera.

Na slici 16 prikazane su dve varijante za formiranje jakih senzorskih barijera. Prekidi koji su, od strane dva različita algoritma, odabrani da budu dopunjeni doinstaliranjem čvorova, označeni su na slici sa X. Čvorovi koji su u mogućnosti da započnu proces kreiranja barijere su čvorovi s_1 i s_2 . Naime, u uslovima simulacije se modelira scenario kada su dvije ivice regiona (S i D) dostupne npr. određenoj vojnoj formaciji. Štaviše, jedna strana regiona po horizontali može takođe biti dostupna. Tada je moguće proces pokrivanja rupa u barijerama na distribuirani način inicirati sa dve ili tri strane pravougaone površine, kao i uz pomoć centralizovanog algoritma iz same mreže, koristeći već instalirane mobilne čvorove. U primeru datom na slici 16, nakon

dopunjavanja prekida X , postoji bar jedna lančana struktura senzorskih čvorova takva da ne postoji mogućost prelaska mete sa jedne horizontalne ivice na drugu a da pri tom meta ostane nedetektovana od strane mreže, bez obzira na način odabira putanje po širini regiona. Posmatrajući sliku 16, vidi se da je kreiranje barijere koristeći put s_2-d_1 manje efikasno rešenje u odnosu na ostala rešenja, jer je za njeno kreiranje potreban veći broj mobilnih čvorova. Po istom kriterijumu, barijera s_1-d_2 je efikasnija od barijere s_1-d_1 , jer je za njeno dopunjavanje potreban samo jedan dodatni čvor.

Uz pomoć simulacije, pri zadatim dimenzijama regiona, određenom načinu instalacije i zadatom radijusu očitavanja, dobija se zavisnost potrebnog broja dodatnih mobilnih čvorova (ili fiksnih čvorova instaliranih uz pomoć robota) od broja inicijalno instaliranih fiksnih čvorova.

Konačno, modeliranje terena se može uraditi korišćenjem metoda za prepoznavanje multimedijalnog sadržaja. Na osnovu ekstrahovanih karakteristika moguće je preciznije oceniti pozicije čvorova. U ovom radu se, u ovom pravcu, predlaže metoda opisa instalacionog okruženja koristeći konceptualne mape.

6 Opis simulatora i algoritama

U cilju eksperimentalog ocenjivanja vrednosti parametara mreže, kojima se obezbeđuje postizanje postavljenog praga očekivane verovatnoće pokrivenosti odgovarajućeg tipa, razvijena je aplikacija u programskom jeziku Java. Standardni ulazni parametri su: radijus očitavanja, broj nepokretnih čvorova, dimenzije regiona i način instalacije (sa mogućnošću promene parametra σ u slučaju normalne raspodele pozicija čvorova po širini regiona).

Razvijena aplikacija sadrži dve mogućnosti za instalaciju mreže:

- a) Pozicije čvorova su uniformno i slučajno raspodeljene, koristeći funkciju generisanja slučajnih brojeva *nextInt(sirina)* i *nextInt(duzina)*, po širini i dužini regiona.
- b) Pozicije čvorova su uniformno raspodeljene po dužini regiona dok su po širini raspodeljene koristeći funkciju *nextGaussian()*.

Mreža se instalira koristeći navedene ulazne parametre a zatim se ispituje:

- Pokrivenost regiona.
- Uslovi formiranja slabe senzorske barijere za očekivanu verovatnoću detekcije od 0,95.
- Uslovi formiranja jake senzorske barijere uz korišćenje novih algoritama za dopunu mreže mobilnim čvorovima.

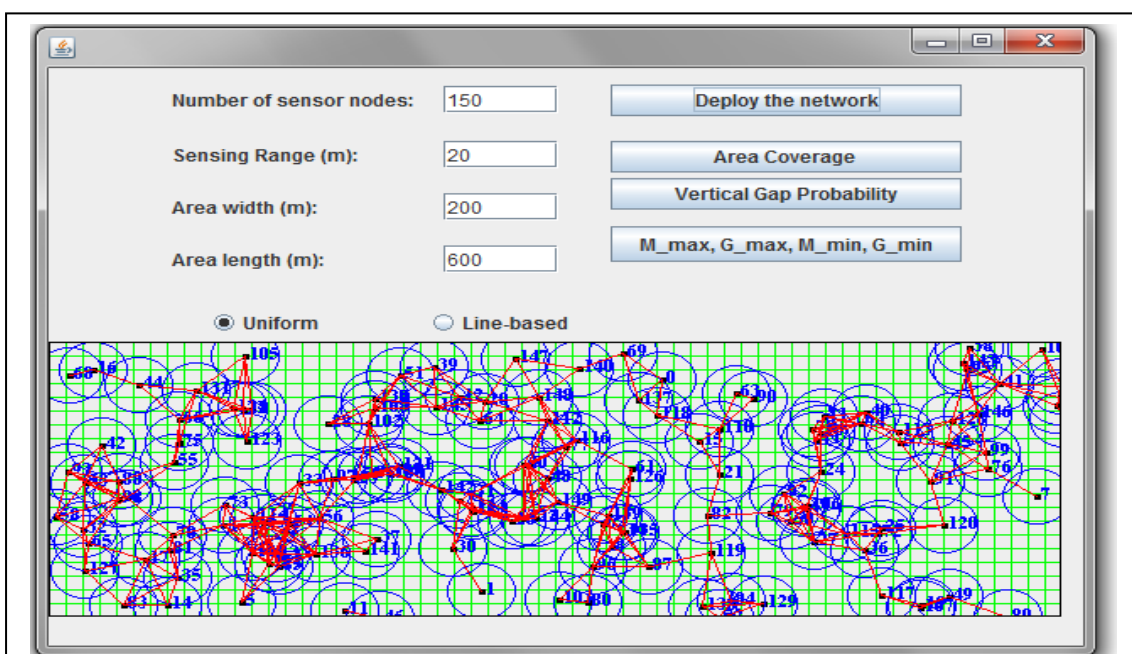
Najvažnije komponente aplikacije su:

- Klasa *Cvorovi*.
- Klasa *CvoroviFrejm*.
- Klasa *CvoroviPanela*.

Klasa *Cvorovi* služi za kreiranje niza objekata čvorova. Ovi objekti sadrže x i y koordinate, radijus očitavanja, identifikacioni broj, identifikacioni broj grafa i druge pomoćne promenljive koje služe za izvršavanje predloženih algoritama.

Metode ove klase obezbeđuju podešavanje svih navedenih parametara kao i crtanje čvorova i pripadajućih radijusa očitavanja. U toku izvršavanja algoritma, čvorovi dobijaju privremene *flag*-ove, kako bi se izvršila programska grupacija onih čvorova koji u datom trenutku učestvuju u stvaranju barijere. Svaka se barijera identifikuje preko početnog čvora od kojeg je iniciran algoritam. Klasa *Cvorovi* sadrži i metode za dinamičku promenu i dodeljivanje vrednosti promenljivih koje reprezentuju broj prekida i broj dodatnih čvorova a koje se čuvaju u tzv. početnim čvorovima za finalno upoređivanje. Tako, na kraju, među svim početnim čvorovima, potrebno je odrediti koji čvorovi nose maksimalne i minimalne vrednosti ova dva parametra i koje su te vrednosti.

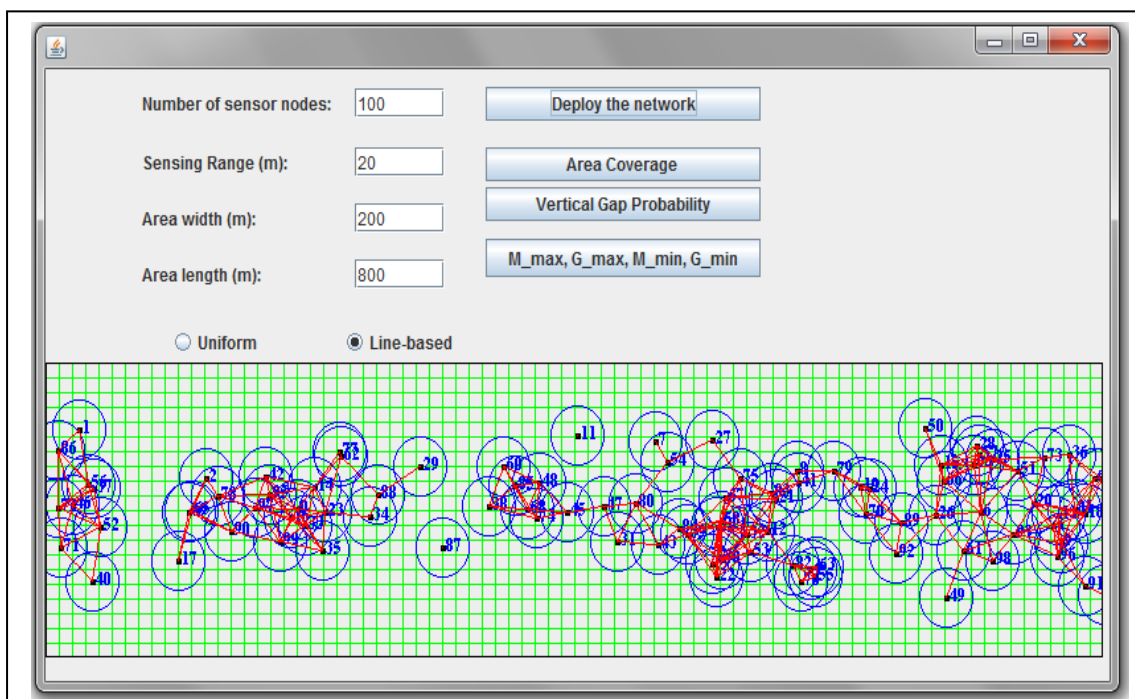
Java aplikacija je razvijena koristeći NetBeans 7 IDE (Integrated Development Environment, integrisano razvojno okruženje). Izgled GUI (Graphical User Interface, grafički korisnički interfejs) je prikazan na slici 22.



Slika 22: Pokrivenost regiona i formiranja grafova, prilikom jedne simulacije.

Opis: GUI sadrži mogućnost unosa: broja čvorova, radijusa očitavanja, dimenzija regiona, i vrednosti σ . Izlazne veličine su: verovatnoća pokrivenosti regiona, verovatnoća pokrivenosti slabom senzorskom barijerom, najveći i najmanji broj prekida i broj potrebnih čvorova za formiranje jake senzorske barijere.

Primer jedne simulacije razmeštaja mreže u uslovima kada se slučajne vrednosti pozicija senzorskih čvorova biraju u skladu sa UG gustinom raspodele verovatnoće, za $\sigma=30$, prikazan je na slici 23.



Slika 23: Primer slučajnih pozicija čvorova u skladu sa UG gustinom raspodele verovatnoće slučajnih brojeva.

Opis: U ovom primeru postoje samo dva prekida koja se dopunjuju koristeći razvijene algoritme, kod čvorova 52 i 29.

Frejm sadrži određeni broj polja za unos parametara, radio-dugmad za odabir vrste razmeštaja čvorova, panelu i dugmad za inicijalizaciju sledećih procesa: instalaciju mrežne konfiguracije, pronalaženje pokrivenosti regiona, pronalaženje očekivane verovatnoće formiranja slabe senzorske barijere i pronalaženje minimalnih i maksimalnih vrednosti broja prekida i potrebnog broja čvorova za dopunjavanje i formiranje sigurne senzorske barijere.

Nakon unosa ulaznih podataka, pritisak na dugme *Deploy the network* (instairaj mrežu) inicira akciju pretvaranja tekstualnih unosa u brojeve vrednosti unutar klase *CvoroviFrame* i poziva grafičku funkciju klase

CvoroviPanela panele koja je prethodno uključena u frejm i koja prima ulazne podatke. Pre nego se pozove funkcija crtanja panele, definiše se njena veličina iz klase frejma, čime se opisuje veličina regiona. U okviru klase *CvoroviPanela* vrši se generisanje slučajnih brojeva i niza objekata klase *Cvorovi*, kao i crtanje čvorova koristeći funkciju crtanja klase *Cvorovi* u kontekstu funkcije crtanja klase *CvoroviPanela*. Čvorovi se crtaju zajedno sa njihovm dometom očitavanja i „linkovima“ (u smislu pokrivenosti) koje oni stvaraju sa svojim susedima. Preko korisničkih dugmadi *Area Coverage* (pokrivenost regiona), *Vertical Gap Probability* (verovatnoća vertikalnih procepa) i dugmeta za pronalaženje minimalnih i maksimalnih vrednosti broja prekida i broja dodatnih čvorova (na čemu se bazira funkcionalnost predloženih algoritama), pozivaju se odgovarajuće rutine klase *CvoroviPanela*. Listing koda klasa *Cvorovi* i *CvoroviPanela*, koje predstavljaju mašinu aplikacije, dat je u Prilogu D.

U simulacijama, pokrivenost mreže se nalazi kao odnos između broja pokrivenih piksela i ukupnog broja piksela pri zadatim dimenzijama regiona od interesa i određenom radijusu očitavanja. Verovatnoća pokrivanja regiona je data u odnosu na gustinu mreže, odnosno broj čvorova po jedinici površine. Jedan piksel predstavlja jedan metar u regionu. Svaka ćelija rešetkaste panele je dimenzija 10mx10m.

U cilju nalaženja slabe pokrivenosti barijerom, broj piksela po dužini regiona koji nisu pokriveni senzorskim poljem niti jednog senzorskog čvora, deli se sa ukupnom dužinom regiona (u pikselima).

U formiranju jakih senzorskih barijera, nakon instalacije, aplikacija izvršava proceduru formiranja grafova. Zatim pretražuje najbolje pozicije dodatnih čvorova za svaku potencijalnu barijeru. Na taj način se, u svakoj implementaciji, ukoliko postoje početni uslovi za distribuirano formiranje senzorskih barijera, tj. ukoliko postoji bar jedan čvor koji se nalazi u blizini R_s od leve vertikalne ivice pravougaonika, dobija jedna ili više senzorskih barijera a izlazne vrednosti su maksimalni i minimalni broj prekida i njima odgovarajuće vrednosti broja mobilnih čvorova za pokirvanje prekida. Program

određuje i pozicije novih čvorova koje treba dodati da bi se formirala senzorska barijera po predloženim algoritmima. Ako ne postoji ni jedan čvor u blizini R_s od leve ivice pravougaonog regiona, smatra se da je instalacija izvršena bezuspešno. Inače, kako je već pomenuto, ove čvorove nazivamo **početnim čvorovima algoritma**. Na slici 16, oni su označeni sa s_1 i s_2 . Sledeći notaciju za identifikovanje ovih čvorova, odgovarajuće barijere koje se grade iz početnih čvorova s_1 i s_2 označićemo sa S_1 i S_2 . Grafovi koji inicijalno sadrže neke od početnih čvorova, nazvaćemo **početnim grafovima**. Metodom kreiranja grafova, takvi čvorovi se povezuju sa ostalim čvorovima, svaki u svom u senzorskom dometu, čime svaki povezani graf dobija određeni doseg u dužini formiranja senzorske barijere, u pravcu druge ivice. Doseg $RUN(G_i)$ povezanog grafa G_i je pozicija (po x-u) njegovog najudaljenijeg čvora u pravcu destinacije. S obzirom da svaki čvor „zna“ doseg grafa kome pripada, doseg svakog čvora je jednak dosegu njegovog odgovarajućeg grafa. Na slici 16, doseg čvora s_1 je X_1 dok je doseg čvora s_2 sama njegova pozicija po x-u, u pravcu destinacione ivice pravougaonika. Iako najveću verovatnoću za formiranje najefikasnije senzorske barijere, kako u uniformno razmeštenoj senzorskoj mreži, tako i u mreži koja je gušće razmeštena po određenoj liniji ili po dužini dugačkog pravougaonog regiona, nose oni početni čvorovi čiji doseg grafa ima najveću početnu vrednost u pravcu ciljne ivice pravougaonika, pretražuju se sve varijante formiranja sigurnih senzorskih barijera za sve početne čvorove.

Nakon konstruisanja grafova i identifikovanja čvorova s_i , biraju se oni čvorovi koji svakom početnom grafu obezbeđuju doseg u pravcu destinacije. Ove čvorove smo označili kao **RUN-čvorove grafa**. Tako, na slici 16, RUN čvor početnog grafa S_1 je čvor A. S druge strane, čvor s_2 je element trivijalnog grafa te on istovremeno predstavlja RUN -čvor trivijalnog grafa.

Zatim, algoritam pretražuje okolinu svakog RUN -čvora na osnovu dva različita kriterijuma (A ili B, opisana u nastavku ovog poglavlja) i bira odgovarajući čvor koji će služiti za dalje formiranje barijere. Npr., na slici 16 se, za barijeru S_1 , bira čvor B ili C, u zavisnosti od pomenutih kriterijuma.

Algoritam virtuelno dodeljuje određeni broj čvorova potrebnih da se premosti prekid A-B ili A-C. Prekidi (X) se dalje, od strane algoritama, smatraju premošćenim (dodatim mobilnim čvorovima) te RUN-čvor novonastalog grafa postaje najudaljeniji čvor u novoj konstrukciji, odnosno, za dva različita kriterijuma u barijeri S_1 (sa primera iz slike 16), RUN-čvorovi su oni čvorovi čije su pozicije po x-u označene sa X_2 i X_3 . Postupak se nastavlja sve do trenutka kada RUN-čvor barijere dostigne blizinu (po x-u) od destinacione ivice pravougaonika (D) manju od radijusa očitavanja R_s . U slučaju odabira grafa čiji je element čvor C, barijera se uspostavlja nakon uključanja samo jednog čvora između A i C.

Navedeni postupak se sprovodi za sve početne čvorove algoritma. Nakon izvršene simulacije, dobija se, prema projektovanim algoritmima, najefikasnija i najmanje efikasna barijera u odnosu na početne uslove svake implementacije. Na ovaj način se može proceniti opseg minimalnog i maksimalnog broja dodatnih čvorova potrebnih da bi se, naknadnom instalacijom, sa velikom verovatnoćom formirale jake senzorske barijere. Kriterijumi za određivanje efikasnosti barijere mogu biti broj prekida ili potreban broj dodatnih čvorova koji će sa najvećom verovatnoćom obezbediti formiranje barem jedne senzorske barijere.

Predložena su dva kriterijuma za pretraživanje okoline RUN-čvorova:

Kriterijum A:

Za dati graf G_u , čvor t je najbolji čvor sa kojim treba formirati „most“ od RUN-čvora u grafa G_u , ako su zadovoljeni sledeći uslovi:

- a) Ako je pozicija čvora t (po x-u) bliža destinaciji D od x koordinate čvora u , odnosno ako je $t_x > u_x$.
- b) Ako je distanca između u i t najmanja u poređenju sa distancama prema ostalim čvorovima (i) koji zadovoljavaju uslov pod a) a koji ne pripadaju grafu G_u , odnosno ako je:

$$t: t_x > u_x \wedge d_{ut} = \min(d_{ui}), \text{ za svako } i \text{ za koje važi } i_x > u_x$$

Gde su d_{ut} , odnosno d_{ui} Euklidove distance čvora u sa čvorovima t i i , respektivno.

Kriterijum B:

Za dati graf G_u , čvor t je najbolji čvor sa kojim treba formirati „most“ od RUN-čvora u grafa G_u , ako su zadovoljeni sledeći uslovi:

- a) Ako je pozicija čvora t (po x-u) bliža destinaciji D od x koordinate čvora u , odnosno ako je $t_x > u_x$.
- b) Ako, u odnosu na ostale čvorove koji zadovoljavaju uslov pod a), obezbeđuje maksimalnu vrednost relacije:

$$\frac{RUN(G_t) - RUN(G_u)}{m} \quad \dots(19)$$

Ovde se m računa kao vrednost sledećeg izraza, zaokružena na veću celobrojnu vrednost:

$$m = \frac{d_{tu} - 2R_s}{2R_s} \quad \dots(20)$$

Gde je d_{tu} udaljenost čvorova t i u a R_s radijus očitavanja.

