

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS

MATEMATIKOS – INFORMATIKOS FAKULTETAS

INFORMATIKOS KATEDRA

Informatikos studijų programos IV kurso studentas

Adomas Graisas

**ŠIUOLAIKINIŲ BEVIELIŲ IR MOBILIŲJŲ TINKLŲ AD HOC
SPRENDIMŲ ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF THE DECISIONS FOR MODERN WIRELESS AND MOBILE
AD HOC NETWORKS**

BAKALAURO DARBAS

Darbo vadovas: Doc. L. Kaklauskas

ŠIAULIAI 2013

„Tvirtinu, jog darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota ir paruošta naudojant literatūros sąraše pateiktus informacinius šaltinius bei savo tyrimų duomenis“

Darbo autorius: Adomas Graisas

(parašas)

Darbo tikslai ir uždaviniai

Tikslas

Išanalizuoti šiuolaikinių bevielių ir mobiliųjų tinklų Ad hoc technologiją.

Uždaviniai

1. Remiantis teorinės literatūros analize išnagrinėti Ad hoc technologijos veikimo principą ir taikymo sritis.
2. Apžvelgti šiuo metu vyraujančias bevielių tinklų technologijas ir palyginti jų veikimo principą su Ad hoc technologija.
3. Sukurti Ad hoc tinklo modelį, pasitelkus tinklų modeliavimo įrankį „OPNET Modeler“.
4. Atlikti sukurto tinklo modelio parametrų analizę.

Darbo vadovas _____

(vardas, pavardė, parašas)

Turinys

| | |
|--|----|
| Įvadas..... | 5 |
| I. ANALITINĖ DALIS..... | 6 |
| 1. <i>Temos analizė</i> | 6 |
| 1.1. Ad Hoc tinklų technologijos samprata..... | 7 |
| 1.2 Šiuolaikinės bevielų tinklų technologijų palyginimas | 11 |
| 1.3 Bevielų tinklų maršrutizavimas | 17 |
| 2. <i>Darbinės srities analizė</i> | 18 |
| AODV maršrutizavimo protokolas | 20 |
| I. PROJEKTINĖ DALIS | 22 |
| 1. <i>Projekto vykdymo planas</i> | 22 |
| 2. <i>Pradinis projekto aprašymas</i> | 23 |
| 3. <i>Įrankių pasirinkimo analizė</i> | 23 |
| II. DARBO EIGOS APRAŠYMAS..... | 25 |
| 1. <i>Darbo eigos grafikas</i> | 25 |
| 2. <i>Problemos ir jų sprendimo būdai</i> | 25 |
| 3. <i>Galutinio projekto būsenos aprašymas</i> | 26 |
| 4. <i>Darbo rezultatų analizė</i> | 38 |
| 5. <i>Patarimai, pastebėjimai, rekomendacijos</i> | 39 |
| III. IŠVADOS | 40 |
| IV. LITERATŪROS IR INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAI..... | 41 |
| V. ANOTACIJA | 42 |
| SUMMARY | 42 |
| PRIEDAI | 43 |

Įvadas

Dabartiniams didiesiems interneto tinklams ar tiesiog duomenų perdavimo tinklams diegti, dažniausia yra naudojama laidinės ryšio linijos. Naudojamos dviejų tipų ryšio linijos vario kabeliai arba naujesnės technologijos brangesnės ir spartesnės laidinės ryšio linijos šviesolaidiniai kabeliai.

Tokie laidinės komunikacijos tinklai turi vieną ryškų trūkumą, tai tinklo mazgų stacionarumas. Tinklo vartotojai negali naudotis tinklo paslaugomis keisdami savo būvimo vietą, nes praktiškai nėra galimybės nenutraukiant ryšio pakeisti savo buvimo vieta. Šiai problemai tampant vis opesnei, tarp vartotojų pradėjo plisti belaidės ryšio priemonės.

Dabartinės belaidės ryšio linijos architektūriškai remiasi centralizuoto paslaugos teikimo principu. Tai reiškia, kad visi vartotojų srautai turi pirma patekti į centrinę stotį ir tik po to išsiunčiami kiekvienam vartotojui. Toks principas yra patogesnis nei laidinės ryšio linijos, nes atsiranda mobilumas. Vartotojas gali šiek tiek judėti ir keisti savo būvimo vietą, tačiau nenuitoldamas nuo centrinės stoties ryšio aprėpties zonos.

