

Rīgas Tehniskā Universitāte
Elektronikas un Telekomunikācijas Fakultāte
Transporta Elektronikas un Telemātikas Katedra

Aleksandrs Ipatovs

Doktora studiju programmas “Transporta Datorvadības, Informācijas un
Elektroniskās Sistēmas”

Transporta interneta sistēmu
eksperimentāla un analītiska izpēte
Promocijas darba kopsavilkums

Vadītājs
Dr. habil. sc. ing., profesors
Ernests Pētersons

Rīga 2012

UDK 004.732(043.2)

lp 160 t

Ipatovs A. Transporta interneta sistēmu eksperimentāla un analītiska izpēte. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU,2012.-44 lpp.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».



Iespiests saskaņā ar ETF promocijas padomes "RTU P-08" 2012.gada 19.aprīļa lēmumu, protokols Nr.9

ISBN 978-9934-8346-2-2

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS
TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.g 20. septembrī, plkst. 17:45, Rīgas Tehniskās universitātes Elektronikas un Telekomunikāciju fakultātē, Āzenes ielā 12, 210 auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr. sc. ing. Gunārs Lauks

Rīgas Tehniskā Universitāte, Elektronikas un Telekomunikāciju Fakultāte

Profesors, Dr. habil. Algimantas Kajackas

Viļņas Ģedimīna Tehniskā Universitāte, Elektronikas Fakultāte

vad. pētnieks, lab. vadītājs, Dr. sc. comp. Mihails Broitmans

Elektronikas un datorzinātņu institūts

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Aleksandrs Ipatovs.....(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 1 pielikumu, 53 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 127 lpp. Literatūras sarakstā ir 90 nosaukumi.

Anotācija

Darba galvenais uzdevums ir 802.11g un 802.11n protokolu transporta interneta sistēmu eksperimentālais un analītiskais novērtējums.

Atšķirībā no speciāli izstrādāta 802.11p standarta, kas atļauj nodot tikai steidzamā rakstura tīksta dienesta ziņojumus, 802.11g un 802.11n protokoli atļauj veikt lielā apjoma datu pārraidi ar augstākiem ātrumiem un pāreju bezmaksas frekvenču diapazonā.

Problēma saistīta ar to, ka lielā apjoma dati transportlīdzekļa kustības laikā ir jānodod tās pašā laikā. Pārvietojoties no vienas zonas citā rodas zudumi.

Lai novērtētu savienojuma kvalitāti, Interneta lietotāji uzskata par svarīgu veiktspējas parametru. Tas atspoguļo lietotāja noderīgās informācijas efektīvo daudzumu, neieskaitot dienesta datus. Veiktspējas parametrs tiek uzskatīts par galveno transporta interneta sistēmu novērtēšanas parametru šajā darbā.

Pamatojoties uz eksperimentālajiem datiem, šajā darbā tika atklātas un pierādītas atkarības transporta interneta sistēmu analīzei – piemēram, veiktspējas eksponenciālā atkarība no darba staciju skaita, veiktspējas kvadrātiskā atkarība no attāluma līdz bāzes stacijai, veiktspējas lineārā atkarība no transportlīdzekļa pārvietošanas ātruma.

Tika izveidoti daži analītiski modeļi, kas apstiprina 802.11g un 802.11n protokolu transporta interneta sistēmu efektivitāti. Izstrādāto analītisko modeļu pareizība un 802.11 protokola efektivitāte ir apstiprinātas arī imitācijas modelēšanā OPNET vidē.

Pamatojoties uz pētījumiem, tika izstrādātas rekomendācijas transporta interneta sistēmu modelēšanai, plānošanai un veidošanai.

Kopējais apraksts

Tēmas aktualitāte: Šodien arvien vairāk uzmanības tiek veltīts jautājumiem, kas ir saistīti ar bezvadu tīklu izmantošanu vidē ar transporta objektiem. Tas tiek pierādīts ar nesen publicējamiem rakstiem. Šīs promocijas darbs aplūko transporta interneta sistēmu ar 802.11g un 802.11n protokoliem, dod eksperimentālu un analītisku novērtējumu.

Darba mērķis: darba galvenais uzdevums ir 802.11g un 802.11n protokolu transporta interneta sistēmu eksperimentālais un analītiskais novērtējums. Interneta lietotāji, lai novērtētu savienojuma kvalitāti, par svarīgu parametru uzskata veikspēju; šis parametrs atspoguļo lietotāja nodēriņas informācijas efektīvo daudzumu, neievērojot dienesta datus. Veikspēja tiek uzskatīta par galveno transporta interneta sistēmu novērtēšanas parametru šajā darbā.

Pētījumu metodika: Pamatojoties uz bezvadu tīkliem 802.11g un 802.11n, izmantojot bezvadu sadales sistēmas (WDS) tehnoloģiju, tika izstrādāts bezvadu mobilais tīkls. Pēc tam tika veikti eksperimentālie pētījumi, lai izveidotu transporta interneta sistēmu, pamatojoties uz šiem bezvadu tīkliem, kā arī lai izvērtētu tādu tīklu efektivitāti. Ņemot vērā eksperimentālus datus, parādījās iespēja izveidot un izanalizēt transporta interneta sistēmu analītiskos modeļus.

Pētīšanas rezultāti un zinātniskā novitāte: Šajā darbā, pamatojoties uz eksperimentālajiem datiem, tika atklātas un pierādītas atkarības transporta interneta sistēmu analīzei – piemēram, veikspējas eksponenciālā atkarība no darba staciju skaita, veikspējas kvadrātiskā atkarība no attāluma līdz bāzes stacijai, veikspējas lineārā atkarība no transportlīdzekļa pārvietošanas ātruma.

Šajā promocijas darbā tika analizēta veikspēja atkarībā no automobiļa ātruma. Tika novērtēti transporta iespējamie un maksimālie braukšanas ātrumi, ja tiek izmantotas interneta sistēmas ar 802.11g un 802.11n protokoliem.

Tika noteikta sakarības 802.11g un 802.11n protokolu transporta interneta sistēmu veikspējai.

Eksperimentāli un analītiski tiek pierādīts, ka Doplera efekts nav novērojams transporta interneta sistēmai ar 802.11g protokolu, ja transportlīdzekļa ātrums nepārsniedz 120km/st.

Tika izveidoti daži analītiskie modeļi, kas apstiprina 802.11g un 802.11n protokolu transporta interneta sistēmu efektivitāti, salīdzinot to ar esošajām datu pārraides mobilajām sistēmām. Izstrādāto analītisku modeļu pareizība, kā arī 802.11 protokola efektivitāte ir apstiprinātas ar imitācijas modelēšanu OPNET vidē.

Darba praktiskā vērtība: Pamatojoties uz pētījumiem, tika izstrādātas rekomendācijas bezvadu transporta interneta sistēmu modelēšanai, plānošanai un veidošanai.

Aizstāvamās tēzes:

- 1) Veikspējas eksponenciāla atkarība no darba staciju skaita transporta interneta sistēmai ar 802.11 protokolu, kas tika pierādīta eksperimentāli un analītiski.
- 2) Veikspējas kvadrātiska atkarība no darba stacijas attāluma transporta interneta sistēmai ar 802.11 protokolu, kas tika pierādīta eksperimentāli un analītiski.
- 3) Veikspējas atkarība no pārraides ātruma 802.11g un 802.11n protokolu transporta interneta sistēmās. Atkarības tika identificētas eksperimentāli.
- 4) Veikspējas atkarība no signāls/trokšņi attiecības transportlīdzeklim, strādājot 802.11g bezvadu tīklā, atkarība tika atklāta teorētiski un pierādīta eksperimentāli.

- 5) Transportlīdzekļa maksimālā ātruma ierobežojums. Maksimālais ātrums atļauj datu pārraidi transporta interneta sistēmās ar 802.11g protokolu un bezvadu sadales sistēmā (WDS).
- 6) Maksimālā ātruma ierobežojums ātrumos līdz 100 km/st netika konstatēts. Maksimālais ātrums atļauj datu pārraidi transporta interneta sistēmās ar 802.11g protokolu un bezvadu sadales sistēmā (WDS).
- 7) Sakarība starp veiktspējām transporta interneta sistēmās, kuru pamatā ir 802.11g un 802.11n tīkli.
- 8) Optimālais attālums starp darba stacijām, kas sastāda 280 m, ja transporta ātrums sasniedz līdz 100km/st.
- 9) Doplera efekta transporta interneta sistēmā ar 802.11g protokolu nav novērojams, ja transportlīdzekļa ātrums nepārsniedz 120 km/st.

Pētījuma rezultātu aprobācija un ieviešana: Tika noteikti galvenie priekšlikumi, apspriests un saņemts novērtējums septiņās starptautiskajās konferencēs.

- 1) RTU 47. studentu zinātniskās un tehniskās konference, Rīga, RTU, 2006. g. (A. Ipatovs, „Sevlīdzīgas plūsmas vadības metožu pētīšana”, 47. studentu zinātniskās un tehniskās konferences programma, p. 13, RTU, Rīga.
- 2) Electrical and Control Technologies 2006., Kaunas, Lietuva, 2006. g.
- 3) Electronics and Electrical Engineering 2006., Kaunas, Lietuva, 2006. g.
- 4) Electrical and Control Technologies 2008., Kaunas, Lietuva, 2008. g.
- 5) Electronics and Electrical Engineering, 2008., Kaunas, Lietuva, 2008. g.
- 6) Baltic Conference Advanced Topics in Telecommunication, Rostoka, Vācija, 2009. g.
- 7) Electronics and Electrical Engineering, 2011., Kaunas, Lietuva, 2011. g.

Publikācijas: Pētījuma rezultāti tiek publicēti septiņos starptautiskajos izdevumos

- 1) A.Ipatovs, E. Petersons. Performance Evaluation of WLAN depending on number of Workstations and Protocols // Proceedings of International Conference Electrical and Control Technologies, ISSN 9955-25054-2, 2006, 266.-270. lpp.
- 2) A.Ipatovs, E. Petersons. The Drive-thru Internet system installation for Mobile Users // Proceedings of International Conference Electrical and Control Technologies, ISSN 978-9955-25-484, 2008, 13.-17. lpp.
- 3) A.Ipatovs, E. Petersons. An Experimental Performance Evaluation of the Drive-thru Internet system for Mobile Users // Electronics and electronic engineering, ISSN 1392-1215, 2009, No. 5(93). 21.-24. lpp.
- 4) A.Ipatovs, E. Petersons. Реальная скорость передачи данных и соотношение сигнал/шум в беспроводной сети связи с подвижными объектами // AVT, ISSN 0132-4160, 2009, 56.-65. lpp.
- 5) A.Ipatovs, E. Petersons. Real speed of data transfer and the signal-to-noise ratio in a wireless net for connection with drive-thru vehicles // Allerton Press, Inc. distributed exclusively by Springer Science+Business Media LLC, ISSN 0146-4116, 2009, 40.- 46. lpp.
- 6) Jansons J., Ipatovs A., Pētersons E. Estimation of Doppler Shift for IEEE 802.11g Standart // Baltic Conference Advanced Topics in Telecommunication. - Rostoka, Vācija: Rostokas Universitātes izdevniecība 1111-09, 2009. - 73.-82. lpp.

- 7) Jansons J., Ipatovs A., Pētersons E. Model for Wireless Base Station Goodput Evaluation in Vehicular Communication Systems. // Electronics and Electrical Engineering. No. 5 (111), Kaunas, 2011, 19. - 22. lpp.

Promocijas darba rezultāti tika izmantoti sekojošos projektos:

- 1) RTU V1308:* Intelektuālo transporta sistēmu bezvadu datu pārraides tīklu analīze un modelēšana 1.10.2007 – 15.09.2008
- 2) LZP Nr. 04.1260:* Tīklu resursu iedalīšana servisa kvalitātes nodrošināšanai sev līdzīgas darba slodzes vidē 2004. – 2008.g
- 3) VPP, Nr. V7408.2 „Jaunas elektronisko sakaru tehnoloģijas”:* ”Reālo stendu izveidošana datoru tīklu trafika mērīšanai un optimālai regulēšanai sakaros ar mobiliem objektiem”
- 4) VPP, V7552.2:* Bezvadu tīklu pārejas procesa imitācijas modeļa izpēte un realizācija. Pārejas procesa modelēšana. Modelēšanas rezultātu novērtēšana 01.01.2009 – 31.03.2009
- 5) VPP, V7552.2:* Bezvadu tīklu pārejas procesa imitācijas modeļa izpēte un realizācija 01.01.2009 – 31.12.2009

Disertācijas apjoms un struktūra: Disertācija sastāv no ievada, 5 nodaļām, slēdzieniem uz 127.lpp. un satur 12 tabulas, 53 zīmējumus. Disertācija satur izmantotās literatūras sarakstu no 90 avotiem un 1 pielikumu.

Pētījuma aktualitāte un svarīgums, kā arī virziens un mērķis, tiek aprakstīti ievadā.

Otrajā nodaļā autors apraksta transporta interneta sistēmu statistisko analīzi. Šajā nodaļā tiek aprakstīti dati, kas tika iegūti, pētot bezvadu tīklus statistiskajā režīmā, kad klients atrodas nekustīgajā stāvoklī.

Eksperimentāli un analītiski tiek noteikta veiktspējas eksponenciāla atkarība no darba staciju skaita transporta interneta sistēmās. Eksperimentāli un analītiski tiek noteikta veiktspējas kvadrātiskā atkarība no darba staciju skaita transporta interneta sistēmās. Ņemot vērā šos datus, tika izstrādāts analītiskais modelis, lai noteiktu veiktspējas atkarību no bezvadu tīkla klientu skaita.

Darba trešajā nodaļā analizēta transporta interneta sistēma. Šajā nodaļā sīki aprakstīti eksperimentālie tīkli, kuru pamatā ir 802.11g un 802.11n un WDS. Sniegti eksperimentālie dati, kas tika iegūti tīklu pētījuma rezultātā. Autors pierādīja veiktspējas atkarību no pārraides ātruma transporta interneta sistēmās ar 802.11g un 802.11n protokoliem. Šiem paraugiem tika eksperimentāli identificētas veiktspējas atkarības no signāls / trokšņi attiecības transportlīdzeklim, kurš veido sakarus ar darba staciju pēc 802.11g protokola, tiek atklāta teorētiski un eksperimentāli. Tiek noteikta sakarība veiktspējai transporta interneta sistēmās ar 802.11g un 802.11n protokoliem.

Ceturtajā nodaļā tiek aprakstīts veiktspējas analītiskais novērtējums transporta interneta sistēmās. Modelis, kas tiek aprakstīts šajā nodaļā, palīdz noteikt transportlīdzekļu skaitu, atkarībā no attāluma līdz bāzes stacijai un noteikt efektīvo datu pārraides ātrumu N-transportlīdzekļiem, kuri atrodas transporta interneta sistēmas bāzes stacijas apkalpošanas zonā.

Piektajā nodaļā autors apraksta doplera efekta novērtējumu IEEE 802.11g standartam. Doplera efekts var veicināt būtiskas problēmas, ja pārraides tehnika ir jutīga pret nesēja frekvencēm vai ja relatīvais ātrums ir pārāk augsts. Kad elektromagnētisko viļņu avots un saņēmējs pārvietojās pretējos virzienos, saņēmēja signāla frekvence atšķirsies no avota signāla frekvences. Šajā nodaļā autors pārbauda Doplera efekta ietekmi uz transporta interneta sistēmu teorētiski un eksperimentāli.

Sestā nodaļā apraksta transporta interneta sistēmas daudzfunkcionālas bāzes imitāciju Opnet vidē. Dati, kas tika iegūti transporta interneta sistēmas modelēšanas laikā, tika novērtēti un salīdzināti ar

eksperimentālajiem datiem. Attālums starp bāzes stacijām tiek noteikts transporta interneta sistēmas modelēšanas laikā.

Rezultātu analīze, apspriešana un plāni tālākam pētījumam aprakstīti pēdējā nodaļā.

Pielikums satur veikspējas grafikus, kuri nav iekļauti disertācijas tekstā.

Detalizēts kopsavilkums

1. Nodaļa. Ievads

Dažu pēdējo gadu laikā mēs esam liecinieki ar Internetu savienoto automobiļu skaita palielinājumam [42]. Visi rādītāji pierāda, ka šī tendence turpināties, un drīz transportlīdzekļi kļūs par pirmās klases pilsoņiem internetā. Transporta interneta tīkli sniedz jaunās klases pielikumus – no automobiļu kontroles un diagnostikas līdz pasažieru apkalpošanai, komunikācijai un izklaides pasākumiem.

Ātra progresā dēļ bezvadu tehnoloģija, Internets kļūst arvien mobilāks. Ne tikai tālruni paliek noderīgāki un visur esošāki; tāpat automobiļu ražotāji meklē jaunus līdzekļus Interneta savienojumu veidošanai, lai nodrošinātu uzlabotus pielikumus automobiļu apkalpošanai - piemēram - kontrole un diagnostika, ceļu palīdzība – tajā skaitā maršruta navigācijas nodrošinājums, laika apstākļu kartes un automātiskie maksājumi, kā arī pasažieru izklaide, dažādi Internet pielikumu veidi. Pašlaik vairāki savienoti ar Internetu automobiļi paļaujas uz telemātikas sistēmām ar šaurjoslas platuma pieeju (piemēram, satelīts), kuras neatbilst jaunu pielikumu vajadzībām. Ir sagaidāms, ka tāda situācija ātri izmainīsies tuvākajā laikā. Pētījuma laikā daži automobiļu ražotāji, piemēram General Motors, piedāvāja pieeju pie Interneta dažiem automobiļu modeļiem ar trešās paaudzes (3G) tīklu [44]; citi ražotāji izskata arī iespēju piedāvāt Interneta pieeju savienojamību automobiļiem vai tālrunu pielikumus automobiļiem [43]. Šī tendence ļauj secināt, ka nākamajos gados automobiļu desmiti miljonu tiks savienoti ar Internetu, un tiks ražoti jauni automobiļi, kuru pamatā ir Interneta pielikumi un pakalpojumi, kas ietekmēs ražotāju un pasažieru pieredzi.

Pašlaik populārākais datu pārraides tīkls mobilajos tīklos ir 3G – trešās paaudzes tīkls. 3G tīkli nodrošina divus galvenos pakalpojumus – datu pārraidi un balsis pārraidi. Saskaņā ar ITU noteikumiem (Starptautiskā telekomunikāciju apvienība) 3G tīkli atbalsta sekojošus pārraides ātrumus:

- abonentiem ar augstu kustīgumu (līdz 20 km/st.) — ne vairāk par 144 kBit/sek.;
- abonentiem ar zemu kustīgumu (līdz 3 km/st.) — 384 kBit/sek.;
- nekustīgajiem objektiem — 2048 kBit/sek.

Laiks pierāda, ka lietotājiem jāpalielina datu pārraides ātrumi. 10 gadus atpakaļ standarta datu pārraides ātrums sastādīja 1 Mbit/sek. – stacionārais datu pārraides režīms. Pašlaik standarta datu pārraides ātrums sastāda 100 Mbit/sek. un vairāk.

Mobilo datu pārraides tīklu izstrādātāju galvenais uzdevums ir palielināt datu pārraides ātrumu līdz stacionāro sistēmu līmenim. Tas nozīmē, ka klientam jābūt apmierinātam ar mobilo bezvadu tīklu, t.i., abonentiem jānodrošina iespēja skatīties translācijas daudzajos kanālos un kontrolēt tehniku ar mobilajām ierīcēm, kā arī veikt starppilsētu zvanus.

Daudzas valstis uzsāka jaunu 4G, ceturtās paaudzes, tīklu ieviešanu, kas ļauj sasniegt datu pārraides ātrumus līdz 1 Mbit/sek stacionārajos apstākļos un sasniegt datu pārraides ātrumu līdz 100 Mbit/sek datu apmaiņas apstākļos ar mobilajām ierīcēm.

Diemžēl, šim tīklam ir arī daži trūkumi. Pirmais trūkums ir tādu transportlīdzekļu pietrūkums, kas varētu darboties ar 4G tīkliem, jo enerģijas patēriņš ir augsts. Svarīgā problēma 4G izplatīšanas procesā ir investoru darbības zemā aktivitāte. Ceturtās paaudzes tīklu attīstība tiek aizkavēta, jo 3G tīkliem ir intensīvas un plašas attīstības augstais potenciāls.

Transporta interneta sistēmām ar 802.11n protokolu ir pozitīvais attīstības potenciāls. Šī tehnoloģija ļauj sasniegt datu pārraides ātrumus līdz 600 Mbit/sek un tas apmierina lietotāju vajadzības. Šīs tehnoloģijas ieviešanas izdevumi ir zemāki par 4G tīklu ieviešanas izdevumiem.