Na osnovu navedenih kriterijuma, algoritmi razvijeni u okviru domena istraživanja ove teze su, u publikacijama ([106], [107]) nazvani GPCA (Greedy Path Constructing Algorithm, progresivni algoritam formiranja putanje) i RBPCA (Run Based Path Constructing Algorithm, algoritam baziran na doseg putanja).

U zavisnosti od korićenog kriterijuma (A - za GPCA ili B - za RBPCA), GPCA i RBPCA algoritmi su dati sledećim pseudo-kodom:

1. Učitaj: *radijus*, *br_cv*, *sirina*, *duzina*, *razmestaj_tip*, *sigma*
2. Ako je *razmestaj_tip*=0

Kreiraj niz objekata $cvorovi(i)$, $i=0-br_cv-1$, sa x i y koordinatama slučajnih brojeva u opsegu $[0,duzina]$ i $[0,sirina]$ i radijusom očitavanja *radijus*. Svaki čvor ima početni ID: $ID(cvorovi(i))=i$

Drugacije,

Kreiraj niz objekata $cvorovi(i)$, $i=0-br_cv-1$, sa radijusom očitavanja *radijus*, x koordinatama slučajnih brojeva u opsegu $[0,duzina]$ i y koordinatama dobijenim generisanjem brojeva po Gausovoj raspodeli u opsegu $[0,sirina]$. Svaki čvor ima ID: $ID(cvorovi(i))=i$

3. Potraži sve čvorove u okolini R_s i sa njima formiraj "link"
4. Svakom formiranom grafu G_p , dodeli ID:

$$ID(G_p) = \min (ID(p)), \text{ za } \forall p \in G_p$$
5. Za svaki čvor s_k , $k: 1...p$, čija x kordinata ima vrednost manju od $2R_s$:

Inicijalizuj $m_k, g_k = 0$

Za svaki početni graf $G_k \ni s_k$, dodeli ID broj barijere $IDB(G_k)=k$

Ω : Za graf čiji je IDB jednak k, nađi RUN čvor u

Ako $u_x \leq duzina$

Nađi "najbolji" čvor $t \in G_t$ prema kriterijumu A ili B

$$g_k^{++}, m_k = m_k + veca_celobr_vred\left(\frac{d_{tu}-2R_s}{2R_s}\right)$$

Dodeli $IDB(G_t)=k$

Ponovi korak Ω

Drugacije,

Vrati m_k, g_k

k^{++}

6. Za $k=1...p$, nađi:

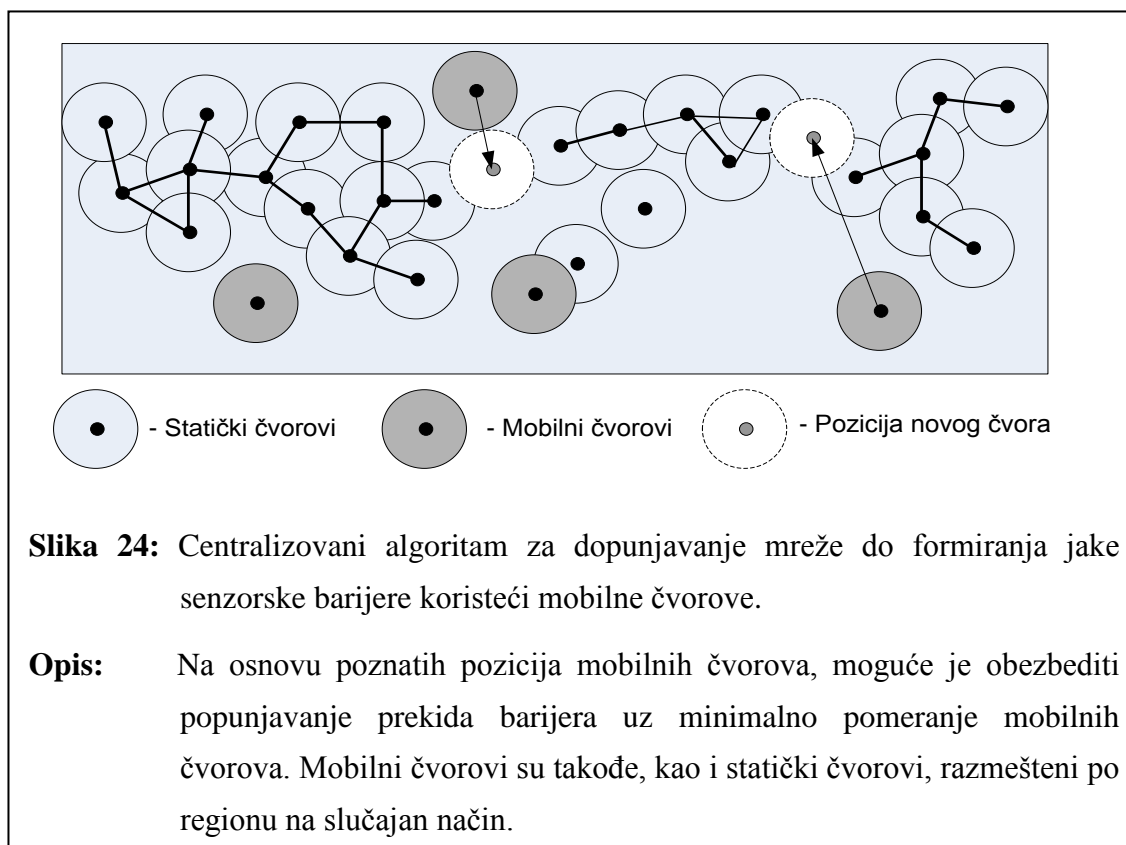
Vrati: $Max_m = \max(m_k), Min_m = \min(m_k), Max_g = \max(g_k), Min_g = \min(g_k)$

Opisani algoritmi, identifikacijom RUN čvorova i „najboljih“ čvorova daju pozicije a zatim i broj potrebnih mobilnih čvorova za pokrivanje prekida u linijskoj pokrivenosti mreže. Način implementacije mreže se bira koristeći promenljivu *razmestaj_tip*.

Proces upravljanja mobilnim robotima pripada delu praktične implementacije algoritama. Kada je u pitanju hibridna mreža, upravljanje se može obaviti na dva načina:

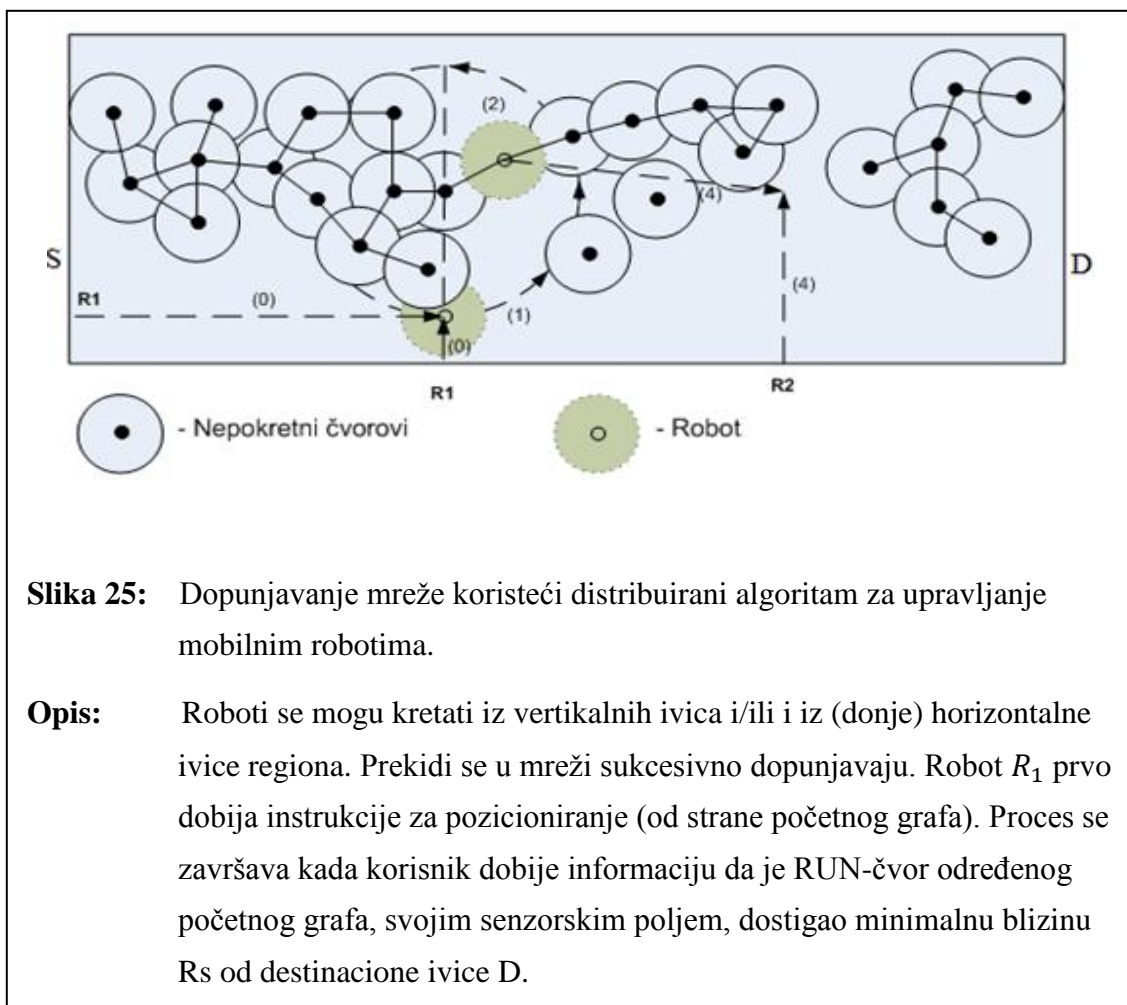
- a) istovremenom instalacijom određenog broja fiksnih i mobilnih čvorova,
- b) naknadnim uključanjem mobilnih čvorova ili robota u mreži.

Prvi način podrazumeva korišćenje centralizovanog pristupa kao u [94], gde se u mreži unapred razmenjuje informacija o najoptimalnijoj putanji i poziciji regiona koje treba dopuniti senzorskim čvorovima da bi se oformila bar jedna senzorska barijera. Takav pristup je prikazan na slici 24.



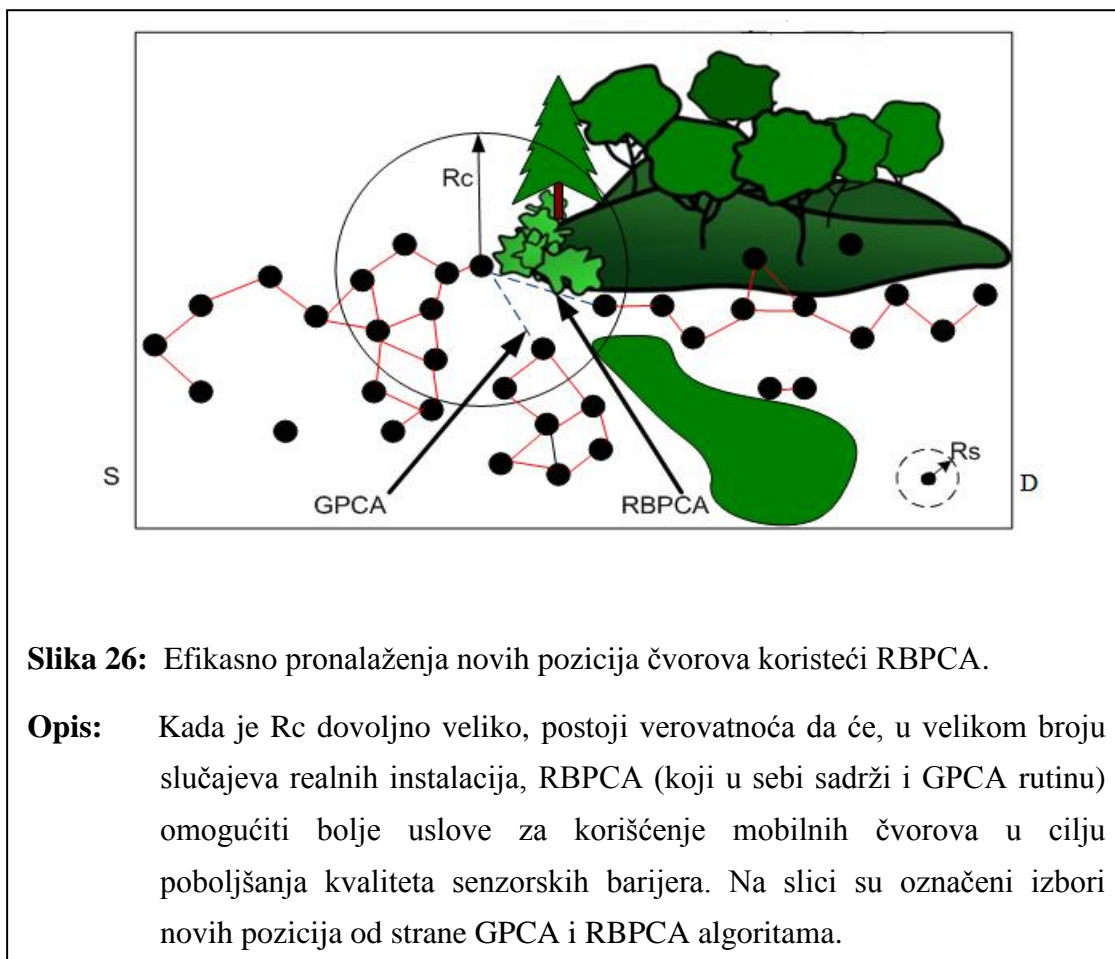
U ovom slučaju, mobilni čvorovi se pomeraju ka nepokrivenim delovima mreže koristeći algoritme za minimizaciju ukupnog puta kretanja mobilnih čvorova, u cilju uštednje energije. Međutim, da bi se omogućila realizacija ovog algoritma, potrebno je unapred imati informaciju o svim prekidima u mreži.

U slučaju korišćenja mobilnih robota, roboti se kreću sa jedne vertikalne ivice (koja predstavlja širinu pravougaonika – trakaste površine) ka drugoj ivici, po dužini trake. Oni se takođe mogu kretati sa jedne horizontalne ivice prema senzorskoj barijeri, ukoliko to uslovi implementacije dozvoljavaju. Jedan način dopunjavanja mreže je prikazan na slici 25. Ovde je npr. mreža instalirana iz vazduha u cilju vojne zaštite donje horizontalne ivice regiona od upada sa gornje horizontalne ivice. Pretpostavimo da je prilikom kvazi-slučajne instalacije čvorova dobijena topologija prikazana na slici 25. U slučaju da su dostupne samo vertikalne ivice, robot (i dio dostupne mreže koja je povezana na početnu vertikalnu) dobija informaciju o ID broju i poziciji najudaljenijeg (RUN) čvora u odgovarajućem početnom grafu. Zatim se robot kreće najkraćom putanjom do podnožja RUN čvora (x komponente robota i RUN-čvora su iste) i ispituje okolinu po polukrugu kojem je centar u RUN čvoru a sve njegove tačke se nalaze desno od RUN čvora. Na slici 25 su ovi koraci označeni sa (0) i (1), respektivno. U zavisnosti od gustine mreže, radijus polukruga se može podesiti. Pronalazivši najbolju poziciju, robot smešta jedan ili više ravnomerno raspoređenih čvorova radijalno od RUN-čvora do čvora na koji treba premostiti mrežu (2).



Zatim, mreža i robot dobijaju informaciju o novom RUN-čvoru i prema njemu robot nastavlja da se kreće najkraćom putanjom. U slučaju korišćenja mobilnih čvorova umesto robota, mobilni čvorovi dalje ostaju u pozicijama definisani algoritmom gde vrše funkciju kao ostali fiksni čvorovi. U slučaju blizine i pristupačnosti donje horizontalne ivice regiona, efikasnije je rešenje koristiti više robota koji startuju upravo iz ove ivice. U većini implementacija gde je region dugačak i gde se ne koriste roboti letilice, zbog ograničenosti robota po pitanju energije, ova vrsta izvršavanja distribuiranog algoritma obezbeđuje bolje uslove kretanja i manju ukupnu potrošnju. Međutim, treba istaći i činjenicu da roboti, za razliku od konvencionalnih mobilnih čvorova, mogu, osim baterijskog, posedovati i druge izvore energije kao što su gorivo ili alternativni izvori energije. Iz ovog razloga, čak i potrošnja energije koja se troši kretanjem robota, danas sve manje predstavlja ograničavajući faktor.

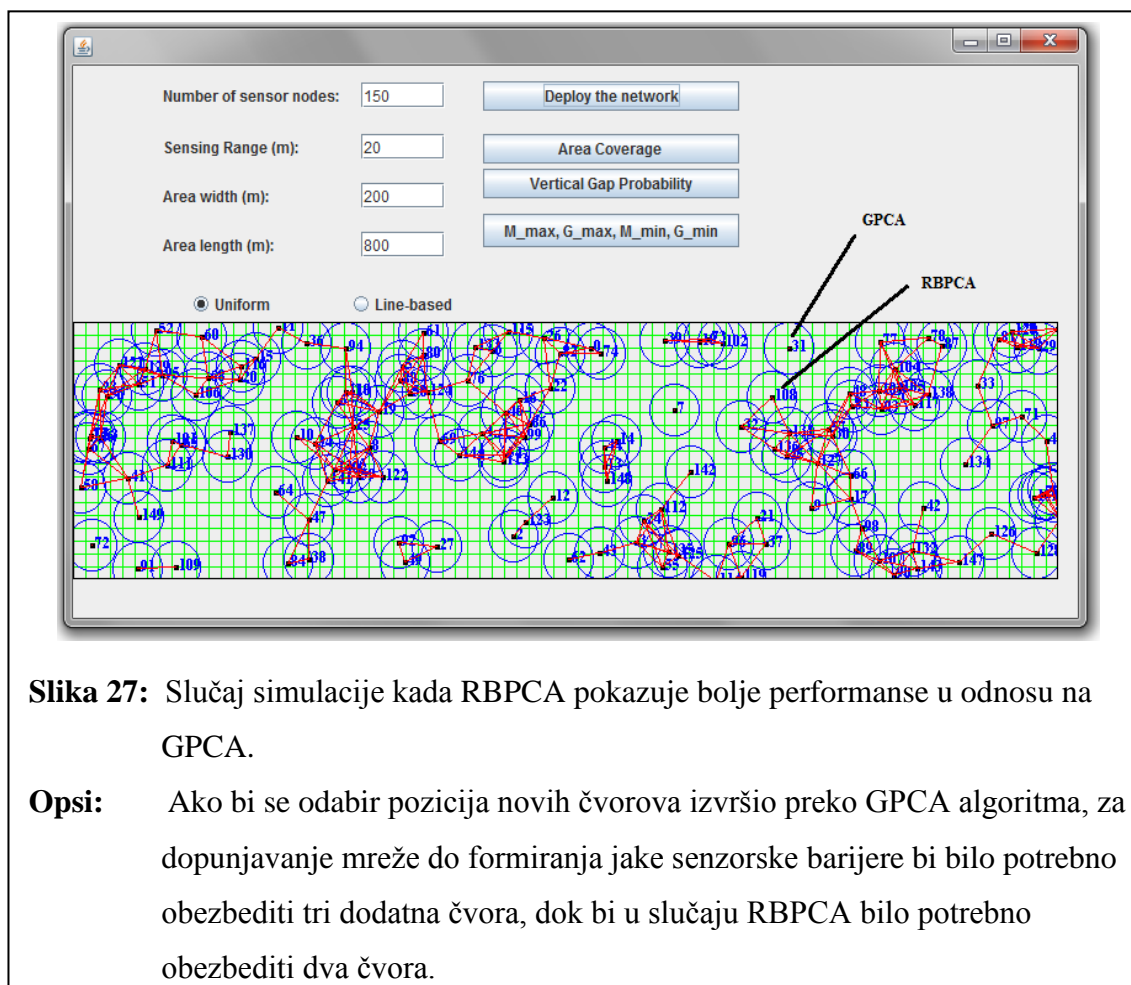
Iako RBPCA algoritam nije eksperimentalno ispitivan u odnosu na GPCA, on bi mogao pružiti bolje performanse na račun kompleksnosti. Naime, dok se kod GPCA algoritma samo upoređuje distanca RUN-čvorova od čvorova koji se od njega nalaze bliže destinaciji, kod RBPCA je potrebno da se, osim distance, uzme u obzir i doseg potencijalnog grafa sa kojim treba povezati RUN čvor. U mreži se često mogu pojaviti situacije u kojima bi RBPCA mogao biti efikasniji u smislu određivanja pozicija dodatnih čvorova za postizanje pokrivenosti barijere uz manju dužinu puta kretanja robota i/ili sa manjim brojem mobilnih čvorova. Takve situacije su više verovatne na reljefno razuđenijim terenima, koji inače i odgovaraju realnijoj predstavi uslova instalacije. Teoretski je jedna takva situacija predstavljena je na slici 26.