Kadangi vistiek lieka prierašumas centriniai stočiai, pradėta kalbėti kaip būtų galima patobulinti komunikaciją. Atsirado naujas terminas daugiašuliai tinklai. Jų veikimo principas yra toks, jog siekiama apeiti bazinės stoties reikalingumą. Komunikacija vykta tiesiogiai tarp vartotojų. Vartotojai būtų tarsi tarpininkai vienas kitam, siekiant užmegzti tolimesnius ryšius. Šiame darbe, kaip tik ir bandysime apžvelgti vieną daugiašulių tinklų rūšį Ad Hoc tinklus.

Darbo Tikslas - Išanalizuoti šiuolaikinių bevielų ir mobiliųjų tinklų Ad hoc technologiją.

Uždaviniai

1. Remiantis teorinės literatūros analize išnagrinėti Ad hoc technologijos veikimo principą ir taikymo sritis.
2. Apžvelgti šiuo metu vyraujančias bevielų tinklų technologijas ir palyginti jų veikimo principą su Ad hoc technologija.
3. Sukurti Ad hoc tinklo modelį, pasitelkus tinklų modeliavimo įrankį „OPNET Modeler“.
4. Atlikti sukurto tinklo modelio parametrų analizę.

I. ANALITINĖ DALIS

1. Temos analizė

Šiuo metu dažniausiai belaidžiuose tinkluose naudojama P-MP (angl. point to Multipoint - taškas - daug taškų) architektūra. Tai reiškia, kad tik paskutiniame žingsnyje vartotojui tinkle paslauga pateikiama be laide terpe, panaudojus bazinę stotį ar centrinį maršrutizatorių. Tokiu principu dažniausiai diegiami GSM ar Wi-Fi tinklai. Toks veikimo principas dažniausiai būna neoptimalus, kadangi vistiek lieka infrastruktūros poreikis, reikia praveisti begales laidų, visa tai, verčia kurti naujas technologijas arba tobulinti senąsias.

Kalbant apie naujas technologijas, reikia paminėti daugiašuolių (angl. multihop) tinklų koncepciją. Šiuose tinkluose kiekvienam vartotojui nebūtina turėti tiesioginį ryšį su tinklo mazgais turinčiais tinklo resursus (internetą), vartotojai gali komunikuoti vienas su kitu. Tokiu būdu vartotojai neturintys tiesioginio ryšio su tinklu, gali komunikuoti su juo per tarpininkus. Tarpininkavimo principas labai pasitarnauja, sugėdus vienam ar ktram tinklo mazgui, maršrutizavimo protokolai randa naujus maršrutus kuriais tęsia komunikaciją, o vartotojai toliau gali naudotis paslaugomis. Puikus pavyzdys yra GSM tinklai, sugėdus vienai baziniai stočiai daugybę vartotojų netenka komunikacijos, kadangi GSM tinklai veikia ne daugiašuolių tinklų principu.

Naujos kartos Ad Hoc technologija, kaip tik ir priskiriama prie daugiašuolių tinklų. „Mobilieji Ad Hoc tinklai (angl. Mobile Ad Hoc Networks – MANET) yra savaime susiorganizuojantys, sudaryti iš tarpusavyje belaidžiu ryšiu sujungtų tinklo įrenginių. Tinklo įrenginiai (mazgai) gali siųsti ir priimti duomenis, būti galiniais ir skirtingų maršrutų tarpiniais įrenginiais. Tinklo įrenginių skaičius ir jų vieta yra nuolat kintantys dydžiai, todėl vartotojų duomenims perduoti naudojami maršrutų paieškos (angl. routing) protokolai iš esmės skiriasi nuo maršrutų paieškos protokolų, naudojamų stacionariuosiuose kompiuterių tinkluose. Mobilieji Ad Hoc tinklai sudaro decentralizuotą tinklo topologiją, kai vartotojų duomenys persiunčiami per kitus mobiliuosius tinklo įrenginius link prieigos maršrutizatoriaus“ (R. Zakarevičius, R. Plėštys). Šio tipo tinklas turi būti labai dinamiškas, nes bet kuriuo metu nuo tinklo gali atsijungti ir prisijungti nauji įrenginiai turintys leidimą prieigai.

Remiantis R. Zakarevičiaus ir R. Plėščio „Maršrutų paieška belaidžiuose AD HOC tinkluose“ knyga, bus nagrinėjami bevielių tinklų Ad hoc technologija. „OPNET“ programa sumodeliuotame tinkle panaudosime populiariausius maršrutų paieškos protokolus ir stebėsime kaip keičiasi tinklo parametrai. Iš pateiktų parametrų bus galima spręsti apie tai kokį protokolą galima

taikyti konkrečiu tinklo atveju. Modeliuojant tinklą bus stengiamasi jį padaryti kuo labiau realistinį, kad net ir mažiausi tinklo techniniai parametrai atitiktų reales situacijas. „OPNET“ programa turi galybę parametru, praktiškai visas tinklo mazgų technines charakteristikas.