Palielinājās komerciālā un pētnieciskā interese bezvadu tehnoloģiju izmantošanai, piemēram WiMax un WiFi, lai nodrošinātu interneta pieeju lietotājiem pārvietojamajos transportlīdzekļos. Tādas sistēmas, kuras sauc par transporta internetu [46], darbojas ar piekļūšanas punktiem (AP) pilsētas ceļos un maģistrālēs, lai nodrošinātu transportlīdzekļu lietotājiem Interneta pieeju ar īslaicīgo savienojumu ar AP, kamēr transportlīdzeklis pārvietojās AP diapazonā.

Transporta interneta sistēmu svarīga īpatnība ir AP joslas platuma sadalīšana starp transportlīdzekļiem, kuri vienlaikus atrodas AP apkalpojamajā šūnā. Daudzajām AP resursa sadalīšanas shēmām vai protokoliem datu daudzums, kuru transportlīdzeklis var saņemt no AP, ir atkarīgs no diviem galvenajiem faktoriem, kuri ir: (a) periods vai pagaidu uzturēšanās laiks, kurā transportlīdzeklis atrodas AP zonā, un (b) mainīgais transportlīdzekļu skaits, kuri vienlaikus atrodas AP jostas platuma diapazonā pagaidu uzturēšanās laika periodā.

Transportlīdzekļa pagaidu uzturēšanās laiku nosaka transportlīdzekļa ātrums un AP zonas izmēri. Savukārt, transportlīdzekļa ātrumu ietekmē transportlīdzekļu mijiedarbība ceļā. Tas veido interesantas un svarīgās mijiedarbības starp satiksmes plūsmas parametriem, transporta interneta sistēmas iestatījumiem un individuāla transportlīdzekļa datu ielādēšanu šajā transporta interneta sistēmā.

Disertācijas priekšmets ir IEEE 802.11 Transporta interneta sistēmas pētīšana, modelēšana, veidošana un analīze tālākajai izmantošanai mūsdienu transporta komunikācijās.

Pētījuma galvenais raksturojums ir veiktspēja. Veiktspēja ir caurlaidspējas līmeņa pielikums, derīgā informācija gala lietotājam (bits), kas tika iegūta no tīkla noteiktā laika intervālā.

Datu apjoms iekļauj sevī protokola bitu virspatēriņu, kā arī retranslētas datu paketes. Tas ir saistīts ar laika periodu, kad pirmās paketes pirmais bits tika nosūtīts (vai piegādāts) līdz momentam, kad pēdējās paketes pēdējais bits tiks piegādāts. Kad fails tiek pārraidīts, veiktspējai atbilst lietotāja faila izmēra bitos attiecība pret faila pārraides laiku. Veiktspēja ir vienmēr zemāka par produktivitāti (tīrais bitu ātrums, kurš tiek nodots fiziski), kas kopumā ir zemāks par tīkla piekļuves pārraides ātrumu (kanāla kapacitāte, kurai atbilst noteiktais jostas platums).

Šis raksturojums ir īpaši svarīgs pētījumam, jo tas ir kritisks gala lietotājam. Lai to novērtētu, jānosaka, vai transporta interneta sistēmas izmantošana ir iespējama.

Pirmās eksperimentāla Transporta interneta sistēmas izveidošanas laikā, IEEE 802.11 protokola faktiskais standarts bija 802.11g standarts. Turpmāk tiek plānots izpētīt citus standartus, bet šajā disertācijā 802.11g standarts tiek uzskatīts par galveno standartu. Tāpēc pirms, IEEE 802.11n standarta (DRAFT 11.0) galīgas versijas izdošanas, kas tika pieņemta 2009. g. 11. septembrī, pētījuma mērķis nebija iekļaut standarta izpēti rezultātus šajā darbā.

Standarta pieņemšanas laikā daudzās ierīces jau atbalstīja DRAFT 2.0, kuram nav būtisku atšķirību no pēdējās versijas. Tomēr, jaunās ierīces, kas pilnībā atbalsta pēdējo standarta versiju uzsāka parādīties tirgū tikai 2010.g.vidū. Par cik parādījās tāda iespēja, paralēli tika uzsākti IEEE 802.11n standarta pētījumi. Saskaņā ar pētījuma rezultātiem, tika atklātas dažas priekšrocības jaunajā IEEE 802.11n standartā. Tālāk tika nolemts iekļaut šī standarta pētījuma rezultātus disertācijas galīgajā versijā.

Transporta interneta sistēmu attīstības un eksperimentālo pētījumu laikā tika noteiktas dažas problēmas, kurām jāatrod risinājums, jāapdomā šo problēmu risināšanas veidi. Viena no problēmām ir saistīta ar protokola izvēli. Otrā problēma ir saistīta ar ierīces izvēli pētījumam. Bija jāizvēlas ierīce no daudzajām ierīcēm, kas ir pieejamas tirgū.

Dažas ierīces jau tika iepriekš minētas. Visām ierīcēm jādarbojas atbilstoši. Attālums starp datu pārraides stacijām un to mijiedarbība ir atkarīga no piekļūšanas punkta (AP) un attiecīgas antenas izvēles.

Datu pārraides laikā transportlīdzekļu komunikācijas kanālos var veidoties Doplera efekts. Doplera efekts var veidot būtiskas problēmas, ja pārraides tehnika ir jutīga pret nesēja frekvencēm, vai arī relatīvais ātrums ir pārāk augsts. Kad elektromagnētiskā viļņa avots un saņēmējs pārvietojās pretējos virzienos, saņēmēja signāla frekvence atšķirsies no avota signāla frekvences.

Kad tie tuvojās viens otram, saņēmēja signāla frekvence ir augstākā, nekā avota signāla frekvence. Ja tie attālinās viens no otra, saņēmēja signāla frekvence būs zemāka nekā avota signāla frekvence. Šo parādību dēvē par Doplera efektu. Doplera efekts ir atkarīgs no relatīvās kustības starp

avotu un saņēmēju un no viļņu izplatīšanas ātruma. Ņemot vērā iepriekšminēto, top svarīgais jautājums: vai Doplera efekts ietekmē veikspēju, un ja ietekmē - kādā mērā.

Dažas problēmas tiek saistītas ar transportlīdzekļa kustību no viena piekļūšanas punkta (AP) līdz citam piekļūšanas punktam saistībā ar pārtveres lēmumu. Ja tīkla pārklājuma fāze veido potenciālus virzienus, kuros var novirzīt pārtveri, tad pārtveres lēmuma fāze izmanto šo sarakstu, lai noteiktu, kad un kur pārtvere notiks.

Tādu lēmumu kopējie kritēriji iekļauj zemākā slāņa parametrus, piemēram, Saņēmēja Signāla Jaudas Rādītājs (RSSI), paketes zudumi un aizkavējumi, pilnā ielādēšana dotajā saitē. Parametri var būt noteikti lokāli, izmantojot mobilo pārraidi, kā arī attālināti, izmantojot tīkla līmeni vai piekļūšanas punktu (AP), kas ieņem pašreizējo pozīciju (vai pat visos pieejas punktos potenciālas pārtveres virzienos). Ir jāatzīmē, ka attālinātie mērījumi izmanto virstēriņu sistēmas paziņojumu kontroles apstākļos, kad tiek saņemts signāls par informācijas piegādi no pārraidāmā objekta. Šis objekts var atkal pārvietoties mobilajā tīklā.

Šajā disertācijā tika eksperimentāli izpētīta maģistrāle ar vienu līniju, t.i. tika apskatīts tikai viens transportlīdzeklis šajā maģistrālē. Reālajā dzīvē līniju skaits var mainīties no 2 līdz 10, vai pat vairāk. Attiecīgi, transportlīdzekļu skaits arī var mainīties. Datu pārraides ātrums ir atkarīgs no izplatīšanas blīvuma vai no transportlīdzekļu skaita. Uzdevums ir noteikt šo sakarību un simulēt tādu procesu.

Vēl jāpiemin IEEE 802.11p standartu, kurš tika īpaši veidots transportlīdzekļu tīkliem, bet tas izmanto 5.85-5.925 GHz diapazona radiofrekvences. Ierīce šim tīklam nav lēta. Protams, arī 802.11g vai 802.11n standarti var būt izmantojami veikspējas analīzei. Turklāt 802.11g un 802.11n standarti var būt izmantoti saskaņā ar V2R scenāriju. Tāds viedoklis tiek pierādīts ar eksperimentiem un modelēšanu šajā darbā.

Stabilās bezvadu komunikācijas ir atkarīgas no komunikācijas sistēmas robustuma, drošuma un noderības. Pagājušajās desmitgadēs tas tika sasniegts ar ārkārtēji augstajām sistēmas cenām un speciālajiem risinājumiem, kuri nav savstarpēji savietojami.

Saskaroties ar stingrajiem izdevumu ierobežojumiem, pārādījās nepieciešamība dažādu ražotāju aparatūras savietojamībai un vēlme iekļaut eksistējošās infrastruktūras. Sabiedrības drošība paaugstinājusies, pateicoties tehnoloģiju izmantošanai savienojumā ar specializētajām un komerciālajām komunikācijas sistēmām. Bezvadu ierīces, kuras var atrast tirgū, izstrādātas 802.11g un 802.11n standartiem, un tās ir vēlāmākās izstrādātājiem un galīgiem lietotājiem.

2. Nodaļa. Transporta interneta sistēmu statistiskā analīze

Transporta interneta sistēmu izstrādāšanas laikā veidojās dažas problēmas transportlīdzekļiem. Un transporta interneta sistēmu izstrādātājiem ir jārisina šīs problēmas.

Viena problēma ir noteikt transportlīdzekļu skaitu, kurš ietekmēs darba stacijas kvalitāti. Šī problēma ir aktuāla; tā kā datu pārraides efektīvais ātrums ir atkarīgs no klientu skaita, kuri atrodas darba stacijas zonā, un šādu datu pārraides efektīvo ātrumu sauc par „veiktspēju”. Šī nodaļa apraksta bezvadu klientu skaita efektu uz tīkliem.

Šajā nodaļā tiek veikti 802.11g standarta transporta interneta sistēmas eksperimenti ar mērķi noteikt atkarību no tīkla klientu skaita. Par galveno sistēmu šādiem eksperimentiem kļuva kompānijas "Netiq" programma "Chariot". Tā sastāv no gala punktu produktivitātes mērīka atbalstamajā operētājsistēmā (Windows ME/NT/2000/XP, Linux vai Solaris/x86 Sun) un no centrālas konsoles mēroga kontrolei. Jebkādu gala punktus var apvienot komunikācijas. Katram pārim ir komunikācijas protokols (TCP, UDP, RTP, tajā skaitā varianti IPv6, kā arī Spx, lpx un APPC) bez ierobežojumiem un lietotāja protokols. "Chariot" programma var simulēt daudzus komunikācijas procesus.

Transporta interneta sistēmas analīzei ir standarta "Goodput" scenārijs, kurš veido standarta tīkla kustību. Eksperimenti tiek veikti gan ar informācijas fiksēto apjomu, gan ierobežotos laika intervālos. Mūsu izmēģinājumā tika izmantotā otrā metode. Mums nebija nekādu skaidru rādītāju (efektīvās veiktspējas vidēja vērtība, reakcijas laiks un datu pārraides ātrums), bet mēs varam redzēt absolūto vērtību izmaiņas laikā (grafika rezultāti). Ir viegli saskatāmas novirzes, tāpēc ir iespējams atkārtot eksperimentus vairākas reizes. Līdz ar to, var redzēt dažādu faktoru ietekmi uz veiktspēju. Ja vienā šūnā ir divi protokoli, piemēram, 802.11.b. un 802.11.g, klients, kuram ir "g" standarts, varēs novērot, ka viņa veiktspēja samazināsies. "Chariot" programma padara šo situāciju par vieglāku, jo savienotie pāri var uzsākt datu nosūtīšanu ar gadījuma rakstura laika aizkavēšanu vienas sesijas laikā.

"Chariot" programma tiek uzstādīta serverī. "Chariot" programmas klienta versija tiek uzstādīta mūsu tīkla citos datoros.

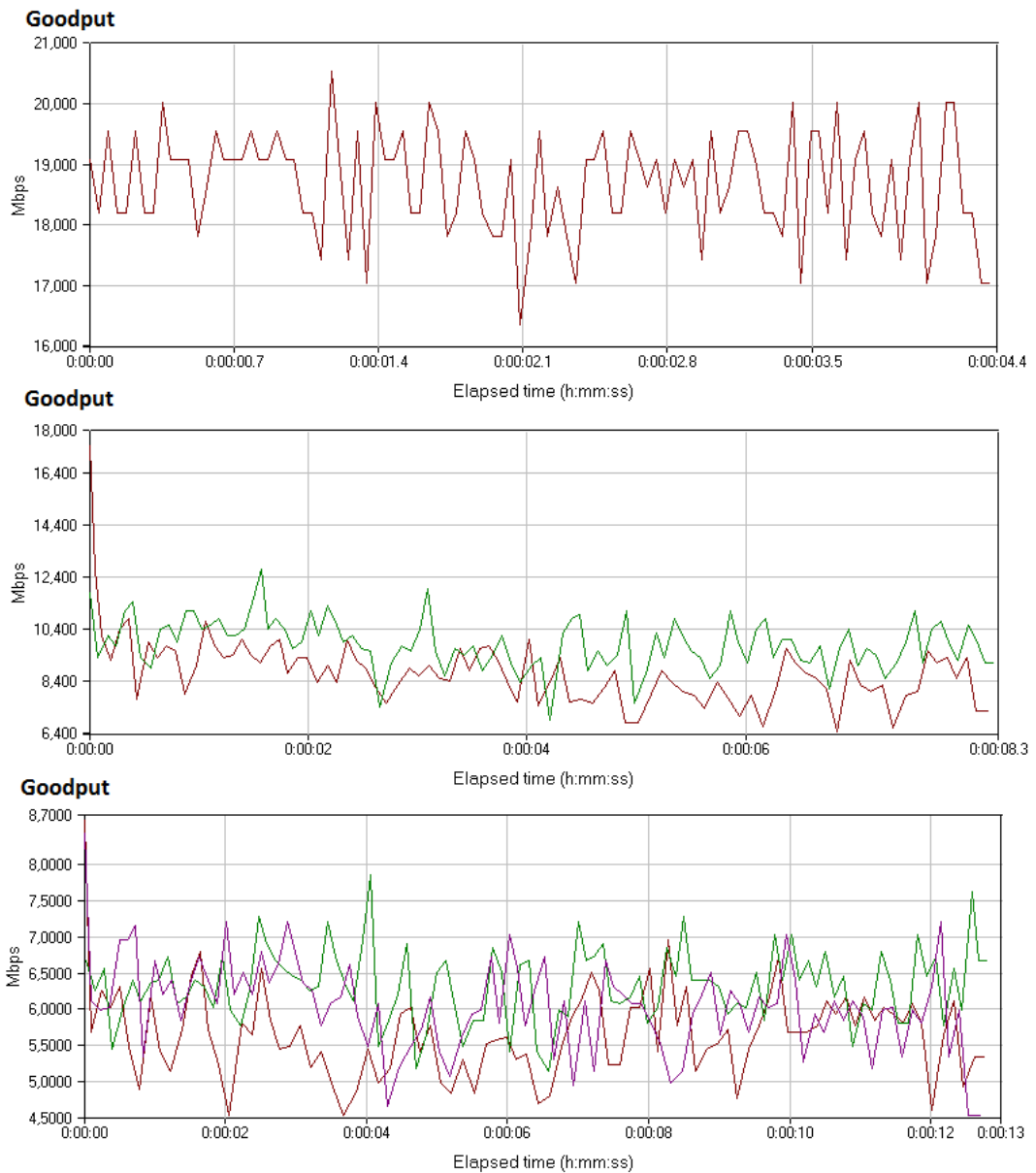
Vispirms tika noteikta tīkla maksimālā veiktspēja ar vienu darba staciju. Tā sastāda 18.15 Mbps. Bet D-link pieejas punkta nomināla veiktspēja sastāda 54 Mbps. Pēc tam darba staciju skaits tika palielināts. Tādā veidā var iegūt veiktspējas dažādas vidējās vērtības dažādiem darba staciju skaitiem.

1.att. ir parādīti daži eksperimentu rezultāti. Katram gadījumam: vienai, divām un trijām darba stacijām ir savs rezultāts. Lai noteiktu ar pietiekamo precizitāti, mēs veicam vairākus mērījumus un noteicam vidējās vērtības. Šie rezultāti tiek parādīti 1.tabulā. Ir jāpiemin, ka klienta Veiktspēja tabulā ir Veiktspēja, kuru var izmantot arī galīgs lietotājs.

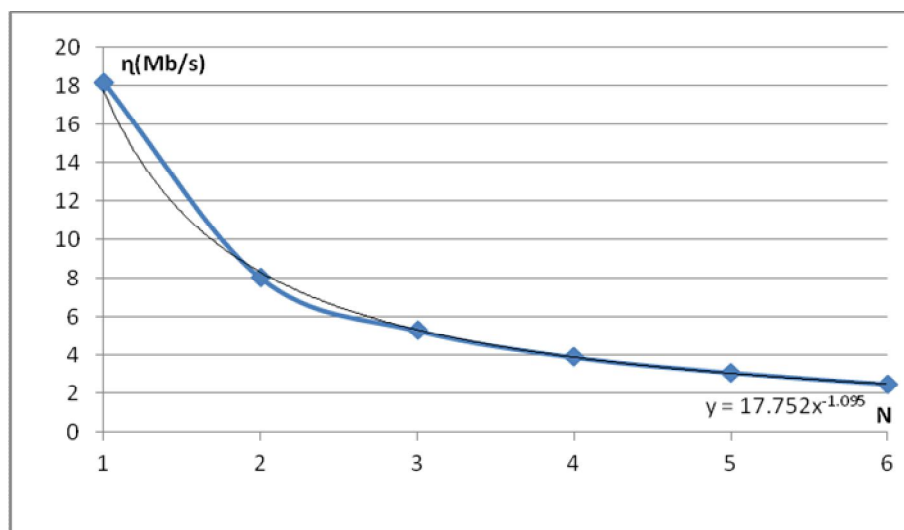
Darbastaciju skaits	Eksperiments	Modelēšana
1	18.15	18.15
2	8.02	7.98
3	5.3	5.35
4	3.9	4
5	3.1	3.2
6	2.5	2.6

1. Tabula. Praktiskā eksperimenta un matemātiskās modelēšanas rezultāti

No šiem rezultātiem var secināt, ka veiktspējas samazināšana ir atkarīga no darba staciju skaita, pie tam samazināšana nav lineāra (skat. 2.att.).



1.att. Veiktspējas grafika analīze "Chariot" programmā (viens, divas, trīs darba stacijas).



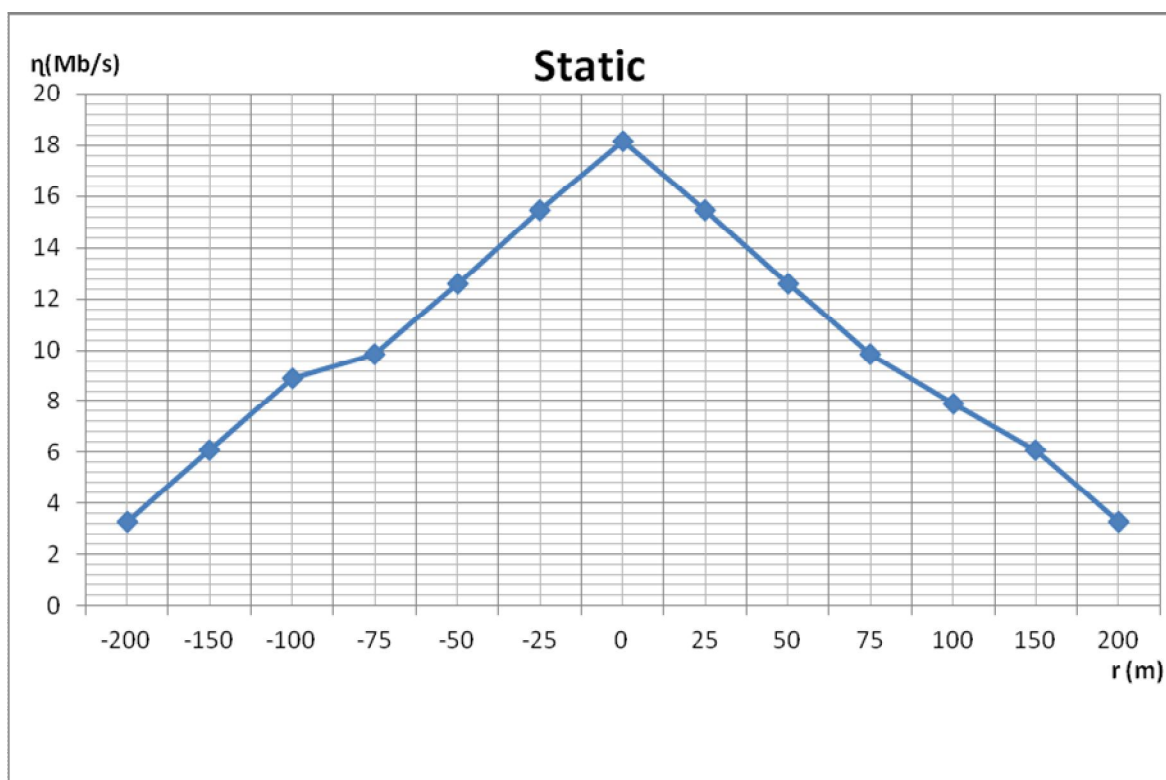
2.att. Eksperimentālās veiktspējas (Mbps) samazināšana atkarībā no darba staciju skaita un tīkla tendences.

