

EKSPERTNI SISTEM ZA ANALIZO REZULTATOV SIMULACIJ TAKTIČNIH RADIJSKIH OMREŽIJ

Saša Klampfer, Jože Mohorko, Žarko Čučej

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko,
Maribor, Slovenija

Ključne besede: ekspertna analiza, ekspertni sistem, simulacija, OPNET modeler, statistike, komunikacijske enote, uspešnost prenosa sporočil, prenosni kanal, izkoriščenost kanala, zakasnitve, radijska vidljivost, baza znanja, uporabniški vmesnik, pravila, sklepanje, mehke množice.

Izveček: Članek opisuje metode analize in zasnovo sistema za avtomatizirano analizo simulacijskih rezultatov pridobljenih iz orodja za simulacije komunikacijskih omrežij - OPNET modelerja. Pri tem smo se omejili na temeljne gradnike, ki jih sistem mora vsebovati, da ga lahko uvrstimo v razred ekspertnih sistemov. V prvem delu članka smo za vsak gradnik podali temeljit opis. Dodali smo tudi opise mehanizmov mehkih množic, baze znanja in pravil, ki se uporabljajo v procedurah sklepanja in iskanja končnih rešitev. V drugem delu članka predstavljamo ekspertni sistem, ki smo ga zasnovali za analizo rezultatov simulacij taktičnih radijskih omrežij. V nadaljevanju je opisana funkcionalnost sistema, metode analize posameznih komunikacijskih parametrov in načini podajanja rezultatov.

Expert system for analysis of tactical radio networks simulations

Key words: expert analysis, expert system, simulation, OPNET, statistics, communication units, message completion rate, transfer channel, channel utilization, delay, radio visibility, knowledge base, user interface, rules, decision procedure, fuzzy sets.

Abstract: Now days the use of simulation tools rapidly increases because they are quite precise and gives satisfactory results, which are comparable with measured results on real communication networks. Most of available simulation tools have possibilities to present final results in graphical form. Such approach is suitable in cases, where expert user operate with small number of graphs and simulated scenarios. In cases where must user compare more than two individual graphs, analysis became complex and time voracious. We can decide that manual analysis of graphical results takes-up a lot of precious time, especially in cases of simultaneously analysis of multiple graphs. This time is economized by our system.

Expert system (ES in the following explanation) is defined as intelligent computer program which includes certain level of expert knowledge. Such knowledge is stored in knowledge data base. Knowledge data base quality is one of the most important factors for such systems. It is some kind of function concerning data base dimensions and knowledge quality. A wide-spread base with high expert knowledge leads to a high-performance expert system. Knowledge must be stored into the base in the right format, because an expert system has to understand this knowledge, to create right decisions based on that knowledge. Detailed description of knowledge base is given in section 2.1. Some of the most important parts of ES are user interface, reasoning mechanism and fuzzy set for sorting and arranging simulation values into proper classes.

Reasoning mechanism is one of the main parts of an expert system. It controls the operation of the whole ES. The mechanism must actively use the knowledge base for dealing with data, coming into the system, and for the derivation of suitable facts. The mechanism is composed of inquiring and reasoning processes, which helps in the solution search process. The most useful reasoning methods in the cases when we want to derive knowledge using production rules are: forward reasoning and backwards reasoning. Detailed description of reasoning mechanism is given in section 2.2.

Fuzzy sets as main part of ES are generalization of regular crisp sets /1, 2/. Meanwhile, the appurtenance function of a crisp set has a stock value {0, 1} (specific element belongs or does not belong to this set) the appurtenance function of a fuzzy set (μ_A) has a stock value within the interval [0, 1]. We can reason, that a specific element in fuzzy set is contained by appurtenance, which is $\epsilon[0, 1]$.

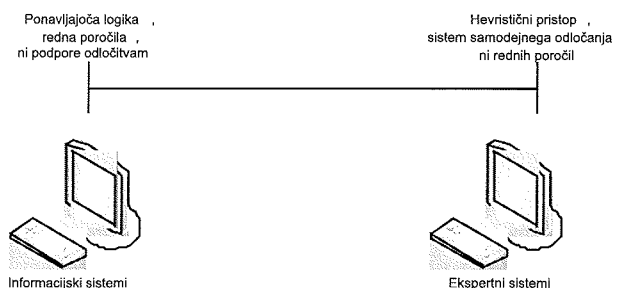
For example we observe OPNET simulation graph for tactical radio received power data. For this data we define set $A=\{x$; data in x is acceptable). Such a set contains all acceptable data. If we look at this set as an ordinary binary set, we can specify that data fully belongs to it or even does not fully belongs to it (two possibilities). A problem appears about 'acceptability' definition. In regular sets, passages between appurtenance and nonappurtenance are sharp (discrete). Passages between appurtenance and nonappurtenance in fuzzy sets are soft, slow and continuous (section 2.3). Fuzzy set is in our case used for analyzing results from transmitter utilization statistics and packet delay statistics, meanwhile radio visibility and message completion rate uses approach based on direct comparison between sent packets and received packets between communication units. Section 2.8 describes expert system user interface and manners to present results. Section four concludes the paper.