Ad Hoc tinklų vystymosi pradžioje buvo naudojami paketiniai radijo tinklai (angl. Packet Radio Networks – PRNET), skirti kariniams tikslams. Komercinių Ad Hoc tinklų koncepcija atsirado tik apie 1990 metus, atsiradus nešiojamiesiems kompiuteriams ir įvairiai kitai paprastiems vartotojams prieinamai mobiliajai įrangai. Ad Hoc tinklų standartizavimas prasidėjo 1997 metais, įkūrus IETF (Internet Engineering Task Force) organizacijos MANET tinklų darbo grupę.

IETF MANET darbo grupė sudarė RFC-2501 specifikaciją, kuria buvo apibrėžtos tokios ryškiausios Ad Hoc tinklų savybės:

- Dinaminė topologija. Tinklo topologija keičiasi dėl laisvo įrenginių judėjimo ir jų budėjimo ciklo, siekiant taupyti energiją. Radijo ryšio jungtys gali būti ne tik dvikryptės (angl. Bidirectional), bet ir vienkryptės (angl. unidirectional).
- Ribotas tinklo pralaidumas, palyginti su fiksuotuoju ryšiu. Jis mažesnis nei leidžia teorinės beleidžio ryšio galimybės ir nuolat kinta dėl bendros radijo ryšio terpės ir nepastovių signalų sklidimo sąlygų – triukšmų ir interferencijų.
- Mažos energijos sąnaudos, nes mobilieji įrenginiai maitinami iš akumuliatorių [7].
- Naujos tinklo saugumo problemos, nes padidėja pasyvaus klausymo arba aktyvaus trukdymo rizika. Skirtingai nei belaidės prieigos tinklai, Ad Hoc tinklai neturi centralizuoto valdymo, kuris galėtų atlikti patikimos trečiosios šalies funkcijas, šifravimo raktams apsikeisti arba saugiai prieigai suteikti [7].

1.1. Ad Hoc tinklų technologijos samprata

Ad Hoc režime naudojami IEEE 802.11a/b/g/n protokolai, naudojamas dažnių ruožas 2,4 GHz – 5 GHz. Žemiau lentelėje 4 pateikta standarto charakteristikos.

Lentelė 1. IEEE 802.11 Standarto charakteristikos

| Parametras | a | b | g | n |
|-------------------------------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------------|---|
| Sukūrimo data | 1999 | 1999 | 2003 | 2009 |
| Dažnis GHz | 3,7- 5 | 2,4 | 2,4 | 2,4-5 |
| Dažnio juosta MHz | 20 | 20 | 20 | 40 |
| Sparta Mbps | 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 | 1, 2, 5.5 | 1, 2, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 | 15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 300 |
| Veikimo nuotolis pastate metrais | 35 | 38 | 38 | 70 |
| Veikimo nuotolis lauke metrais | 120 | 140 | 140 | - |

Dažniausiai Ad Hoc principu sudaromi tokie tinklai:

- Tai išmaniųjų telefonų, nešiojamųjų kompiuterių ir kitų mobiliųjų įrenginių belaidžiai lokalsios aprėpties tinklai.
- Asmeniniai tinklai, jungiantys arti esančius įrenginius, tai delninukas, išmanusis telefonas, stacionarusis arba nešiojamasis kompiuteris, spausdintuvus, vaizdo arba garso techniką. Tam naudojamas IEEE 802.15 standartų šeimos protokolas. Viena iš labiausiai paplitusių WPAN tinklų technologijų yra Bluetooth.
- Automobilių belaidžiai tinklai (angl. Vehicular Ad Hoc Network – VANET), tokie tinklai naudojami automobiliuose. Šio tipo tinklai naudojami automobilių saugumo ir informavimo sistemose, taip pat didelės spartos interneto prieigai automobiliuose. VANET tinklų išskirtinė savybė, tai jų mobilumas. Tačiau mazgų judėjimo trajektorijos dažniausiai būna ribotos ir sutampa su keliais.