Naime, usled postojanja ugnuća, čvorovi mogu biti skoncentrisani po određenoj liniji (npr. na dnu brda). Ako je radijus komunikacije dovoljno velik,

RBPCA može u ovim situacijama omogućiti pronalaženje boljih pozicija za postavljanje dodatnih čvorova od pozicija koje bi identifikovao GPCA algoritam.

Jedna situacija iz praktične implementacije, koja je dobijena iz jedne od mrežnih topologija iz simulatora, prikazana je na slici 27.



Slika 27: Slučaj simulacije kada RBPCA pokazuje bolje performanse u odnosu na GPCA.

Ops: Ako bi se odabir pozicija novih čvorova izvršio preko GPCA algoritma, za dopunjavanje mreže do formiranja jake senzorske barijere bi bilo potrebno obezbediti tri dodatna čvora, dok bi u slučaju RBPCA bilo potrebno obezbediti dva čvora.

Na osnovu opisanih obzervacija, može se proceniti da bi se najefikasnije rešenje moglo naći kao kompromis između GPCA i RBPCA algoritama. Naime, GPCA algoritam bi mogao biti integrisan u RBPCA a koristito bi se samo kada nijedan čvor t ne zadovoljava predefinisani prag $d_{ut} = T$ prema kriterijumu B. Ovo praktično znači da, ukoliko ne postoji pogodan graf za povezivanje u okolini T desno od čvora u , proces pretraživanja bi se, do naredne iteracije bazirao na GPCA. U drugom slučaju bi se primenio RBPCA algoritam.

7 Evaluacija rezultata

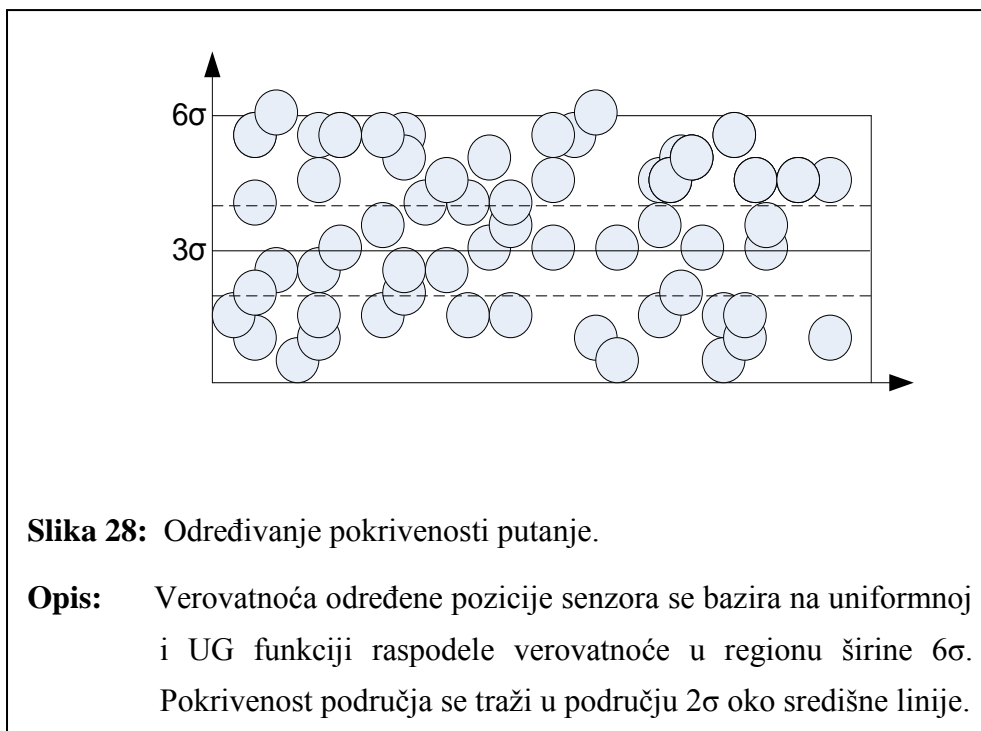
Sve simulacije se izvode u uslovima, pretpostavkama i aproksimacijama navedenim u poglavlju 5, a u okviru programskog okruženja razvijenog simulatora opisanog u poglavlju 6. Simulacije se izvode prvenstveno radi evaluacije efikasnosti predloženih algoritama. Međutim, prije izvlačenja glavnih zaključaka vezano za predložene algoritme, izvršavaju se simulacije kojima se, koristeći matematički izvedene modele, verifikuje rad same aplikacije.

Prva simulacija kvantifikuje uticaj načina instalacije na pokrivenost regiona. U vojnim implementacijama, ovo praktično znači upoređivanje očekivane verovatnoće detekcije nepokretnih meta na čitavom regionu, kada se instalacija izvodi koristeći artiljeriju ili uz pomoć avijacije.

Mreža se prvo razmešta na uniforman način po pravougaonoj površini dimenzija $180 \times 1200 m^2$. Potrebna verovatnoća detekcije u svakoj tački mreže treba da je veća od 0,95. Radijusi očitavanja su $R_s=10m$ i $R_s=18m$. Na osnovu relacije (11), potrebna gustina mreže da bi se postigla ova verovatnoća detekcije je $\rho=0,00954055$ i $\rho=0,00294455$, za $R_s=10$ i $R_s=18$, respektivno. Ovo znači da je, pri datim postavkama, potrebno instalirati $N=2061$ čvorova kada je $R_s=10m$, i $N=636$ čvorova kada je $R_s=18m$. Ipak, rezultati simulacije imaju (neznatna) odstupanja od matematički izvedenih relacija. Naime, za $N=2061$ i $N=636$, pri $R_s=10m$ i $R_s=18m$, nakon 500 ponovljenih simulacija, srednje očekivane verovatnoće detekcije su $p_A \approx 0,935$ u oba slučaja, što iznosi oko 0,015 (ili 1,5%) odstupanja u odnosu na matematički izvedene rezultate. Navedena razlika nastaje usled aproksimacije vezane za definisanje problema u kontekstu Poasonovog procesa i zbog ivičnih efekata.

Kada se razmeštaj mreže izvodi uz pomoć avijacije, lokacije senzorskih čvorova smo opisali kao slučajne veličine koje su po x-osi razmeštene na uniforman način, dok je po y osi verovatnoća pozicioniranja čvora u određenoj

tački modelirana Gausovom funkcijom raspodele verovatnoće srednje vrednosti μ (koja predstavlja vrednost udaljenosti linije leta od jedne horizontalne ivice pravougaonika), odnosno vrednost l sa slike 17. Na osnovu pravila 68-95-99,7, očekuje se da se većina čvorova (99,7%) nađe u okolikini $\pm 3\sigma$ od linije leta. U uslovima kada se zahteva da mreža pokrije veći deo regiona, gde u svakom delu postoji podjednaka verovatnoća postojanja vojnih objekata, uniformni razmeštaj čvorova je logičan izbor. Takođe se logički nameće zaključak da je pokrivenost regiona, kod ovako razmeštene mreže, bolja u odnosu na pokrivenost mreže razmeštene preko avijacije, jer poslednji slučaj znači veću gustinu mreže (a time i veće preklapanje polja očitavanja senzora) po određenoj liniji. Iz ovog razloga, upoređivanje očekivane vrednosti verovatnoće pokrivanja područja se posebno ne izvodi. Međutim, interesantno je analizirati uticaj načina instalacije na pokrivenost određene putanje, odnosno analizirati pokrivenost za scenarij u kome je cilj detekcija vojnih objekata po putanji, kada se mreža razmešta po relativno uskoj površini (za npr. obezbeđivanje puta prelaska vojnih trupa od prisustva mina). Radi jednostavnosti, uzeto je da je putanja horizontalna traka. Pretpostavimo da se instalacija mreže, kao i u prethodnom slučaju vrši na dva načina: upotrebom artiljerije ili uz pomoć avijacije. U prvom slučaju ćemo razmotriti kritične uslove za postizanje visoke verovatnoće detekcije po uskoj pravougaonoj površini. Stoga, da bi analizu učinili uporedivom sa prethodnom, uzimamo da je $\sigma=30$. Tada će 99,7% čvorova pasti u regionu širine 180m. Takođe, razmatra se i slučaj kada je $\sigma=10$, koji odgovara širini regiona od 60m za uniformno raspodeljenu mrežu. U ovim uslovima, posmatramo usku pravougaonu površinu (širine $\pm\sigma$). Kroz 500 simulacija, za obe vrste implementacije, uz dva uporedna različita kvaliteta instalacije (koje se oslikava dvema vrednostima za σ), i za dva radijusa očitavanja, traži se potrebna ukupna gustina mreže da bi se postigla pokrivenost regiona širine $\pm \sigma$ (slika 28).



Ove postavke modeliraju situaciju instaliranja mreže u širem regionu, kada se u jednom (užem) delu regiona - putanji traži visoka pouzdanost detekcije mete.

Ukupnu gustinu mreže u svakom od slučaja definišemo u odnosu na čitav region, odnosno:

$$\rho = \frac{\text{Ukupan broj senzorskih čvorova}}{\text{Površina čitavog regiona}} \quad \dots(19)$$

Ovde je područje od interesa površina od samo $2\sigma \times 1200$, dok je površina čitavog regiona $6\sigma \times 1200$, gde je $\sigma = 10$ ili $\sigma = 30$. Uzevši u obzir dimenzije regiona od interesa vrednost radijusa očitavanja, treba imati u vidu da rezultati uključuju i granične efekte.

U cilju vrednovanja superiornosti jedne metode instalacije u odnosu na drugu, u uslovima kada se traži pokrivenost određene putanje, u tabeli 3 se daje odnos potrebne gustine mreže za postizanje stepena pokrivenosti od 0,95 pri UG raspodeli pozicija čvorova sa potrebnom gustinom mreže za slučaj samo uniformne raspodele mreže po regionu.

Tabela 3: Potreban broj čvorova i odnos ρ_n/ρ_u za zadati nivo pokrivenosti putanje od 0,95 u okolini $\pm\sigma$ od linije leta.

Opis: Pri raznim vrednostima σ i R_s i pri UG modeliranju slučajne raspodele pozicija čvorova u regionu od interesa, u tabeli se daje odnos potrebne gustine mreže pri ovakvoj razmeštaju čvorova sa gustinom mreže u slučaju uniformne raspodele pri istom pragu očekivane verovatnoće detekcije.

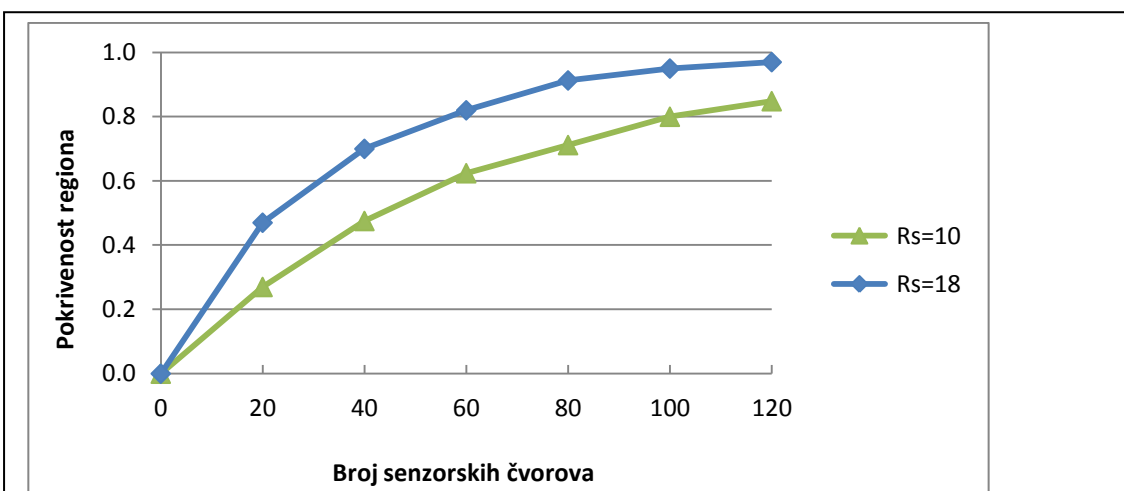
	$\sigma=10$ $R_s=10$	$\sigma=30$ $R_s=10$	$\sigma=10$ $R_s=18$	$\sigma=30$ $R_s=18$
Broj čvorova	370	1100	135	333
ρ_n/ρ_u	0,533	0,533	0,63	0,523

Ovde ρ_u predstavlja potrebnu gustinu mreže u uslovima uniformne instalacije dok je sa ρ_n označena ukupna gustina mreže za UG model verovatnoće pozicioniranja čvorova. Parametar ρ_u je konstantan u čitavom regionu a , na osnovu relacije (11), zavisi samo od radijusa očitavanja i od zadate verovatnoće. S druge strane gustina koncentracije senzorskih čvorova u slučaju UG verovatnoće pozicioniranja čvorova zavisi od σ . Iz tabele 3 se može oceniti gustina mreže za dve različite vrednosti σ i dve vrednosti R_s .

Kao što se može videti iz prikazanih rezultata, kada je područje od interesa okolina linije leta, UG model je mnogo efikasniji u smislu potrebne gustine mreže da bi se postigla ista verovatnoća detekcije. Bez obzira što je, pri slučajnoj uniformnoj raspodeli pozicija senzorskih čvorova u regionu širine 6σ , očekivani broj senzorskih čvorova u regionu 2σ jednak trećini ukupnog broja čvorova, uzevši u obzir uticaj graničnih efekata usled male širine regiona, poređenje iz tabele 3 je jednostavnije (i preciznije) izvesti uz pomoć simulacije. Treba takođe napomenuti da, prilikom povećanja širine regiona od interesa na vrednosti iznad 4σ , uniformna raspodela počinje bivati efikasnija od UG raspodele, prema definisanom kriterijumu. Ova pojava je posledica činjenice da,

u tom slučaju, pokrivenost putanje postaje ekvivalentna pokrivenosti regiona. Naime, kada se koristi uniformna raspodela verovatnoće, veća je verovatnoća ravnomernog pokrivanja kompletnog regiona u odnosu na mrežu razmeštenu po UG modelu. Kada se koristi UG model, dolazi do većeg broja preklapanja senzorskih polja senzora u određenom užem regionu. Višestruka preklapanja senzorskih polja su pogodna u stvaranju senzorskih barijera ali nisu pogodna kada se želi prekriti što veći površina uz minimalan broj senzorskih čvorova.

Sledeća analiza se odnosi na procenu verovatnoće slabe pokrivenosti barijerom pri uniformnom (i UG modeliranju) verovatnoće pozicioniranja čvorova po regionu, odnosno na određivanju uslova za postizanje određene verovatnoće detekcije mete prilikom njenog prelaska najkraćom putanjom. Prilikom prelaska mete sa jedne horizontalne ivice na drugu, u pravougaonom regionu trakastog izgleda, najkraća putanja je bilo koja linija upravna na x osu, tj. na dužinu pravougaonika. Prvi set simulacija u ovom pravcu obuhvata 500 ponovljenih topologija mreže u regionu dimenzija $180 \times 1200 m^2$, pri radijusima očitavanja senzora od $R_s=10m$ i $R_s=18m$ i pri uniformnoj raspodeli pozicija senzorskih čvorova (slika 29).



Slika 29: Zavisnost stepena pokrivenosti slabom senzorskom barijerom od broja inicijalno instaliranih fiksnih čvorova.

Opis: Region je dimenzija $1800 \times 1200 m^2$. Simulacije se izvode za radijuse očitavanja čvorova $R_s=10m$ i $R_s=18m$. Čvorovi su slučajno i uniformno razmešteni u regionu.

Kao što se može videti na slici 29, u slučaju radijusa očitavanja od $R_s=18m$, stepen pokrivenosti slabom senzorskom barijerom je preko 0,95 i 0,967, ako je instalirano više od 100, odnosno 120 čvorova, respektivno. S druge strane, da bi se isti region pokrio sensorima nominalnog radijusa očitavanja $R_s=10m$, sa verovatnoćom od preko 0,95, potrebno je instalirati preko 190 senzorskih čvorova. Za razliku od slučaja pokrivenosti područja (gde je odstupanje bilo oko 1.5%), u ovom slučaju se rezultati u većoj meri poklapaju sa matematički procenjenom verovatnoćom iz relacije (18). Naime, na osnovu ove relacije, broj potrebnih senzorskih čvorova (čiji je domet očitavanja 18m) potrebnih da bi se postigla slaba senzorska barijera uz pomoć uniformno razmeštene mreže u pravougaonom regionu dimenzija $180 \times 1200m^2$ sa verovatnoćom od 0,95 i 0,972 je 99,857 i 119,185, respektivno.

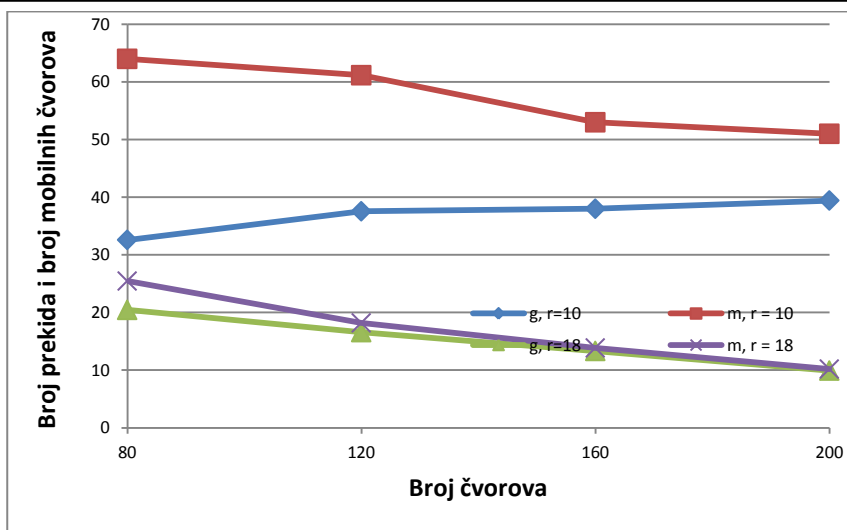
U slučaju UG raspodele pozicija čvorova, verovatnoća formiranja slabe senzorske barijere ostaje ista kako i kod uniformne raspodele, jer način raspodele čvorova po dužini regiona ostaje isti. Međutim, kada je u pitanju formiranje jakih senzorskih barijera, uticaj načina instalacije igra veoma važnu ulogu.