1. Uvod

Ekspertni sistem lahko opredelimo kot inteligentni računalniški program, ki uporablja znanje in procedure sklepanja za reševanje problemov. Vse definicije ekspertnega sistema v literaturi so si enotne, da vsebuje ozko specializirano znanje iz določenega strokovnega področja (problemske oz. raziskovalne domene) in da je le ta zmožen znotraj tega

strokovnega področja oblikovati inteligentne odločitve. Posnema torej delovanje izvedenca ali eksperta za to strokovno področje in njegovo sposobnost analiziranja, reševanja in utemeljevanja odločitev znotraj problemske domene. Ekspertni sistemi tako niso splošni reševalci problemov širokega področja, temveč so namenjeni reševanju zaključenih, dobro definiranih problemov.

Literatura ekspertne sisteme uvršča med sisteme, ki temeljijo na znanju (Hart /11/, 1988, str. 7), oz. med sisteme za ravnanje z informacijami. Tako npr. Sauter /10/ uvršča ekspertne sisteme na desni konec daljice sistemov za ravnanje z informacijami, saj v nasprotju s sistemi, ki ležijo na levi strani daljice, ne delujejo s preprosto, temveč z visoko specializirano logiko in znajo sami oblikovati odločitev iz problemske domene.



Slika 1: Sistemi, ki ravnaajo z informacijami

Fig. 1: Systems which handle with informations

Ekspertni sistem uporabniku omogoča spremljanje in spreminjanje procesa reševanja problema, zna pa tudi utemeljiti odločitev. Transparentnost ekspertnega sistema omogoča uporabniku razlago rezultatov in analizo, kako bi se rezultat spremenil, če bi vhodne podatke spremenili (kaj se zgodi če...).

Za delovanje ekspertnih sistemov so uporabljene metode umetne inteligence. Praviloma združujejo kvantitativne in kvalitativne informacije, teorijo verjetnosti, teorijo mehkih množic, aritmetiko števil in logična pravila, utemeljena na hevrističnih pričakovanjih. Pri tem so odločitve, ki jih poda ekspertni sistem, praviloma dobre, ne pa nujno tudi optimalne. Ekspertni sistemi se uporabljajo na praktično vseh področjih človekovega delovanja. Ukvarjajo se z različnimi vrstami problemov interpretacije, napovedovanja, diagnosticiranja, oblikovanja, načrtovanja, popravljanja, razhroščevanja, inštrukcij in nadzora. Ker naša aplikacija temelji na ekspertnem sistemu, si bomo najprej ogledali temeljne gradnike ekspertnega sistema, med katere spada baza znanja (poglavje 2.1), mehanizem sklepanja (poglavje 2.2), mehke množice (poglavje 2.3) in uporabniški vmesnik (poglavje 2.8). Poglavja 2.4, 2.5, 2.6 in 2.7 predstavljajo postopke analize opazovanih parametrov, ki podajo sliko o dogajanju v omrežju. Tretje poglavje predstavlja rezultate ekspertne analize v obliki izhodnega poročila, kjer so v slednjem zajete vrednosti povprečene na dolžino časovnega okna, ki ga določi uporabnik. S tem pridobi okvirno oceno o dogajanju v omrežju, brez potrebe po opazovanju celotnega intervala simulacije. V okviru že omenjenega poglavja predstavljamo še način analize rezultatov za določitev posameznega problema v omrežju ter funkcionalnosti ES sistema. Četrto poglavje s podanimi sklepi, ugotovitvami in povzetki rezultatov ekspertne analize zaključuje članek.

2 Gradniki ekspertnih sistemov

2.1 Baza znanja

V bazi znanja je shranjeno znanje iz strokovnega področja, ki ga podpira ekspertni sistem. Vsebuje znanje dveh vrst:

- deklarativno znanje, ki opisuje objekte (dejstva in pravila), ki jih obravnava ekspertni sistem in relacije med temi objekti,
- proceduralno znanje, ki vsebuje informacije, kako uporabljamo te objekte, da bi prišli do nekkih sklepov in končne rešitve.

Baza znanja je najpomembnejši del ekspertnega sistema, saj velja, da je kakovost ekspertnega sistema v glavnem funkcija obsega in kakovosti baze znanja. Znanje je vanjo zapisano v obliki, ki jo ekspertni sistem razume in zna uporabiti za oblikovanje odločitve, za kar uporabljamo različne predstavljene metode ali formalizme za predstavitev znanja. Znanje mora biti predstavljeno na način, ki omogoča prilagodljivo, hierarhično urejeno, heterogeno in aktivno strukturo zapisa. Prilagodljivost strukture zapisa znanja je potrebna zaradi naknadnega vključevanja novih spoznanj in omogočanja spreminjanja zapisov, hierarhičnost pa zaradi vertikalnih povezav med objekti nadrejenih in podrejenih tipov v bazi znanja. Heterogenost strukture pomeni možnost zapisa tako deklarativnega kot proceduralnega znanja, aktivnost strukture pa možnost povezovanja objektov v bazi znanja s pravili oz. metodami. Med formalizmi ali metodami za predstavitev znanja prevladujejo simbolične predstavitve, ki jih lahko razvrstimo v štiri glavne vrste: produkcijska pravila, logična predstavitve, semantične mreže in okviri.