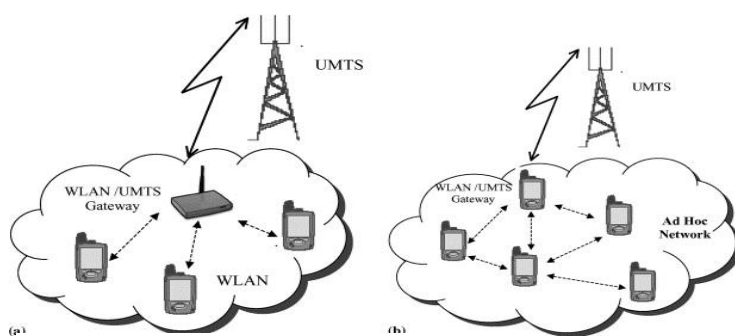
Ad Hoc tinklai dar yra skirstomi į mažesnes pritaikymo sritis. Šios sritys pasižymi skirtingomis mobilumo savybėmis ir duomenų perdavimo pobūdžiu. Tai jau minėtas VANET, toliau bus kalbama apie MANET ir NANET tinklo pogrupius.

MANET

Šiam pogrupiui priskiriamas toks tinklas, kai ryšys užmezgamas tarp judančių mazgų, ar statinių įrenginių, kurie keičia tarpusavio pozicijas, ne būtinai priklausomai vienas nuo kito. Tarpusavio komunikacijai nenaudojama bazinė stotelė.

NANET

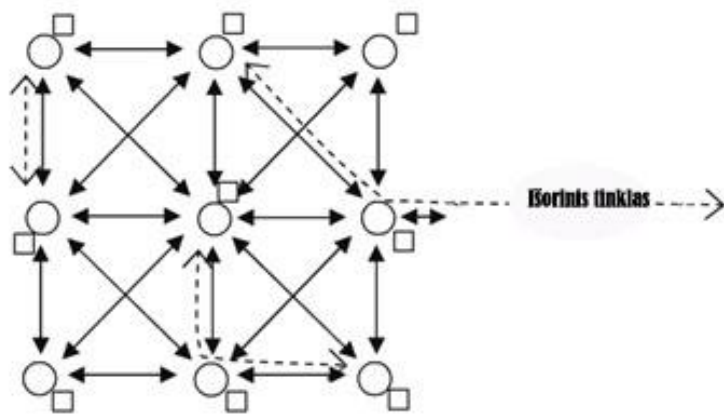
Pastaruoju metu ši Ad Hoc tinklų grupė pradėta naudoti laivyboje. Seniau laivyboje buvo naudojama AIS (angl. Automatic identification system), tačiau ši technologija visai netinkama didesniems duomenų srautams perduoti, visas interneto ryšys laivuose seniau buvo palaikomas vien tik palydovinio ryšio pagalba. Toks ryšys su žeme yra labai brangus. Išsivysčius WiMax technologijai, atsirado galimybė turėti plačiajuostį ryšį gana dideliu atstumu nuo uosto. Šios technologijos pagalba laivuose dažniausiai ir būna įrengtas Ad Hoc tinklas, kuris leidžia turėti plačiajuosčio tinklo prieigą, esant dideliu atstumu nuo uosto. Taip sumažinamas palydovinio ryšio poreikis. Tiesa visas tinklo mobilumas veikia, dažniausiai tiksliai apibrėžtose teritorijose, kurios nustatomos pagal laivų kelius, kurie sudaromi jūrlapiuose. Laivų greitis santykinai nėra didelis, todėl NANET pogrupio tinklai nepasižymi didele dinamika, priešingai nei MANET.



Pav. 3 a- Wi-Fi tinklo modelis; b- Ad hoc tinklo

Belaidžiai sensorių tinklai

Galima išskirti dar viena Ad Hoc tinklų grupę jutiklių (senorių) (angl. Wireless Sensor Network – WSN), šie tinklai sudaromi remiantis stacionarių Ad Hoc tinklų principu.



Pav. 4 Belaidžių jutiklių tinklo struktūra. O – ryšio modulis, kvadratais pažymėti jutikliai, ištisinės linijos – radijo ryšio signalai, brūkšninės – duomenų pardavimo keliai [7].

Sensoriniai jutikliai turi ypač mažus energijos, duomenų siuntimo, apdorojimo ir atminties išteklius. Naudodami ryšio modulį jie jungiasi belaidžiu ryšiu su kitais jutikliais surinktiems duomenims perduoti. Dažniausia jutiklių funkcija surinkti vienokius ar kitokius aplinkos, kur jie yra patalpinti parametrus, bei atlikti pirminį jų apdorojimą, o po to perduoti jungiantis į bevielį tinklą ir atiduoti informaciją. Surinktų duomenų kiekis yra ganėtinai mažas, tačiau dažnai atnaujinamas. Duomenys yra perduodami translaivimo būdu, užliejant tinklą arba tam tikrą jo dalį informaciją.