Pēc šī grafika ir iespējams noteikt aptuveni reālo veiktspēju katrai stacionārajai transporta interneta sistēmai atkarībā no darba staciju skaita. Taču ir arī tāds modelis, kurš var palīdzēt noteikt transporta interneta sistēmas veiktspēju precīzāk [32]. Un mēs varam konstatēt, ka Veiktspēja Y ir saistīta ar vienlaicīgo darba staciju x skaitu pēc šādas likumsakarības

$$Y = 17,752 \times x^{-1,095} .$$

Ir skaidrs, ka transporta interneta sistēmas veiktspēja ir atkarīga no attāluma līdz pieejas punktam. Transporta interneta sistēmas veiktspēja ir atkarīga no tā, kāds modulācijas veids tiek izmantots.

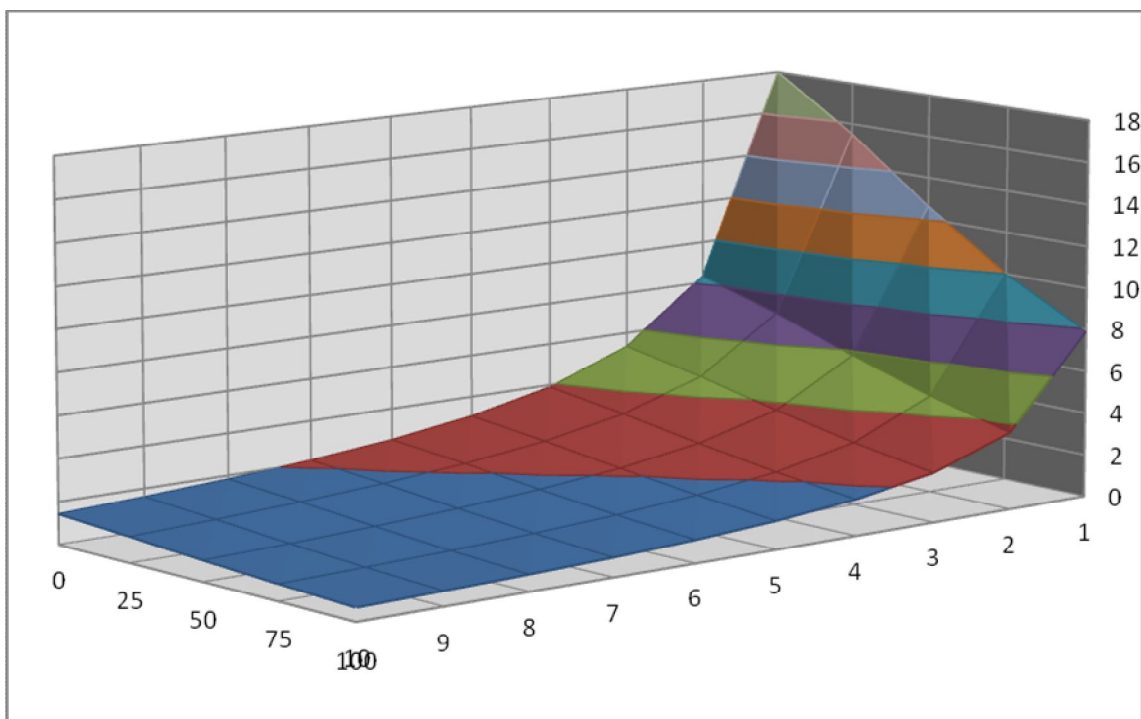
3.att. grafikā ar zilo līniju parādīta eksperimentālo veiktspējas novērtējumu atkarība no attāluma līdz savstarpēji apvienotajiem ceļa pieejas punktiem (AP) stacionārajā režīmā. Vairāk par šo eksperimentu var izlasīt [31].



3.att. Veiktspējas (Mbps) salīdzināšanas grafiks transporta interneta sistēmai (802.11g) atkarībā no attāluma (m) līdz pieejas punktam.

Nemot vērā šo grafiku, var secināt, kā veiktspēja mainīsies atkarībā no attāluma līdz pieejas punktam. Apvienojot divas askatītas atkarības, var izveidot kopējo grafika virsmu 3D telpā (skat. 4.att.).

Pastāv trīs atšķirīgas veiktspējas vērtības. Pirmo var nosaukt par kopējo, otro - par nosacīto veiktspēju un trešo - par individuālo veiktspēju. 6.att. nosacītā veiktspēja 100 m attālumā no pieejas punkta diviem lietotājiem sastāda 16,04 Mbps, bet vidējā individuāla veiktspēja sastāda 8,02 Mbps. Nosacītā AP veiktspējas vērtība apraksta gadījumu, kad AP apkalpo noteikto klientu skaitu. Nosacītā veiktspēja ir mazāka par kopējo, tāpēc ka AP iekļauti kontroles procesā ar dažām klienta stacijām. Kopējo veiktspēju var noteikt, ja savienot tikai vienu klientu ar AP, gadījumā ja nav virstēriņu transporta interneta sistēmā.



1. att. Veiktspējas (Mbps) trīsdimensiju virsma atkarībā no darba staciju skaita un attāluma (m) līdz pieejas punktam.

Ja izstrādātājs plāno veidot jauno Transporta interneta sistēmu, jāveic prognoze atkarībā no tīkla struktūras un ierīces specifikas. Sistēmas matemātiskais modelis sniedz būtisku palīdzību šajā situācijā. Adekvāta matemātiskā modeļa konstruēšanas problēma ir objektīvu noteikumu trūkums pārejai no projektētās sistēmas tehnikas un tehnoloģijas vērtībām uz modeļa matemātiskajiem simboliem, piemēram, pārejas iespēja, modeļa pakalpojumu intensitāte u.t.t. Šajā darbā mēs mēģinājām izveidot matemātisko modeli, izmantojot 802.11.g protokola transporta interneta sistēmas izmēģinājuma praktiskus rezultātus. Šis modelis apvieno sevī rindošanas sistēmu klasi.

Darba staciju skaits tīklā tiek apzīmēts ar M . Pieprasījumu intensitāte no vienas stacijas līdz pieejas punktam tiek apzīmēta ar λ . Tādēļ pieprasījumu kopējā intensitāte būs

$$\Lambda = \lambda(M - i), \quad (1)$$

kur M ir darba staciju skaits tīklā un i ir pieprasījumu skaits serverī.

Pieprasījumu plūsmas aprakstam varam pielietot transakciju plūsmu (1500 baitu plūsmas paketes). Katru pieprasījumu vispirms apkalpo bāzes stacija, pēc tam to apkalpo serveris. Servera veiktspēja eksperimenta laikā ir liela, tāpēc ir iespējams noņemt serveri no modeļa. Tieši tāpēc pieprasījumu apkalpošana turpināsies tikai pieejas punktā. Pieprasījumu apkalpošanas intensitāti mēs apzīmējam ar μ . Intervāli starp pieprasījumiem un intervāli apkalpošanas laikā ir gadījuma lielumi un tiem ir savi nezināmie sadalījuma likumi. Tomēr, saskaņā ar [1] un [2], racionālās varbūtības gadījumā apkalpošanas laika izdalīšanas (pieprasījumu apkalpošanas režīms ar laika izdalīšanu vai procesoru resursu sadale, kā tas ir apskatamajā gadījumā) apkalpošanas laikā var tuvināties eksponenciāli sadalītājam lielumam. Šajā gadījumā pieminēto mainīgo lielumu vidējās vērtības sastāda $1/\lambda$ un $1/\mu$.

Saskaņā ar šo modeli, tīkla veiktspēju var izteikt šādi:

$$\eta = (1 - p_0)\mu, \quad (2)$$

kur p_0 - sistēmas varbūtība bez pieprasījumiem apkalpošanai. Tad veiktspēja vienai tīkla darba stacijai sastādīs:

$$\eta = (1 - p_0) \mu / M, \quad (3)$$

kur M ir darba staciju skaits tīklā un ($M \geq 2$).

Pēc modeļa izveidošanas un analīzes varam aprēķināt:

$$p_0 = \left[\sum_{k=0}^M \frac{M!}{(M-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \right]^{-1}. \quad (4)$$

Piešķirsim skaitliskās vērtības modeļa mainīgajiem lielumiem. Pirmkārt, mēs aplūkosim apkalpošanas intensitāti, kas ir vienāda ar veiktspējas maksimālo vērtību. Šī vērtība tika noteikta ar "Chariot" programmu, veicot pieejas punkta maksimālo noslogošanu no vienas darba stacijas.

Noteiksim punkta veiktspēju atkarībā no darba staciju daudzuma:

$$\eta_1 = f(M) = (1 - [\varepsilon]^{-1}) \mu / M, \quad (5)$$

Tagad mēs varam apskatīt pieejas punkta intensīvo noslogošanu, kad $\lambda \rightarrow \mu$, bet $(\lambda / \mu) \rightarrow 1$.

3. Nodaļa. Transporta interneta sistēmu analīze

Pirmā problēma bija eksperimentāli izpētīt atkarību no datu apmaiņas ātruma starp transportlīdzekli un stacionārā datora tīkla serveri, transportlīdzeklim pārvietojoties ar noteikto ātrumu. Ir jānovērtē signāls/trokšņi attiecībā datu pārraides momentā un jānosaka funkcionālās atkarības veidu starp signāls/trokšņi attiecību un datu pārraides efektīvo ātrumu. Lai atrisinātu šo problēmu, tika izstrādāts atbilstošais eksperimentālais pamats.

Tika izpētīta autostrādes daļa kā viena no populārākiem un perspektīviem transporta mezgļiem nākamajai attīstībai. Lai samazinātu ārējo signālu ietekmes faktoru uz eksperimentālo tīklu, pētījuma izmēģinājumiem tika izvēlēts lidlauks Rumbula, Rīgā.

Pētījuma izmēģinājumiem ar 802.11g standartu tika izmantoti trīs Linksys savstarpēji apvienoti ceļa pieejas punkti (WRT54GL vl.1). Pieejas punktus tika uzstādīta aparātprogrammatūra Tomato 1.19.

Pētījuma izmēģinājumiem ar 802.11g standartu tika izmantoti Asus RT-N16 savstarpēji apvienoti ceļa pieejas punkti (AP) ar TP-Link (2.4GHz, 8dBi Omni-directional Antenas). Pēdējā aparātprogrammatūra DD-WRT v24-14929 tika uzstādīta Asus savstarpēji apvienotajos ceļa pieejas punktos (AP) eksperimentu laikā.

Enerģija savstarpēji apvienotajos ceļa pieejas punktos (AP) tika padota no Ups bloka APC 500. Reālajai sistēmai nav nepieciešams Ups bloks APC 500, jo savstarpēji apvienoti ceļa pieejas punkti (AP) var būt izvietoti gar autostrādēm, piemēram, stabos.

Visi trīs savstarpēji apvienoti ceļa pieejas punkti (AP) tika savienoti vienā transporta interneta sistēmā, izmantojot bezvadu sadales sistēmas (WDS) tehnoloģiju eksperimentu veikšanai ar 802.11g un 802.11n standartiem. IEEE 802.11 terminoloģijā "Sadales sistēma" ir sistēma, kura savstarpēji apvieno tā saucamās Basic Service Sets (Galvenās apkalpošanas ierīces) (BSS). BSS var salīdzināt ar "šūnām", kuras vada viens pieejas punkts. "Sadales sistēma" apvieno šūnas, lai izveidotu teritoriālo tīklu, kas atļaus mobilo ierīču lietotājiem palikt savienotiem ar tīklā pieejamajiem resursiem.

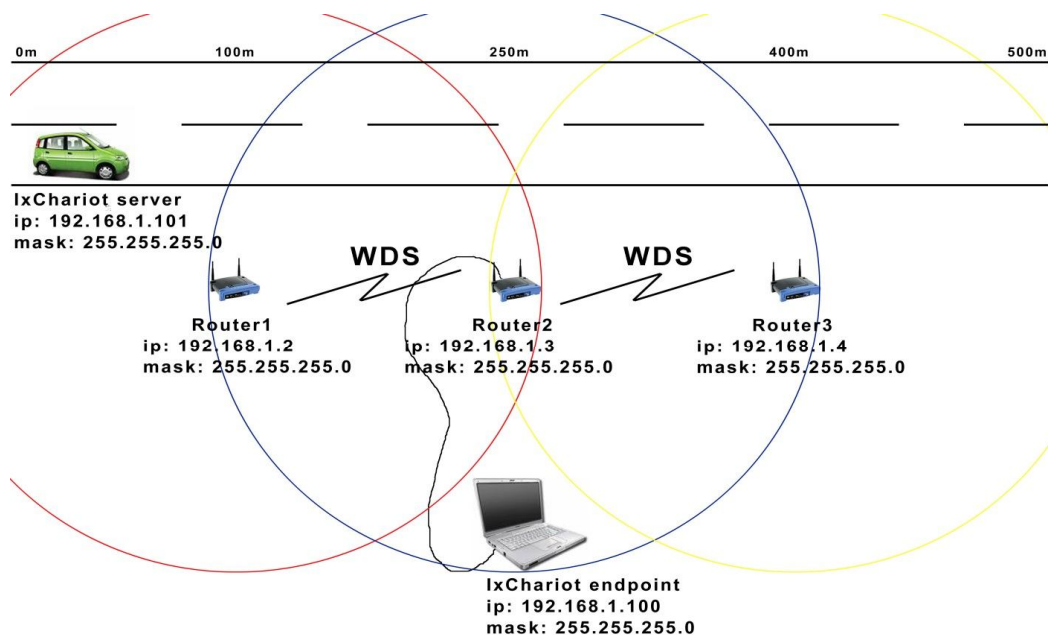
Citiem vārdiem sakot, šī tehnoloģija atļauj pieejas punktiem veidot bezvadu savienojumu ne tikai ar bezvada tīkla lietotājiem, bet arī savā starpā, paplašinot bezvadu tīkla darbības zonu. Tāda tīkla galvenā priekšrocība – tīkla pieejas punkti tiek savstarpēji savienoti, aptverot transporta interneta sistēmu. Šajā gadījumā nav nekādas nepieciešamības izmantot virszemes tīklus pieejas punktu savienojumam. Tīkls izveidots ar WDS tehnoloģijas izmantošanu, atļauj mobilajām stacijām pārslēgties no viena pieejas punkta uz citu, nezaudējot savienojumu ar bezvadu tīklu. 5.att. ir parādīta savienojuma shēma savstarpēji apvienotajiem ar WDS ceļa pieejas punktiem (AP).

Attālums starp savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP) sastāda 150 metrus. Vidējie savstarpēji apvienoti ceļa pieejas punkti (AP) tiek savienoti ar klēpj datoru izmantojot kabeli. Klēpj datorā tiek uzstādīts "netiq" gala punkts. Šis gala punkts ir nepieciešams, lai izveidotu savienojumu.

Eksperiments tika veikts atklātajā teritorijā, labos laika apstākļos. Enerģijas piegādei savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP) tika izmantoti APC kompānijas trīs BACK-UPS CS 500. Klēpj dators ar IxChariot servera programmu tika uzstādīts automobilī. Tas tika aprīkots ar ārējo antenu savienojumam ar savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP).

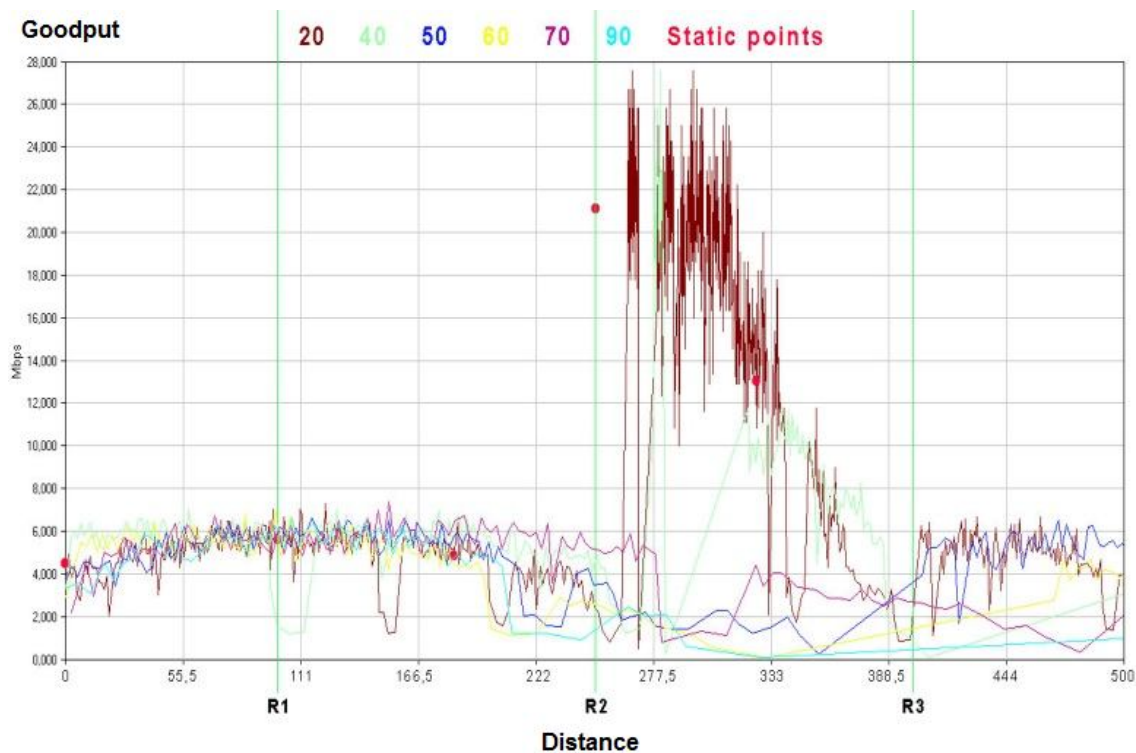
Transportlīdzeklis pārvietojas savstarpēji apvienoto ceļa pieejas punktu (AP) zonā, pārslēgšana notiek automātiski. Transportlīdzekļa klēpj dators izmanto Chariot un Netstumbler programmas. Konkrētajā brīdī transportlīdzeklis savienojas tikai ar vienu no savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP), ar to, kuram signāls/trokšņi attiecība ir visaugstāka.

Izmēģinājumi tika veikti atklātajā teritorijā. Lai piegādātu enerģiju savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP) tika izmantoti elektroapgādes avoti un serveris.



5. att. Savstarpēji apvienoto ar WDS ceļa pieejas punktu (AP) savienojuma shēma un to darbības zonas.

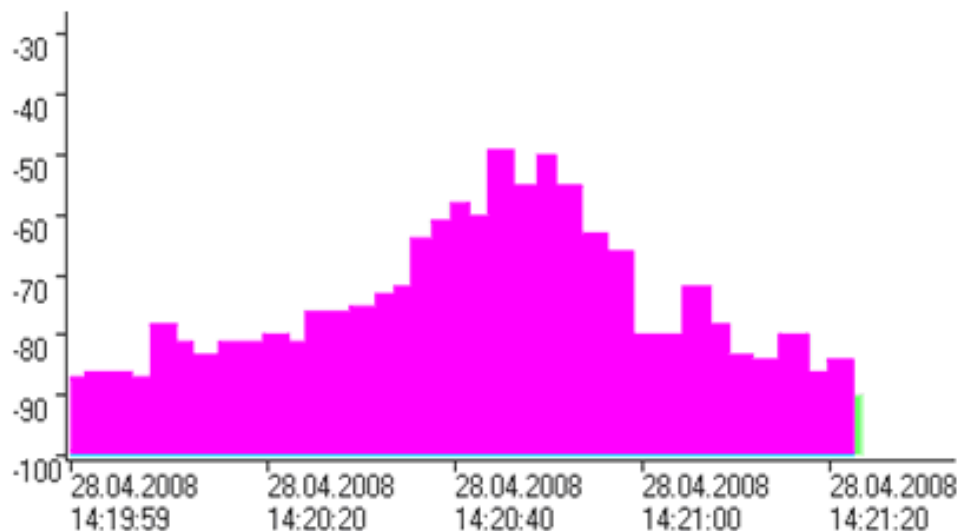
Viens no savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP) ar numuru 2 (centrālais punkts) tiek savienots ar serveri, izmantojot taisno kabeļi. Serverī tiek uzstādīta Chariot programmas atbildes daļa. Šī iemesla dēļ datu pārraides ātrums ir lielāks laikā, kad notiek transportlīdzekļa savienošana ar savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP). Transportlīdzekļa tīkla veiktspējas īss diapazons ir atkarīgs no mobilas stacijas ātruma. To var noteikt eksperimentāli, izmantojot mobilo staciju un Chariot programmu. Ir jāveic eksperimenti ar transportlīdzekļa atšķirīgajiem ātrumiem. Protams, lai to īstenotu, jāizmanto daudzi pieejas punkti, tāpēc, ka transportlīdzeklis ar lielu ātrumu atradīsies vienā pieejas punkta zonā tikai īsu laiku. Bezvadu sadales sistēma (WDS) var savienot vairākus savstarpēji apvienotus ceļa pieejas punktus (AP) vienā tīklā, bez vadu izmantošanas. Eksperimentu laikā tika izmantoti trīs tādi savstarpēji apvienoti ceļa pieejas punkti (AP) [33].