Najpogosteje uporabljena metoda so *produkcijska pravila*. Logične relacije med objekti problemskega področja opišemo s pravili tipa *če-nato*, posplošeno torej, *če A, nato B*, ali, če je izpolnjen pogoj P, velja sklep S s faktorjem zaupanja G. Primer logične relacije je npr. *ČE* je količina padavin visoka *IN* še vedno dežuje, *POTEM* lahko z veliko verjetnostjo trdimo, da vode ne primanjkuje. Leva stran pravila (A) predstavlja pogoj ali situacijo, v kateri je pravilo uporabno, desna stran (B) pa določa posledico, sklep ali akcijo pravila. Vsaka stran lahko vsebuje več členov, ki so med seboj povezani z logičnimi operatorji *IN* (*and*), *ALI* (*or*) in redkeje *NE* (*not*). Produkcijsko pravilo si razlagamo v skladu z načelom, ki pravi, da če velja A in da iz A sledi B, lahko sklepamo, da velja tudi B. To načelo je osnova izpeljevanja dejstev oz. sklepanja iz aktiviranih produkcijskih pravil. Sklepanje je proces, sestavljen iz dveh korakov, selekcije in aktivacije. V prvem, selekciji, sistem ugotovi, katera pravila so primerna, ter eno od njih izbere za aktivacijo, kjer razlaga izbrano pravilo in iz njegovega jedra izpelje dejstvo, ki ga doda v bazo znanja. Vsa komunikacija poteka preko dejstev v bazi znanja, saj pravila ne morejo neposredno sprožiti drugih pravil.

Semantična mreža je struktura, ki predstavlja znanje na način, da ga organizira v vozlišča, med seboj povezana s povezavami /1/.

Okvir je opis objekta, v katerem je prostor za vsako informacijo o tem objektu. Kot okvir lahko štejeimo zbirko med seboj povezanega znanja o določenem strokovnem področju ali njegovem delu, ki lahko vsebuje dejstva, relacije, pravila, dogodke ali privzete vrednosti. Teorija okvirov izhaja iz spoznanja, da človek, ko se nahaja v njemu do tedaj nepoznani situaciji, uporabi znanje, ki je plod izkušenj, povezanih z določenimi situacijami, objekti in podobno. Namesto da bi temeljito raziskal in analiziral novo situacijo, si v spomin priključuje podobne, že poznane situacije, elemente nove situacije pa skuša vključiti v že obstoječo strukturo vedenja o nečem, v tako imenovane okvire /3, 4/.

2.2 Mehanizmi sklepanja

So tisti del ekspertnega sistema, ki upravljajo in nadzorujejo delovanje celotnega ekspertnega sistema. Zadolženi so za aktivno uporabo znanja iz baze znanja, za ravnanje s podatki, ki vstopajo v sistem, in za izpeljevanje ustreznih sklepov. Mehanizme sklepanja v ekspertnem sistemu sestavljajo poizvedovalni postopki in postopki sklepanja, s katerimi ekspertni sistem izvaja iskanje ustreznih rešitev kot svoj rezultat. Njihova glavna lastnost je zmožnost vpogleda v svoje delovanje.

Najpogosteje uporabljeni metodi sklepanja v mehanizmih sklepanja pri zapisu znanja s produkcijskimi pravili sta sklepanje naprej in sklepanje nazaj. Pri sklepanju naprej sistem sklepa induktivno – iz množice znanih dejstev skuša priti do določenega sklepa oz. cilja. S sklepanjem išče končni cilj – neko zadovoljivo rešitev z znanim dejstvom, ki ga primerja z vzorci produkcijskih pravil na levi strani pravila. Če se leva stran ujema z dejstvom, se pravilo aktivira. Aktivirano pravilo v delovni pomnilnik doda novo dejstvo, izpeljano iz jedra oziroma desne strani pravila. Izpeljano dejstvo zdaj enakovredno nastopa v procesu sklepanja: pri ponovitvi postopka se lahko sproži pravilo, ki ima na levi strani prav to izpeljano dejstvo. Opisani postopek se ponavlja vse dotlej, dokler v množici produkcijskih pravil še obstajajo pravila, ki se lahko aktivirajo ali dokler mehanizem sklepanja ne izpelje dejstva, ki predstavlja zadovoljivo rešitev. Sklepanje naprej torej ugotavlja, do kakšnih zaključkov pridemo glede na dana dejstva, uporabljamo pa ga, ko ni mogoče vnaprej predvideti, kateri od možnih zaključkov je najprimernejši.

Sklepanje nazaj poteka deduktivno, njegov cilj se nanaša na potrjevanje ali zavračanje pravilnosti ciljne hipoteze. Mehanizem sklepanja najprej preveri, ali lahko ciljno hipotezo potrdi z dejstvom v delovnem pomnilniku, sicer išče pravilo, ki hipotezo lahko potrdi. Takšno pravilo ima na svoji desni strani vzorec, ki je enak ciljni hipotezi, levo stran pa potrjujejo dejstva iz delovnega pomnilnika. Če se leva stran izenači z dejstvi iz delovnega pomnilnika, je sklepanja konec in mehanizem sklepanja potrdi pravilnost ciljne hipoteze. V nasprotnem primeru levo stran razume kot podcilj, ki ga poskuša potrditi na enak način kot ciljno hipotezo. Postopek ponavlja, dokler mehanizem sklepanja ne potrdi vseh podciljev ali dokler ne zmanjka pravil, s katerimi bi podcilje potrdil. Pravilnost ciljne hipoteze je dokazana, ko so doka-

zani vsi podcilji, sicer ciljne hipoteze ni mogoče potrditi. Običajno so sistemi s sklepanjem nazaj učinkovitejši od sistemov s sklepanjem naprej, saj težijo k reduciranju iskalnega prostora in tako običajno hitreje pridejo do rešitve, uporabljamo pa ga, kadar obstaja manjše število ciljev oziroma zaključkov, ki jih je možno določiti vnaprej.