Ad hoc tinklo saugumas

Ad Hoc tinklai turi ganėtinai daug gerų savo savybių, tokių kaip mobilumas, atvira įrengnių prieiga, tarpininkavimas, kelia didžiausią pavojų šių tinklų vartotojams. Kadangi prisijungimas prie tinklo tampa toks paprastas, atsiranda galimybė pasireikšti piktavaliams, kurie pakenks tinklui ir jo vartotojams.

Pagrindinės ad hoc tinklo grėsmės[8]:

- **Paketų atmetimo ataka** - prisijungęs kenkėjiškas tinklo mazgas, kuris specialiai atmeta gautus paketus užuot juos persiuntęs toliau;
- **Slaptas pasiklausymas** - nepageidaujamas mazgas, prisijungia be leidimo ir „klausosi“ perduodamų duomenų;
- **Konfidencialumas** - Duomenys gali būti prieinami ne vien tikslinei grupei;
- **Prieinamumas**- tik leistinų veiksmų užtikrinimas.

- **Maršrutų lentelių perpildymas** - piktybiniai mazgai inicijuojama daugybės neegzistuojančių maršrutų įtraukimą į atakuojamus maršrutizatorius, siekiant apkrauti tinklą ir sulėtinti arba visai nutraukti tinklo darbą;
- **Trukdymo ataka** - mazgas arba dalis tinklo užliejama nereikalinga informacija, kas paveikia tinklo maršrutizavimą, tinklas sulietėja arba nutrūksta jo veikimas;
- **Atsisakymo kontrolė** - nėra pilnos apsaugos nuo tinklo vartotojų, atsisakančių teikti privalomas paslaugas;
- **"Miego trūkumo" ataka** - dažniausiai pasirenkamas vienas tinklo mazgas ir jam perduodamas visas tinklo maršrutizavimas, su tikslu išnaudoti įrenginio energiją (baterija).
- **Skubinimo ataka** - specialiai ignoruojamas teisingas tinklo paketų maršrutas ir pasirenkamas neteisingas.
- **"Juodoji skylė"** - tinklo mazgas pasiskelbia turįs artimiausią kelią iki atakuojamo įrenginio, tačiau atėjęs duomenų srautas niekur neperduodamas, o tiesiog sunaikinamas.

Deja, Ad Hoc tinklų technologija dar ganėtinai nauja, todėl nėra pilnai nusistovėjusių sprendimų kurie panaikintų tinklo grėsmę.

1.2 Šiuolaikinės bevielų tinklų technologijų palyginimas

Wireless (Wi-Fi)

Lentelė 2. Wi-Fi standartai.

| Standartas | Dažnis | Sparta | Veikimo nuotolis |
|----------------|---------|------------------|------------------|
| 802.11a | 5,8 GHz | 54 Mbps | ~120 m |
| 802.11b | 2.4 GHz | 11 Mbps | ~140 m |
| 802.11g | 2.4 GHz | 54 Mbps | ~140 m |
| 802.11n | 2.4 GHz | 150 iki 600 Mbps | ~230 m |

Dažniausiai Wi-Fi technologija naudojama namų sąlygoms sukurti vietinį tinklą (WLAN - wireless local area network), tačiau panaudojus galingesnes antenas šį tinklą galima ir išplėsti. Maksimalus patikimo bevielio ryšio atstumas tarp dviejų Wi-Fi įrenginių labai priklauso nuo pastarųjų techninių parametrų ir aplinkos sąlygų - jis gali skirtis nuo keliolikos metrų iki kelių šimtų kilometrų. Technologijos dėka bevielio ryšio įrenginiai gali būti sujungiami į vietinį kompiuterių tinklą, prijungiami prie prieigos taško-maršrutizatoriaus, užtikrinančio prieigą prie interneto resursų. Interneto paslaugų tiekėjai bevielio ryšio įrenginius naudoja tarptinkliniams ryšiams (angl. backhaul) realizuoti, sujungiant kompiuterių tinklus, esančius atskiruose pastatuose ar gyvenvietėse[3]. Pagrindinė priežastis dėl kurios šis standartas taip išpopuliarėjo, tai nelicenzijuojamas 2,4 GHz dažnis, ribojamas tik įrangos perduodančios signalą stiprumas. Kadangi dažnis nelicenzijuojamas, tai jį buvo galima pritaikyti ir namų tinklo pajungimui.