Kao što je navedeno, mreža se inicijalno instalira koristeći samo statičke čvorove. Za simulacionu analizu koristimo samo GPCA algoritam. Glavni ciljevi simulacije su:

- a) Pronalaženje najboljih pozicija za nove čvorove koji će poslužiti kao most u formiranju potpune pokrivenosti barem jednom jakim senzorskom barijerom.
- b) Određivanje minimalnog i maksimalnog broja mobilnih čvorova potrebnih za formiranje jakih senzorskih barijera.

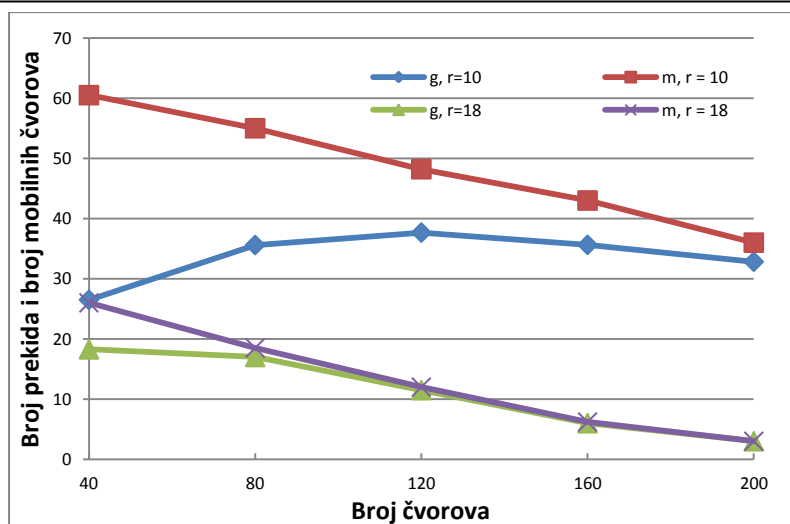
Nakon 500 ponovljenih simulacija, srednje očekivane vrednosti broja prekida i broja novoinstaliranih čvorova potrebnih za postizanje jake pokrivenošću barijerom za slučaj uniformne i UG raspodele (gde je $\sigma=30$), pri radijusima očitavanja $R_s=10m$ i $R_s=18m$, data je na slikama 30 i 31. Osim

potrebnog broja novih čvorova za dopunjavanje mreže i formiranje jakih senzorskih barijera, u diagramima je dat i broj prekida koji se dopunjavaju korišćenjem mobilnih čvorova ili robota.



Slika 30: Zavisnost broja prekida i potrebnog broja novih čvorova od broja nepokretnih čvorova kod uniformne raspodele.

Opis: Pozicije čvorova su slučajne i uniformne u regionu. Dimenzija regiona su $180 \times 1200 m^2$. Radijusi očitavanja su $R_s=10m$ i $R_s=18m$.



Slika 31: Zavisnost broja prekida i potrebnog broja novih čvorova od broja nepokretnih čvorova kod UG raspodele.

Opis: Verovatnoća pozicioniranja čvorova je opisana UG raspodelom verovatnoće. Dimenzija regiona su $180 \times 1200 m^2$. Radijusi očitavanja $R_s=10m$ i $R_s=18m$.

Kao što se može primetiti, kada je u pitanju formiranje jakih senzorskih barijera, način instalacije igra veoma važnu ulogu u smislu povećanja mogućnosti za efikasniji odabir odnosa fisknih i mobilnih čvorova u mreži.

U opštem slučaju, smanjenjem parametra σ , povećanjem broja čvorova, a posebno povećanjem radijusa očitavanja, broj identifikovanih prekida i procenjeni broj dodatnih čvorova za dopunjavanje identifikovanih prekida postaju isti, odnosno $g \approx m$, gde je g broj prekida a m broj dodatno potrebnih čvorova. Posmatrajući slike 30 i 31, vidimo da se ovakav odnos dobija povećanjem broja statičkih čvorova i/ili povećanjem radijusa očitavanja. Da bi se dodatno opisao uticaj preciznosti instalacije na ovu pojavu, u tabeli 4 su dati rezultati simulacije za slučaj kada je mreža instalirana koristeći UG model pozicioniranja čvorova, pri $\sigma=10$ i $R_s=18m$.

Tabela 4: Broj prekida i broj potrebnih novih čvorova za formiranje senzorske barijere u zavisnosti od broja inicijalno instaliranih nepokretnih čvorova pri $\sigma=10$ i $R_s=18m$.

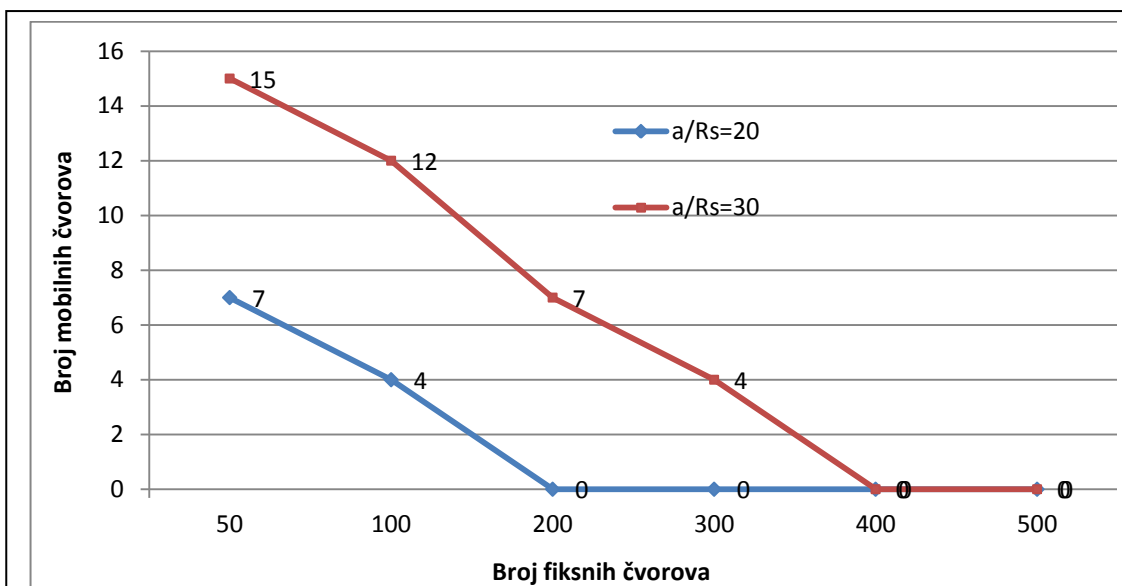
Opis: U ovim uslovima, u regionu dimenzija $60 \times 1200m^2$ se nalazi 99,7% ukupnog broja senzorskih čvorova. Tada, pri npr. $n=240$, verovatnoća da će se automatski formirati jaka senzorska barijera je 0,98 a verovatnoća da će postojati potreba za više od jednog dodatnog čvora je zanemarljiva.

	n=80	n=120	n=160	n=200	n=240
g	9	4	2	0 - 67% 1 - 23% 2 - 10%	0 - 98% 1 - 2%
m	10	4	2	0 - 67% 1 - 23% 2 - 10%	0 - 98% 1 - 2%

U tabeli 4, za $n=80$, broj g i m postaju približno isti da bi, u ovoj implementaciji, pri broju inicijalno instaliranih čvorova većem od 100, broj prekida u skoro svim slučajevima imao istu vrednost kao i broj potrebnih dodatnih čvorova za pokrivanje prekida. Ovaj pokazatelj je važan kada se tretira efikasnost kretanja mobilnih čvorova u mreži jer je, za pokrivanje svakog prekida potreban samo jedan dodatni čvor. Na taj način se može odrediti kritična vrednost broja inicijalno razmeštenih čvorova tako da je robotu dovoljno da u svakom prekidu smesti samo po jedan čvor. U distribuiranom algoritmu, ovo znači manji put kretanja robota. U svakom slučaju, i kod distribuiranih i kod centralizovanih algoritama, ovaj pokazatelj je važan jer se pri kritičnoj vrednosti broja čvorova, prebrojavanjem prekida, automatski može oceniti i broj potrebnih novih čvorova za ostvarivanje sigurne senzorske barijere. U tabeli 4 su posebno interesantni rezultati za $n=200$ i $n=240$. Naime, pri $n=200$, očekivana verovatnoća da u mreži postoji jaka senzorska barijera je 0,67. Verovatnoća da postoji jedan prekid (sa samo jednim potrebnim čvorom za postizanje jake senzorske barijere) je 0,23, dok je očekivana verovatnoća za postojanje 2 prekida 0,1. U svakom slučaju, svakom prekidu odgovara samo jedan mobilni čvor. Pri $n=240$, gotovo je sigurno da će se, u zadatim uslovima, formirati bar jedna jaka senzorska barijera.

Sledeća analiza se odnosi na ispitivane pravilnosti promene broja prekida barijere u mreži kao i potrebnog broja mobilnih čvorova na jediničnim površinama regiona u zavisnosti od broja inicijalno instaliranih statičkih čvorova. Naime, pokazuje se da je broj statičkih čvorova n_1 , potreban da bi se dobila bar jedna senzorska barijera uz korišćenje m_1 dodatnih mobilnih čvorova, konstanta vrednost kada je a/R_s konstantno. Ovde je a dužina stranice kvadrata a R_s radijus očitavanja svakog senzorskog čvora.

Na slici 32 su prikazani rezultati za $a/R_s=20$ i $a/R_s=30$, pri $R_s=10$ i $R_s=18$, kada je mreža slučajno i unofornno razmeštena u regionu.



Slika 32: Broj dodatno potrebnih (mobilnih) čvorova u zavisnosti od broja nepokretnih čvorova na kvadratnoj površini pri zadanom odnosu a/R_s .

Opis: Na kvadratnoj površini su uzeta dva različita odnosa stranice kvadrata i radijusa očitavanja ($a/R_s = \text{const.}$) pri različitom broju statičkih čvorova, kada su pozicije čvorova slučajni brojevi generisani funkcijom uniformne raspodele.

Analiza je sprovedena za regione dimenzija $200 \times 200 m^2$, $300 \times 300 m^2$, $360 \times 360 m^2$ i $540 \times 540 m^2$, zadržavajući $a/R_s = 20$ i $a/R_s = 30$. Cilj je istraživanje ponašanja pokrivenosti barijere za jedinične kvadratne površine kada su pozicije čvorova slučajni brojevi generisani funkcijom uniformne raspodele. Na osnovu 500 ponovljenih simulacija, ocenjuje se da srednja očekivana vrednost broja mobilnih čvorova ne zavisi od radijusa očitavanja ukoliko odnos ivice i odgovarajućeg radijusa ostaje konstantan. Osim toga, može se primetiti i pravilnost u pogledu približne linearnosti izvedenih grafikona, čime se mogu izvesti zaključci za opšte slučajeve.

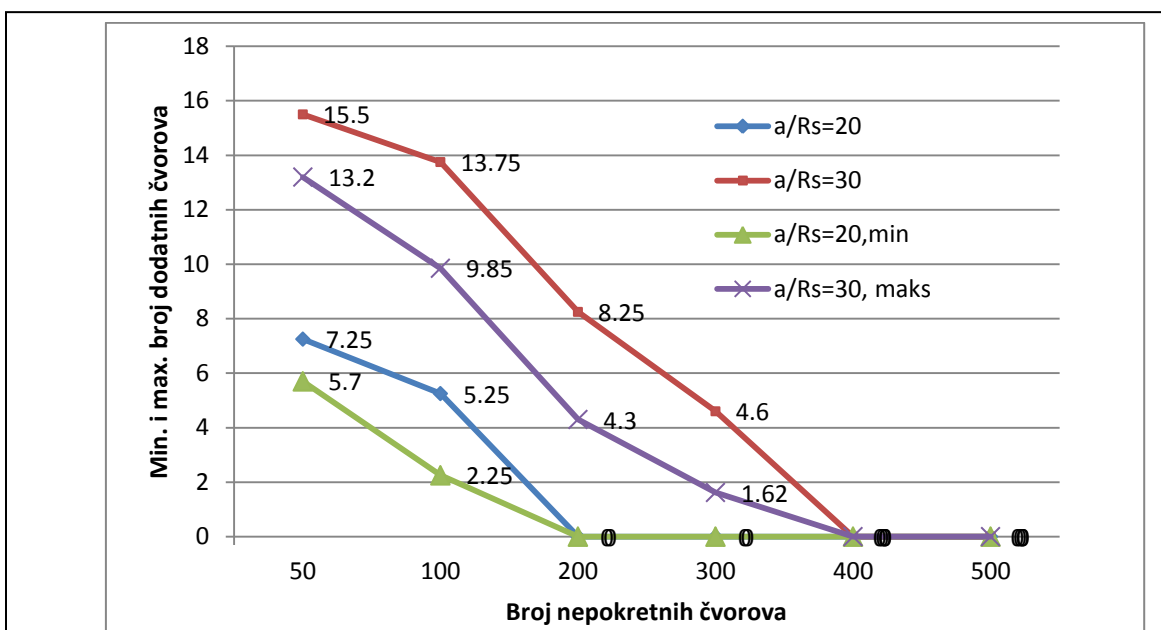
Teoretski, pri nultom broju fiksnih čvorova, i $a/R_s = k$, broj potrebnih mobilnih čvorova je $m = k \cdot R_s / 2$, odnosno broj mobilnih čvorova koji će obezbediti formiranje barijere je jednak ukupnom broju čvorova potrebnih da pokriju čitav region po dužini. Međutim, opisani algoritam nema smisla

koristiti kada broj fiksnih čvorova teži nuli ili za $a/R_s < 10$ jer bi, u tom slučaju, mreža bila drugačijeg tipa ili bi došlo do izrazite pojave ivičnih efekata, te prikazani rezultati ne bi oslikavali realne vrednosti.

Iz simulacija se može izvesti još jedan važan zaključak. Očekivani broj mobilnih čvorova se može dobiti za svaki region čija dužina predstavlja multipl dužine stranice kvadrata neke od jediničnih površina. Tako npr., za pravougaonu površinu dimenzija $200 \times 800 m^2$, koja se može opisati u obliku $4 \times 200 \times 200 m^2$, faktor skaliranja je $k=4$. Sada, posmatrajući sliku 32, i npr. uzevši $n=100$ pri $a/R_s=20$ i $R_s=10$, zaključuje se da je pri $n'=k*n=400$, broj očekivanih mobilnih čvorova za površinu $200 \times 800 m^2$ jednak $k*m$, odnosno $m'=16$. Ovaj rezultat se potvrđuje eksperimentalno za svaku od tačaka sa slike 32. U slučaju UG raspodele, odstupanja od proporcionalnosti su još manja, jer se smanjenjem σ umanjuje razlika m_{max} i m_{min} . Naime, pri dovoljno maloj vrednosti σ , kroz mrežu se kreira samo jedna putanja koristeći predloženi algoritam.

Prednost opisanih algoritama je i nezavisnost kvaliteta procene od dimenzija regiona i načina instalacije. Naime, dok su neki algoritmi dizajnirani samo za analizu i dopunjavanje senzorskih barijera pri linijskoj raspodeli verovatnoće pozicioniranja čvorova, gde se centralizovani algoritam inicijalizuje od samo jednog čvora (koji se nalazi u dometu jedne vertikalne ivice pravougaonika), predloženi algoritmi obuhvataju sve čvorove koji ispunjavaju dati uslov i izvlače najbolji i najgori slučaj od svih barijera koje je moguće kreirati iz seta početnih graničnih čvorova. Na ovaj način se dobija donja i gornja granica potrebnih mobilnih čvorova za dopunjavanje barijere do nivoa sigurne pokrivenosti regiona jakim senzorskom barijerom. Pokazuje se da, pri uniformnoj raspodeli čvorova, povećanjem početne gustine mreže, odnos između srednje maksimalne m_{max} i srednje minimalne vrednosti m_{min} se povećava. Npr. za slučaj $a/R_s=30$, pri $n \approx 300$, m_{max} ima približno trostruku vrednost veličine m_{min} . Povećanjem gustine mreže do određene vrednosti, ova dva parametra zajedno konvergiraju ka nuli. Razlika max_m i min_m u

zavisnosti od inicijalne gustine mreže, za izabrane vrednosti $a/R_s=20$ i $a/R_s=30$, prikazana je na slici 33.



Slika 33: Razlika u ocenjivanju potrebnog broja dodatnih mobilnih čvorova kod slučajnog i uniformnog razmeštaja čvorova u kvadratnom regionu pri različitom odnosu stranice kvadrata i radijusa očitavanja.

Opis: Porastom broja čvorova i širine regiona, raste i odnos maksimalnih i minimalnih vrednosti g i m do određene tačke, nakon čega, daljim povećanjem broja nepokretnih čvorova, vrednosti g i m zajednički teže nuli.

Kao što se može primetiti, rezultati sa slike 32 približno predstavljaju usrednjene vrednosti rezultata prikazanih na slici 33, kada se rezultati zaokruže na veću celobrojnu vrednost.

Iako se, u okviru ovog istraživanja nije vršila evaluacija rezultata dobijenih RBPCA algoritmom, teoretski opisani algoritam bi mogao biti interesantan u situacijama objašnjenim u poglavlju 6. Simulacije bazirane na ovom algoritmu, biće predmet budućeg istraživanja u pravcu povećanja verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera korišćenjem mobilnih čvorova.

8 Opis rešenja u kontekstu CMMI procesne oblasti „tehničko rešenje“

Razvoj rešenja za dopunjavanje senzorskih mreža u cilju formiranja jakih senzorskih barijera, od ideje do implementacije, može se predstaviti u kontekstu procesnih oblasti sistemskog i softverskog inženjerstva CMMI modela. Najvažnije procesne oblasti u (sistemskom i softverskom) inženjerstvu su:

- RD (Requirements Development, razvoj zahteva)
- REQM (Requirements Management, upravljanje zahtevima)
- TS (Technical Solution, tehničko rešenje)
- PI (Product Integration, integracija proizvoda)
- VAL (Validation, vrednovanje)
- VER (Verification, verifikacija)

Proces dizajniranja sistema za naknadno dopunjavanje mreže novim čvorovima u cilju formiranja senzorskih barijera, može se obaviti koristeći arhitekturno-centrični dizajn kao u [108], dok se aktivnosti dizajna i odgovarajuće procesne oblasti mogu mapirati kao u tabeli 5.