2.3 Mehke množice

Mehke množice (ang. *fuzzy sets*) so razširitev običajnih, ostrih množic (angleško *crisp sets*). Medtem ko ima lahko pripadnostna funkcija ostre množice zalogo vrednosti $\{0,1\}$ (tj. določen element pripada ali ne pripada tej množici), ima pripadnostna funkcija mehke množice (μ_A) zalogo vrednosti znotraj intervala $[0,1]$. Torej je lahko določen element v mehki množici vsebovan s pripadnostjo $\varepsilon[0, 1]$.

2.4 Uporabniški vmesnik sistema ekspertne analize simulacijskih rezultatov

Uporabniški vmesnik ekspertnega sistema skrbi za udobno sporazumevanje med sistemom in (neveščim) uporabnikom, ki mu omogoča vpogled v proces reševanja problema, ki ga izvajajo mehanizmi sklepanja. Uporabniški vmesnik prevaja podatke, ki jih poda uporabnik, v obliko, primerno za računalniško obdelavo, sklepe in pojasnila, ki jih poda sistem, pa predstavi uporabniku v razumljivi pisni ali grafični obliki. Navadno omogoča tudi interakcijo z okoljem in drugimi sistemi, npr. zunanji bazami podatkov. Najpogostejši vmesniki, ki jih uporabljajo ekspertni sistemi, so vprašanja in odgovori, meniji, hipertekst, naravni jezik, grafični vmesniki ipd.

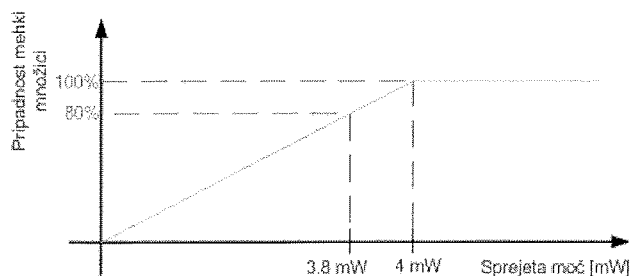
Uporabniški vmesnik je eden od najbolj kritičnih elementov ekspertnega sistema, saj slab uporabniški vmesnik lahko vodi v omejeno ali neučinkovito uporabo. Tudi oblikovanje uporabniškega vmesnika je na splošno zahtevnejše kot pri običajnih računalniških aplikacijah, saj so informacije, ki se izmenjujejo med uporabnikom in sistemom, navadno kompleksnejše, procesiranje, ki ga sistem izvaja, pa zahtevnejše.

2.5 Analiza izkoriščenosti pasovne širine oddajnika in sprejemnika s pomočjo mehke množice

V simulacijskem okolju OPNET Modeler sestavimo simulacijsko strukturo, ki je prikazana na sliki 4.

Promet med udeleženci v taktičnem radijskem omrežju je določen z tako imenovanimi pogodbam, ki definirajo, kdo s kom komunicira in kolikšna je intenzivnost podatkovnih izvorov. Iz primera na sliki 3 je moč razbrati da gre za P2P tip pogodb. V primeru analize izkoriščenosti prenosnih kanalov oddajnika in sprejemnika, je potrebno izbrati statistiko 'utilization' na vsaki enoti. To pomeni, da se bodo v izhodni vektor, ki določa statistiko za posamezno enoto shranile vrednosti obremenjevanja oddajnega in sprejemnega kanala. Za vsako enoto, ki ima izbrano statistiko

'utilization' se ustvari po en izhodni vektor s časovno kodo in amplitudno vrednostjo izkoriščenosti (ang. utilization). Če v drobnogled vzamemo enoto '1 bataljon/brigada' le ta sprejema in oddaja promet v dve smeri. To je primer, ko se bodo vrednosti za obe smeri seštele in odražale na skupni izkoriščenosti, saj je enota omejena zgolj z enim sprejemnikom in oddajnikom. Z analizo vsake posamezne statistike za oddajnik in sprejemnik, posamezne enote lahko z uporabo mehke množice definiramo naslednje relacije: *if (izkoriščenost < 50%)*, potem postaja lahko potencialno sprejme še večjo količino prometa, *if (izkoriščenost > 50% && izkoriščenost < 80%)* potem je stanje relativno velika izkoriščenost...itd. Med 80 in 90% izkoriščenostjo začnejo enormno naraščati zakasnitev v Wi-Fi omrežju, kar pomeni, da je takšno stanje izkoriščenosti oddajnika oziroma sprejemnika lahko že alarmantno, podobno, kot je stanje 100%. Na ta način definiramo relacije, ki v celoti sestavljajo mehko množico in definirajo posamezne vrednosti, s kakšno pripadnostjo pripada vrednost mehki množici.