6.att. Veiktspējas (Mbps) analīze atšķirīgajiem ātrumiem (km/st) transportlīdzekļa tīkla īsajā posmā.

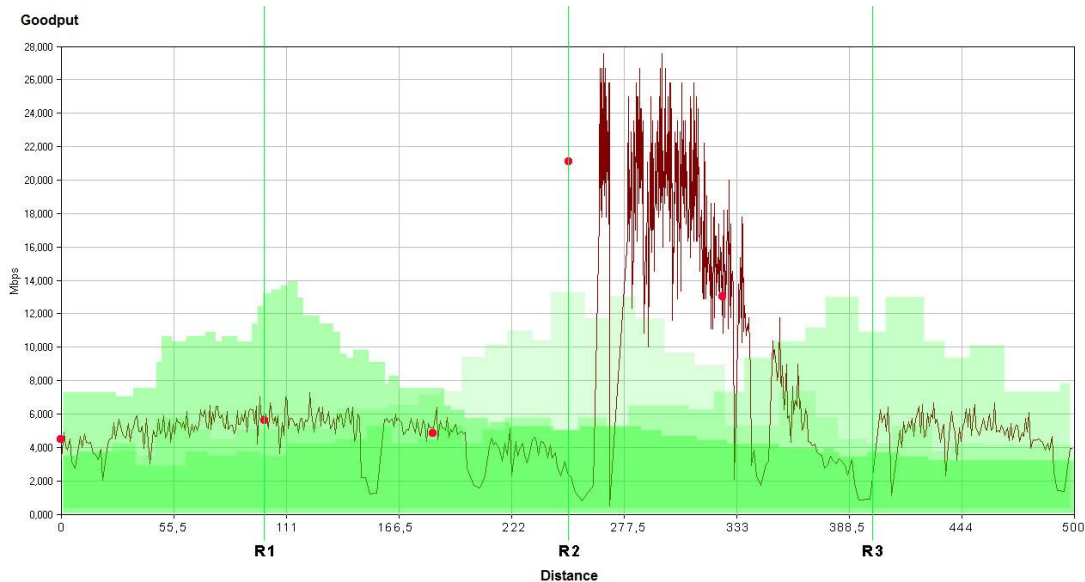
Grafiks (6.att.) parāda veiktspējas atkarību no transportlīdzekļa atšķirīgajiem ātrumiem. Par cik tika izmantota WDS, būtiskus zaudējumus var redzēt grafika kreisajā un labajā daļās. Sarkanais punkts grafikā rāda statistiskus rezultātus maršruta dažādos punktos.

Ar Netstumbler 0.4.0 var noteikt signāls/trokšņi attiecību atkarībā no laika (7.att.). Tāpat kā iepriekšminētajā gadījumā, laika asi aizvieto ar attāluma asi.



7.att. Signāls/trokšņi attiecības atkarība no eksperimenta laika momenta (dati tika noņemti pie ātruma 20 km/st relatīvi pieejas punktu sistēmas videjā zonā).

Lai noteiktu maksimālo signāls/trokšņi attiecību pilnajam tīklam, tiek apvienoti divi raksturojumi.



8.att. Datu pārraides ātrums bezvadu tīklā un atkarība no signāls/trokšņi attiecības transportlīdzeklim ar ātrumu 20 km/st.

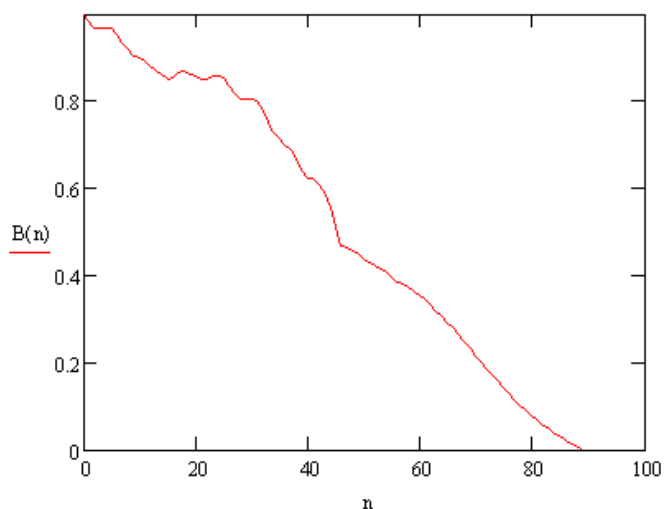
8.att. parrādītas visu savstarpēji apvienoto ceļa pieejas punktu (AP) signāls/trokšņi attiecības labājās grafika pozīcijā. Šis attiecības tika projektētas attāluma mērogā. 8.att. rāda, ka pastāv bezvadu tīkla noteiktā atkarība starp datu pārraides ātrumu un signāls/trokšņi attiecību. Tālāk mēs veidosim šo atkarību savstarpējās korelācijas funkciju un aprēķināsim savstarpējas korelācijas koeficientus.

Atšķirīgo signālu savstarpējās korelācijas funkcija (CCF) apraksta līdzības pakāpi starp diviem signāliem un to savstarpējo relatīvo izvietojumu viens pret otru, neatkarīgo mainīgo lielumu apstākļos. Mūsu gadījumā jānosaka diskrētu signālu CCF. CCF var aprēķināt pēc formulas:

$$B(n) := \frac{1}{K \cdot R} \cdot \sum_{j=0}^{\text{length}(X)-1-n} (X_j \cdot Y_{j+n})$$

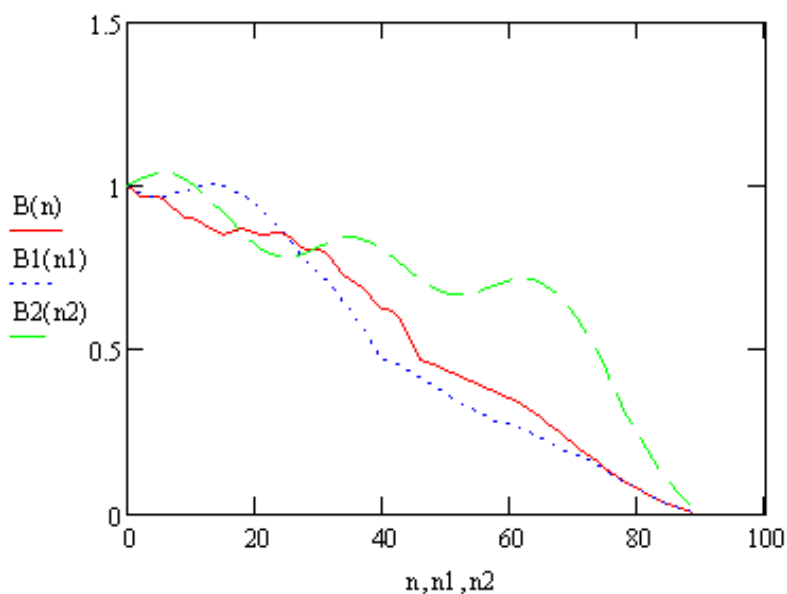
Kur K ir skaits; R ir normalizācijas koeficients (salīdzinot atšķirīgu ātrumu CCF);
 X ir datu pārraides ātruma atkarība eksperimenta sākumā (20 km/st),
 Y ir signāls/trokšņi attiecības atkarība eksperimenta sākumā (20 km/st).

Transportlīdzeklis noiet attālumu 500 m ar ātrumu 20 km/st 90 sekundēs. Lai noteiktu CCF, pieņemsim laika mērvienības soli - 1 s. Šo divu atkarību CCF parādīta 9.att.



9.att. Datu pārraides ātruma un signāls/trokšņi attiecības savstarpējās korelācijas funkcija ātrumam 20 km/st.

Tādā pašā veidā mēs aprēķinām CCF ātrumiem 40 un 90 km/st. Savstarpējās korelācijas funkcijas ātrumiem 20, 40, un 90 km/st ir parādītas 10.att.



10. att. Datu pārraides ātruma un attiecības signāls/trokšņi savstarpējās korelācijas funkciju salīdzinājums ātrumiem 20 km/st-B(n); 40 km/st-B1(n1); un 90 km/st-B2(n2).

Tika noteikta atkarība starp datu pārraides ātrumu un signāls/trokšņi attiecību, tagad aprēķināsim pārrēķina koeficientus. Šie koeficienti parādīs atkarības saistību.

Par piemēru pieņemsim transportlīdzekli ar ātrums 20 km/st. Mēs sadalām mērījumus trīs posmos. Katrs posms tiek savienots ar konkrētu punktu no savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP) un vispirms palielināmies, nosakot maksimumu (maksimālā vērtība) un sekojot tā samazināšanas virzienā. Katrs posms aizņem aptuveni 10 s pie ātruma 20 km/st.

Pārrēķina koeficientus aprēķina saskaņā ar formulu:

$$\alpha_{11} = \frac{\overline{S/N}}{\eta},$$

kur vidējā signāls/trokšņi attiecība tiek noteikta 10 s; vidējā kapacitāte tiek noteikta 10 s.

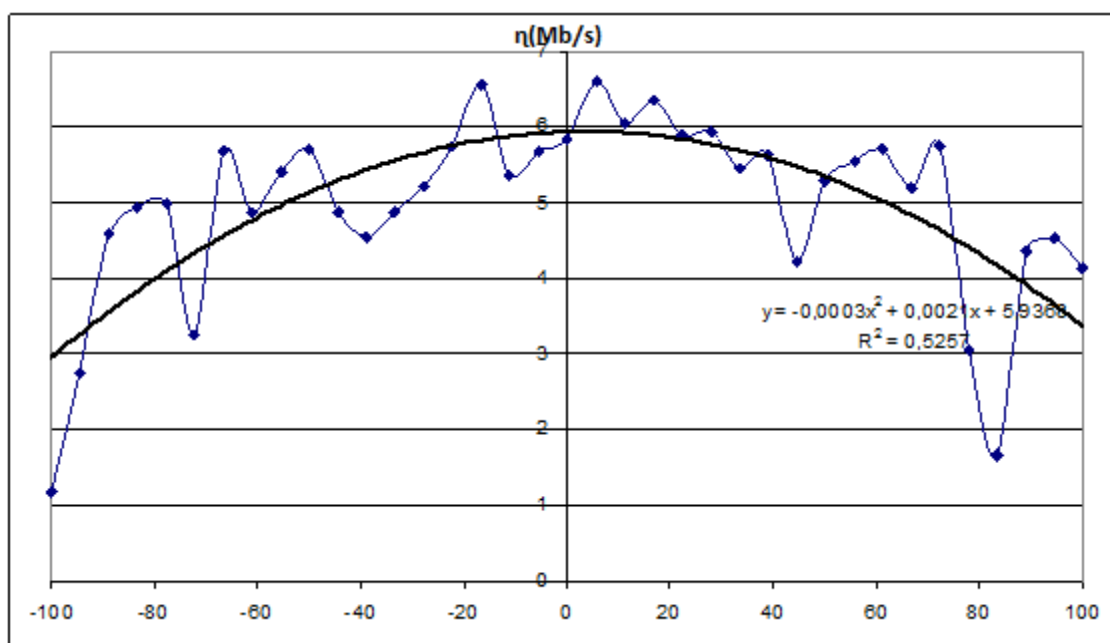
Jebkāda informatīva kanāla teorētiskā kapacitāte tiek noteikta pēc Šenona formulas. Ja signāls aizņem jostas platumu F , un signāla jaudas attiecība pret trokšņu jaudu ir P_S/P_N , tad maksimālā informācija 1 s, kas varētu tikt pārraidīta ar jebkuru pēc patikas zemu kļūdu varbūtību ir:

$$C = F \log_2(1 + P_S/P_N),$$

Jāievēro, ka formulā attiecība S/N : P_S/P_N tiek paņemta reizēs; tādēļ, ir jāpārrēķina šīs vērtības no dB

reizēs: $x\text{dB} = 10 \lg \frac{P_S}{P_N}$; no $\frac{P_S}{P_N} = 10^{x/10}$. 3. Tabulā var redzēt, ka Šenona formulu nevar izmantot, lai

pārrēķinātu signāls/trokšņi attiecību datu pārraides ātrumā transportlīdzekļu tīklos. Lai veiktu pārrēķinu, mēs noteicām aptuvenas funkcijas datu pārraides ātrumam. Grafiks (11.att.) rāda veiktspējas kvadrātisko atkarību no attāluma transporta interneta sistēmai.



11.att. Bezwadu tīkla datu pārraides ātruma Y atkarība no attāluma X līdz tuvākajam no savstarpēji apvienotiem ceļa pieejas punktiem (AP) un aproksimējošā funkcija (802.11g).

Mēs atklājam, ka objekta pārslēgšana no vienas bāzes stacijas uz citu veido tukšus intervālus datu pārraides ātrumā. Šie intervāli palielinājās līdz ar objekta ātruma pieaugumu. Eksperimenta rezultāti ļauj mums noteikt funkcionālu sakarību starp signāls/trokšņi attiecību un reālo datu pārraides ātrumu no

augstākā tīkla līmeņa. Tas ļauj novērtēt datu pārraides ātrumu, ja mums ir pieejami līdzekļi signāls/trokšņi attiecības mērījumam.

Pašlaik galvenais bezvadu sistēmas standarts ir 802.11n. Šis standarts aizvieto 802.11g standartu. 802.11n standarts paaugstināja datu pārraides ātrumu gandrīz četrreiz, salīdzinājumā ar 802.11g standarta ierīcēm (maksimālais ātrums ir 54 Mbit/s), izmantojot 802.11n režīmā ar citām 802.11n ierīcēm.

Teorētiski, 802.11n standarts var nodrošināt datu pārraides ātrumu līdz pat 600 Mbit/s. Datu pārraide notiek vienlaicīgi ar četrām antenām. Izmantojot vienu antenu, datu pārraides ātrums sastāds līdz 150 Mbit/s.

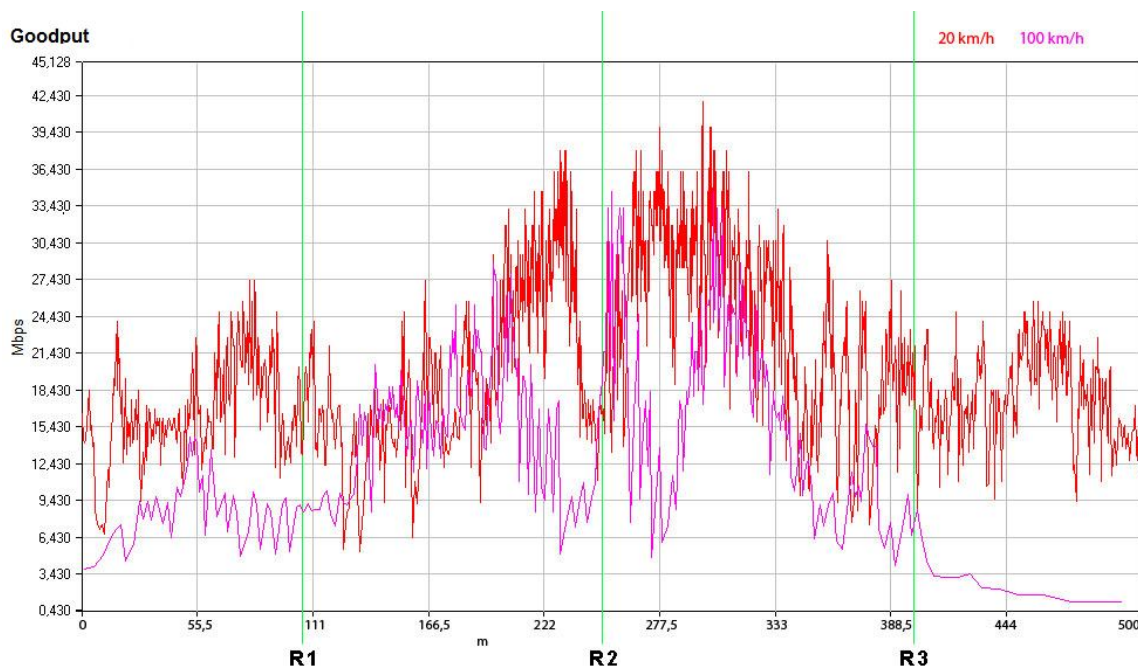
Mēs gribam vēlreiz pieminēt 802.11n standarta lietderību izmantošanai transporta interneta sistēmā, izņemot īpaši izstrādātā 802.11p standarta izmantošanu.

- 802.11n standarta ierīces ir lētas un pieejamas.
- 802.11n standarta frekvences ir bezmaksas.
- 802.11p standarts nevar nodrošināt lielapjoma datu pārraidi; tas tiek izstrādāts neliela apjoma ziņojumu pārraidei.

Visas šīs priekšrocības norāda uz 802.11n standarta izmantošanas iespējamību Drive-thru Interneta sistēmā.

Šāda pētījuma unikālā īpašība ir transporta interneta sistēmas izveidošana izmēģinājumiem. Visā pasaulē tiek veidoti tikai daži mobilo tīklu analītiskie modeļi, bet to pamatā ir teorētiskie dati. Modelis, aprakstītais šajā disertācijā ievēro arī praktiskos rezultātus.

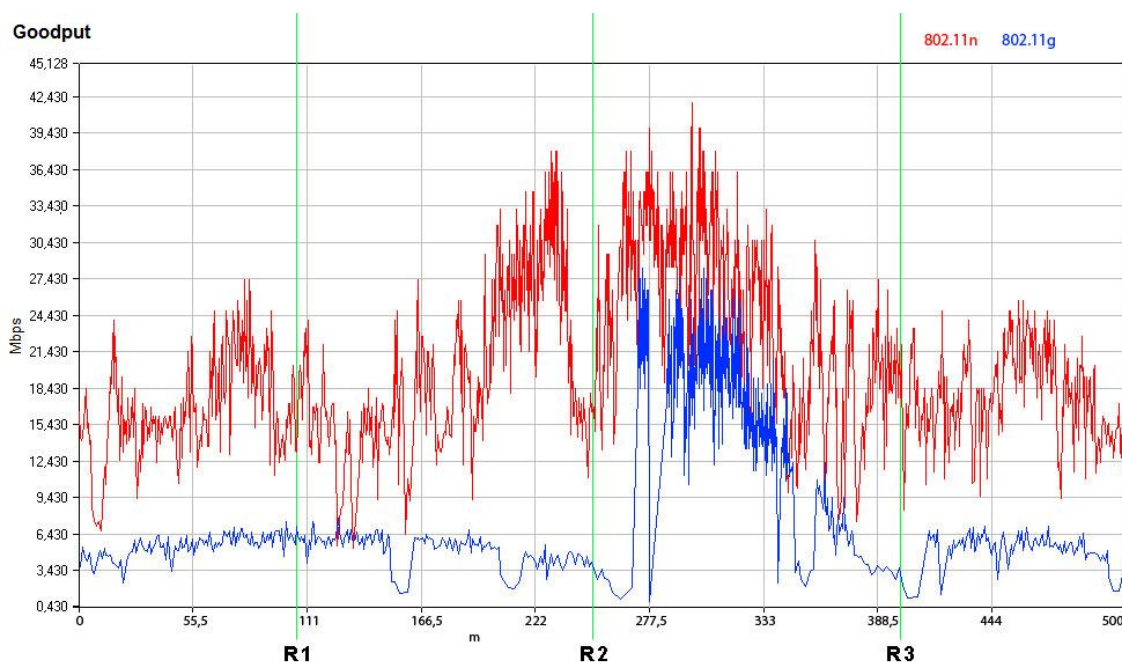
12.att. grafiks parāda veiktspējas atkarības pie dažādiem transportlīdzekļa ātrumiem (20km/st un 100km/st) 802.11n standarta sistēmai. Par cik tika WDS, būtiskus zaudējumus var redzēt grafika labajā daļā un kreisajā daļā.



12.att. Veiktspējas (Mbps) analīze atšķirīgajiem ātrumiem (20km/st un 100km/st) transportlīdzekļa tīkla īsā ceļā posmā 802.11n standarta sistēmai.