Wi-Fi ryšio standartai

- **A standartas (802.11a).** Jis naudojamas labai retai. A standarto bangos sklinda 5 GHz radijo bangų diapazonu. Teorinė sparta siekia 54 megabitus per sekundę (Mbps).
- **B standartas (802.11b).** Naudoja 2,4 GHz radijo bangų diapazoną ir veikia vos 11 Mbps sparta. Atvirai tariant, šis standartas taip pat jau atgyveno savo laikus.
- **G standartas (802.11g).** Vis dar nenorinti pasiduoti technologija. Mat G standarto adapterius turi dauguma prieš kelerius metus pagamintų nešiojamųjų kompiuterių. Ryšys veikia 2,4 GHz bangų diapazonu. Teorinė jo sparta siekia 54 Mbps.
- **N standartas (802.11n).** Naujusias bevielio ryšio standartas. Priklausomai nuo naudojamos antenos tipo, jo maksimali sparta gali siekti nuo 150 iki 600 Mbps. Dažniausiai nešiojamuosiuose kompiuteriuose ir maršrutizatoriuose diegiama N standarto įranga veikia 300 Mbps greičiu. Patys naujausi ir galingiausi „noutbukai“ jau moka „išspausti“ ir 450 Mbps. Bent jau teoriškai. Dažniausiai N standarto aparatai „kalbasi“ 2,4 GHz bangų diapazone. Tačiau geresni maršrutizatoriai papildomai naudoja ir 5 GHz bangas. N įrenginiai gali bendrauti ir senesnių standartų įranga, tiesa, tuomet teks pasitenkinti ankstesnės kartos siūlomomis galimybėmis[4] Tik šis standartas turi "Full-Duplex" režimą, tai reiškia, kad įrenginys vienu metu gali vykdyti duomenų siuntimą ir priėmimą. Ankstesni standartai turi tik "Half-Duplex" režimą ir vienu metu gali arba siųsti arba priimti duomenis.

Dar viena sąlyga, kuri skatina Wi-Fi technologijos populiarumą yra tai, jog šį standartą galima pritaikyti kitiems vartojimo būdams. Ad-Hoc ir Mesh tinklai jungiami naudojant Wi-Fi standarto įrangą, bei standarto pajungimo modelius.

Tiesa šiuo metu egzistuojanti Wi-Fi dar negali palaikyti daugiašalių srautų perdavimo į belaidę terpę. Dabartinis Wi-Fi standartas leidžia jungtis į tinklą, tik tokiu būdu jei tinkle yra bazinė stotelė (angl. Access point), kuri veikia maršrutizatoriaus principu. Tačiau atliekami tyrimai rodo, kad artimiausiu laiku technologija bus ištobulinta iki tokio lygio, kad bus galima panaikinti centralizuotą prieigos tašką. Jeigu šios technologijos įrenginiai palaiko Ad-hoc režimą, tada jo pagalba galima įrengti tinklą kuriam nereikės bazinės stotelės. Įrenginiai komunikuos vienas su kitu. Režimas yra labai naudingas tuom, kad palengvina apsikeitimą duomenimis tarp gretimų įrenginių. Kadangi režimas dar nėra iki galo ištobulintas, jame dar nėra pilnai sutvarkyta IP integracija, ko pasekoje labai apsunkinama interneto veikimas tarp šiuo režimu veikiančių įrenginių.

Nežiūrint į visus technologijos trūkumus, jos privalumai skatina ją tobulinti. Veikimas be prieigos taško yra labai naudingas ir gali būti panaudotas tarkim kuriant naujos kartos automobiliuose veikiančias navigacijas, kai automobiliai galės sąveikauti vienas su kitu. Taigi ateityje šis standartas gali būti panaudotas kaip pagrindas naujos kartos tinklų vystimui.

IEEE802.16 - WiMax

Šiuo metu plačiajuosčio internetinio ryšio sujungimai dažniausiai yra tik laidinių infrastruktūrų, naudojant DSL arba kitokį principą bet vistiek neatsisakant kabelio. Tačiau šitoks laidinių infrastruktūrų principas yra žymiai brangesnis ir reikalauja daug laiko diegiant infrastruktūrą, nei ta patį darbą atliekant su bevieliais tinklais. Be to, kaimo vietovėse vystyti plačiajuosčio tinklo paslaugų tiekėjai, dažniausiai nenori, nes reikia kurti infrastuktūrą, o tas kainuoja didelius pinigus, kurie gali ir neatsipirkti. Plačiajuosčio ryšio bevielė IEEE 802.16 prieiga (Broadband Wireless Access) [5], standartas tapo perspektyvus sprendimas, kuris gali pakeisti plačiajuosčio ryšio laidines linijas. Priešingai nei anksčiau minėtas IEEE 802.11 standartas, kuris buvo labiau skirtas vietiniam tinklui, ši standartas priskiriamas naujų technologijų kartai, kaip tarkim 4G LTE.