Slika 4: Primer mehke množice za sprejeto moč

Fig. 4: Example of Fuzzy Set for received power

Oglejmo si preprost primer vrednosti sprejete moči pri analizi rezultatov statistike sprejete moči na strani sprejemnika. Iz izmerjenih vrednosti sprejete moči brezžičnih omrežij lahko postavimo mejo, nad katero se brezžične postaje medsebojno slišijo, oziroma obratno, pod katero se komunicirajoče postaje ne slišijo. Predpostavimo, da je teoretična meja 4 mW, kar v praktični uporabi ostre množice pomeni, da se bodo postaje s sprejeto močjo npr. nad nivojem 4 mW med seboj slišale, v primeru 3.9999 mW pa ne, kar je nesmisel. Iz praktičnih eksperimentov lahko zagotovo potrdimo, da se bodo postaje medsebojno slišale celo pri 3.9 mW sprejete moči, vendar bo razmerje signal/šum nekoliko slabše. Iz tega razloga uporabimo mehko množico z definirano pripadnostno funkcijo, s čimer zagotovimo vključitev mejnih vrednosti, za katere še velja območje radijske slišnosti, vendar vrednost pripada funkciji z nekoliko manjšo pripadnostjo, kot podatek, ki se nahaja nad vrednostjo 4 mW (slika 4).

2.6 Analiza zakasnitev prometa na posamezni enoti

Analiza zakasnitev je identična analizi izkoriščenosti prenosnega kanala, le da v tem primeru uporabimo definirano mehko množico v bazi znanja za statistike tipa 'Delay'. Procedura analize je enaka predhodni metodi, le da so tukaj

definirana območja z drugimi mejnimi vrednostmi. Navedimo primer območja zakasnitev, ki ustreza VoIP aplikaciji. Če (*zakasnitev < 150 ms*) potem označi vrednost kot primerno za izvedbo VoIP aplikacije, v primeru območja od 150 ms do 250 ms določi zakasnitev kot manj primerno za izvedbo VoIP aplikacije itd.

2.7 Analiza uspešnosti prenosa sporočil med posameznimi enotami z definiranimi komunikacijskimi pogodbami

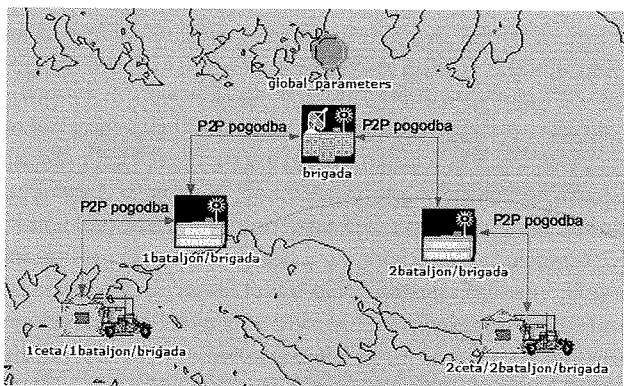
Kot smo že v predhodnem razdelku ugotovili imajo enote medsebojno lahko sklenjenih več komunikacijskih pogodb, izmed katerih lahko vsaka izmed njih zavzame tip 'broadcast' oziroma 'peer-to-peer'. V primeru 'broadcast' pogodbe lahko npr. 'brigada' pošilja eno ali več vrst sporočil po 'broadcast' pogodbi svojim podrejenim enotam, katere ob sprejemu sporočil ne odgovarjajo nadrejeni enoti. Za razliko od 'broadcast' pogodbe pa enota, ki ima sklenjeno 'peer-to-peer' pogodbo sprejema tudi povratni promet, ki se generira zaradi procedure potrjevanja. Iz tega govoreča postaja ugotovi, ali je bilo sporočilo sprejeto ali ne. V postopku analize uspešnosti prenosa sporočil, smo se osredotočili predvsem na P2P pogodbe. V kodni nivo (C jezik) strukture simulacijskega modela smo dodali funkciji izmed katerih prva ustvari datoteko oddanega prometa, druga pa datoteko sprejetega prometa za vsaki IP naslov sodelujoče postaje v komunikacijskem procesu. Vsaka datoteka vsebuje gledano po posamezni vrstici naslednje parametre; velikost generiranega paketa, čas nastanka paketa, izvorni IP naslov in ciljni IP naslov. Identična je struktura druge datoteke. Na tem mestu se pojavi vprašanje zakaj dve datoteki? Razlog je preprost, promet, ki je oddan, potuje po omrežju in prečka številne čakalne vrste, in ker lahko istočasno pošiljajo promet tudi druge komunikacijske enote ne pride do cilja v enakem zaporedju, da bi lahko gledali isto-ležne vrstice v obeh datotekah. Svoj vpliv doprinese še več-nitnost. Iz tega razloga je potrebno za oddan paket, ki je zapišan v prvi datoteki, poiskati isti paket v drugi datoteki, in s tem ugotoviti ali je paket prišel na cilj ali ne. Za posamezen poslan paket se torej postavi števec poslanega paketa na vrednost 1, in če le tega najdemo na cilju v drugi datoteki inkrementiramo še števec sprejetega prometa na vrednost 1, oziroma v nasprotnem primeru pustimo le tega na vrednosti 0. Iz primerjave števecov za vsak trenutek, kadar je kakšna enota oddajala pakete lahko ugotovimo, ali jih je ciljna enota tudi sprejela. Na osnovi primerjave lahko izračunamo, kolikšen je delež uspešnosti prenosa sporočil tekom celotne simulacije za posamično enoto. Tudi v primeru analize uspešnosti prenosa sporočil za vsako posamezno sporočilo k vrednosti dodamo še komentar, npr. '100% uspešnost prenosa' ipd. Na uspešnost prenosa, kakor tudi na ostale opazovane parametre lahko vplivajo številni dejavniki, kot na primer, razgibanost terena, vegetacija, moč oddajnika, ošumljenost kanala, razdalja med komunicirajočimi enotami itd.