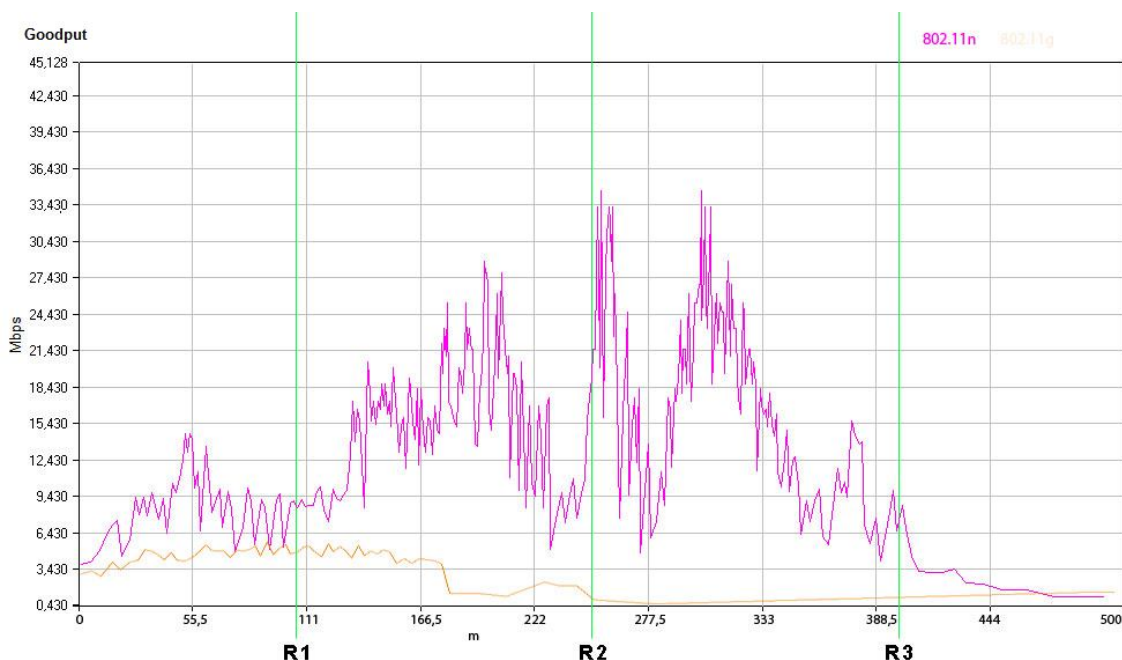
Pēc šo grafiku analīzes varam secināt, ka palielinot transportlīdzekļa ātrumu, veiktspēja arī neievērojami samazinājās, toties tajā pašā laikā tā paliek stabila. Zudumi netika novēroti praktiski, un tas vēlreiz pierāda, to, ka 802.11n standarts ir piemērotāks, salīdzinājumā ar 802.11g standartu.

Grafiks (13.att.) parāda veiktspējas atkarības 802.11g un 802.11n standartu sistēmām pie transportlīdzekļa ātruma 20km/st.



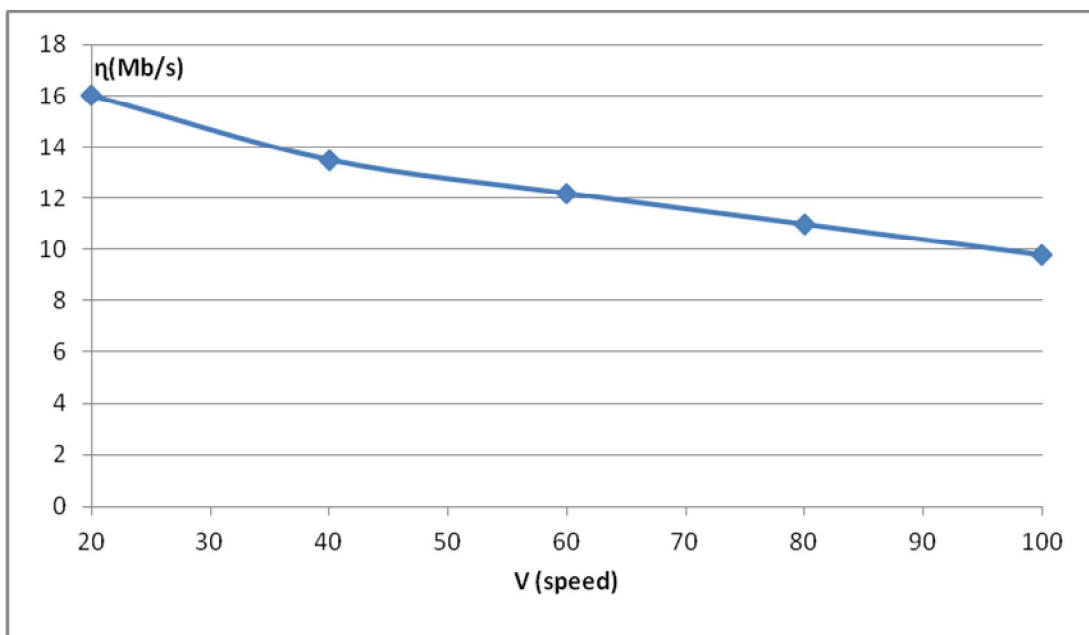
13.att. Veiktspējas atkarības 802.11g un 802.11n standartiem, ātrums 20km/st.

802.11n standarta galvenā priekšrocība ir datu pārraides stabilitāte transporta interneta sistēmā ar augsto transportlīdzekļa ātrumu. 14.att. Grafikā ir parādītas veiktspējas atkarības standartiem 802.11g un 802.11n gadījumā, kad transportlīdzekļa ātrums sastāda 100km/st.



142.att. Veiktspējas atkarības 802.11g un 802.11n standartiem, ātrums 100km/st.

Dažos gadījumos 802.11g standartā pāreja starp darba stacijām nevar tikt veikta, ja ātrums pārsniedz 90km/st. Izmantojot savstarpēji apvienotus ceļa pieejas punktus (AP) kopā ar 802.11n standartu, pāreja starp darba stacijām var tikt veikta bez zudumiem. Vidēja veiktspēja visos posmos sastāda 9,838 Mbps (15.att.).



3.att. Vidējā veiktspējas atkarība no ātruma 802.11n standartā.

4. Nodaļa. Veiktspējas analītiskais novērtējums transporta interneta sistēmās

Transporta interneta sistēmas izveidošanas laikā veidojās dažādas problēmas, un izstrādātājiem ir jārisina šīs problēmas. Viena no problēmām ir transportlīdzekļu skaita noteikšana atkarībā no attāluma līdz bāzes stacijai. Šī problēma ir aktuāla, jo datu pārraides efektīvais ātrums, kuru dēvē par "Veiktspēju", ir atkarīgs no klientu skaita, kuri atrodas bāzes stacijas apkalpošanas zonā. Datu pārraides efektīvā ātruma noteikšana kustībā ir vēl viena problēma Drive-thru interneta sistēmas izveidošanā.

Sakarā ar to, šīs nodaļas pirmais uzdevums ir noteikt transportlīdzekļu skaitu atkarībā no attāluma līdz bāzes stacijai. Otrais uzdevums ir noteikt datu pārraides reālo ātrumu transportlīdzekļiem N , kuri atrodas transporta interneta sistēmas bāzes stacijas apkalpošanas zonā.

Uzdevumu risināšanai un pārbaudei tiek izmantoti iepriekšējo darbu dati. Darbā [2] sniegti eksperimentālie dati pārraides ātruma novērtēšanai starp attālināto objektu un bāzes staciju 802.11g standarta transporta interneta sistēmā.

Tika noteiktas datu pārraides ātruma regulārās izmaiņas attālināto objektu skaitam M . Visi mērījumi un secinājumi tika veikti objektu nemainīgā izvietojuma apstākļos attiecībā pret bāzes staciju. Tādos apstākļos ir iespējams izmantot pakešu kopējās apkalpošanas modeli bāzes stacijā.

Darba [3] eksperimentālie rezultāti ir pielietojami datu pārraides reālā ātruma novērtēšanai starp transportlīdzekli un bāzes staciju darbības režīmā, kad faili tiek pārraidīti ar ftp protokolu. Izmēģinājuma laikā tika izmērīta reālā Veiktspēja (datu pārraides lietderīgais ātrums). Novērtējums tika veikts ar Chariot programmas funkcionalitāti. Galvenā īpatnība ir datu pārraides ātruma mērījumi, kas ir atkarīgi no attāluma starp transportlīdzekli un bāzes staciju.

Iegūto eksperimentālo datu aptuvenvērtības vērtības ļauj secināt, ka pakešu apkalpošanas intensitāte bāzes stacijā nav pastāvīgais lielums. Šīs raksturojums ir mainīgs un atkarīgs, līdzīgi kvadrātiskajai polinominālajai funkcijai, no attāluma starp atbilstošajiem punktiem transporta interneta sistēmā.

Maksimālais efektīvais datu pārraides ātrums mainās 6 Mbit/sek robežās, jo dati tiek saņemti no papildus bāzes stacijām, kuras, savukārt, tiek savienotas ar galveno bāzes staciju izmantojot WDS (Bezvadu Sadales sistēma).

Ir jāpiemin, ka datu pārraides ātruma mērījumi tika veikti tikai vienam transportlīdzeklim. Pamatojoties uz datiem no darba [1], varētu sagaidīt, ka reālais datu pārraides ātrums būs atkarīgs no transportlīdzekļu skaita, kad vairāki kustīgie objekti mijiedarbojas ar bāzes staciju, kā arī no attāluma līdz bāzes stacijai, jo pēdējais nosaka pakešu apkalpošanas intensitāti bāzes stacijā.

Lai risinātu pirmo problēmu, mēs izmantojam transportlīdzekļu kustības modeli autostrādē no [4]. Saskaņā ar šo darbu, transportlīdzekļu ātrums autostrādē tiek raksturots ar transportlīdzekļu izvietojuma blīvumu K vienā metrā:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{k}{k_c} \right), \quad (6)$$

kur k_c – plūsmas maksimālais atļautais blīvums, bet v_0 – plūsmas brīvās kustības ātrums (maksimālais atļautais).

Piemēram, ja mēs pieņemsim, ka posma garums ir 300 m un transportlīdzekļa garums ir aptuveni 3 m, tad $k_c = 300/3 = 100$ - 300 m. Ja attālums starp transportlīdzekļiem sastāda 17 m, tad $k = 300 / (17 + 3) = 15$ izvēlētajā zonā. Tātad, ja brīvais kustības ātrums ir $v_0 = 70$ km/st, tad vidējais

kustības ātrums 300 m zonā sastādīs $v = 70 \left(1 - \frac{15}{100} \right) = 59,5$ km/st.

Ja mēs pieņemsim, ka ceļa posms starp līnijām x un $x + \Delta x$, ir atdalīts ar posmu Δx , tad transportlīdzekļu skaita izmaiņas šajā ceļa posmā īsā laika intervālā dt var aprakstīt kā iebrucošo un aizbrucošo transportlīdzekļu skaitu variācijas ceļa posmā Δx :

$$\Delta n = g dt - \left(g + \frac{dg}{dx} \Delta x \right) dt, \quad (7)$$

kur g – transportlīdzekļu plūsmas intensitāte.

Šeit mēs varam redzēt pilnu analogiju ar pakešu masveida apkalpošanas sistēmu, kas novērtē pieteikumu Δn skaitu, kas gaida rindā pie apkalpošanas ierīces (ceļa posms), ja novērtējums tiek veikts ar vidējām vērtībām, kuras neievēro svārstības – iebraucšie un aizbraucšie transportlīdzekļi.

Lai paplašinātu šo modeli ar stohastisko komponenti, mēs sadalām zonu, kurā transportlīdzekļi mijiedarbojas ar darba staciju M segmentos. Katra i -tā segmenta apkalpošanas pieprasījumu intensitāte ir μ_i (izejošie garām transportlīdzekļi šajā ceļa posmā vienas sekundes laikā). Ja ceļa posma garums ir S_i , un transportlīdzekļa ātrums ir v_i , tad transportlīdzekļu apkalpošanas intensitāte ceļa posmā ir:

$$\mu_i = \frac{v_i}{S_i}.$$

Saskaņā ar (6) transportlīdzekļu apkalpošanas intensitāte ir atkarīga ne tikai no transportlīdzekļu sākuma ātruma, ar kuru tie ieiet ceļa posmā, bet arī no transportlīdzekļu blīvuma šajā ceļa posmā. Rezultātā, transportlīdzekļi šķērso visus M posmus, un visu transportlīdzekļu skaits bāzes stacijas darba zonā ir N . Acīmredzami, ka transportlīdzekļu maksimālais skaits zonā ar garumu L sastāda k_c . Ja frekvenču joslu skaits ir n , tad N_{\max} jābūt palielinātam n reizēs.

Pieņemsim, ka transportlīdzekļu skaits N šķērso bāzes stacijas darbības zonu. Šķērsojot bāzes stacijas darbības zonu nulles stāvoklī (bez savienojuma ar staciju), transportlīdzeklis atkal atgriežas nulles stāvoklī. Tādu sistēmu sauc par masveida apkalpošanas sistēmu - aizvērto ciklisko tīklu, kur apkalpošanas intervālu skaits ir M , pieprasījumu skaits ir N , un apkalpošanas laika intervāli ir pakļauti eksponenciālajam sadalījuma likumam.

Tāpat pieprasījumu (transportlīdzekļu) varbūtību sadalījums saskaņā ar apkalpošanas ierīcēm (ceļa posmiem) sastāda:

$$P_{n_1, \dots, n_M} = \frac{1}{G(N)} \cdot \frac{\mu_1^{N-n_1}}{\mu_2^{n_2} \cdot \mu_3^{n_3} \dots \mu_M^{n_M}} \quad (8)$$

Šeit $G(N)$ ir normalizētā konstante, kas tiek aprēķināta ar summēšanu un pielīdzināšanu vienai no varbūtībām, vai arī vai tiek aprēķināta pēc Buzena algoritma [5].

Protams, šeit nav transportlīdzekļu skaita ierobežojumu (pieprasījumi), iebraucšo jebkurā posmā i , izņemot transportlīdzekļu kopējo skaitu bāzes stacijas darbības zonā (N).

Pieprasījumu (transportlīdzekļu) vidējais skaits posmā i :

$$E[n_i] = \sum_{k=1}^N (x_i)^k \cdot \frac{G(N-k)}{G(N)} \quad (9)$$

Šeit x_i ir noteikts no vienādojumu sistēmas:

$$\mu_i x_i = \sum_{j=1}^M \mu_j x_j p_{ij} \quad 1 \leq j \leq M \quad (10)$$

Saskaņā ar modeļa ciklu:

$$\mu_i x_i = \begin{cases} \mu_{i-1} x_{i-1} & i = 2, 3, \dots, M \\ \mu_M x_M & i = 1 \end{cases} \quad (11)$$

x_1 var būt vienāds vieniniekam, un tad, ja $x_1 = 1$

$$x_2 = \frac{\mu_1}{\mu_2}, x_3 = \frac{\mu_1}{\mu_3}, \dots, x_{M-1} = \frac{\mu_1}{\mu_{M-1}}, x_M = \frac{\mu_1}{\mu_M}. \quad (12)$$

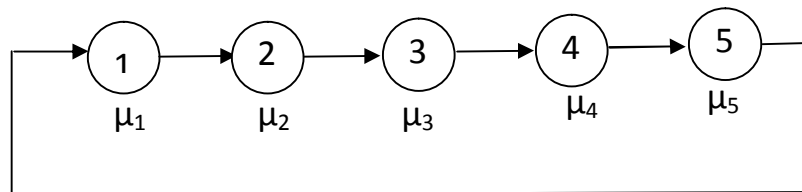
Piemērs:

Bāzes stacijas apkalpošanas zonas kopējais attālums sastāda 200 m; tā tiek sadalīta 5 apakšzonās, ar 40 m diametriem uz katru. Trešā zona ir vistuvākā bāzes stacijai.

Pieņemsim, ka transportlīdzekļu skaits N šķērso bāzes stacijas darbības zonu ar nulles ātrumu. Transportlīdzekļu tālākais ātrums palielināsies eksponenciāli.

$$g = g_0 (1 - e^{-\alpha r}), \text{ kur}$$

r – attālums līdz bāzes stacijai, un $\alpha = 0,01275$. Ja $r = 40$ m, tad ātrums $g = 100(1 - e^{-0,01275 \cdot 40}) = 40$ km/st, un braucot prom no bāzes stacijas ieejas par 100 m, ātrums sasnies $g = 100(1 - e^{-1,275}) = 72,1$ km/st. Mūsu gadījumā ir 5 apkalpošanas centri (16.att.). Pieprasījumu apkalpošanas laiks katrā ierīcē ir gadījumrakstura lielums. Laiks tiek sadalīts pēc eksponenciālā likuma ar vidējo vērtību $1/\mu_i$.



16.att. Cikliskā sistēma.

Ar noteiktām vērtībām $X(i)$ tiek noteikta Buzena elementa matrica. Buzena elementa matrica attēlota i rindā un j stabiņā, saskaņā ar formulu:

$$g(i, j) = g(i, j-1) + g(i-1, j)X_j$$

2. Tabulā parādīts Buzena algoritms pie $N=10$:

Nr.	$x_1 = 1$	$x_2 = \frac{\mu_1}{\mu_2} = 0.624$	$x_3 = \frac{\mu_1}{\mu_3} = 0.509$	$x_4 = \frac{\mu_1}{\mu_4} = 0.459$	$x_5 = \frac{\mu_1}{\mu_5} = 0.433$
0	1	1	1	1	1
...
9	1	2.63577002	5.29800606	9.61133638	16.52190141
10	1	2.64472049248	5.34140557702	9.75300897544	16.90699228597

2. Tabula. Buzena algoritms, $N=10$

Drive-thru transportlīdzekļu ātrumi dažādās zonās ir apkopoti 3. Tabulā gadījumam, kad maksimālais ātrums ir 100 km/st:

i	1	2	3	4	5
m	40	80	120	160	200
g_i	$100(1 - e^{-0.01275 \cdot 40}) = 39.95$	$100(1 - e^{-0.01275 \cdot 80}) = 63.941$	$100(1 - e^{-0.01275 \cdot 120}) = 78.346$	$100(1 - e^{-0.01275 \cdot 160}) = 86.997$	$100(1 - e^{-0.01275 \cdot 200}) = 92.192$
μ_i	$\mu = \frac{g}{S} = \frac{39950}{3600 \cdot 40} = 0.277$	$\frac{63941}{3600 \cdot 40} = 0.444$	$\frac{78346}{3600 \cdot 40} = 0.544$	$\frac{86997}{3600 \cdot 40} = 0.604$	$\frac{92192}{3600 \cdot 40} = 0.64$

3. Tabula. Drive-thru transportlīdzekļu ātrumi dažādās zonās, ja maksimālais ātrums ir 100 km/st

$$G(N-1) = 16.52190141$$

$$G(N) = 16.90699228597$$

Varbūtība, ka posms i būs aizņemts, ir:

$$P(n_i \geq 1) = \frac{G(N-1)}{G(N)}$$

4. Tabulā parādīts Buzena algoritms pie $N=20$:

Nr.	$x_1 = 1$	$x_2 = \frac{\mu_1}{\mu_2} = 0.624$	$x_3 = \frac{\mu_1}{\mu_3} = 0.509$	$x_4 = \frac{\mu_1}{\mu_4} = 0.459$	$x_5 = \frac{\mu_1}{\mu_5} = 0.433$
0	1	1	1	1	1
...
19	1	2.659441518005	5.415933464385	10.00962119746	17.644789333405
20	1	2.659491507235	5.416201640607	10.01061777024	17.650811551607

4. Tabula. Buzena algoritms, $N=20$

Ja transportlīdzekļi tiek sadalīti apakšzonās bāzes stacijas klientu apkalpošanas zonā, var izveidot modeli datu apmaiņas faktiskā ātruma novērtējumam starp objektiem un staciju.

Šim mērķim tiek izveidots tīkls. Pirmais mezgls ir transportlīdzekļi, kuri veido paketes apstrādei bāzes stacijā.

Atkarībā no transportlīdzekļa attāluma līdz bāzes stacijai, pakešu apstrādes ātrums un apstrādes intensitāte bāzes stacijā atšķirsies.

Failu pārraides laikā vienas paketes pieņemtais garums ir $l_p = 1500$ baitu. Tad, ja attālums no automobiļa līdz bāzes stacijai ir r , var noteikt bāzes stacijas produktivitāti β_i . Piemēram, ja $r = 50m$, tad:

$$\beta(50) = \frac{5.5 \cdot 10^6}{1500 \cdot 8} = 458.333 \text{ paketes sekundē.} \quad (13)$$

Tātad aplūkosim bāzes stacijas atsevišķās apakšzonas. Saskaņā ar formulu (10), ir noteiktais konkurējošo transportlīdzekļu skaits, kuriem ir nepieciešami bāzes stacijas resursi.