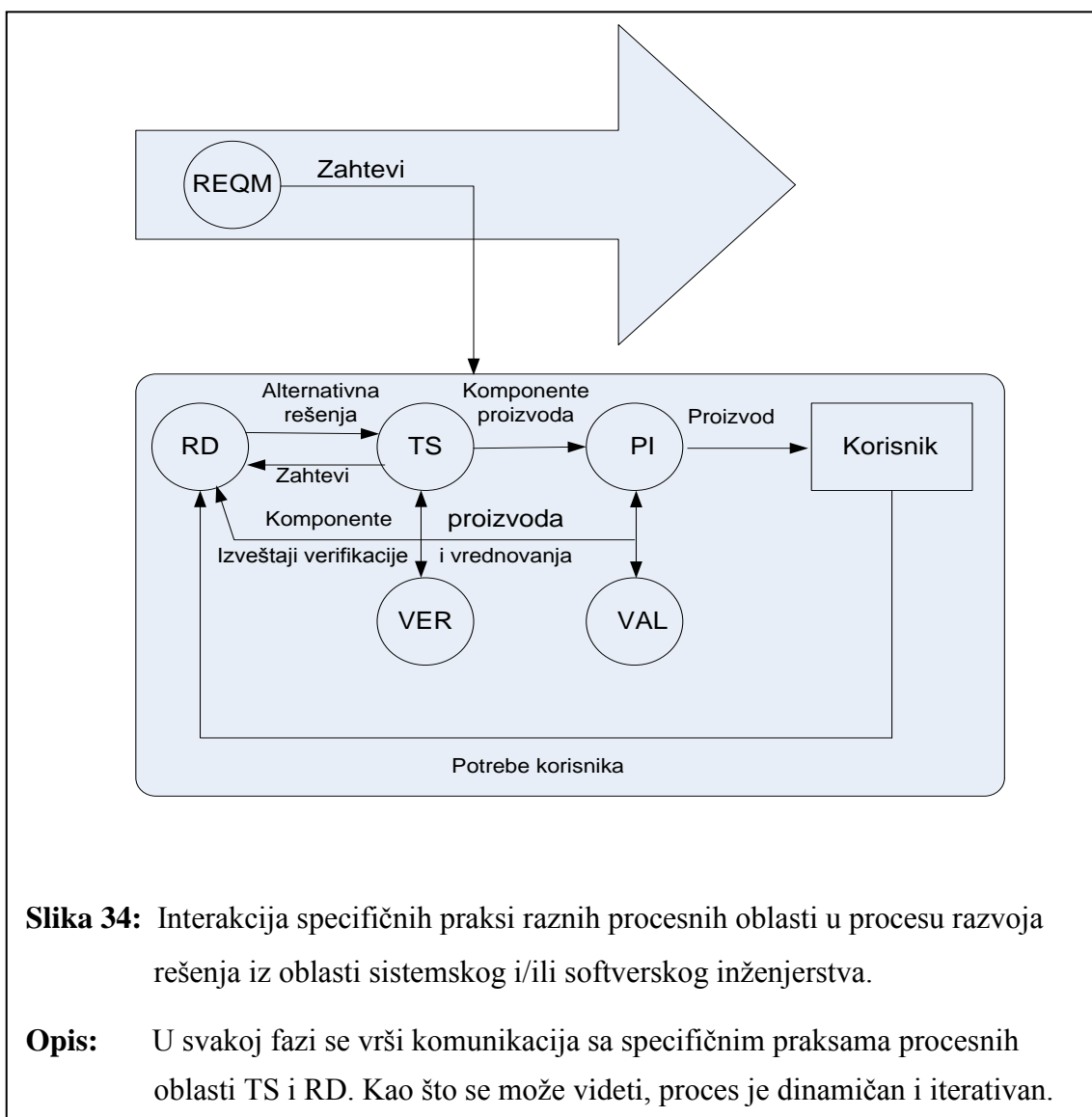
Tabela 5: Podela zadataka po fazama arhitekturno-centričnog razvoja rešenja u inženjerskim projektima i odgovarajuće procesne oblasti CMMI modela.

Faza razvoja	Procesna oblast	Opis procesne oblasti
Definisanje potrebnih ulaznih veličina prilikom formiranja senzorskih barijera kod hibridnih mreža.	RD	Analiza potrebe za određenim rešenjem i analiza zahteva.
Razvoj arhitekture: - Definisanje komponenti - Razvoj softvera, hardvera i interfejsa - Predlog implementacije	TS	Izbor poboljšanja postojećih rešenja ili dizajn i implementacija novog rešenja.
Dokumentovanje arhitekture	RD, TS	Specifične prakse iz RD i TS koje se odnose na dokumentovanje arhitekture rešenja.
Analiza ili evaluacija rešenja	RD, TS, VAL, VER	Ocenjivanje kvaliteta rešenja i potrebnih poboljšanja.
Implementacija sistema u skladu sa aritekturom i predefinisanim ciljevima.	VER	Sprovođenje rešenja i kontinuirano poboljšanje sistema u skladu sa novim potrebama.

U opštem slučaju, kada određena organizacija u okviru svog poslovanja treba da razvije rešenja iz oblasti sistemskog ili softverskog inženjeringa, arhitekturno-centrični dizajn, osim datih faza, prethodno podrazumeva formiranje biznis slučaja. U našem slučaju se ova faza izostavlja.

Da bi se postigli ciljevi određene procesne oblasti u skladu sa CMMI standardom, potrebno je izvršiti određene aktivnosti u okviru te procesne oblasti. Ove aktivnosti je najčešće potrebno uskladiti sa aktivnostima drugih procesnih oblasti koje mogu biti pozicionirane na raznim drugim nivoima CMMI modela. Interakcija glavnih procesa dizajna rešenja u oblasti sistemskog i softverskog inženjerstva, kojom se grafički opisuju i aktivnosti procesa razvoja i evaluacije algoritama za poboljšanje verovatnoće formiranja senzorskih barijera u stohastički instaliranom BSM sistemu koristeći mobilnost u mreži, prikazana je na slici 34.

Zahtevi se definišu u SP procesne oblasti REQM i oni se unapređuju kroz SP procesne oblasti RD u interakciji sa ostalim fazama razvoja sistema.



Procesna oblast “tehničko rešenje” (TS – Technical Solution) je, kao što se može primetiti, centralni dio razvoja rešenja i spada u treći nivo CMMI modela. Fokus ove procesne oblasti u opštem slučaju se stavlja na:

- Preliminarnom dizajnu, ili evaluaciji i selekciji rešenja.
- Detaljnom razvoju i opisu dizajna za odabrano rešenje.
- Primenu dizajna kao proizvoda ili proizvodne komponente.

Kao što se može primetiti (slika 34), da bi ispunilo svoje aktivnosti, TS usklađuje svoje zadatke sa izvršenim aktivnostima u drugim procesnim oblastima. Ono prima ulazne veličine od REQM, dok mu praćenje procedura iz RD obezbeđuje prethodno grupisanje zahteva i stvaranje radnog koncepta. Proces VER je važan u fazi verifikacije tehničkog rešenja u smislu ispunjenja predefinisanih zahteva. Međutim, osim prikazanih procesa, koriste se i drugi procesi kao što su DAR i OID. Procesna oblast DAR obezbeđuje formalizaciju procesa donošenja odluka dok OID obezbeđuje najbolje prakse u procesu unapređenja tehnologije organizacije. Međutim, TS koristi samo određene aktivnosti iz specifičnih praksi ovih i drugih procesa.

Proces poboljšanja senzorskih barijera uz pomoć mobilnih robota, bazirajući se na praksama TS procesne oblasti CMMI modela, može se opisati specifičnim ciljevima i specifičnim praksama kao u tabeli 6.

Tabela 6: Opis razvoja algoritama za povećanje verovatnoće formiranja senzorskih barijera u stohastički instaliranim mrežama koristeći mobilne robote.

SG 1 Odabir komponenti rešenja	
SP 1.1	Razmatranje alternativnih rešenja i kriterijuma evaluacije. <ul style="list-style-type: none"> - Razmatranje postojećih rešenja. - Određivanje kriterijuma evaluacije (cena implementacije, tehnološka ograničenja, evaluacija potreba i tehnologije itd.) - Korišćenje DAR i RD u formalizaciji procesa donošenja odluka i

klasifikaciji potreba dizajna vezano za scenarije implementacije koji odgovaraju praktičnim mogućnostima i potrebama realizacije.

SP 1.2 Odabir važnih komponenti dizajna.

- Odabir najboljeg modela poboljšanja kvaliteta senzorskih barijera koji odgovara mogućnostima poboljšanja barijera u datim uslovima stohastičke implementacije mreže definisanim u REQM.
- Identifikacija najboljeg modela očitavanja senzora, adekvatnog načina instalacije, i drugih modela i aproksimacija, koji zadovoljavaju predefinisane zahteve.
- Odabir osobina robota ili mobilnih senzorskih čvorova koji zadovoljavaju kriterijume definisane u REQM i u SP 1.1
- Identifikacija komponenti rešenja koji će se koristiti više puta od strane raznih drugih komponenti. Ovaj korak se, pre svega, odnosi na objekte razvijenog objektno orjentisanog programa. U slučaju razvoja softvera za analizu senzorskih barijera, ove komponente mogu biti: klasa senzorskih čvorova, klasa za modeliranje terena, klasa za modeliranje implementacije itd.

SG 2 Razvoj dizajna

SP 2.1 Dizajn komponenti rešenja:

- Dizajn preliminarog rešenja koje sadrži arhitekturu rešenja i funkcionalnost. Mapiranje zahteva dizajna u obliku komponenti rešenja radi se na osnovu specifičnih praksi REQM.
- Detaljan dizajn rešenja koje u potpunosti definiše strukturu i mogućnosti svake od komponenti.
 - a) U pogledu softvera ovo znači generisanje strukture podataka, razvoj algoritama, i testiranje funkcionalnosti komponenti u skladu sa predefinisanim zahtevima.
 - b) U pogledu hardvera, za konkretnu implementaciju, u skladu sa

postavljenim uslovima u SG 1 i REQM, treba dizajnirati ili izabrati adekvatne elektro-mehaničke aspekte senzorskih čvorova. U ovoj fazi se specificira električna šema sastavnih delova senzorskih čvorova i njihova interkonekcija.

- c) U pogledu automatizovanog dopunjavanja senzorske mreže, potrebno je dizajnirati protokol za komunikaciju na relaciji senzorska mreža – roboti.
- d) Definisane i dizajn interfejsa u pogledu:
 - spojnih tačaka hardverskih modula, odnosno senzorskog modula, mikrokontrolera, primopredajnika i komunikacionog interfejsa,
 - ulaznih veličina i formata ulaznih podataka za razvijeni softver na nivou senzorskih čvorova i na nivou simulatora.

S obzirom da se, u razvoju algoritama za popunjavanje senzorskih barijera, upotrebljavaju samo softverske komponente, većina osobnosti hardverskih komponenti se abstrakuje u softverski koncept senzorskog čvora.

SP 2.2 Izrada tehničke dokumentacije za svaki nivo dizajna i za sve komponente sistema:

- Dokumentovanje softverskih modula simulatora i interfejsa.
- Dokumentovanje definisanih karakteristika hardverskih modula sistema i interfejsa.
- Dokumentovanje komunikacione arhitekture i protokola pomeranja mobilnih čvorova za poboljšanje senzorske barijere.

SP 2.4 Upoređivanje komponenti rešenja u pogledu razvoja, kupovine ili dopunjavanja i korišćenja postojećih rešenja.

- Ova analiza počinje u ranoj fazi projekta, tokom prve iteracije dizajna. Obuhvata hardverske komponente, komunikacione

protokole i protokole za poboljšanje senzorskih barijera, kao i softver za simulaciju i evaluaciju. Odluka se zasniva na platformi REQM i RD, a formalizuje se korišćenjem specifičnih praksi DAR procesne oblasti. Za sve komponente se razvijaju kriterijumi upoređivanja. Oni obuhvataju: funkcionalnost i kvalitet postojećih proizvoda, cenu, dostupnost, vreme isporuke, budžet projekta, nivo izveštenosti korišćenja određenih komponenti itd. Uzevši u obzir navedene kriterijume, u ovom radu se razvija novi simulator.

SG 3 Implementacija rešenja

SP 3.1 Implementacija dizajna

- Za realizaciju ove faze, potrebno je dodatno obezbediti dinamičku rekonfiguraciju aktivnosti iz RD. Takođe, iz PI je potrebno dobijati smernice za upravljanje interfejsima i integracijom komponenti. Ovde se, u našem slučaju, vrši razvoj softverskih komponenti za abstrakovanje hardverskih karakteristika senzorskih čvorova, uzimajući u obzir smernice iz REQM procesne oblasti i promene u RD procesnoj oblasti. U smislu softvera, izvršava se kodiranje i dokumentovanje koda na nivou senzorskih čvorova i na nivou aplikacije za akviziciju i obradu podataka. U slučaju realne implementacije sistema, u ovoj fazi bi se, u pogledu hardvera, fabrikovali električni i mehanički delovi senzorskih čvorova.
- Implementacija standarda i odgovarajućih kriterijuma, kao što su: standardi programskih jezika, standardi procesiranja hardvera, struktura i hierarhija softverskih komponenti, modularnost, jasnoća, jednostavnost, pouzdanost, sigurnost, i jednostavno održavanje. Takođe se vrši pojedinačno testiranje funkcionalnosti komponenti.

SP 3.2 Dokumentovanje rešenja

- Prilagođenje procesa dokumentovanja standardima.
- Kreiranje korisničkog materijala - manuala i obezbeđivanje online pomoći.
- Testiranje instalacije i funkcionalnosti rešenja u skladu sa SP procesne oblasti VER.
- Revizija zahteva, dizajna, operativnosti rešenja i rezultata testiranja.
- Revizija dokumentacije.

Procesna oblast "tehničko rešenje" pripada trećem nivou fazne reprezentacije CMMI modela. Ispunjenjem potrebnih GP i SP ove oblasti, uz korišćenje SP iz drugih oblasti (koje se uglavnom nalaze na istom ili nižim nivoima zrelosti procesa), može se, određeni proces, oceniti kao proces trećeg nivoa. Treba napomenuti da se četvrti, a posebno peti nivo zrelosti vrlo teško postižu. Naime, čak i postizanje trećeg nivoa zrelosti zahteva veliki broj definisanja procedura koje opet sadrže druge procedure. Međutim, doslednom primenom svake GP i SP stavke, posebno kada se radi o procesima unutar velikih korporacija, može se postići značajna uštednja u vremenu i novcu kao i veća efikasnost ukupnog razvoja procesa, počev od planiranja, preko projektovanja i implementacije, pa sve do plasmana određenog zaokruženog proizvoda ili proizvodne komponente na tržište.

9 Opis uticaja terena na poziciju čvora koristeći konceptualne mape

Cilj ovog poglavlja je predstavljanje uslova implementacije mreže, odnosno potrebnog znanja za mašinsku procenu pozicija čvorova mreže u reljefno razuđenom terenu, uz pomoć KM, bazirajući se na metodologiji objašnjenj u [72]. Adekvatnom formalizacijom, a zatim i integracijom ovog znanja u budućem modelu simulacije, moguće je preciznije modelirati uslove instalacije a time i dobiti preciznije rezultate evaluacije. U ovom radu se u obzir uzimaju samo uslovi terena. U budućem istraživanju, kada se mreža razmešta iz aviona, treba uvesti i modeliranje uticaja svih uslova leta (npr. vetra, brzine i visine leta itd.).

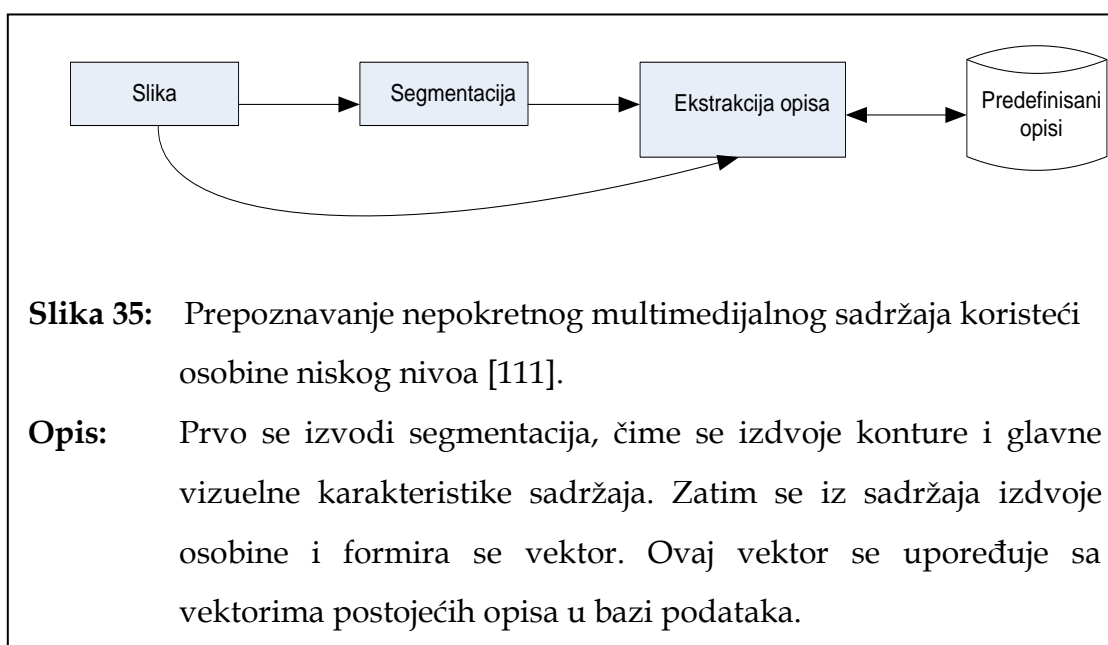
Da bi se izvršila identifikacija određenih struktura terena, potrebno je posedovati ontologiju morfoloških struktura terena. Opis karakteristike određenog regiona baziramo na digitalnim mapama dobijenim metodama algoritama DTM (Digital Terrain Modelling, digitalno modeliranje terena), kojima se delovi površine zemlje predstavljaju na digitalan način. Podaci iz DTM reprezentacije uključuju vrednosti koje opisuju visinske kvote, stepen strmina i ostale podatke koje značajno reprezentuju oblik terena. Opisi najzastupljenijih DTM algoritama dati su u ([109], [110]).

U ovom radu, opis uslova u kojima se vrši instalacija mreže, uključuje samo prirodne oblike (bez sagrađenih objekata). Vojska SAD definiše tzv. primarne oblike terena u koje spadaju: brda, doline, ugnuća, sedlaste površi i stene [110]. Ovi entiteti mogu da sadrže jedni druge. Npr. brdo može sadržati i dolinu itd. Ova klasifikacija, međutim, eksplicitno ne definiše vodene površine i ravan teren. Uzevši u obzir da ovi entiteti sadrže osobenosti svojih podstruktura koje mogu bliže odrediti njihove manje delove, a time i poboljšaju preciznost opisa objekata, ontologija opisa terena (sa uključenim vodenim

površinama u okviru atributa specijalne vrste materijala i, eksplicitno, ravnog terena) može sadržati:

- Oblik i veličinu regiona od interesa.
- Fizičke karakteristike delova regiona – objekata, kao što su: lokacija, oblik, veličina, visina, strmina, dubina, boja, vrsta materijala itd.
- Površinske karakteristike terena kao što su: ravan teren, izbočine, vrhovi, ugnuća, šupljine, litice, nagibi, padine, ivice itd.
- Prostorni odnos između površinskih karakteristika terena, npr. blizina između dva ili više entiteta, pravac, kompozicija itd.