2.8 Analiza radijske vidljivosti enot na terenu

Za razliko od predhodnih analiz uporabljamo tukaj poseben scenarij v simulaciji, kjer ima vsaka enota točno določeno časovno režo s periodo kjer lahko odda minimalni paket (npr. ping). V tem scenariju ne moreta oddajati dve enoti hkrati v istem časovnem okviru. Tako imajo komunicirajoče enote s pogodbami vsaka svojo časovno režo s takšno periodo, da se ne pokrije z nobenim drugim komunicirajočim parom. Pri analizi enostavno pogledamo za enote s sklenjenimi pogodbami, ali so v danem časovnem intervalu oddan paket sprejele ali ne. Obdobje, kjer paket ni bil sprejet se smatra kot področje časovnega območja simulacije, kjer radijske vidljivosti med posameznimi enotami ni bilo. Marsikomu se tukaj pojavi vprašanje, zakaj prenašati minimalne velikosti paketov? Razlog je preprost, s simulacijo želimo zgolj ugotoviti ali obstaja med enotama radijska vidljivost ali ne, ob tem pa ne želimo vplivati na zasičenost in zakasnitve v omrežju, zaradi katerih bi lahko pri analizi prišli do napačnih zaključkov.

3. Zasnova ekspertna sistema za vrednotenje simulacij taktičnih radijskih omrežij

Ekspertni sistem analize rezultatov je bil razvit za potrebe analize simulacijskih rezultatov raziskovalnega projekta s tematsko vsebino modeliranja brezžičnih radijskih taktičnih omrežij za kontrolo in poveljevanje /5, 6, 7/.

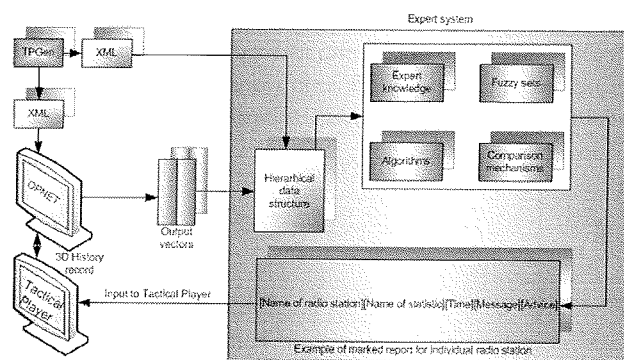


Slika 3: Simulacijska struktura omrežja
Fig. 3: Network simulation structure

Sistem za simulacijo taktičnih omrežij smo oblikovali kot tri pomožne podprograme, pri čem TPGEN /5/ skrbi za pripravo parametrov simulacije, Ekspertni sistem za analizo rezultatov in Tactical Player za pregledovanje analiziranih podatkov. Ekspertni sistem je torej ključen sestavni del v sklopu gradnikov, ki so predstavljeni na sliki 2. Ker smo gradnike slednjega že opisali namenimo še par besed orodju OPNET in taktičnemu predvajalniku.

OPNET Modeler je vodilno simulacijsko okolje v komunikacijski industriji. Omogoča konstruiranje in študije telekomu-

nikacijskih infrastruktur, posameznih naprav, protokolov, aplikacij ipd. Orodje stremi k objektno orientiranemu modeliranju. Ustvarjeni modeli predstavljajo zrcalo strukture dejanskih omrežij in omrežnih komponent. Prisotna je podpora za vse tipe komunikacijskih mrež z naprednimi tehnologijami kot so fast ethernet, WiFi, UMTS, GSM, itd. Simulacijski jezik bazira na seriji hierarhičnih urejevalnikov, ki vzporedno ponazorijo strukturo protokolov, opreme, mreže. Omogočena je tudi animacija dogajanja v omrežjih, kar še dodatno poenostavi razumevanje delovanja posameznega elementa. Nudi možnost ustvarjanja povsem novih enot oziroma preurejanja že obstoječih. Preureditev že obstoječe enote je možna celo na kodnem nivoju, ki je izveden s C/C++ programskim jezikom