Šim piemēram automobiļu skaits $E(n_i)$ katrā apakšzonā i pie $N=10$ ir:

$$E(1) = 5.813; E(2) = 1.03; E(3) = 0.918; E(4) = 0.761; E(5) = 0.689.$$

Automobiļu skaits $E(n_i)$ katrā apakšzonā i pie $N=20$ ir:

$$E(1) = 15.698; E(2) = 1.654; E(3) = 1.035; E(4) = 0.848; E(5) = 0.763.$$

Bāzes stacijas efektivitāte atkarībā no transportlīdzekļa attāluma līdz bāzes stacijai ir ilustrēta 5. Tabulā:

β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
416.667	500	500	458.333	333.333

5. Tabula. Bāzes stacijas efektivitāte β_i atkarībā no transportlīdzekļa attāluma līdz bāzes stacijai

Katram transportlīdzeklim i -jā apakšzonā ir jāpārraida paketes bāzes stacijai ar intensitāti λ_i . Izmantojot M/M/1/N_i modeli, katrai i -jai apakšzonai, var noteikt bāzes stacijas uzgaidīšanas laika varbūtību:

$$P_0(i) = \left[\sum_{k=0}^{E(n_i)} \left(\frac{\lambda_i}{\beta_i} \right)^k \frac{E(n_i)!}{(E(n_i) - k)!} \right]^{-1} \quad (14)$$

Šeit $E(n_i) = N_i$,

6. Tabulā ir apkopotas bāzes stacijas uzgaidīšanas laika varbūtības pie $N=10$:

$P_0(1)$	$P_0(2)$	$P_0(3)$	$P_0(4)$	$P_0(5)$
$5.632 \cdot 10^{-3}$	0.667	0.667	0.647	0.571

6. Tabula. Bāzes stacijas uzgaidīšanas laika varbūtība, $N=10$

7. Tabulā ir apkopotas bāzes stacijas uzgaidīšanas laika varbūtības pie N=20:

$P_0(1)$	$P_0(2)$	$P_0(3)$	$P_0(4)$	$P_0(5)$
$3.072 \cdot 10^{-10}$	0.4	0.667	0.647	0.571

7. Tabula. Bāzes stacijas uzgaidīšanas laika varbūtība, N=20

Zonas i -tās apstrādes stacijas efektivitāte sastādīs:

$$\eta_i = (1 - P_0(i))\beta_i \quad (15)$$

8. Tabula apkopo stacijas efektivitāti gadījumam N=10:

η_1	η_2	η_3	η_4	η_5
414.32	166.5	166.5	161.792	143

8. Tabula. Stacijas efektivitāte, N=10

9. Tabula apkopo stacijas efektivitāti gadījumam N=20:

η_1	η_2	η_3	η_4	η_5
416.667	300	166.5	161.792	143

9. Tabula. Stacijas efektivitāte, N=20

Bāzes stacijas kopējā efektivitāte gadījumam N=10:

$$\eta = \sum \eta_i = 1052 \text{ paketes/sek}$$

Bāzes stacijas kopējā efektivitāte gadījumam N=20:

$$\eta = \sum \eta_i = 1188 \text{ paketes/sek}$$

Tātad, bāzes stacijas efektivitāte ir saistīta ar kustības parametriem un datu pārraides sistēmas Bāzes stacija/transportlīdzeklis raksturojumiem.

5. Nodaļa. Doplera efekta novērtējums IEEE 802.11g standartā

Pārsvarā, bezvadu sakaru sistēmās ierobežojošais faktors ir interference, kas vienmēr būs jauno tehnoloģiju attīstības izaicinājums. Interferenci var izsaukt gan cits lietotājs, gan arī tā var veidoties pašā signālā, tā saucamā pašinterference, kā no iekšējiem tā arī no ārējiem faktoriem, kuri, piemēram, noved pie starpsimbolu interferences (ISI) vai starpnesēju interferences (ICI). Kopumā, ISI ir viena no galvenajām problēmām pārraides sakaru sistēmās ar augstajiem ātrumiem, kura var tikt atrisināta ar signāla izlīdzinātāju, vai ekvalaizeri. Arvien palielinot datu pārraides ātrumu, izlīdzinātāja sarežģītības pakāpe pieaugs, jo viena simbola pārraides laiks kļūst īsāks un, līdz ar to, ir nepieciešams izlīdzināt lielāku atzarojumu skaitu. Šī problēma ir raksturīga kanāliem ar lielu laika aizturi.

OFDM ir daudz-nesošo modulācijas tehnika, kas spēj minimizēt jau minētās un citas problēmas raksturīgas datu pārraides sakaru sistēmām ar augstajiem pārraides ātrumiem.

Neskatoties uz to, ka OFDM ietver jaudīgās modulācijas tehnikas, tehnoloģija veido izaicinājumu pati sev un, līdz ar to, tā ir jūtīga pret sinhronizācijas problēmām. Viena no galvenajām problēmām ir frekvences nobīdes. Šī nobīde iedarbojas uz apakšnesošo ortogonālītāti un samazina OFDM tehnoloģijas veikspēju.

Neskatoties uz to, jau kopš 1990. gada OFDM tiek pielietots bezvadu datu komunikācijās, tādās kā ciparu radio (DAB) un televīzijā (DVB-T), un kabeļu platjoslas datu komunikācijās, tādās kā HDSL ar ātrumu līdz 1.6 Mbps, ADSL - līdz 6 Mbps un VDSL līdz pat 100Mbps.

OFDM tiek plaši pielietots arī bezvadu lokālajos tīklos, piemēram, IEEE802.11a,b,g,n standartos, kā fiziskā līmeņa pārraides tehnika. OFDM ir ļoti stiprais trumpis bezvadu personālajos tīklos (WPAN), ceturtās paaudzes šūnu sistēmās un citos mobilajos sakaru tīklos, kuru uzdevums ir nodrošināt savienojumu transporta satiksmē, tādā kā transportlīdzeklis – transportlīdzeklis (V2V) un transportlīdzeklis – infrastruktūra (V2I).

Izmantojot WLAN IEEE802.11g standartu, V2I risinājumā bezvadu sakaru sistēmai, līdz ar pārvietošanās ātruma pieaugumu, ir novērojama tendence: lietderīgais datu pārraides ātrums samazinās, kas varētu notikt Doplera efekta ietekmes rezultātā.

Doplera nobīde f_d ir proporcionāla elektromagnētiskā viļņa izplatīšanas frekvencei f .

$$f_d \cong \frac{v_r \cdot f_c \cdot \cos \alpha}{c} \quad (16)$$

kur v_r ir relatīvais ātrums starp uztvērēju un raidītāju,

f_c ir nesošā RF frekvence,

c ir gaismas ātrums (3×10^8 m/s),

un $\alpha \in [0, \pi]$ ir ātruma vektora leņķis.

Maksimālā Doplera nobīde novērojama pie ātruma vektora leņķa $\alpha=0$.

$$\max f_d = \frac{v_r \cdot f_c}{c} \quad (17)$$

Lai ātrums būtu atbilstošajās mērvienībās, to ir jāpārvērš no kilometriem stundā metros sekundē, un rezultātā tiks iegūta sekojoša formula:

$$\max f_d = \frac{v_r \cdot f_c \cdot \cos \alpha}{3.6 \cdot c} \quad (18)$$

Var novērtēt rezultātus pie $\alpha=0$ 2.4GHz nesošajā frekvencē pie mainīgā kustības ātruma, kur Doplera nobīdei f_d (Hz) ir maksimums. No 10. Tabulas datiem var redzēt, ka nesošās frekvences Doplera nobīde ir aptuveni no 40 Hz līdz 540 Hz, attiecīgi kustībām ar ātrumiem no 20 km/st līdz 240 km/st. Tātad, relatīvā Doplera nobīde $\xi=f_d/f$ ir aptuveni no 10^{-8} līdz 10^{-7} , kas ir ļoti mazs lielums.

V(km/h)	fd(Hz) (f=2.4GHz)	ξ - relatīvā nobīde
20	44.4	1.852E-08
40	88.9	3.704E-08
60	133.3	5.556E-08
80	177.8	7.407E-08
100	222.2	9.259E-08
120	266.7	1.111E-07
140	311.1	1.296E-07
160	355.6	1.481E-07
180	400.0	1.667E-07
200	444.4	1.852E-07
220	488.9	2.037E-07
240	533.3	2.222E-07

10. Tabula. Teorētiskā maksimālā Doplera nobīde

OFDM signālu var aprakstīt kā summu no vairāku frekvenču komponentēm, kuru Doplera nobīdes ir aprēķināmas pēc (16).

Ņemot vērā teorētisko novērtējumu un analīzi, tika veikti praktiskie mērījumi, kuri tika izpildīti samazinātās daudzstaru izplatīšanas vidē, ar augstas klases signāla ģeneratoru un analizatoru, ko laipni nodrošināja Rohde&Schwarz pārstāvniecība Latvijā.

Apkopojot gan teorētiskos, gan praktiskos rezultātus var nonākt pie šādiem secinājumiem:

1) Doplera efekta ietekme uz bezvadu WLAN IEE802.11g standarta tīklu ar OFDM tehnoloģiju ir neievērojama;

2) Tika iegūts praktiskais apliecinājums tam, ka IEE802.11g standarta WLAN OFDM tehnoloģija ir noturīga pret traucējumiem, kas rodas kustības rezultātā;

3) Ņemot vērā teorētiskos un praktiskos radītājus, var secināt, ka ietekme uz datu pārraidi, izmantojot IEE802.11g standarta tehnoloģijas, ir minimāla, ja transporta līdzekļa pārvietošanās ātruma radītā Doplera frekvenču nobīde summā ar raidītāja un uztvērēja oscilatora frekvenču nobīdi nepārsniedz $\pm 60300\text{Hz}$ robežas.

6. Nodaļa. Transporta interneta sistēmas imitēšanas OPNET vidē

OPNET modelētājs ir tīkla simulācijas programmatūra, kas ir vadošā šajā nozarē. Ar OPNET palīdzību var izstrādāt un izpētīt komunikācijas tīklus, ierīces, protokolus un lietojumprogrammas ar vairākām metodēm un lielajā mērogā. Modelētājs izmantots pasaules prestižākajās tehnoloģiju organizācijās lai paātrinātu savas tehnoloģijas pētniecības un attīstības procesu.

Modelētājs izmanto objektorientēto modelēšanas pieeju un grafisko redaktoru faktisko tīklu un tīkla komponentu struktūras spoguļi. OPNET atbalsta visus tīkla savienojumu tipus un tehnoloģijas, kas ļauj atbildēt uz lielāko sarežģīto jautājumu daļu ar pārliecību.

OPNET modelētājs balstās uz vairākiem hierarhiskajiem redaktoriem, kas ir līdzīgi reālajiem tīkliem, aprīkojumam un protokoliem. OPNET iekļauj sevī dažādus redaktorus: projekta, mezgla un procesa redaktorus.

Projekta redaktors ir sakaru tīkla topoloģijas grafiskais attēls. Tīkli sastāv no mezgliem un objektu saitēm, to visu var nokonfigurēt ar dialoglodziņu palīdzību. Tīkla izveidošanai var viegli pārnest vajadzīgos mezglus vai savienojumus no objektu redaktora paletes, vai arī var izmantot ieviešanu un ātru objektu izvietojuma iespēju. Var izmantot iebūvētās OPNET modeļu bibliotēkas vai sastādīt savas paletes ar vajadzīgajiem mezgliem un savienojumiem. Projektu redaktors nodrošina iespēju grāfiskajā kontekstā atbilstoši atspoguļot ar fiziskajām īpašībām gan vadu, gan bezvadu (mobilo) tīklu simulāciju. Izmantot protokola opcijas var ātri nokonfigurēt tās un aktivizēt protokola īpašas iespējas.

Mezglu redaktors uztver tīkla ierīces vai sistēmas kopējo arhitektūru, attēlojot datu plūsmu starp funkcionālajiem elementiem, kurus sauc par „moduļiem”. Katrs modulis var ģenerēt, sūtīt un saņemt paketi no cita moduļa savas funkcijas izpildei mezgla ietvaros. Moduļi parasti ir lietojumprogrammas, slāņu protokoli, algoritmi un fiziskie resursi, tādi ka buferatmiņa, porti un kopnes. Moduļiem tiek piešķirti procesa modeļi, lai panāktu jebkādas nepieciešamās rīcības.

Procesu redaktors izmanto jaudīgo mehānismu, kas atbalsta specifikācijas pieeju jebkurā detalizācijas līmenī, protokoliem, resursiem, pieteikumiem un algoritmiem. Stāvokļi un pārejas grafiski parāda progresa gaitu, reaģējot uz notikumiem. Katrs procesa modeļa stāvoklis ir C/C++ programmēšanas valodas kods, kuru atbalsta plašās funkciju bibliotēkas paredzētas protokola plānošanai. Izmantojot procesu redaktoru, var izveidot pilnīgi jauno procesa modeli, vai var griezties pie OPNET tehnoloģijas modeļu bibliotēkas un izvēlēto modeli izmantot kā sākuma punktu. OPNET modelēšanas sistēmas process pilnībā atbalsta grafiskās un paralēlās skaitļošanas iespējas.

OPNET iekļauj sevī integrēto analīzes rīku - ar instrumentu palīdzību var viegli parādīt simulācijas rezultātus. Viegli izveidot un analizēt laika rindas, histogrammas, varbūtības funkcijas, parametru līknes, ticamības intervālus, izmantot XML elektroniskās tabulas eksportu.

Modeļa rīkošanas animācija, reālajā laikā vai pēc simulācijas, un statistiskas vērtības grafiskais monitorings simulācijas laikā, 3D interfeisa atainošana.

Datu importēšana no teksta failiem, XML, un populārākajiem programmu formātiem „CISCO”, „HP”, „NetScout”, „BMC”, „Sniffer”, „InfoVista”, „MRGT” un citi.

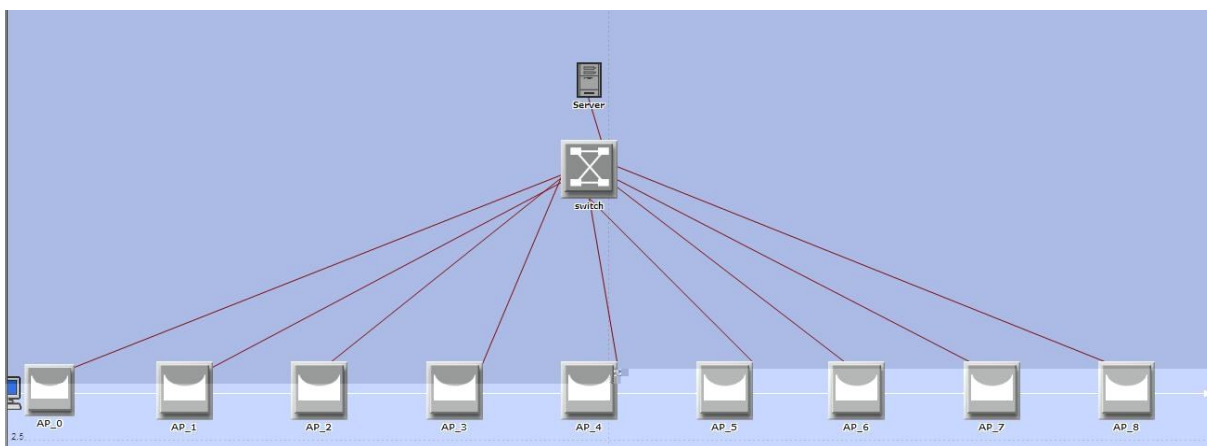
Detalizētajiem protokoliem, modeļiem un tīkla ierīcēm ir plaša bibliotēka, kas ietver sevī vairāku līmeņu lietojumprogrammas, balss, HTTP, TCP, IP, OSPF, BGP, EIGRP, RIP, RSVP, Frame Relay, FDDI, Ethernet, ATM, 802.11 bezvadu lokālos tīklus, MPLS, PNNI, DOCSIS, UMTS, IP Multicast, Circuit Switch, MANET, Mobile IP un daudzus citus protokolus. Tās tiek izplatītas ar atvērto kodu. Standarta bibliotēka ietver simtiem ierīču modeļus - gan specifiskus, gan vispārīgus, ieskaitot maršrutētājus, komutatorus, darbstacijas un pakešu ģeneratorus. Bibliotēka satur arī bezvadu tehnoloģijas modeļus: mobilo, „Ad hoc”, bezvadu lokālo tīklu un satelītu tīklu, vai jebkuru mobilo mezglu tīklu. Var kontrolēt katru mezglu uzstādot. OPNET var pievienot kartes un citus vizuālus elementus, lai papildinātu grafiskā fona kontekstu. Modelētāja bibliotēkas satur servera vai darba stacijas modeli ar vienu aparatūras platformu, bet ar dažādām operacionālajām sistēmām („Windows”, „Linux”, „Solaris” un citas).

OPNET nodrošina:

- Pielāgots un efektīvs simulācijas nozares dzinējs, kas ļauj ātri simulēt gan vadu, gan bezvadu tīklus;
- Progresīvo simulēšanas platformu, hibrīdu un analītiskās modelēšanas;
- Intuitīvi saprotamu grafisko vidi, reālo tīklu modeļus, ierīces, protokolus un lietojumprogrammas;
- Simulācijas detalizēto kontrolēšanu vajadzīgo izstrādāto risinājumu atbalstīšanai;
- Iebūvēto imitēšanas atbalstu visu veidu tīkla tehnoloģijām;
- Tīklu topoloģijas automatizētais imports;
- Plašo standarta protokolu modeļu bibliotēku, ar pilnīgi atvērtu izejas kodu C/C++ programmēšanas valodā.

Tika izveidota viena kustīgā objekta simulācija, lai paplašinātu pakalpojumus, ko sniedz ITS, it īpaši, lai papildinātu elektronisko nodevu maksāšanas sistēmu. Tika izstrādāts modelis, kurš sniedz vadītājam iespēju pēc maksas izpildes lietot internetu autostrādēs.

Ceļa garumā uzstādītas bezvadu interneta pieejas ierīces – maršrutētāji, kuri strādā, kā „tilti”. Visas ierīces atrodas vienā tīklā un kad lietotāja pieslēgta tīklam ierīce pārvietojās notiek pārslēgšana starp mezgliem. Visos simulācijas piemēros tika izmantota viena un tā pati sistēmas saslēgšanas shēma, kas parādīta 17.att.



17.att. WI-FI sistēmas saslēgšanas shēma ITS uzdevumiem.

Šajā shēmā ir 12 objekti, no kuriem:

- 9 ir maršrutētāji, kas nokonfigurēti kā „tilti”, to apzīmējumi ir no AP_0 līdz AP_8;
- viens kustīgais objekts (atkarībā no simulācijas scenārija tie var būt pat trīs objekti), to apzīmē ar CAR_0 (CAR_N, kur N – kārtas numurs);
- viens 16 portu komutators – SWITCH;
- viens serveris – SERVER;

Visi maršrutētāji pieslēgti pie komutatora, kas kalpo kā multipleksors/demultipleksors un, savukārt, ir pieslēgts pie servera. Visos savienojumos izmanto optisko šķiedras kabelus lai izvairītos no ātruma uduim savienojumos. Pie servera griežas klienti ar pieprasījumiem interneta trafikam. Atkarībā no uzdevumiem, serveris var būt viens, bet var pievienot arī vairāk. Uzdevumu skaitu un attiecīgo serveru skaitu, kuri apkalpo lietotājus, ir atkarīgi no sistēmas lieluma un tās izmaksām. Ceļa malās ir uzstādītas papildierīces, kuras apkalpo serveris.

Transportlīdzeklis braucot caur nodevas maksāšanas punktiem, saņem īsziņu vai nu savā mobilajā telefonā, vai uz savu viedkarti (vēlams, lai tā būtu vismaz trešās paaudzes viedkarte ar LCD displeju) ar unikālo identifikācijas numuru pieslēgšanai pie tīkla. Par cik katrs tāds numurs ir unikāls, sistēmas datu bāzē saglabājas numurs (ja tās ir mobilais telefons), vai iezīmes ID uz kuru ir nosūtīts šis numurs. Ja bezvadu ID numurs bija izmantots, tad atkarīgi no tā, kā konkrēti sistēma ir nokonfigurēta, maksāšana par to izmantošanu ir: skaitīt interneta trafiku, ko izmantoja lietotājs un maksāt par to, vai vienkārši maksāt par savienojumu dienas laikā. Maksāšana notiek vai nu ar mobila telefona rēķina apmaksu, vai ar automātisko naudas noņemšanu no lietotāja konta, kā to dara elektroniskās nodevas iekasēšanas

sistēma.