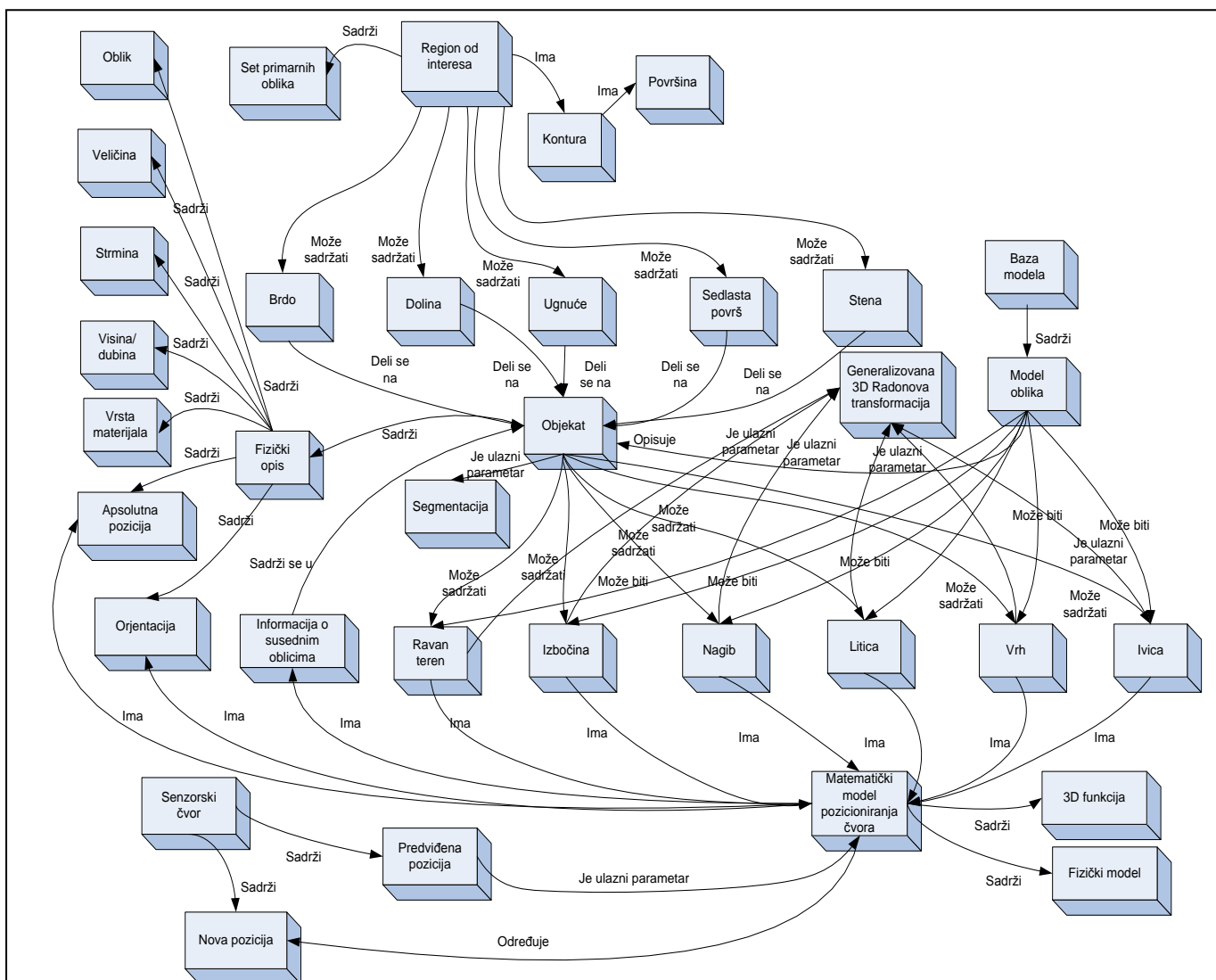
U procesuiranju multimedijalnog sadržaja dobijenog DTM metodama, koristi se metodologija opisana u [111]. Obrada multimedijalnog sadržaja se ovde radi u dva koraka: 1) segmentacijom slike i 2) koristeći MPEG-7 ekstrakciju osobina slike (kada se radi o 2D sadržaju), ili koristeći generalizovanu Radonovu transformaciju (kada se radi o 3D sadržaju). Šema prepoznavanja nepokretnog multimedijalnog sadržaja, prikazana je na slici 35.



Nakon definisanja opštih parametara regiona kao što su oblik i površina, važno je prepoznati pomenute primarne oblike terena. Prepoznavanje ovih oblika se može uraditi manualno ili korišćenjem nekih algoritama za

prepoznavanje multimedijalnog sadržaja. S obzirom da se radi o malom broju elemenata, a uzevši u obzir preciznost i jednostavnost postupka, u opisu koji sledi se, po pitanju ovih objekata, ne predviđa korišćenje analize multimedijalnog sadržaja. Ono se predviđa u kasnijoj fazi, u analizi kompozitnih objekata.

Konceptualna mapa procesa određivanja nove pozicije čvora uzevši u obzir karakteristike terena, prikazana je na slici 36.



Slika 36: Definisane nove pozicije čvora koristeći KM, kada se u obzir uzimaju reljefne karakteristike terena.

Opis: Mapa sadrži samo neophodne elemente da bi se definisale nove pozicije senzorskih čvorova, uzevši u obzir morfološke karakteristike terena.

U datom opisu se koriste najosnovniji elementi za definisanje novih pozicija čvorova, ne uzimajući u obzir ostale karakteristike terena, senzorskih čvorova i matematičkih proračuna u procesuiranju slike i pozicije senzora. Ovi elementi su formulisani u koncepte, a njihovi međusobni odnosi su dati preko devet semantičkih relacija.

Nakon definisanja objekata iz regiona od interesa, vrši se segmentacija objekata i ekstrakovanje osobina objekata. Segmentacija multimedijalnog sadržaja služi za odvajanje homogenih oblika iz digitalne slike. U ovom slučaju se izdvajaju površinske karakteristike terena. Njihove fizičke karakteristike se, kako je predloženo u [111], mogu ekstrahovati uz pomoć generalizovane Radonove transformacije. Osim identifikacije kontura objekata (koje se dobija segmentacijom slike), nakon obrade objekata koristeći Radonovu transformaciju, objekti sadrže i fizički opis koji se predstavlja vektorom. Zatim se svaki vektor upoređuje sa vektorima postojećih struktura u bazi podataka.

Nakon upoređivanja ekstrahovanih osobina vektora sa modelima oblika iz baze modela, najmanje Euklidske distance postojećih vektora rezultiraju u odabiru formulacije za svaki od elemenata objekta u jednom od sledećih oblika: ravan teren, izbočina, nagib, litica, vrh i ivica. Za bilo koju od notacija se znaju: oblik, veličina, strmina, dubina/visina, vrsta materijala, apsolutna pozicija, orijentacija modela u odnosu druge elemente objekta i informacije o susednim delovima objekta. Znajući fizičke dimenzije i oblik određenog sadržaja, a bazirajući se takođe na informaciju o susednim elementima te matematičkom opisu (preko 3D površi) za svaki model kao i modelu fizičkog procesa promene početne pozicije senzorskog čvora, može se odrediti nova pozicija u odnosu na početnu poziciju senzora nakon pada čvora na određenom delu terena.

10 Zaključak

U ovoj tezi se vrši modeliranje i analiza stohastičke implementacije bežičnih senzorskih mreža da bi se, u okviru modela, izvršila evaluacija pokrivenosti regiona kao i evaluacija i poboljšanje pokrivenosti barijerom korišćenjem mobilnih čvorova ili robota. Uzevši u obzir da je region od interesa u ovim, najčešće vojnim implementacijama, čitavo jedno geografsko područje ili određeno dugačko i usko područje oblika pravougaonika, u tezi se razmatraju tzv. pokrivenost područja i detektabilnost, odnosno pokrivenost barijerom. U najvećem broju radova iz oblasti pokrivenosti BSM sistemima, pretpostavlja se da je osnovna funkcionalnost mreže postignuta, odnosno da mreža omogućava očitavanje svih događaja i objekata od interesa. U ovim radovima se akcenat uglavnom stavlja na poboljšanje performansi mreže po pitanju potrošnje čvorova kao i na povećanju pouzdanosti i sigurnosti mreže. S druge strane, u nekim radovima se razmatraju (idealizovani, asimptotski) slučajevi velikih vrednosti gustina mreže i beskonačnih dimenzija regiona.

U ovom radu se razmatraju fundamentalni parametri za evaluaciju i poboljšanje pokrivenosti regiona i pokrivenosti barijerom za pokrivenost stepena $k=1$, sa posebnim akcentom na poboljšanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera u realnijim scenarijima stohastičkog razmeštaja čvorova, usvojivši neke od početnih aproksimacija koje se koriste i u literaturi.

U uvodnoj analizi, vrši se modeliranje uslova implementacije u pogledu oblika polja očitavanja senzorskih čvorova i načina instalacije mreže. Pretpostavlja se da su pozicije senzorskih čvorova slučajno i uniformno raspoređene po regionu (čime se modelira instalacija koristeći artiljeriju) ili da su gušće raspoređene po uskom regionu, tj. u okolini određene linije (čime se modelira instalacija mreže iz aviona). Pod datim pretpostavkama, matematički i eksperimentalno se izvodi verovatnoća detekcije mete u pravougaonom regionu kada postoji podjednaka mogućnost da se meta nalazi bilo gde u

regionu kao i detektabilnost pokretnog objekta prilikom prelaska regiona upravno po širini sa jedne strane regiona na drugu.

U cilju sprovođenja algoritama za poboljšanje verovatnoće formiranja sigurnih senzorskih barijera, što predstavlja i fokus teze, razvijen je Java-bazirani simulator na NetBeans 7.1 IDE platformi. Simulacijom su obuhvaćeni svi teorijski izvedeni slučajevi uz dodatno uključenje modula za ocenjivanje pokrivenosti putanje i analize formiranja jakih senzorskih barijera. Upoređivanjem rezultata simulacije sa teorijski dobijenim rezultatima za pokrivenost područja i pokrivenost slabom senzorskom barijerom, a uzevši u obzir ivične efekte usled konačnih dužina ivica pravougaonog regiona, verifikuje se rad simulatora i procenjuju fundamentalni parametri implementacije mreže potrebni da bi se postigla određena verovatnoća pokrivenosti regiona, slabe pokrivenosti senzorskom barijerom i pokrivenosti određene putanje. S obzirom da je radijus očitavanja obično fiksna veličina koja se ne može povećavati (samo smanjiti usled efekata okruženja implementacije), vrednuje se uticaj načina implementacije i gustine mreže na stepen određenog tipa pokrivenosti. Vrednosti radijusa očitavanja se uzimaju iz skupa najrepresentativnijih veličina iz literature. Rezultati simulacije ukazuju da najveći uticaj na svaki tip pokrivenosti ima radijus očitavanja, zatim tip instalacije za određenu namenu, i na kraju gustina mreže.

Centralni deo rada odnosi se na povećanje verovatnoće formiranja senzorskih barijera koristeći mobilne čvorove ili robote. U ovom pravcu se razmatra mogućnost korišćenja mobilnih čvorova (koji bi se pozicionirali na određenoj poziciji u regionu i dalje izvršavali funkciju kao i ostali nepokretni čvorovi) ili korišćenje robota (koji se pozicioniraju na određenom mestu da bi instalirali određeni broj fiksnih senzora i, u zavisnosti od algoritma, kreću ka drugoj destinaciji u mreži). Proces se u svakom slučaju realizuje u hibridnoj mreži sa mešovitim sastavom fiksnih i mobilnih čvorova ili u mreži gde se dodatni statički čvorovi naknadno instaliraju uz pomoć robota. U pravcu dopunjavanja mreže novim čvorovima, u cilju poboljšanja uslova za formiranje

sigurne senzorske barijere, najvažniji korak je pronalaženje najboljih pozicija za smeštanje novih čvorova. Predloženi algoritmi daju dva načina za pronalaženje ovih pozicija, kao i za određivanje ukupnog broja prekida i ukupnog broja dodatnih čvorova u datoj implementaciji.

Ponovljenim izvršavanjem programa, dobijaju se srednje, minimalne i maksimalne vrednosti broja prekida i potrebnog broja dodatnih čvorova za formiranje barem jedne sigurne senzorske barijere bazirajući se na metode dopunjavanja propisane algoritmima. Algoritam GPCA je jednostavniji i zahteva manje proračune od strane svakog senzorskog čvora, međutim, on je konkurentan samo kada je mreža uniformno raspoređena ili kada je verovatnoća lokacije čvorova opisana UG raspodelom sa malom vrednosti σ . Ipak, u određenim realnim situacijama, kako je vizuelno predstavljeno u radu, RBPCA algoritam bi mogao biti superioran u odnosu na GPCA. Zbog toga je potrebno odrediti efikasnost RBPCA u budućem istraživanju. U ovom radu se simulacije baziraju samo na GPCA algoritmu.

Rezultati simulacije daju zavisnost broja prekida i potrebnog broja dodatnih čvorova od broja inicijalno instaliranih čvorova i kvaliteta/načina instalacije. U slučaju distribuiranih algoritama za dopunjavanje mreže, posebno su interesante vrednosti gustine mreže kada se broj prekida približava ili postaje isti broju potrebnih mobilnih čvorova. U tom slučaju, robot pretražuje relativno mali put u okolini određenog senzorskog čvora. Takođe, važan zaključak se odnosi na mogućnost skaliranja i određivanja gustine mreže kada se znaju kritične vrednosti za jedinične kvadratne površine pri konstantnom odnosu vrednosti radijusa očitavanja i ivice kvadrata. Naime, pokazuje se da je, pri slučajnoj uniformnoj raspodeli n_1 statičkih čvorova, broj m_1 dodatnih čvorova (kojima se može obezbediti sigurna senzorska barijera) konstantna vrednost kada je odnos stranice kvadrata i radijusa očitavanja konstantna vrednost, odnosno kada je $\frac{a}{R_s} = const$. Iz ovoga se, za određeni region širine a , pri odnosu $dužina/a = k$, dobija da je za region dimenzija $dužina \times a$, broj dodatnih čvorova $kx \times m_1$ pri $kx \times n_1$ broju statičkih čvorova.

Osim što broj potrebnih dodatnih čvorova opada sa povećanjem gustine mreže, pri slučajnoj uniformnoj raspodeli pozicija čvorova u određenom regionu, povećanjem gustine mreže povećava se i odnos m_{max} i m_{min} sve do određene vrednosti gustine mreže, kada m_{max} i m_{min} zajedno teže nuli. Ovaj zaključak je važan zato što se u svakom trenutku može odrediti razlika idealnog slučaja od najgoreg slučaja očekivane vrednosti broja dodatnih čvorova kojima se, koristeći date algoritme, može formirati senzorska barijera.

Konačno, u sistemskom i softverskom inženjerstvu, mapiranje procesa razvoja u kontekstu protokola CMMI modela, dokazani je način unapređenja procesa bilo da se procesi unapređuju unutar organizacije ili se unapređuju neki aspekti određenih rešenja. U ovoj tezi se, kao sporedni doprinos, na novi način, koristeći CMMI metodologiju, opisuje metodologija razvoja rešenja za dopunjavanje senzorskih barijera mobilnim čvorovima u kontekstu procesne oblasti „tehničko rešenje“.

Kao jedan od sporednih doprinosa, ali i kao fokus budućeg istraživanja u ovom pravcu, teza takođe uključuje i opis uslova implementacije bazirajući se na metodologiji konceptualnog modeliranja. Okruženje i način instalacije igraju veoma važnu ulogu, utičajući na dva najvažnija parametra realne stohastičke instalacije: na oblik senzorskog polja i na poziciju svakog čvora. U ovom radu se vrši modeliranje uticaja terena na poziciju senzorskog čvora koristeći konceptualne mape. U budućem radu se prepoznavanje oblika kod multimedijalnih sadržaja može primeniti za realnije određivanje pozicija senzorskih čvorova i oblika njihovih polja očitavanja. Koncepti i relacije, koji se ovom prilikom moraju prevesti na mašinski prepoznatljiv i obradiv jezik, obuhvaćeni su takođe istraživanjem sprovedenim u okviru ove teze. Na ovaj način se, pri zadatoj digitalnoj mapi terena, budućim poboljšanjem simulatora, mogu dobiti realniji modeli razmeštaja mreže a time i precizniji rezultati analize.

Literatura

- [1] M. Cardei and J. Wu, "Coverage in Wireless Sensor Networks," in *Handbook of Sensor Networks*, M. Ilyas and I. Mahgoub (eds.), CRC Press, 2004.
- [2] M. Welsh, "CodeBlue: Wireless Sensor Networks for Medical Care and Disaster Response," Division of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, 2004.
- [3] M. Welsh, D. Myung, M. Gaynor, and S. Moulton, "Resuscitation Monitoring with a Wireless Sensor Network," *American Heart Association, Resuscitation Science Symposium, Supplement Circulation: Journal of the American Heart Association*, 2003.
- [4] Z. Tafa and R. Stojanovic, "Bluetooth-based Approach to Monitoring Biomedical Signals," *Proc. of the 5th WSEAS International Conference on Telecommunications and Informatics*, Istanbul, Turkey, pp. 415-420, 2006.
- [5] "Detecting Forest Fires using Wireless Sensor Networks with Waspnote," available from <http://www.libelium.com/> (accessed August 2012).
- [6] G. W. Allen, J. Jonson, M. Ruiz, J. Lees, and M. Welsh, "Monitoring Volcanic Eruptions with a Wireless Sensor Network," *Proc. of the Second European Workshop on Wireless Sensor Networks*, pp. 108-120, 2005.
- [7] R. Kaur and M. Sharma, "An Approach to Design Habitat Monitoring System using Sensor Networks," *International Journal of Soft Computing and Engineering*, vol. 1, pp. 5-8, 2011.
- [8] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, and J. Anderson, "Wireless Sensor Network for Habitat Monitoring," *WSNA Proc. of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, New York, NY, USA, pp. 88-97, 2002.

- [9] X. Li, X. Cheng, K. Yan, and P. Gong, "A Monitoring System for Vegetable Greenhouses Based on a Wireless Sensor Network," *Sensors*, vol. 10, pp. 8963-8980, 2010.
- [10] Q. Ling, Z. Tian, Y. Yin, and Y. Li, "Localized Structural Health Monitoring Using Energy-Efficient Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, no. 11, pp. 1596-1604, 2009.
- [11] G. Zhao, "Wireless Sensor Networks for Industrial Process Monitoring and Control: A Survey," *Network Protocols and Algorithms*, vol. 3, no. 1, pp. 46-93, 2011.
- [12] B. Barbagli, L. Bencini, I. Magrini, A. Manes, and G. Manes, "A Traffic Monitoring and Queue Detection System Based on an Acoustic Sensor Network," *International Journal on Advances in Networks and Services*, vol. 4, no. 1 & 2, pp. 27-37, 2011.
- [13] K. Sohraby, D. Minoli, and T. Znati, "Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications," *A John Wiley & Sons*, 2007.
- [14] W. M. Merrill, "Defense Systems: Self-healing Land Mines," Ch. 18 in *Wireless Sensor Networks: A System Perspective*, N. Bulusu and S. Jha (eds.), Artech House, 2005.
- [15] J. D. Adams, R. Whitten, and B. S. Rogers, "Chemical, Biological, and Explosive Vapor Detection with Micro Cantilever Array Sensor," *SPIE*, Orlando, USA, 6538-23, 2007.
- [16] P. Naz, S. Hengy, and P. Hamery, "Soldier Detection Using Unattended Acoustic and Seismic Sensors," *SPIE*, Orlando, USA, pp. 8047-8060, 2012.
- [17] S. H. Lee, S. Lee, H. song, and H. S. Lee, "Wireless Sensor Network Design for Tactical Military Applications: Remote Large-Scale Environments," *Proc. of IEEE Military Communications Conference, MILCOM 2009*, Boston, USA, pp. 1-7, 2009.

- [18] M. Merrill, L. Cirod, B. Schiffer, D. McIntire., G. Rava, K. Sohrabi, F. Newberg, J. Elson, and W. Kaiser, "Dynamic Network and Smart Sensing Enable Next-generation Landmines," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 3, no. 4, pp.84-90, 2004.
- [19] R. Dulski, M. Kastek, P. Trazskawka, M. Szustakowski, and M. Zycykowski, "Concept of Data Processing in Multisensor System for Perimeter Protection," *Proc. of SPIE*, Orlando, USA, vol. 8019, 2011.
- [20] J. He, R. A. Norwood, M. Fallahi, and N. Peyghambarian, "Smart Border: Ad-hoc Wireless Sensor Networks for Border Surveillance," *Proc. of SPIE*, Orlando, USA, vol. 8019, 2011.
- [21] M. Pejanovic, Z. Tafa, G. Dimic, and V. Milutinovic, "A Survey of Military Applications of Wireless Sensor Networks," *IEEE Mediterranean Conference on Embedded Computing 2012*, Bar, Montenegro, 2012.
- [22] A. Milenkovic, C. Otto, and E. Jovanov, "Wireless Sensor Networks for Personal Health Monitoring: Issues and an Implementation," *Computer Communications*, vol. 29, no. 1314, pp. 2521-2533, 2006.
- [23] P. Gupta and P.R. Kumar, "The Capacity of Wireless Networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 388-404, 2000.
- [24] T. Stoyanova and G. Papadopoulos, "Integrated Approach for Wireless Sensor Networks Design," *5th International Symposium of CSNDSP*, Patras, Greece, pp. 583-587, 2006.
- [25] A. Kabashi, K. Walker, J. Underwood, N. Wirastuti, and J. Emirghani, "Wireless Sensing for Development: An Integrated Design Approach," *Proc. of the 2009 Third International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, pp. 479-486, 2009.
- [26] D. Pompili, M. C. Vuran, and T. Melodia, "Cross-Layer Designs," Ch. 4 in *Sensor Networks and Configuration: Fundamentals, Standards, Platforms, and Applications*, N. P. Mahalik (ed.), Springer, 2007.