Slika 2: Zgradba ekspertnega sistema in medsebojne relacije

Fig. 2: Block diagram of an expert system

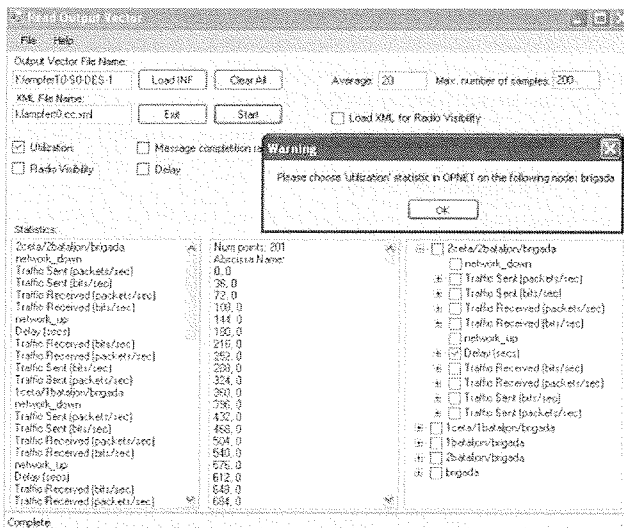
Taktični predvajalnik je programski paket namenjen prikazovanju rezultatov (slika 6), ki jih generira ekspertni sistem. Paket vključuje naslednje funkcionalnosti; branje XML datoteke, branje EHS datoteke, prikaz podatkov, pomikanje po podatkih hkrati pa ima tudi sposobnost krmiljenja OPNET History predvajalnika.

Komunikacija in izmenjava podatkov med orodjem OPNET, TPGen in Ekspertnim sistemom poteka na nivoju XML konfiguracijskih datotek, poročila, ki jih ES pošilja taktičnemu predvajalniku pa v obliki tekstovne datoteke (slika 6).

3.1 Rezultati ekspertnega sistema

Rezultati simulacijskih tekov se nahajajo v grafični obliki, le ti pa predstavljajo velik zalogaj pri analizi ugotavljanja, ali rezultati ustrezajo našim pričakovanjem ali ne. Najpreprostejša metoda je izgradnja aplikacije avtomatične računalniške analize, ki mora vsebovati specifične funkcionalnosti.

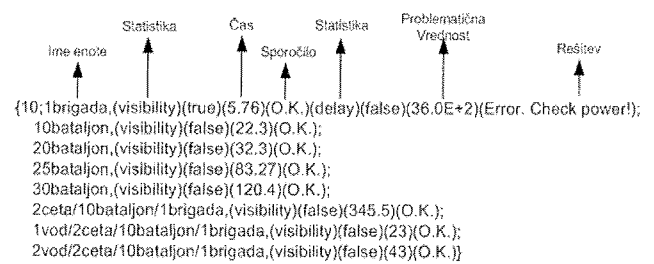
Če se na kratko povrnemo na sliko 2, na kratko predstavimo še orodje TPGen. Le to predstavlja programski paket namenjen vnosu parametrov v vsako posamezno radijsko postajo, ki sodeluje v procesu simulacije. Gre za most med OPNET simulacijskim okoljem in končnim uporabnikom. Vneseni parametri se shranjujejo v XML datoteke, le te pa se naknadno uvozijo v OPNET simulacijsko orodje.



Slika 5: Uporabniški vmesnik ekspertnega sistema
Fig. 5: User interface of an expert system

Po končani simulaciji prejmemo datoteko izhodnega vektorja (primer.ov), ki vsebuje podatkovne vektorje za vsako posamezno izbrano statistiko v simulaciji. Podatkovne vektorje sistem nato uskladi z vsebino XML datoteke, ki vsebuje informacije topologije omrežja. S tem poskrbimo za urejenost posameznih statistik, ki pripadajo posamezni enoti. Po tem koraku naredi ekspertni sistem analizo zelenih podatkov namesto nas. Uporabniški vmesnik omogoča uporabniku izbiro statistik na posamezni komunikacijski enoti, ki jih želi opazovati in prikazovati v taktičnem predvajalniku. Ti rezultati so pokazatelji zmogljivosti omrežja. Sem spadajo prenesen promet, prenosne zakasnitve, izkoriščenost prenosnih kanalov, radijska vidljivost itd. Ko uporabnik izbere zeleno statistiko v ES (slika 5) se lahko prične analiza s pomočjo baze podatkov (baze znanja). Kot primer; analiza uspešnosti prenosa med opazovanima postajama je izvedena s križno korelacijo med oddanim in sprejetim prometom na strani sprejemnika. Ekspertni sistem enostavno primerja isto-ležeče vrednosti poslanega in sprejetega prometa (paketi/s), kar je opisano v poglavju 2.6. Vrednosti lahko medsebojno v velikosti malenkostno odstopajo, kar je razlog za vpeljavo mehke množice, s čimer preprečimo napačno interpretacijo rezultatov (poglavje 2.3). Analiza je pokazala, da venomer ni mogoče rešiti problema z analizo posameznega grafa, temveč jih je za to potrebnih več. Sistem po opravljeni analizi pripravi poročilo (EHS), katerega izsek strukture prikazuje slika 6 in je namenjen taktičnemu predvajalniku.

Prva vrstica zapisa na sliki 6 prikazuje enega izmed številnih zapisov izbrane statistike. Gledano od leve strani proti desni najdemo najprej časovno kodo dogodka, nato ime enote '1brigada', ime statistike 'visibility', vrednost opazovanega parametra '36E+1' in sporočilo 'Check power!'. Takšna struktura velja za običajne vrednosti, v kolikor pa sistem zazna kritične vrednosti doda še dve dodatni vrednosti, kjer prva predstavlja postavljeno zastavico problema z vrednostjo 'true' (signalizira na problem). Druga vrednost



Slika 6: Struktura EHS datoteke z vključenimi sporočili

vključuje markirano kritično vrednost, ki se z rdečo barvo izpiše v taktičnem predvajalniku. Z drugačno barvo v taktičnem predvajalniku opozarjamo na območja s posameznimi problemi, ki potrebujejo posebno pozornost.