Papildinātu bezvada tīkla infrastruktūru var arī izmantot ceļa satiksmes uzlabošanai, informācijas sniegšanai par avārijām, ceļa remontu, laika apstākļu izmaiņām. Ceļa garumā uzstādīti operatīvas informēšanas ekrāni, kameras, ātruma fiksēšanas kameras un laika apstākļu fiksēšanas sensori. Atkarībā no sistēmas konfigurācijas, informāciju par laika apstākļiem, sastrēgumiem un citām ārkārtas situācijām var radīt uz operatīvas informēšanas ekrāniem, vai, ja lietotājs ir samaksājis par internetu, viņš saņem visu nepieciešamo informāciju savā datorā, tagā vai mobilajā telefonā kā papildpakalpojumu. Visa šī infrastruktūra ir vadāma no centrāles.

Katras simulācijas laikā tiek izmantota datu pārraide dažādos ātrumos (biti sekundē). Lai sasniegtu vajadzīgo ātrumu, izmanto OPNET programmatūras funkcijas un formulas. Piemāram, tā kā tas ir parādīts 18.att.

Packet Generation Arguments	[...]
Interarrival Time (seconds)	constant (0.00125)
Packet Size (bytes)	constant (1518)

18. att. Pakešu ģenerācijas funkcija.

Šeit ir apskātīta datu pārraides (interneta) pakešu ģenerācija, kur:

- „Interarrival Time (seconds)” – ir pakešu nosūtīšanas laika intervāls sekundēs;
- „Packet Size (bytes)” – ir pakešu izmērs baitos.

Simulācijas laikā izmanto „Ethernet” pakešu izmēru 1518 baiti.

$$V = 1/T \times 8P \quad (16)$$

kur, V – datu pārraides ātrums (biti/sekundē);

T – laika intervāls (sekundes);

P – paketes garums (baiti);

1/T – pakešu skaits vienas sekundes laikā;

8P – bitu pārveidošana baitos (vienā baitā ir astoņi biti).

Ja (16) formulā ielikt 18.att. atspoguļotus datus, tad šī formula izskatīsies šādi:

$$V = 1 / 0.00125 * (1518 * 8) = 800 * 12144 = 9\,715\,200 \text{ biti/s, tā kā } 1\text{Kbitā ir } 1000\text{biti, bet } 1\text{Mbitā ir } 1000\text{Kbiti, tad rezultāts būs } \approx 9,72\text{Mbit/s.}$$

Simulācijas laikā galvenās problēmas, kuras bija jārisina:

- legūt pēc iespējas minimālo darbības pārtraukumu, lai pārslēgšanas laiks starp bāzes stacijām būtu vismazākais.
- Maršrutētāju izvietošana.
- Transportlīdzekļa (klienta) kustības ātruma izvele.

Par cik transportlīdzekļa ātrums autostrādēs retajos gadījumos ir mazāks par 100 kilometriem stundā, projektējamā darba daļā tiek pieņemta kustība ar šo ātrumu un to uzskata par simulācijas sākuma ātrumu, jo, no vienas puses, ir internets un papildpakalpojumi, bet no otras - ātra kustība, lai laicīgi tiktu līdz vajadzīgai vietai. Testēšana veikta kustībai 2500 metru attālumā.

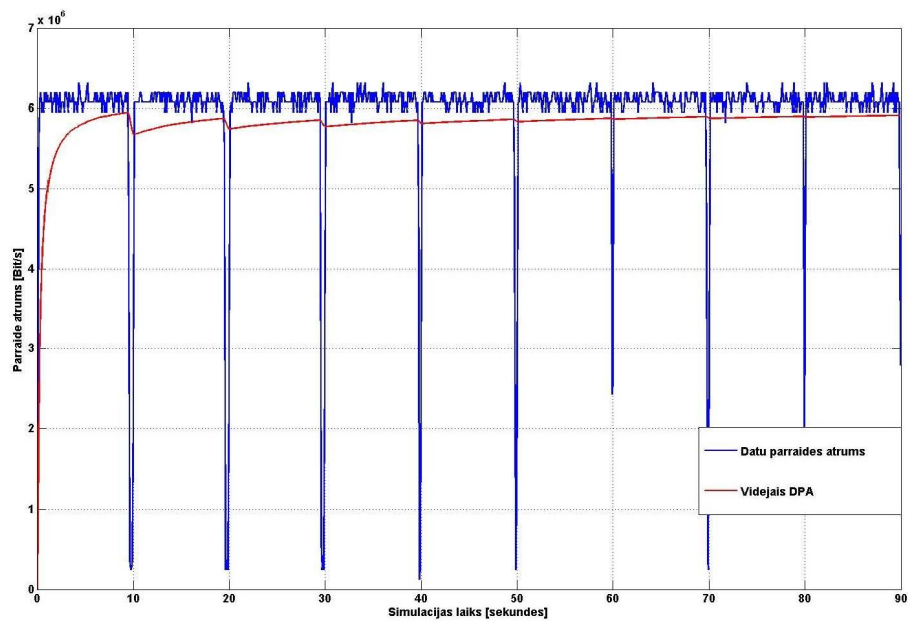
Pirmais analīzes uzdevums noskaidrot maksimālo datu pārraides ātrumu transportlīdzeklim pārvietojoties ar ātrumu 100 km/st, kad pārslēgšanas laiks starp maršrutētājiem ir vismazākais un datu pārraides ātrums ir mūsdienīgs (būtu pietiekam, lai skatītos interneta lappuses, e-pastu, video reālajā laikā, klausīties interneta radio un saņemt citus pakalpojumus, ko sniedz internets).

Tiek pārbaudīts maksimālais datu pārraides ātrums diviem WI-FI standartiem IEEE802.11g un IEEE802.11b ir 54 Mbit/s un 11 Mbit/s, attiecīgi. Visos grafikos X asī attēlots transportlīdzekļa pavadītais laiks ceļā sekundēs, bet Y asī – datu pārraides ātrums bitos/sekundē.)

19.att. ir parādīts grafiks transportlīdzeklim ar kustības ātrumu 100 km/st un dažādu datu pārraides ātrumu 2500 metru ceļā posmā. Šeit var redzēt, ka pārslēgšanas periods starp bāzes stacijām nav atkarīgs no datu pārraides ātruma.

Apskatot IEEE802.11g standartu visos ātruma diapazonos, optimālais datu pārraides ātrums ar

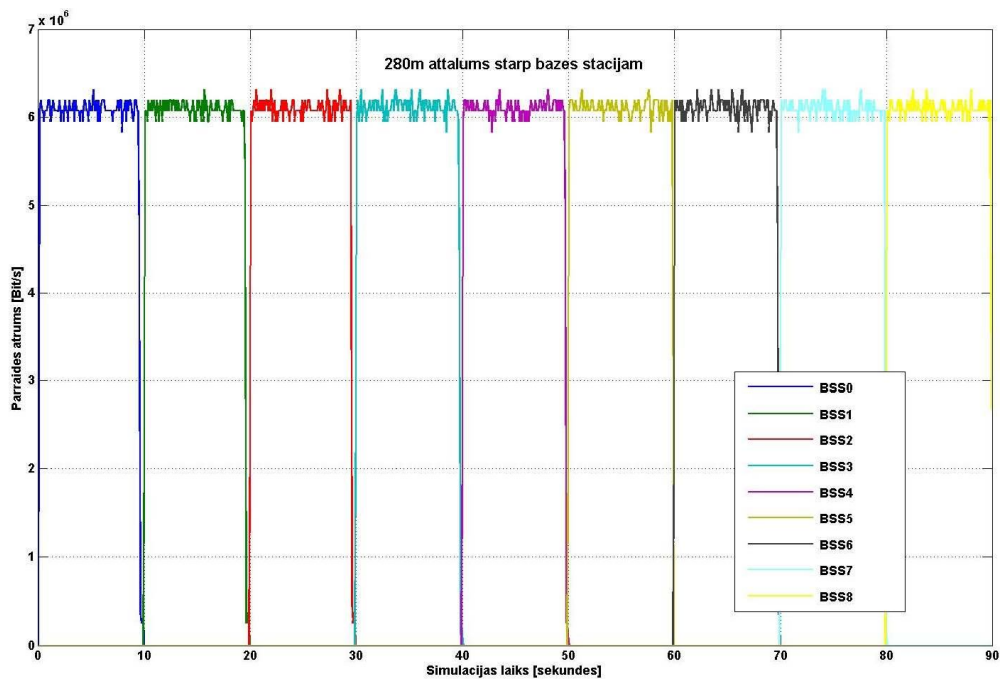
minimālo pārslēgšanas laiku starp maršrutētājiem, tā arī netika noteikts (OPNET 14.5 versija nesatur „n” un „y” standartus). Bet pārejot uz WI-FI IEEE802.11b standartu, tika iegūti rezultāti ar maksimālo iespējamo datu pārraides ātrumu, kuru var sasniegt šim standartam - 6Mbit/s (19.att.). 19.att. ir redzams grafiks, kur ar zilo krāsu parādīts datu pārraides ātrums transportlīdzeklim, kas noiet 2500 m garu ceļu ar ātrumu 100 km/st. Ar sarkanu krāsu parādīts vidējais rezultāts, kas tiecās pie 6Mbit/s datu pārraides ātruma.



19.att. 6Mbit/s datu pārraides ātrums 802.11b standartā

Otrais svarīgais jautājums ir noskaidrot, kā vislabāk, efektīvāk izvietot pieejas punktus (maršrutētājus), lai pārslēgšanas laiks starp tiem būtu visīsākais, bet attālums būtu pēc iespējas lielāks, un aparātūras izmaksas būtu vismazākās.

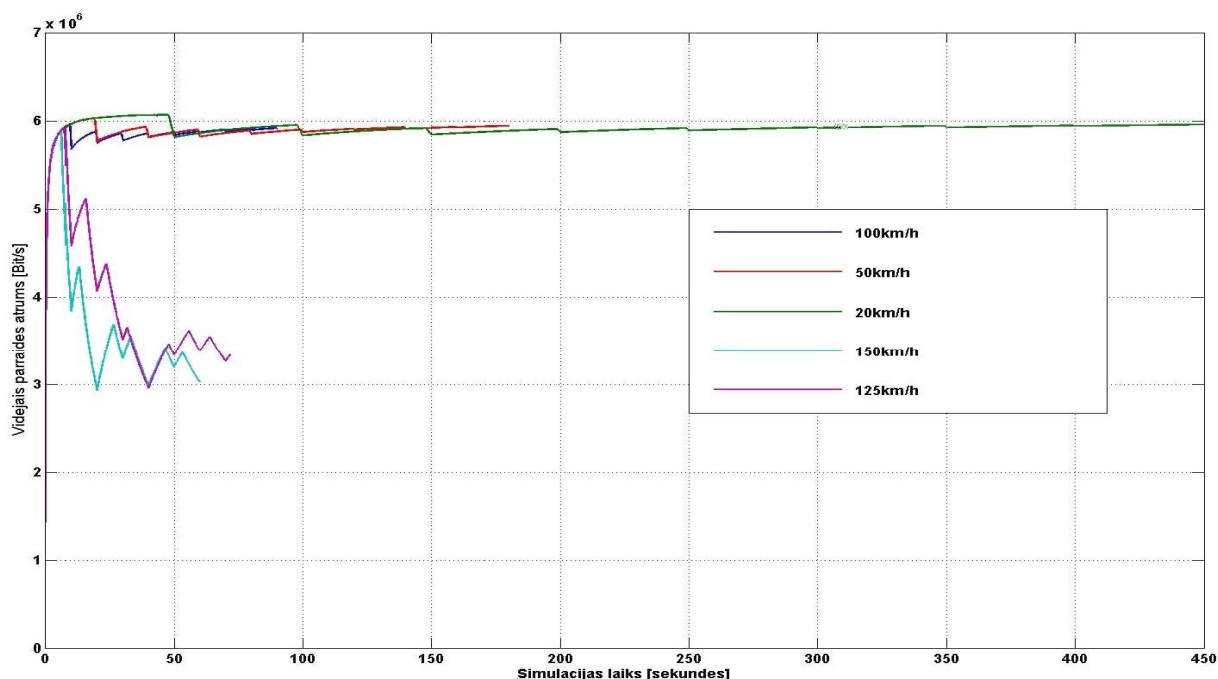
Vairāku eksperimentu gaitā, bija konstatēts, ka piemērots attālums starp maršrutētājiem transportlīdzekļiem kustoties ar ātrumu 100 km/stundā ir 280 metri (20.att.).



20.att. Attālums starp BSS ir 280 m

Ja attālums pārsniegtu 280 metrus, tad pārslēgšanas intervāls starp maršrutētājiem būs lielāks, jo transportlīdzeklis vēl nespēs nonākt līdz nākamā maršrutētāja signālam, bet jau „aizgāja” no tekošā maršrutētāja signāla. Ja attālums būs mazāks par 280 metriem, tad katra nākošā maršrutētāja lietderības koeficients būs zemāks. Klienta bezvadu sistēma strādās īsāku laiku nekā varētu ar katra maršrutētāja signālu. Ja maršrutētāji ir tuvu viens otram, klients laika daļu strādās ar iepriekšējā maršrutētāja signālu, jo tās ir piemērots (var stādāt maksimālajā pieļaujamajā datu pārraides ātrumā) un nav nepieciešams pārslēgties uz nākamās pārraides ierīces signālu.

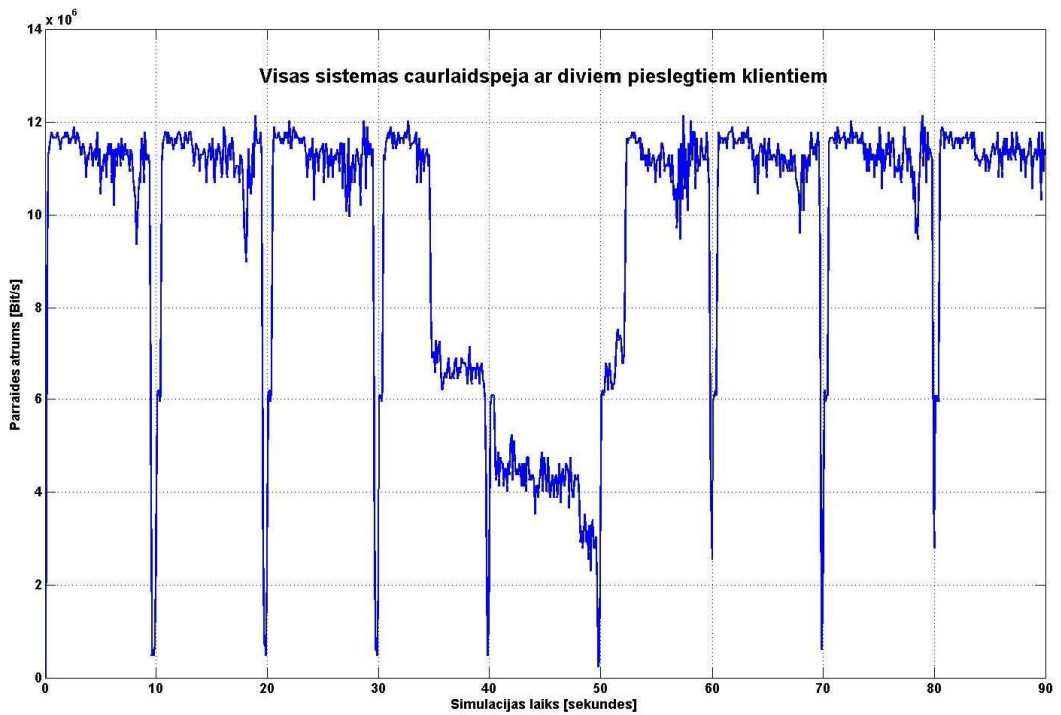
Zemāk sekojošo simulāciju rezultāti parāda, ka izvēlētais kustības ātrums ir vispiemērotākais. 21.att. ir attēloti vairāki grafiki ar vienu un to pašu datu pārraides ātrumu (6Mbit/s 802.11b standartam), kuros var redzēt, ka klientu kustības ātrums pāri 100 km/st nav derīgs, jo pat vidējais datu pārraides ātrums sastāda tikai 3.5 Mbit/s un pārejas momenti aizņem lielu laiku. Datu pārraide lielāko laika daļu nenotiks pārslēgšanas rezultātā. Aplūkojot grafiku, var konstatēt, ka kustoties ar ātrumu zem 100 km/st, var strādāt internetā bez jebkādām problēmām. Bet autostrādē braucot ar ātrumu zem 100 km/st, tiek apgrūtināta citu ceļa satiksmes dalībnieku kustība. Tāpēc visās simulācijas bija izmantots tieši ātrums 100 km/st.



21.att. Vidēja caurlaidspēja bitos sekundē dažādiem transportlīdzekļa kustības ātrumiem.

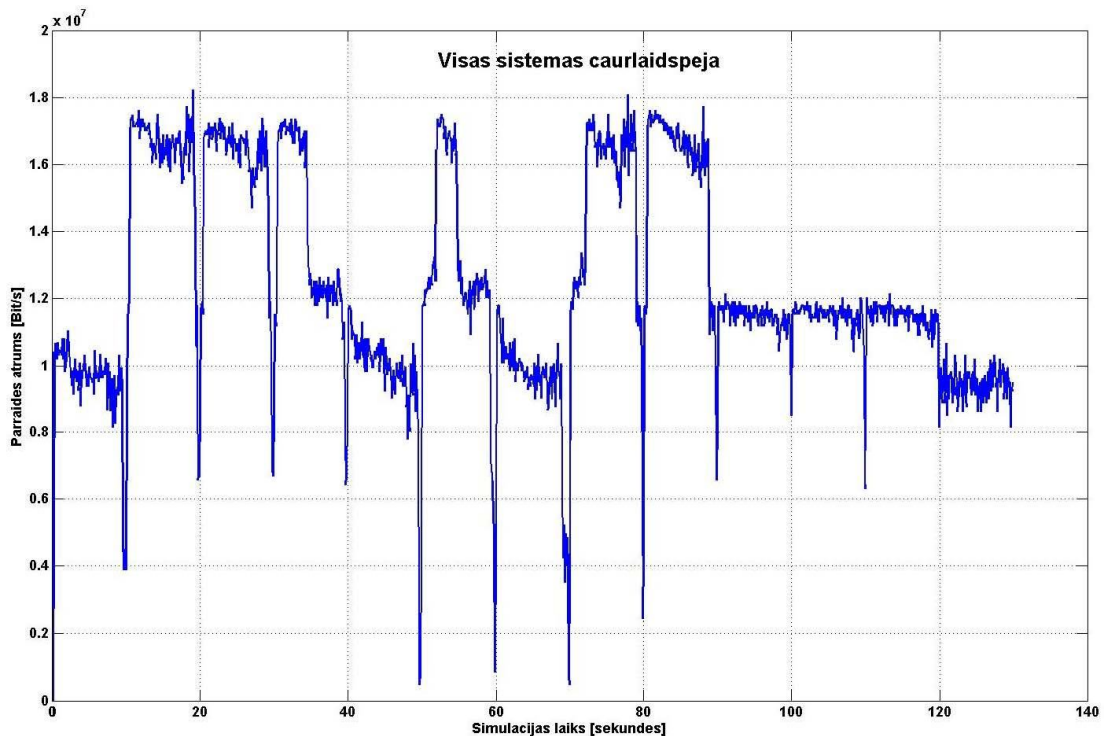
Simulācijas laikā bija izmantoti divi klienti, kas tuvojās viens otram no 2,5 km attāluma ar pārvietošanas ātrumu 100 km/st. 22.att. parāda kopējās infrastruktūras caurlaidspēju laika brīdī, kad pārvietojās divi pieslēgtie tīklam klienti. Grafikā var redzēt, ka kopējais datu pārraides ātrums sasniedz apmērām 12 Mbit/s, bet vidū, transportlīdzekļu satikšanās punktā tas ir mazāks. Tas ir izskaidrojams ar to, ka līdz tam brīdim un pēc tā klienti griežas katrs pie savas bāzes stacijas, bet vidū notiek datu pārraide tikai ar vienu (4.) maršrutētāju. Bet, kā zināms, tā maksimāla caurlaidspēja ir mazāka par 12 Mbit/s (802.11b).

Šis modelēšanas rezultāts pilnīgi atbilst secinājumiem no 2. Nodaļas, kur tika novērtēta 802.11g standarta bezvadu tīkla stacionārā situācija.



22.att. Kopējā sistēmas caurlaidspēja

Šajā simulācijā bija izmantoti trīs tīklam pieslēgti klienti. Divi no tiem tuvojās viens otram kā tas bija otrajā simulācijā, bet trešais uzsāk kustību 40 sekundēs pēc simulācijas sākuma. Kopējā sistēmas caurlaidspēja ir parādīta 23.att.