- [27] P. Skraba, H. Aghajan, and A. Bahai, "Cross-layer Optimisation for High Density Sensor Networks: Distributed Passive Routing Decisions," *Proc. of the Ad-Hoc Now*, Vancouver, Canada, 2004.
- [28] M. Zorzi, "A New Contention-based MAC Protocol For Geographic Forwarding in Ad Hoc Sensor Networks," *Proc. IEEE ICC*, Paris, pp. 3481-3485, 2004.
- [29] S. Koteswararao, M. Sailaja, T. Madhu, P. Ramesh, and V. Rajesh, "Energy Aware TDMA MAC for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, vol. 2, no. 5, pp. 103-113, 2011.
- [30] M. Kumar and I. Sambasivam, "Energy-Aware SCC MAC Protocol Design for Wireless Sensor Networks," *International Journal of Modern Engineering Research*, vol. 2, iss. 2, pp. 329-333, 2011.
- [31] R. Prema and R. Rangarajan, "Power Aware Routing Protocol (PARP) for Wireless Sensor Networks," *Wireless Sensor Network*, vol. 4, no. 5, pp. 133-137, 2012.
- [32] M. M. Chandane, S. G. Bhirud, and S. V. Bonde, "Distributed Energy Aware Routing Protocol," *International Journal of Computer Applications*, vol. 34, no. 3, pp. 6-11, 2011.
- [33] A. Ayadi, "Energy-efficient and Reliable Transport Protocols for Wireless Sensor Networks: State-of-Art," *Wireless Sensor Network*, vol. 3, no. 3, pp. 106-113, 2011.
- [34] X. Wang, G. Xing, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless, and C. Gill, "Integrated Coverage and Connectivity Configuration in Wireless Sensor Networks," *Proc. of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, ACM, pp. 29-39, 2003.
- [35] S. Shakkottai, R. Srikant, and N. Shroff, "Unreliable Sensor Grids: Coverage, Connectivity and Diameter," *INFOCOM*, 2003.

- [36] H. Zhang and J. C. Hou, "Maintaining Sensing Coverage and Connectivity in Large Sensor Networks," *Ad Hoc/Sensor Wireless Networks*, vol. 1, pp. 89-124, 2005.
- [37] C. Bettstetter, "On the Minimum Node Degree and Connectivity of a Wireless Multihop Network," *MobiHoc*, 2002.
- [38] G. Fan and S. Jin, "Coverage Problem in Wireless Sensor Network: A survey," *Journal of Networks*, vol. 5, no. 9, pp. 1033-1040, 2010.
- [39] D. Tian and N. D. Georganas, "A Coverage Preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Networks," in *First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp. 32-41, 2002.
- [40] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "Peas: A Robust Energy Conserving Protocol for Long-lived Sensor Networks," *Proc. of the ICDCS*, 2003.
- [41] A. Elfes, "Occupancy Grids: A Stochastic Spatial Representation for Active Robot Perception," in *Autonomous Mobile Robots: Perception, Mapping, and Navigation*, vol. 1, S.S. Iyengar and A. Elfes, (eds.) Los Alamitos, CA: *IEEE Computer Society Press*, pp. 60-70, 1991.
- [42] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, pp. 317-325, 1980.
- [43] D. Li, K. Wong, Y. Hu, and A. Sayeed, "Detection, Classification, Tracking of Targets in Micro-sensor Networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, 2002.
- [44] M. Chu, H. Haussecker, and F. Zhao, "Scalable Information-driven Sensor Querying and Routing for Ad Hoc Heterogeneous Sensor Networks," *International Journal of High Performance Computing Applications*, vol. 16, no. 3, 2002.

- [45] Y-R. Tsai, "Sensing Coverage For Randomly Distributed Wireless Sensor Networks in Shadowed Environments," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no.1, pp. 556-564, 2008.
- [46] D. Kazakos and P. Papantoni-Kazakos, "Detection and Estimation," *Computer Science Press*, 1990.
- [47] K. Xu, G. Takahara, and H. Hassanein, "On the Robustness of Grid-Based Deployment in Wireless Sensor Networks" *IWCMC'06*, pp. 1183-1188, 2006.
- [48] E. Biagioni, and G. Sasaki, "Wireless Sensor Placement For Reliable and Efficient Data Collection," *Proc. of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2003.
- [49] M.Liu, J. Cao, W. Lou, C.L-Jun, and X. Li, "Coverage Analysis for Wireless Sensor Networks," *Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks*, vol. 3794/2005, pp. 711-720, 2005.
- [50] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, and M. B. Srivastava, "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks," *Proc. of INFOCOM*, pp. 1380-1387, 2001.
- [51] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, G. Qu, and M. Potkonjak, "Exposure in Wireless Ad-hoc Networks," *Mobile Computing and Networking*, pp. 139-150, 2001.
- [52] B. Liu and D. Towsley, "A study of the Coverage of Large-Scale Sensor Networks," *Proc. of the IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc Sensor Systems*, pp. 475-483, 2004.
- [53] K. Hsu-Yang and H. Jing-Shiuan, "Sensor Surveillance System for Drought Disaster Based on CMMI Model," *Proc. of the First International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, pp. 722-725, 2006.

- [54] Z. Tafa, G. Rakočević, Đ. Mihailović, and V. Milutinović, "Effects of Interdisciplinary Education on Technology-Driven Application Design," *IEEE transactions on education*, vol. 54, no. 3, 2011.
- [55] Univerzitet Singidunum, "Uvod u Integracioni model sazrevanja procesa (CMMI) v.1.2", dostupno na [http://www.docstoc.com/docs/104782940/Uvod-u-Integracioni-model-sazrevanja-procesa-\(CMMI\)v-12](http://www.docstoc.com/docs/104782940/Uvod-u-Integracioni-model-sazrevanja-procesa-(CMMI)v-12) (pristupano Avgusta 2012).
- [56] CMMI Product Team, "CMMI for Systems Engineering, Software Engineering, Integrated Product and Process Development, and Supplier Sourcing," *Carnegie Mellon Software Engineering Institute, Pittsburgh, PA, TR-011*, 2002.
- [57] J. Popović, "Definisanje procesa merenja i analize tokom razvoja softvera u skladu sa CMMI standardom", *YuInfo*, 2009.
- [58] J. Popović, "Implementacije procesa donošenja odluka u skladu sa CMMI standardom", *TELFOR*, pp. 86-89, 2009.
- [59] J. F. Sowa, "Concept Mapping," available from <http://www.jfsowa.com/talks/cmapping.pdf> (accessed August 2012).
- [60] J. Sowa, "Ontology, Metadata, and Semiotics," *Proc. of the Linguistic on Conceptual Structures: Logical Linguistic and Computational Issues*, pp. 55-81, 2000.
- [61] A. G-Perez and O. Corcho, "Ontology languages for the semantic web," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 17, no.1, pp. 54-60, 2002.
- [62] A. Voss, K. Nakata, and M. Juhnke, "Concepts as Knowledge Handles in Collaborative Document Management," *International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*, Stanford, USA, pp. 245-252, 1999.
- [63] G. Salton and A. Wong, "A vector space model for automatic indexing," *Comm. ACM*, vol. 18, no. 11, pp. 613-620, 1975.

- [64] S. Gauch, J. Madrid, S. Induri, D. Ravindran, and S. Chadalavada, "Key Concept: a Conceptual Search Engine," *Information and Telecommunication Technology Center, TR: ITTC-FY2004-TR-8646-37*, University of Kansas, USA, 2002.
- [65] C Nakabasami, "An Inductive Approach to Assertional Mining for Web Ontology Revision," *International Semantic Web Conference*, Sardinia, Italy, 2002.
- [66] J. Novak and A. Canas, "The Theory of Underlying Concept Maps and How to Construct Them," *Technical Report Florida Institute for Human and Machine Cognition CampTools*, 2006.
- [67] H. Liu and P. Singh, "ConceptNet – a Practical Commonsense Reasoning Tool-kit," *BT Technology Journal*, vol. 22, no. 4, pp. 211-226, 2004.
- [68] M. Diligenti and M. Kovacevic, "Visual Pagerank: Improving the Random Server Model Using Visual Features," *IPSI Transaction on Internet Research*, vol. 6, no.1, pp. 18-26, 2010.
- [69] L. Ballan, M. Bertini, A.D. Bimbo, and G. Serra, "Video Annotation and Retrieval Using Ontologies and Rule Learning," *IEEE MultiMedia*, Vol. 17, No. 4, pp. 80-88, 2010.
- [70] H. Chen and T. Finin, "An Ontology for Context Aware Pervasive Computing Environments," *Cambridge University Press*, vol. 18 (3), 2003.
- [71] E. Ugljanin, A. Kolašinac i Dž. Avdić, „Mogućnost primene ontologije u razvoju Web sajta za prodaju automobila“, *Telekomunikacioni forum TELFOR*, 2008.
- [72] S. Omerović, Z. Babović, Z. Tafa, V. Milutinović, and S. Tomažić, "Concept Modeling: From Origins to Multimedia," *Multimedia Tools and Applications*, Springer, 2011.

- [73] A. Cerpa and D. Estrin, "ASCENT: Adaptive Self-Configuring sSensor Networks Topologies," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, issue 3, pp. 272-285, 2004.
- [74] M. Hefeeda and M. Bagheri, "Randomized k-coverage Algorithms for Dense Sensor Networks," in *Proc. of International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN '04)*, 2004, pp. 2376-2380.
- [75] M. Cardei, M. Thai, L. Yingshu, and W. Weili, "Energy-efficient Target Coverage in Wireless Sensor Networks," *24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings IEEE*, Vol. 3, pp. 1976-1984, March 2005.
- [76] C.-F. Huang and Y.-C. Tseng, "The Coverage Problem in a Wireless Sensor Network," *ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA)*, page 115-121. ACM Int'l Workshop, 2003.
- [77] J. Carle and D. Simplot-Ryl, "Energy Efficient Area Monitoring For Sensor Networks," *IEEE Computer Society*, 2004.
- [78] S. Poduri and G. S. Sukhatme, "Constrained Coverage for Mobile Sensor Networks," *Proc. on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 165-171, 2004.
- [79] R. Meester and R. Roy, "Continuum Percolation," *Cambridge University Press*, 1996.
- [80] B. Liu, "Design and Performance Modeling of Wireless Networks," *Ph.D. dissertation*, University of Massachusetts, Amherst, 2003.
- [81] S. Kumar, T. H. Lai, and A. Arora, "Barrier Coverage With Wireless Sensors," *Proc. of the 11th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 284-298, 2005.
- [82] B. Liu, O. Dousse, J. Wang, and A. Saipulla, "Strong Barrier Coverage of Wireless Sensor Networks," *Proc. of the 9th ACM International Symposium on Mobile ad hoc Networking and Computing*, pp. 411-420, 2008.

- [83] P. Balistr, B. Bollobas, A. Sarkar, and S. Kumar, "Reliable Density Estimates for Coverage and Connectivity in Thin Strips of Finite Length," *Proc. of the 13th annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 75-86, 2007.
- [84] M. Noori, S. Movaghati, and M. Ardakani, "Characterizing the Path Coverage of Random Wireless Sensor Networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2010, no. 14, pp. 1-11, 2010.
- [85] Q. Cao, T. Zan, J. A. Stankovic, and T. F. Abdelzaher, "Analysis of Target Detection Performance for Wireless Sensor Networks," *DCOSS*, 2005.
- [86] J. He and H. Shi, "A Distributed Algorithm for Finding Maximum Barrier Coverage in Wireless Sensor Networks," *IEEE Global Telecommunications Conference*, 2010.
- [87] A. Chen, S. Kumar, and T. H. Lai, "Local Barrier Coverage in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 9, no. 4, pp. 491-504, 2010.
- [88] Z. Tafa and V. Milutinović, "Detectability of Static and Moving Targets in Randomly Deployed Military Surveillance Networks," *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 291-312, 2011.
- [89] A. Saipulla, B. Liu, and J. Wang, "Barrier Coverage with Airdropped Wireless Sensors," *Proc. of IEEE Military Communications Conference, MILCOM 2008*, pp. 1-7, 2008.
- [90] C. Wang, B. Wand, and W. Liu, "Movement Strategies for Improving Barrier Coverage in Wireless Sensor Networks: A Survey," *Proc. of the 13th IEEE International Conference on Communication Technology*, pp. 938-943, 2011.
- [91] T. M. Cheng and A. V. Savkin, "A Distributed Self-deployment Algorithm for the Coverage of Mobile Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 13, no. 11, pp. 877-879, 2009.

- [92] T. M. Cheng and A. V. Savkin, "Distributed Control of Mobile Robotic Sensor Networks for Multi-level Barrier Coverage," *the 11th International Conference Control, Automation, Robotics and Vision*, December 2010.
- [93] B. Bhattacharya, M. Bermester, Y. Hu, E. Kranakis, Q. Shi, and A. Wiese, "Optimal Movement of Mobile Sensors for Barrier Coverage of a Planar Region," *Theoretical Computer Science (Elsevier)*, vol. 410, pp. 5515-5528, December 2009.
- [94] A. Saipulla, B. Liu, and J. Wang, "Finding and Mending Barrier Gaps in Wireless Sensor Network," *IEEE Globecom*, pp.1-5, 2010.
- [95] "Remotely Monitored Battlefield Sensor System-II," *available from <http://www2.1-3com.com/cs-east/pdf/rembassii.pdf>* (accessed August 2012).
- [96] A. Arora, P. Dutta, S. Bapar, V. Hlathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Demibas, M. Gouda, and Y. Choi, "A Line in the Sand: A Wireless Sensor Network for the Target Detection, Classification, and Tracking," *Comp. Networks*, vol. 46, no. 5, pp. 605-634, 2004.
- [97] Y. Zou and K. Chakrabarty, "Distributed Management for Target Tracking in Mobile Sensor Networks," *IEEE Transactions on Mobile computing*, vol. 6, pp. 872-887, 2007.
- [98] K-F. Su, W-T. Wang, F-K. Wu, and T-T. Wu, "K-Barrier Coverage with a Directional Sensing Model," *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 75-83, 2009.
- [99] V. Mhatre, C. Rosenberg, D. Kofman, R. Mazumdar, and N. Shroff, "Design of Surveillance Sensor Grids with a Lifetime Constraining," *Proc. of First European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN)*, 2004.
- [100] J. Wang, S. Medidi, and M. Medidi, "Energy-Efficient k-Coverage for Wireless Sensor Networks with Variable Sensing Radii," *Proc. of the 28th IEEE conference on Global telecommunications*, pp. 1-6, 2009.

- [101] J. Wang and S. Medidi, "Mesh Based Coverage for Wireless Sensor Networks," *Global Telecommunications Conference, IEEE GLOBECOM*, pp. 1-5, 2008.
- [102] E. Onur, C. Ersoy, H. Delic, and L. Akarun, "Surveillance Wireless Sensor Networks: Deployment Quality Analysis," *IEEE Network*, pp. 48-53, 2007.
- [103] X. Chen, Y.-C. Ho, and H. Bai, "Complete Coverage and Point Coverage in Randomly Distributed Sensor Networks," *Journal of IFAC*, vol. 45, Issue 6, 2009.
- [104] E. Onur, C. Ersoy, and H. Delic, "How Many Sensors for an Acceptable Breach Detection Probability," *Computer Communications*, vol. 29, pp. 173-182, 2006.
- [105] P. Hall, "Introduction to the Theory of Coverage Processes," *John Wiley & Sons*, 1998.
- [106] Z. Tafa, "Robot-Assisted Algorithms on Providing Path Connectivity and Barrier Coverage in Stochastic Network Deployments", *Third International ICST Conference on Ad Hoc Networks*, Paris, France, 2011.
- [107] Z. Tafa, "Towards Improving Barrier Coverage by Using Mobile Robots," *IEEE Mediterranean Conference on Embedded Computing 2012*, Bar, Montenegro, 2012.
- [108] L. G. Jones and M. Konrad, "Capability Maturity Model Integration (CMMI) V1.3 and Architecture-Centric Engineering," *SATURN conference*, San Francisco, CA, USA, 2011.
- [109] R. Weibel and M. Heller, "Digital Terrain Modelling," *Oxford University Press*, 1993.
- [110] T. Cronin, "Classifying Hills and Valleys in Digitized Terrain," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 66, no. 9, pp. 1129-1137, 2000.

- [111] S. Vrochidis, C. Doulaverakis, A. Gounaris, E. Nidelkou, and Y. Kompatsiaris, "A Hybrid Ontology and Visual-Based Retrieval Model for Cultural Heritage Multimedia Collections," *International Journal on Metadata Semantics and Ontologies*, vol.3, no.3, pp. 167-182, 2008.

Prilog A: Lista korišćenih skraćenica

IKT	- Informaciono-Komunikacione Tehnologije
WiFi	- Wireless Fidelity
ADSL	- Asymmetric Digital Subscriber Line
WiMax	- Worldwide Interoperability for Microwave Access
BSM	- Bežične Senzorske Mreže
CMMI	- Capability Maturity Model Integration
DARPA	- Defense Advanced Research Projects Agency
MEMS	- Micro Electro Mechanical System
MANET	- Mobile Ad-hoc NETWORKS
VANET	- Vehicular Ad-hoc NETWORKS
EKG	- ElektroKardioGram
PDA	- Personal Digital Assistant
BAN	- Body Area Network
GPS	- Global Positioning System
ALERT	- Automated Local Evaluation in Real Time
MAC	- Media Access Control
GG	- Generic Goals
SG	- Specific Goals
GP	- Generic Practices
SP	- Specific Practices
OPF	- Organizational Process Focus
OPD	- Organizational Process Definition
OT	- Organizational Training
OPP	- Organizational Process Performance
OID	- Organizational Innovation and Deployment
PP	- Project Planning
PMC	- Project Monitoring and Control

- SAM** - Supplier Agreement Management
- IPM** - Integrated Project Management
- RSKM** - RiSK Management
- QPM** - Quantitative Project Management
- REQM** - REquirements Management
- RD** - Requirements Developement
- TS** - Technical Solution
- PI** - Product Integration
- VER** - VERification
- VAL** - VALidation
- CM** - Configuration Management
- PPQA** - Process and Product Quality Assurance
- MA** - Measurement and Analysis
- DAR** - Decision Analysis and Resolution
- CAR** - Causal Analysis and Resolution
- VSM** - Vector Space Model
- DTM** - Digital Terrain Modeling
- KRDB** - Knowledge Rich Data Base
- PAC** - Perimeter-Area Coverage
- CCP** - Coverage Configuration Protocol
- ODGC** - Optimal Geographical Density Control
- ADS** - Area Dominating Set
- KNCCA** - K-Neighbours Constrained Coverage Algorithm
- QoS** - Quality of Service
- UG** - Uniformno-Gausova, uniformna po x osi a Gausova po y osi
- GUI** - Graphical User Interface
- GPCA** - Greedy Path Constructing Algorithm
- RBPCA** - Run-Based Path Constructing Algorithm
- IDB** - IDentifikacioni Broj

Prilog B: Lista slika

Slika 1: Tipična komunikaciona arhitektura BSM-bazirane aplikacije.