Sistem analize smo testirali na rezultatih simulacij brezžičnih radijskih omrežij, kjer se enote premikajo po vnaprej definiranih trajektorijah 3D prostora. V takšnem primeru imamo za analizirati na tisoče statistik. Če še zraven omenjenega poudarimo, da ima lahko vsaka statistika po par tisoč vrednosti (odvisno od dolžine simulacije in števila točk na statistiko), lahko enostavno vidimo, da je ekspertni sistem najboljše rešitev. Končne rezultate uporabnik spremlja v taktičnem predvajalniku v obliki filma s podnapisi. Ob tem ima v predvajalniku na voljo izbiro, katero enoto želi opazovati (lahko eno, dve, deset ali pa tudi vse). Sistem še dodatno pripravi resolucijsko poročilo, ki vsebuje povprečene vrednosti na vnesen interval s strani uporabnika. Tretje poročilo je namenjeno uporabniku in vsebuje splošne statistične podatke od dogajanja v omrežju (koliko odstotkov celotnega časa ni bilo radijske vidljivost, kolikšen odstotek od vseh poslanih paketov je bil izgubljen, itd.).

4. Sklep

Kot smo že uvodoma omenili so ekspertni sistemi razvrščeni po Sauter-ju, glede na to, kako upravljajo informacije. Tako lahko najdemo na desni strani premice sisteme, kot ga prikazuje slika 1, na nasprotni strani pa sisteme s ponavljajočo logiko. Z razvrščanjem smo naš sistem umestili na sredino med informacijske sisteme in ekspertne sisteme. Razlog za to so specifične potrebe, ki so implementirane v naš sistem. Kot primer; iz področja ekspertnih sistemov smo uporabili uporabniški vmesnik, bazo znanja, mehanizme sklepanja, nismo pa uporabili vmesnika za zajem ekspertnega znanja. Obseg znanja je v našem primeru fiksni. Iz leve strani razvrščenih sistemov po Sauter-ju smo uporabili ponavljajočo logiko. Iz tega razloga predstavlja implementiran sistem za analizo grafičnih rezultatov OPNET-a hibridni ekspertni sistem. Ročna analiza grafičnih rezultatov zahteva precej dragocenega časa, še posebej v primerih analize več grafov hkrati. Tovrsten čas je iz ekonomskega vidika z implementiranim sistemom minimiziran na najnižjo možno vrednost. Sistem pripravi dve vrsti poročil, izmed katerih je prvo namenjeno operaterju (uporabniku) in zajema informacije o zmogljivosti omrežja tekom izvajanja simulacije, in hkrati vključuje še predloge za izboljšavo

lastnosti v omrežju. Drugo poročilo predstavlja EHS (Expert History Solution), ki vsebuje podatke za vsak simulacijski zapis posebej (slika 5). Z EHS datoteko zagotovimo še večjo uporabniško prijaznost, saj lahko uporabnik na ta način spremlja dogajanje simulacije v taktičnem predvajalniku, ki pripada višjemu programskemu nivoju. Celotna aplikacija je namenjena uporabniški prijaznosti in poenostavitvi analize rezultatov dogajanja v simuliranem omrežju.

5. Literatura

- /1/ William Siler and James J. Buckley, Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning, Willey & Sons, 2007
- /2/ M. H. Van Emden and R. A. Kowalski, The Semantics of Predicate Logic as a Programming Language, University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland
- /3/ Jay Liebowitz, The Handbook of APPLIED EXPERT SYSTEMS
- /4/ C.S. Krishnamoorthy, S. Rajeev, Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers, 1996
- /5/ Mohorko Jože, Matjaž Fras, Žarko Čučej, Modeling of IRIS Replication Mechanism in Tactical Communication Network with OPNET
- /6/ J. Mohorko, M. Fras, Ž. Čučej, Modeling methods in OPNET simulations of Tactical Command and Control Information Systems
- /7/ Saša Klampfer, Jože Mohorko, Žarko Čučej, Simulation tools in telecommunications education process
- /8/ D. Verber, M. Šprogar, M. Colnarič, Izvedba neintruzivne detekcije napak v vgrajenih krmilnih sistemih, Informacije MIDE M 2007
- /9/ A. Assim, M. B. I. Reaz, M. I. Ibrahimy, A. F. Ismail, F. Choong, F. Mohd-Yasin, Pametni dom na osnovi umetne inteligence, Informacije MIDE M 2006
- /10/ Sauter Vicki: Decision Support Systems. New York : John Wiley & Sons, 1997. 408 str.
- /11/ Hart Anna: Expert Systems. London : Kogan Page, 1988. 208 str.

*Saša Klampfer, Jože Mohorko, Žarko Čučej
Smetanova 17, Maribor, 2000, Slovenija
Epošta: sasa.klampfer@uni-mb.si*

Prispelo (Arrived): 26.05.2008 Sprejeto (Accepted): 19.03.2009