23.att. Kopējā sistēmas caurlaidspēja trīs klientu gadījumā

No 23.att. var redzēt, kurā brīdī katrs no klientiem griežas pie atsevišķas (savas) bāzes stacijas (datu pārraides ātrums ir ≈ 17 Mbit/s) un kurā brīdī nē - un datu pārraides ātrums ir ≈ 12 Mbit/s (kad divi no klientiem griežas pie vienas bāzes stacijas). Pēc simulācijas 90 sekundēm kopējā sistēmas caurlaidspēja ir ≈ 12 Mbit/s, jo pirmais klients jau pameta sistēmas darbības zonu.

7. nodaļa. Secinājumi

Šis promocijas darbs apraksta 802.11g un 802.11n protokolu transporta interneta sistēmas. Darbā veikts eksperimentālais un analītiskais sistēmas veiktspējas novērtējums.

Eksperimentālo datu rezultātā tika noteiktas sekojošas atkarības:

- veiktspējas eksponenciālā atkarība no darba staciju skaita 802.11 standartu bezvadu tīklos.
- veiktspējas kvadrātiskā atkarība no attāluma līdz bāzes stacijai Drive-thru Interneta sistēmās.
- veiktspējas atkarība no transportlīdzekļa ātruma 802.11g un 802.11n standartu transporta interneta sistēmās.
- veiktspējas atkarība no signāls/trokšņi attiecības transportlīdzeklī kas uztur sakarus ar 802.11g standarta tīkla bāzes staciju.

Šīs atkarības tiek analītiski izpētītas. Pamatojoties uz šo analīzi, tika izveidoti divi matemātiskie modeļi. Šie modeļi ir saistīti ar transporta plūsmas un datu pārraides sistēmas raksturojumiem. Ievērojot iegūtos rezultātus, bāzes stacijas efektivitāte tiek saistīta ar transporta plūsmas un datu pārraides sistēmas raksturojumiem. Var secināt arī to, ka datu pārraides faktiskais ātrums ir atkarīgs no objektu skaita, kuri uzstāda sakarus ar bāzes staciju, un no attāluma līdz bāzes stacijai.

Šajā promocijas darbā tiek noteikts transportlīdzekļa maksimālais ātrums, pie kura ir iespējama datu pārraide 802.11g standarta transporta interneta sistēmās ar WDS, pie nosacījuma ka maksimālais ātrums nepārsniedz 100 km/st. Tiek parādīts, ka transportlīdzekļa maksimālā ātruma ierobežojums netika noteikts (ātrumiem līdz 100 km/st) un ir iespējama datu pārraide Drive-thru Interneta sistēmās ar 802.11g standartu un WDS.

Šajā promocijas darbā tiek noteikta veiktspējas atkarība 802.11g un 802.11n standartu transporta interneta sistēmās. Šajā sakarā, mēs varam atzīmēt 802.11n standarta nozīmīgo priekšrocību salīdzinājumā ar 802.11g standartu pielietojot tos transporta interneta sistēmās.

Transporta interneta sistēmas veidošanas rezultātā tiek noteikts optimālais attālums starp bāzes stacijām, un tas sastāda 280 m, ja transportlīdzekļa ātrumu nepārsniedz 100 km/st. Šis fakts tika ņemts vērā, veidojot transporta interneta sistēmas modeļus.

Bez tam eksperimentāli un teorētiski tika noteikts, ka Doplera efekts nav novērojams laikā 802.11g standarta transporta interneta sistēmās, ja automobiļa ātrums nepārsniedz 120 km/st.

Šajā promocijas darbā tika konstatēta nepieciešamība turpināt 802.11n standarta transporta interneta sistēmas, jo šīs struktūras parametri ir vislabākie. Šī struktūra var apmierināt potenciālus klientus tās efektivitātes un relatīvi zemo izmaksu dēļ.

Promocijas darbs sniedz būtiskas iespējas turpināt pētījumus nākotnē, it īpaši transporta interneta tīklu jomā.

Bibliogrāfija

- [1] Marc Emmelmann, Bernd Bochow, C. Christopher Kellum: Vehicular Networking Automotive Applications and Beyond. A John Wiley and Sons, Ltd, Publication, 2010, pp. 227-255;
- [2] RSAC. Report of the Railroad Safety Advisory Committee to the Federal Railroad Administrator, Implementation of Positive Train Control Systems. Federal Railroad Administrator, US Department of Transportation, Washington, DC.
- [3] Mitola, J.I. (2000) SDR architecture refinement for JTRs. *Proc. 21st Century Military Communications MILCOM 2000*, vol. 1, pp. 214–218.
- [4] Chittester, C. and Haines, Y. (2004) Risks of Terrorism to Information Technology and to Critical Interdependent Infrastructure. *Journal of Homeland Security and Emergency Management* **1**(4), Berkley Electronic Press.
- [5] Lewis, T. (2006) *Critical infrastructure protection in homeland security: defending a networked nation*. John Wiley & Sons, Ltd.
- [6] Miller, L.E. (2009) Wireless Technologies and the SAFECOM SoR for Public Safety Communications. <http://www.antd.nist.gov/wctg/manet/docs/WirelessAndSoR060206.pdf>.
- [7] Nijkamp, P. (1995) From missing networks to interoperable networks : The need for European cooperation in the railway sector. *Transport Policy* **2**(3), 159–167.
- [8] Carvalho, M. and Garcia-Luna-Aceves, J. (2003) Delay analysis of IEEE 802.11 in single-hop networks. *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Network Protocols*, pp. 146–155.
- [9] IEEE 802.11 (2007b) Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- [10] Fettweis (Ed.), G. (2007b) Wireless gigabit with advanced multimedia support – system concept final version part 1: Overview. Project report, Dresden University of Technology.
- [11] IEEE 802.11e (2005) Std 802.11 Information Technology Telecommunications And Information Exchange Between Systems, Local and Metropolitan Area Networks, Specific Requirements
- [12] Fettweis (Ed.), G. (2007a) Wireless gigabit with advanced multimedia support – system concept evaluation part 4: Medium access layer. Project report, Dresden University of Technology.
- [13] Dutta, A., Das, S., Chiba, T., Yokota, H., Idoue, A., Wong, K.D. and Schulzrinne, H. (2006) Comparative analysis of network layer and application layer IP mobility protocols for IPv6 networks. *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, pp. 6–10.
- [14] Mishra, A., Shin, M. and Arbaugh, W. (2003) An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* **33**(2), 93–102.
- [15] Velayos, H. and Karlsson, G. (2004) Techniques to reduce the IEEE 802.11b handoff time. *IEEE International Conference on Communications* **7**, 3844–3848, Vol. 7.
- [16] IEEE 802.11 (2007a) IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control MAC and Physical Layer PHY Specifications. IEEE Std 802.11-2007 (Revision of IEEE Std 802.11-1999).
- [17] IEEE 802.11k-2008 (2009) IEEE 802.11k-2008 – radio resource measurement, draft amendment to standard for information technology – telecommunications and information exchange between systems – LAN/MAN specific requirements – Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.

- [18] IEEE 802.11p (2009) Wireless Access in Vehicular Environment, Draft Amendment to Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – LAN/MAN Specific Requirements – Part 11:Wireless Medium Access Control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.
- [19] Amir, Y., Danilov, C., Hilsdale, M., Musˆaloiu-Elefteri, R. and Rivera, N. (2006) Fast handoff for seamless wireless mesh networks. *MobiSys '06: Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*, pp. 83–95. ACM, New York, NY, USA.
- [20] Kim, H.B., Emmelmann, M., Rathke, B. and Wolisz, A. (2005) A radio over fiber network architecture for road vehicle communication systems. *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2005 Spring)*, vol. 5, pp. 2920–2924, Vol. 5, Stockholm, Sweden.
- [21] Kannisto, J., Vanhatupa, T., Hannikainen, M. and Hamalainen, T. (2005) Software and hardware prototypes of the IEEE 1588 precision time protocol on wireless LAN. *The 14th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, LANMAN 2005*.
- [22] Emmelmann, M. (2005a) Influence of velocity on the handover delay associated with a radio-signalmeasurement - based handover decision. *Vehicular Technology Conference (VTC) Fall 2005, Proc. Of IEEE 62nd*, vol. 4, pp. 2282–2286 IEEE, Dallas, TX, USA. Extended version.
- [23] Emmelmann, M. (2005b) Influence of velocity on the handover delay associated with a radio-signalmeasurement- based handover decision. *Technical Report TKN-05-003*, TU Berlin, Berlin, Germany.
- [24] Emmelmann, M. (2005c) Velocity effects on RSM-based handover decision. *doc. 11-05/233*, IEEE 802.11 TGT Wireless Performance Prediction, Plenary Session, Atlanta, GA, USA.
- [25] Festag, A. (2003) *Mobility Support in IP Cellular Networks – AMulticast-Based Approach*. PhD thesis, Technical University Berlin.
- [26] IEEE 802.11k (2007) IEEE standard for local and metropolitan area networks – Virtual bridged local area networks – Amendment 7: Multiple registration protocol.
- [27] Chen, Y.S., Chuang, M.C. and Chen, C.K. (2008) Deucescan: Deuce-based fast handoff scheme in IEEE 802.11 wireless networks. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* 57(2), 1126–1141.
- [28] Langgärtner, T.V.F. (2007) *Design of a software development environment for the IHP MAC prototyping development board*. Master's thesis, Technical University Berlin.
- [29] Bangolae, S., Wright, C., Trecker, C., Emmelmann, M. and Mlinarsky, F. (2005) Test methodology proposal for measuring fast bss/bss transition time. *doc. 11-05/537*, IEEE 802.11 TGT Wireless Performance Prediction Task Group, Vancouver, Canada. Substantive Standard Draft Text. Accepted into the IEEE P802.11.2 Draft Recommended Practice.
- [30] IEEE 802.11.2 (2008) IEEE 802.11.2 – Recommended practice for the evaluation of 802.11 wireless performance.
- [31] A.Ipatovs, E. Petersons, “The Wireless Network installation for Mobile Users”, *Proceedings of International Conference Electrical and Control Technologies*, ISSN 978-9955-25-484, 2008, pp. 13-17.
- [32] A.Ipatovs, E. Petersons, “Performance Evaluation of WLAN depending on number of Workstations and Protocols”, *Proceedings of International Conference Electrical and Control Technologies*, ISSN 9955-25054-2, 2006, pp. 266-270.
- [33] A.Ipatovs, E. Petersons, “An Experimental Performance Evaluation of the Wireless Network for Mobile Users”, *Electronics and electrical engineering*, ISSN 1392-1215, 2009, No. 5(93), pp. 21-24.
- [34] J.Jansons, A. Ipatovs, E. Petersons “Estimation of Doppler Shift for IEEE 802.11g Standard”, *Baltic Conference Advanced Topics in Telecommunication*, University of Rostock, pp. 73-82, 2009.

- [35] Shia-Sheng P, "WLAN IEEE802.11a Transceiver, Algorithm, Architecture and Simulation Results", Report of research, November 2001;
- [36] Fuqin Xiong and Monty Andro, "The Effect of Doppler Frequency Shift, Frequency Offset of the Local Oscillators, and Phase Noise on the Performance of Coherent OFDM Receivers" NASA document, <http://gltrs.grc.nasa.gov/cgi-bin/GLTRS/browse.pl?2001/TM-2001-210595.html>;
- [37] M. D. McKinley, K.A. Remley, M. Myslinski, J.S. Kenney, D. Schreurs, B. Nauwelaers, "EVM calculation for broadband modulated signals," 64th ARFTG Conf. Dig., Orlando, FL, Dec. 2004, pp. 45-52;
- [38] M. Mourad, H. Salem, and B. Ridha, "Analysis of frequency offsets and phase noise effects on an OFDM 802.11 g transceiver," IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.7 No.4, April 2007, pp. 87-91;
- [39] IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Further Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, IEEE Standard 802.11gTM-2003;
- [40] R. Gass, J. Scott, C. Diot, "Measurements of In-Motion 802.11 Networking", in Proc. of WMCSA'06.
- [41] S. Krauss, "Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics," Ph.D. Thesis, University of Cologne, Cologne, Germany. 1997.
- [42] IEEE Communication magazine May 2011, Vol. 49, No. 5
- [43] Lexus ENFORM Mobile, <http://www.lexus.com/enform/mobile/index.html>, 10-18-2010.
- [44] <http://www.autonetmobile.com/>, 10-18-2010.
- [45] 1] V. Devarapalli *et al.*, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol," IETF RFC 3963, Jan. 2005; www.ietf.org/rfc/rfc3963.txt.
- [46] J. Ott and D. Kutscher, "Drive-thru internet: IEEE 802.11b for "automobile" users," in Proc. IEEE INFOCOM, 2004.
- [47] OPNET modelētāja ražotāja mājas lapa / Internets. – <http://www.opnet.com>
- [48] Э.Таннебаум. Компьютерные сети. 4-е изд. – СПб.:Питер, 2003. – 992с.
- [49] Jing Zhu, Sumu Roy. "MAC for Dedicated Short Range Communications in Intelligent Transport System", IEEE Communication Magazin, December 2003, pp. 60–70.
- [50] A.Ipatovs, E. Petersons. „Performance Evaluation of WLAN depending on number of Workstations and Protocols”, Proceedings of International Conference Electrical and Control Technologies-2006., pp. 266-269, Kaunas
- [51] Jing Zhu, Sumit Roy. "MAC for Dedicated Short Range Communications in Intelligent Transport System." IEEE Communication Magazine, December 2003, p. 60-67.
- [52] X. Иносэ, Т. Хамади. „Управление дорожным движением”. М. Транспорт 1983 г. Стр. 248.
- [53] D. Gross, J. Shortle, J. Thompson, C. Harris. Fundamentals of Queuing Theory. Willy. 2008, стр. 500.
- [54] В.М. Вишнеvский, Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М. Техносфера. 2003. стр. 506.
- [55] T. van Woensel and N. Vandaele, "Modeling traffic flows with queueing models: a review," Asia Pacific Journal of Operational Research, vol. 24, pp. 435–461, 2007.
- [56] R. Jain and J. M. Smith, "Modeling vehicular traffic flow using m/g/c/c state dependent queueing models," Transportation Science, vol. 31, pp.324–336, 1997.

- [57] T. van Woensel and N. Vandaele, "Empirical validation of a queueing approach to uninterrupted traffic flows," *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research*, vol. 4, pp. 59–72, 2006.
- [58] S. M. Ross, *Stochastic Processes*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 1996.
- [59] G. Anastasi, E. Borgia, M. Conti, and E. Gregori, "Wi-fi in ad hoc mode: a measurement study," in *Proc. IEEE PerCom*, 2004.
- [60] J. Jun, P. Peddabachagari, and M. Sichitiu, "Theoretical maximum throughput of IEEE 802.11 and its applications," in *Proc. Second IEEE International Symposium on Network Computing and Applications*, 2003.
- [61] W. Tan, W. Lau, O. Yue, and T. Hui, "Analytical models and performance evaluation of drive-thru internet systems," *Tech. Rep.*, 2010. [Online]. Available: <http://mobitec.ie.cuhk.edu.hk/doc/public/TRmoddt-2010.pdf>
- [62] H. Wu et al., "An empirical study of short range communications for vehicles," in *Proc. ACM VANET*, 2005.
- [63] R. Gass, J. Scott, and C. Diot, "Measurements of in-motion 802.11 networking," in *Proc. IEEE Workshop on Mobile Computing System and Applications (HOTMOBILE 2006)*, 2006.
- [64] V. Gonzalez et al., "Experimental demonstration of the viability of IEEE 802.11b based inter-vehicle communications," in *Proc. ICST TRIDENTCOM*, 2008.
- [65] R. J. Punnoose, P. V. Nikitin, and D. Stancil, "Efficient simulation of Ricean fading within a packet simulator," in *Proc. IEEE VTC Fall*, 2000.
- [66] Wee Lum Tan, OnChing Yue, "Analytical Models and Performance Evaluation of Drive-thru Internet Systems", *IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS*, VOL. 29, NO. 1, JANUARY 2011, pp.207-222.
- [67] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE Press chapter Amendment 8:Medium access control (MAC) quality of service (QoS) enhancements.
- [68] Prasad R., *OFDM for wireless communications systems*, London, 2004. – 272p.
- [69] Sklar B., *Digital Communications: Fundamentals & Applications*, 2nd edition, Prentice Hall, 2001. – 1011p.
- [70] Proakis J.G., *Digital communications*, 3rd edition, McGrawHill, 1995. – 928 p.
- [71] Fontán P.F., Espineira M.P., *Modeling the Wireless Propagation Channel A Simulation Approach with MATLAB*, Wiley, 2008. – 268p.
- [72] Rappaport T., *Wireless Communication: Principles and Practice*, 2nd edition, Prentice Hall PTR, 2001. – 736 p.
- [73] Tiejun Wang, Proakis J.G., Masry E., Zeidler J.R. Performance degradation of OFDM systems due to Doppler spreading// *IEEE Transactions on Wireless Communications*. -2006.- Nr.6.- 1422. – 1432.p.
- [74] Xiong F., Andro M. The Effect of Doppler Frequency Shift, Frequency Offset of the Local Oscillators, and Phase Noise on the Performance of Coherent OFDM Receivers / *Internets*. - <http://gltrs.grc.nasa.gov/cgi-bin/GLTRS/browse.pl?2001/TM-2001-210595.html>.
- [75] Anandpara M., Erwa E., Golab J., u.c. ICI Cancellation for OFDM Systems. / *Internets*. - http://users.ece.utexas.edu/~wireless/EE381K11_Spring03/projects/6.1.doc.
- [76] Ipatovs A., Petersons E. An Experimental Performance Evaluation of the Wireless Network for Mobile Users/ *Internets*. - http://www.ee.ktu.lt/journal/2009/5/05_ISSN_1392-1215_An%20Experimental%20Performance%20Evaluation%20of%20the%20Wireless%20Network%20for%20Mobile%20Users.pdf.
- [77] Maham B., Hjørungnes A., ICI reduction in OFDM by using maximally flat windowing/*Internets*. - http://persons.unik.no/arehj/publications/icspc07_behrouz.pdf.

- [78] Melliti M., Hasnaout S., Bouallegue R., Analysis of Frequency Offsets and Phase Noise Effects on an OFDM 802.11 g Transceiver// IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security – 2007. - Nr.4. – 87.- 91.p.
- [79] Tse T., Study of High-Speed Wireless Data Transmissions for Railroad Operation/ Internets. - www.fra.dot.gov/downloads/Research/rr0710.pdf.
- [80] D'Amico William P., Lauss Mark H., Wireless Local Area Network Flight Demonstration for High Doppler Conditions// Johns Hopkins APL Technical Digest – 2004. – Nr.4. – 335.-342. p.
- [81] Elektrotehnikas un Elektroniskas inženieru institūts: IEEE Std 802.11g-2003 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edn. (Reaff 2003) as amended by IEEE Std 802.11a-1999, 802.11b-1999, 802.11b-1999/Cor 1-2001, and 802.11d-2001) / Internets. - <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/standardstoc.jsp?isnumber=27242>.
- [82] McKinley M. D., Remley K. A., Myslinski M., u.c. EVM Calculation for Broadband Modulated Signals// Automatic RF Techniques Group -2004. – Nr. 64. – 45.-52.p.
- [83] Tsai C.-S., Huang P.-C., Concatenated Codes Design for OFDM based Wireless Local Area Networks/ Internet. – <http://www.comp.brad.ac.uk/het-net/HET-NETs05/ReadCamera05/P21.pdf>.
- [84] Santos1 R. A., Rangel Licea V., Villaseñor L., Edwards A., Wireless Propagation Characteristics for Vehicular Ad-Hoc Networks in Motorway Environments/ Internets. - http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/WerelessProp_INV_TEC_FI09.pdf.
- [85] Rohde&Schwarz, SMBV100A Vector Signal Generator/ Internets. - http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/signal_generation/SMBV100A-%7C-Manuals-%7C-22-%7C-2519-%7C-4949.html.
- [86] Rohde&Schwarz, FSV Signal and Spectrum Analyzer/ Internets. - http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrum_analysis/FSV-%7C-Manuals-%7C-22-%7C-2381.html.
- [87] Rohde&Schwarz, WLAN Tests According to Standard 802.11a/b/g. / Internets. - http://www2.rohde-schwarz.com/en/service_and_support/Downloads/Application_Notes/?type=20&downid=616.21) Eusso, UWA2610-ID 10dBi Omni High Gain Indoor Antenna/Internets. - <http://www.eusso.com/Models/Antenna/UWA2610-ID/UWA2610-ID.htm>.
- [88] Zyren J., IEEE 802.11g Explained/Internets. - www.uninett.no/wlan/download/WP_IEEE802gExpla_12_06.pdf.
- [89] MUFTI M., Introduction to IEEE 802.11 Protocol/ Internets. - www.pec.org.pk/sCourse_files/Wireless_Networks_Technology/Introduction%20to%20IEEE%20802.ppt.
- [90] eSafety Support Office, eSafety Systems/ Internet. - http://www.esafetysupport.org/en/learn_about_esafety_systems/esafety_systems/