Pastaruosiu metu labiausiai tobulinami du šio standarto variantai IEEE 802.16d ir IEEE 802.16e. Pirmasis 802.16d variantas labiau pritaikytas mobiliesiems vartotojams. Techninėse charakteristikose technologijai pateikti tokie parametrai: 20 MHz naudojamas kanalo plotis, 70 Mbit/s duomenų perdavimo sparta, veikimo atstumas iki 50 kilometrų, maksimalus greitis kuriuo judant galima naudoti tinkli siekia net iki 120 km/h. Dažnių diapozanos taip pat nėra iki galo ne

apibrėžtas, svyruoja 2- 10,5 GHz. Ši technologija panašiai, kaip anksčiau mineta Wi-Fi turi adaptyvę moduliaciją, tai reiškia kad ryšio parametrai labai priklauso nuo šalutinių veiksnių. Tarkim judančių mazgų sparta bus kur kas mažesnė, nei ne judančių. Toks pat principas ir su veikimo atstumu, didėjant atstumui tarp sąveikaujančių mazgų, mažėja maksimali duomenų perdavimo sparta[5].

WiMax technologija yra tarpinis variantas tarp Wi-Fi, GSM, 3G, tačiau jo mobilumo savybės yra geriausios, taip pat galima daug didesnė sparta. Tačiau visas technologijos pagrindas paremtas geriausiomis Wi-Fi savybėmis, kas padaro Wi-Max lengviau pritaikomą daugiašuliams tinklams. Nors šiuo metu standartas taip pat dažniausiai naudojamas vienašulio tinklo principu. Principu, kai vartotojai norintys komunikuoti tarpusavyje vistiek turi jungtis per bazinę stototelę.

Lentelė 3. Bevielių tinklų palyginimo lentelė.

| | WiMax | Wi-Fi | Ad hoc |
|--|--------|-----------------------------------|-------------|
| Įrangos kaina | Brangi | Pigi | Pigi |
| Iš anksto įdiegta infrastruktūra | Taip | Taip (nereikalinga Ad-Hoc režime) | Ne |
| Sparta | Didelė | Didelė | Vidutiniška |
| Dabartinis paplitimas | Mažas | Paplitęs | Mažas |
| Naudojama daugiašulė technologija | Ne | Ne | Taip |

Pirmoje lentelės grafoje palygintos tinklų kainos, antroje grafoje pateiktas infrastruktūros reikalingumas. Pažvelgus į šias dvi grafus matyti, kad jei tinklų technologijai reikalinga infrastruktūra, jų kaina pasidaro didelė. Tai gi galima spręsti infrastruktūros reikalingumas, didina tinklų technologijų kainą, bei jų paplitimą rinkoje. Išsiskiria tik GSM, šios technologijos paplitimas yra didelis, todėl kad vartotojai priprato prie šios technologijos, jiems teikiamų paslaugos

patogumų. Kalbama apie garso (balso) perdavimą, ši technologijos galimybė tapo neatsiejama jų gyvenimo dalimi, todėl tiekėjams naudinga plėsti šios technologijos ribas, nežiūrint į tai, kad technologija brangi. Plečiant technologiją matoma atsipirkimo galimybė. Kalbant apie spartą matyti, kad WiMax ir Wi-Fi technologijos turi gera kadangi vartotojai jomis naudojasi, šiuo metu jos yra populiariausios rinkoje. Ad-Hoc technologija kol kas atsilieka savo sparta, tačiau matomas šios technologijos perspektyvos tobulinimo srityje, žvelgiant į ateities bevielius tinklus. Vis dažniau prabilstama apie daugiašiuolius tinklų technologiją ir bazinės stoties atsisakymo galimybę, ši technologija kaip tik į tai ir orientuota.

Belaidžiai MESH tinklai

Šių tinklų paskirtis panaši, kaip ir ankstesnių nebrangus ir paprastas palčiajuosčio ryšio perdavimas. Mesh tinklai panašūs į Ad hoc tinklus, kadangi naudoja didelį kiekį statinės Ad hoc infrastruktūros. Mesh tinklo mazgai yra maži radijo siųstuvai (žiūrėti pav.8), kurie išdėstumi tam tikrai atstumais, kad komunikuotu vienas su kitu ir sudarytu bevieli tinklą. Kiekvienas mazgas atlieka bevielio maršrutizatoriaus funkcija. Mazgai naudoja bendrus WiFi standartus, 802.11a, b ir g bedravimui bevieliu būdu su vartotojais ir svarbiausia vienas su kitu.



Pav. 5 Mesh tinklo radijo siųstuvo pavyzdys [12].