Slika 2: Primena BSM sistema u kućnoj automatizaciji.

Slika 3: Arhitektura sistema za praćenje fizioloških signala i parametara okruženja pacijenta u kućnim ili ambulatnim uslovima.

Slika 4: Arhitektura sistema za monitoring vuklanske aktivnosti opisana u [6].

Slika 5: Primena BSM sistema u vojnim aplikacijama.

Slika 6: Blok-šema arhitekture senzorskog čvora.

Slika 7: Primena BSM sistema u poljoprivredi, kada je region od interesa skup tačaka.

Slika 8: Deterministički (a) i stohastički (b) razmeštaj mreže.

Slika 9: Slaba senzorska barijera.

Slika 10: Jaka senzorska barijera.

Slika 11: Funkcionalna šema kontinualne (a) i fazne (b) reprezentacije.

Slika 12: Primer formiranja jednog koncepta.

Slika 13: Jedan način predstavljanja znanja o KM uz pomoć diagrama KM.

Slika 14: Podela algoritama (iz literature) za poboljšanje performansi pokrivenosti područja od interesa u zavisnosti od tretiranja pitanja energije i stepena pouzdanosti.

Slika 15: Naučni i inženjerski fokus u oblasti pokrivenosti BSM sistemima.

Slika 16: Primer distribucije prekida u stohastički razmeštenoj mreži.

Slika 17: Model razmeštaja mreže iz aviona.

Slika 18: Pokrivenost regiona BSM sistemom u cilju otkrivanja mina pre prolaska vojnih trupa.

Slika 19: Ivični efekti prilikom izračunavanja stepena pokrivenosti za usko područje.

Slika 20: Izračunavanje detektabilnosti mreže.

Slika 21: Prekidi kod slabih senzorskih barijera.

Slika 22: Pokrivenost regiona i formiranja grafova, prilikom jedne simulacije.

Slika 23: Primer slučajnih pozicija čvorova u skladu sa UG gustom raspodele verovatnoće slučajnih brojeva.

Slika 24: Centralizovani algoritam za dopunjavanje mreže do formiranja jake senzorske barijere koristeći mobilne čvorove.

Slika 25: Dopunjavanje mreže koristeći distribuirani algoritam za upravljanje mobilnim robotima.

Slika 26: Efikasno pronalaženja novih pozicija čvorova koristeći RBPCA.

Slika 27: Slučaj simulacije kada RBPCA pokazuje bolje performanse u odnosu na GPCA.

Slika 28: Određivanje pokrivenosti putanje.

Slika 29: Zavisnost stepena pokrivenosti slabom senzorskom barijerom od broja inicijalno instaliranih fiksnih čvorova.

Slika 30: Zavisnost broja prekida i potrebnog broja novih čvorova od broja nepokretnih čvorova kod uniformne raspodele.

Slika 31: Zavisnost broja prekida i potrebnog broja novih čvorova od broja nepokretnih čvorova kod UG raspodele.

Slika 32: Broj dodatno potrebnih (mobilnih) čvorova u zavisnosti od broja nepokretnih čvorova na kvadratnoj površini pri zadanom odnosu a/R_s .

Slika 33: Razlika u ocenjivanju potrebnog broja dodatnih mobilnih čvorova kod slučajnog i uniformnog razmeštaja čvorova u kvadratnom regionu pri različitom odnosu stranice kvadrata i radijusa očitavanja.

Slika 34: Interakcije specifičnih praksi raznih procesnih oblasti u procesu razvoja rešenja iz oblasti sistemskog i/ili softverskog inženjerstva.

Slika 35: Prepoznavanje nepokretnog multimedijalnog sadržaja koristeći osobine niskog nivoa.

Slika 36: Definisavanje nove pozicije čvora koristeći KM, kada se u obzir uzimaju reljefne karakteristike terena.

Prilog C: Lista tabela

Tabela 1: Procesne oblasti kategorisane po oblastima primene i CMMI nivoima.

Tabela 2: Primeri algoritama (iz literature) za projektovanje pokrivenosti uz optimizaciju potrošnje i pouzdanosti.

Tabela 3: Potreban broj čvorova i odnos ρ_n/ρ_u za zadatau pokrivenost od 0,95 u okolini $\pm\sigma$ od linije leta.

Tabela 4: Broj prekida i broj dodatno potrebnih čvorova za formiranje senzorske barijere u zavisnosti od broj instaliranih čvorova pri $\sigma=10$ i $R_s=18m$.

Tabela 5: Podela zadataka po fazama arhitekturno-centričnog razvoja rešenja u inženjerskim projektima i odgovarajuće procesne oblasti CMMI modela.

Tabela 6: Opis razvoja algoritama za povećanje verovatnoće formiranja senzorskih barijera u stohastički instaliranim mrežama koristeći mobilne robote.

Prilog D: Listing koda simulatora

A.1 Klasa Cvorovi.class

```
import java.awt.Color;
import java.awt.Font;
import java.awt.Graphics;
import java.lang.Math.*;

public class Cvorovi {
    private int x0;
    private int y0;
    private Color boja;
    private double R;
    private String redBr;
    private int gap;
    private int g_ID;
    private int m;
    private int g;

    public Cvorovi (int x0, int y0, Color boja, int i, int gap)
    {
        this.x0 = x0;
        this.y0 = y0;
        this.boja = boja;
        redBr = Integer.toString(i);
        this.gap = gap;
    }

    public void SetCvor (int vrhX0, int vrhY0, Color podesiBoju)
    {
        x0 = vrhX0;
        y0 = vrhY0;
        boja = podesiBoju;
    }

    public int GetX0 ()
    {
        return x0;
    }

    public int GetY0 ()
    {
        return y0;
    }
}
```

```
}  
  
public String GetRedBrCv()  
{  
    return redBr;  
}  
  
public void setRadjus (int radijus)  
{  
  
    R = radijus;  
}  
  
public void CrtajRegion (Graphics g)  
{  
    int X0 = (int) (x0 + 5 / 2 - R);  
    int Y0 = (int) (y0 + 5 / 2 - R);  
    int RadDouble = (int) (2*R);  
    g.setFont(new Font("Serif", Font.BOLD, 12));  
    g.setColor(Color.BLUE);  
    g.drawString(redBr, x0+5, y0+5);  
    g.drawOval(X0, Y0, RadDouble, RadDouble);  
  
}  
public void CrtajCvorove (Graphics g)  
{  
    g.setColor(boja);  
    g.fillOval(x0, y0, 5, 5);  
}  
public void setGapnr (int x)  
{  
    gap = x;  
}  
public int getGapnr()  
{  
    return gap;  
}  
public void set_g_ID(int x)  
{  
    g_ID = x;  
}  
public int get_g_ID()  
{  
    return g_ID;  
}
```



```
public void set_m(int d)
{
    m = d;
}

public int get_m()
{
    return m;
}

public void set_g(int x)
{
    g = x;
}

public int get_g()
{
    return g;
}
}
```

A.2 Klasa CvoroviPanela.class

```
import java.awt.Color;
import java.awt.Graphics;
import java.util.Random;
import java.lang.Math.*;
public class CvoroviPanela extends javax.swing.JPanel {
    // Deklarise se niz objekata tipa Cvorovi.
    private Cvorovi cvor[];
    private Random Rn = new Random();
    private int brCvorova;
    private int sirina, visina;
    private int radijus;
    private int radio_Normal;

    // Promjenljiva gap se odnosi na broj piksela vertikalno nepokrivenih
    private int gap;
    // max_x - maksimalni domet jednog subgrafa
    public int max_x;

    public int br_gapova_min;
    public int br_gapova_max;
    public int br_mob_cvorova;
    public CvoroviPanela() {
```

```
brCvorova = 0;
sirina = 0;
visina = 0;

max_x=0;
br_gapova_min = 0;
br_gapova_max=0;
br_mob_cvorova=0;
}
public void setPanelView (int x, int sirina, int visina, int radijus, int
radio_Normal)
{
brCvorova = x;
this.sirina = sirina;
this.visina = visina;
this.radijus = radijus;
this.radio_Normal = radio_Normal;

}
@SuppressWarnings("unchecked")
// <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Generated Code">
private void initComponents() {

    javax.swing.GroupLayout layout = new javax.swing.GroupLayout(this);
    this.setLayout(layout);
    layout.setHorizontalGroup(

layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
        .addGap(0, 400, Short.MAX_VALUE)
    );
    layout.setVerticalGroup(

layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
        .addGap(0, 300, Short.MAX_VALUE)
    );
} // </editor-fold>
@Override

    public void paintComponent (Graphics g)
{
    super.paintComponent(g);
    br_gapova_min=0;
    br_gapova_max=0;
    gap = 0;
    br_mob_cvorova=0;
```

```
max_x=0;

// CRTANJE GRIDA
for (int i=0;i<=sirina-10;i=i+10)
{
    Linije linija = new Linije(i,0,i,sirina);
    linija.CrtajLinije(g);
}
for (int j = 0; j<=visina-10; j=j+10)
{
    Linije linija = new Linije(0,j,sirina, j);
    linija.CrtajLinije(g);
}

if (radio_Normal == 0)
{
    cvor = new Cvorovi[brCvorova];
// Kreiranje Cvorova

for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
{
    int x1 = Rn.nextInt(sirina);
    int y1 = Rn.nextInt(visina);
    cvor[i] = new Cvorovi(x1, y1, Color.BLACK, i, 0);
}

for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
{
    cvor[i].setRadijus(radijus);
    cvor[i].CrtajCvorove(g);
}

for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
{
    cvor[i].CrtajRegion(g);
}
}
else
{
    cvor = new Cvorovi[brCvorova];

for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
{
```

```
int x1 = Rn.nextInt(sirina);
int y1 = (int)(visina/2 + 30*Rn.nextGaussian());
cvor[i] = new Cvorovi(x1, y1, Color.BLACK, i,0);
}

for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
{
    cvor[i].setRadijus(radijus);
    cvor[i].CrtajCvorove(g);
}

for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
{
    cvor[i].CrtajRegion(g);
}

}

// ODREĐIVANJE BROJA VERTIKALNO NEPOKRIVENIH PIKSELA
for (int j = 0; j<sirina; j++)
{
    int var = 1;
    for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
    {
        if ((Math.abs(cvor[i].GetX0()-j)<radijus))
        {
            var = 0;
        }
    }
    if (var == 1)
    {
        gap++;
    }
}

//Prvo stavi svim cvorovim g_ID (broj grafa)= njegovom identifikacionom
broju
for (int i=0; i<brCvorova; i++)
{
    cvor[i].set_g_ID(i);
    cvor[i].setGapnr(0);
    cvor[i].set_g(0);
    cvor[i].set_m(0);
}
// Svaka dva susjedna cvora
// 1. povezi crvenom linijom
```

// 2. Izmedju svaka dva cvora u dometu, onome sa vecim g_ID-em, dodijeli g_ID manjeg

```
for (int t=0; t<3; t++)
{
    for (int i =0; i<brCvorova; i++)
    {
        int min_i = cvor[i].get_g_ID();
        for (int j = 0; j<brCvorova; j++)
        {
            int xi0 = cvor[i].GetX0()+5/2;
            int yi0 = cvor[i].GetY0()+5/2;
            int xj0 = cvor[j].GetX0()+5/2;
            int yj0 = cvor[j].GetY0()+5/2;
            double d = Math.sqrt((xi0-xj0)* (xi0-xj0) + (yi0-yj0)*(yi0-yj0));
            if (d<=2*radijus)
            {
                if (cvor[j].get_g_ID(<min_i)
                {
                    min_i = cvor[j].get_g_ID();
                }
                g.setColor(Color.RED);
                g.drawLine(xi0, yi0, xj0, yj0);
            }
        }
    }

    for (int j = 0; j<brCvorova; j++)
    {
        int xi0 = cvor[i].GetX0()+5/2;
        int yi0 = cvor[i].GetY0()+5/2;
        int xj0 = cvor[j].GetX0()+5/2;
        int yj0 = cvor[j].GetY0()+5/2;
        double d = Math.sqrt((xi0-xj0)* (xi0-xj0) + (yi0-yj0)*(yi0-yj0));
        if (d<=2*radijus)
        {
            cvor[j].set_g_ID(min_i);
        }
    }
}
}
}
public void Get_br_gapova()
{
```

```
// Ovdje pocinje obrada svakog od ivicnih (pocetnih) cvorova

for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
{
    if (cvor[i].GetX0()<2*radijus)

        // Ako je cvor (i) u blizini lijeve ivice
        {
            cvor[i].setGapnr(1);
            for (int j=0; j<brCvorova; j++)
            {
                //setiraj GapNr na 1 za sve ostale cvorove koji pripadaju istom
subrgafu
                if(cvor[j].get_g_ID()==cvor[i].get_g_ID())
                {
                    cvor[j].setGapnr(1);
                }
            }

            // Nadji Max
            GetMax_x();
            int a =0;
            int b=0;
            while(cvor[max_x].GetX0()<sirina-2*radijus)
            {
                int c = sirina;
                int min = -1; // min je broj cvora koji je s desne strane najblizi
maksimalnom dometu nekog grafa
                int xi0 = cvor [max_x].GetX0()+5/2;
                int yi0 = cvor [max_x].GetY0()+5/2;
                for (int t=0; t<brCvorova; t++)
                {
                    int xj0 = cvor [t].GetX0()+5/2;
                    int yj0 = cvor [t].GetY0()+5/2;
                    if (xi0<xj0)
                    {
                        double d = Math.sqrt((xi0-xj0)*(xi0-xj0)+(yi0-yj0)*(yi0-yj0));
                        int dist = (int)d;
                        if ((int)d<c)
                        {
                            c=dist;
                            min = t;
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

```
    }

    if (min!=-1)
    {
        for (int s=0; s<brCvorova; s++)
        {
            //setiraj GapNr na 1 za sve ostale cvorove koji pripadaju
            istom subrgafu
            if(cvor[s].get_g_ID()==cvor[min].get_g_ID())
            {
                cvor[s].setGapnr(1);
            }
        }
        a=a+1;
        b=b+((c-(2*radijus))/(2*radijus))+1;
        GetMax_x();
        cvor[i].set_g(a);
        cvor[i].set_m(b);
    }
}

    for (int p=0; p<brCvorova; p++)
    {
        cvor[p].setGapnr(0);
    }
}

// Funkcija za odredjivanje pokrivenosti regiona
public double getArea()
{
    int jedan = 0;
    for (int i=0; i<sirina; i++)
    {
        for (int j = 0; j<visina;j++)
        {
            int nule = 0;
            for (int t = 0; t<brCvorova; t++)
            {
                int x1=cvor[t].GetX0()+5/2;
                int y1 = cvor[t].GetY0()+5/2;
                double d = Math.sqrt((i-x1)*(i-x1)+(j-y1)*(j-y1));
                if (d<radijus)
                {
```

```
        nule = 1;
    }
}
if (nule==0)
{
    jedan++;
}
}
return (double) jedan/(sirina*visina);
}
```

```
public int Get_brojac()
{
    int a =5;
    for (int i=0; i<brCvorova;i++)
    {
        if (cvor[i].GetX0()<2*radijus)
        {
            a = cvor[i].get_g();
        }
    }
    return a;
}
```

```
public int Get_max_m()
{
    int a =0;
    for (int i=0; i<brCvorova;i++)
    {
        if (cvor[i].GetX0()<2*radijus)
        {
            if(cvor[i].get_m())>a)
            {
                a = cvor[i].get_m();
                br_gapova_max=cvor[i].get_g();
            }
        }
    }
    return a;
}
```

```
public int Get_min_m()
{
```



```
// stavljamo neku veliku vrednost za limit, npr 100 cvorova
// Drugim recima, ako dobijemo Get_min=100, znacemo da je potreban
// broj cvorova veci ili jednak sa 100
int limit = 100;
for (int i=0; i<brCvorova;i++)
{
    if (cvor[i].GetX0()<2*radijus)
    {
        if (cvor[i].get_m()<limit)
        {
            limit=cvor[i].get_m();
            br_gapova_min=cvor[i].get_g();
        }
    }
}
return limit;
}
public int get_g_ID(int x)
{
    return cvor[x].get_g_ID();
}

public int GetMax_x()
{
    int c = 0;
    max_x=-1;
    for (int i = 0; i<brCvorova; i++)
    {
        if (cvor[i].getGapnr() == 1&& cvor[i].GetX0()>c)
        {
            c = cvor[i].GetX0();
            max_x = i;
        }
    }
    return max_x;
}

public int Get_br_gapova_min()
{
    return br_gapova_min;
}
public int Get_br_gapova_max()
{
    return br_gapova_max; }
}
```

Biografija autora

Žilbert Tafa, magistar elektrotehničkih nauka, je rođen u Baru, Crna Gora, 16.07.1974. godine. Osnovnu i srednju školu je završio u Ulcinju gde je više puta biran za najboljeg učenika generacije. Elektrotehnički fakultet završava 1997. godine u Podgorici, na odseku za elektroniku, gde takođe diplomira među prvima u svojoj generaciji. Postdiplomske studije upisuje 2003. godine na ETF-u u Podgorici, na odseku računarstva, gde magistrira 2006. godine sa prosečnom ocenom 10. Nakon diplomiranja, zapošljava se u Crnogorski Telekom gde isprva obavlja funkciju inženjera za centrale, zatim inženjera za informacione sisteme, a zadnje tri godine i kao rukovodioc za sve tehničke sektore u okviru TK centra. U međuvremenu radi honorarno u srednjoj školi kao profesor matematike, informatike i elektrotehničke grupe predmeta.

Žilbert Tafa je istraživač grupe za primenjenu elektroniku pri elektrotehničkom fakultetu u Podgorici. Od strane Inženjerske Komore Crne Gore, on je licenciran za projektovanje niskonaponskih mreža a poseduje i licencu sudskog veštaka za oblast računarske tehnike i telekomunikacija, izdatu od strane Ministarstva Pravde RCG.

Žilbert Tafa od 2011. godine do danas radi kao predavač na predmetu *Računarske mreže* na državnom Univerzitetu u Albaniji, na fakultetu za informatiku. Isti predmet predaje i na privatnom Univerzitetu Kristal u Tirani. Osim u domenu obrazovanja, kandidat danas radi i kao stručni saradnik Agencije za elektronske komunikacije Crne Gore.

U toku svog dosadašnjeg akademskog angažmana, kao autor ili koautor, kandidat je objavio određeni broj radova, uglavnom na međunarodnoj naučnoj sceni, među kojima tri poglavlja za knjige, četiri rada sa SCI liste i jedanaest radova na međunarodnim konferencijama. Takođe, kandidat je bio recenzent za međunarodni časopis *IEEE Communications Magazine*, za međunarodnu konferenciju *IEEE Mediterranean Conference on Embedded Computing* i za knjigu *Smart Healthcare Applications and Services*.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани: **Жилберт Тафа**

број индекса _____

Изјављујем

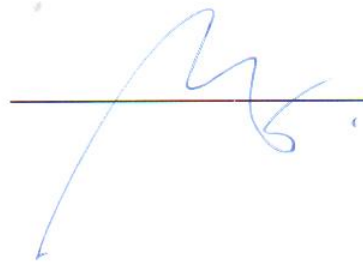
да је докторска дисертација под насловом:

Нови алгоритми за повећање вероватноће формирања сигурних сензорских баријера коришћењем мобилних чворова.

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 20.08.2012



Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Жилберт Тафа**

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада: **Нови алгоритми за повећање вероватноће формирања сигурних сензорских баријера коришћењем мобилних чворова**

Ментор: Др Вељко Милутиновић, редован професор

Потписани/а _____ *Gilbert Tafa*

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 20.08.2012

_____ *[Signature]*

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Нови алгоритми за повећање вероватноће формирања сигурних сензорских баријера коришћењем мобилних чворова

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Београду, 20.08.2012

Потпис докторанда