Pagrindiniai Mesh tinklų savybės:

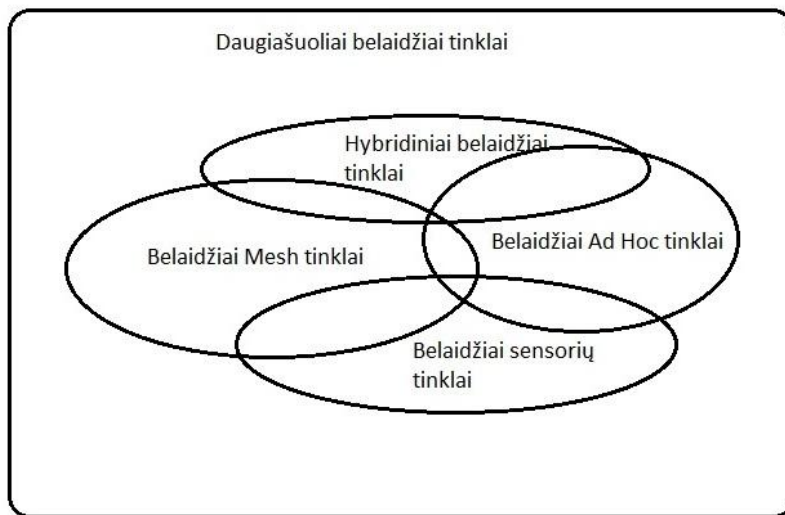
- Naudojama mažiau laidų, vadinasi sutaupoma, kuriant infrastruktūrą, o ryšį galima įdiegti dideliuose plotuose.
- Kuo daugiau pastatome ryšio perdavimo mazgų, tuo labiau padidėja ryšio sparta.
- Labai platus ir greitas pritaikymas. Šią technologiją dažnai pasirenkama taikyti įvairių renginių interneto ryšio aprūpinimui.
- Mesh tinkluose programinė įranga sukurta taip, kad atsiradus naujam tinklo vartotojui ji persikonfigūruoja automatiškai ir tinklo administratoriui nereikia atlikti papildomo darbo.

- Programinė įranga suprogramuota taip, kad rastų greičiausia ir efektyviausia kelią iki tinklo vartotojaus.
- Mesh tinklas būna labai atsparus trukdžiams, kadangi tinklo mazguose diegiama programinė įranga konfiguruojama taip, kad duomenis perduotu tik suradusi aiškų kelią iki vartotojo.

Lentelė 4. Ad Hoc, Sensorių ir Mesh tinklų palyginimas

| Savybė | Ad Hoc | Sensorių tinklai | Mesh |
|-------------------------------|---|---|--|
| Įdiegimas | Lengva įdiegti | Lengva įdiegti | Reikalaujamas bent dalinis palnavimas |
| Populiarumas | Nedidelis | Santykinai nedidelis | Ganėtinai didelis |
| Mazgų mobilumas | Didelis | Mažas | Mažas |
| Energijos suvartojimas | Mažas | Mažas | Santykinai didelis |
| Pritaikymo pobūdis | Įvairus: paprastų vartotojų mobilūs prietaisai, automobilių tarpusavio komunikacija ir t.t. | Naudojama srityse kuriuose reikia gauti nuolatos atnaujintą informaciją. Vienas iš pavyzdžių, miškų gaisrų stebėjimo sistema. | Miesto gyventojų aprūpinimas plačiajuosčiu ryšiu. Laikinas įvairių renginių aprūpinimas internetu. |
| Infrastruktūra | Nėra | Nėra | Dalinė arba pilnai išvystita |
| Maršrutizavimas | Pagal poreikį | Visiškai paskirstytas arba dalinis. Statinis arba hierarchinis. | Pilnas maršrutizavimas |
| Panaudojimo charakteristika | Laikinas | Pastovus | Santykinai pastovus |
| Tinklo srautų charakteristika | Dažniausiai tik vartotojai | Tik sensoriai | Vartotojai ir sensoriai |

Šioje lentelėje palyginami pagrindinių minėtų tinklų savybės. Iš lentelės matyti, kad yra savybių kurios sutampa, tačiau dauguma savybių yra savitos tik tai tinklų technologijai. Tarkime Ad Hoc tinklo technologijai visiškai nereikalinga infrastruktūra, o Mesh tinklų technologijai ji dažniausiai yra būtina. Anščiau buvo minėta, kad viena arba kita technologija turi kitos technologijos stipriasias savybes, vadinasi galimi hibridiniai tinklai. Dažnai hibridiniai tinklai diegiami, kai tenka pasitelkti sensorių tinklus, kadangi sensoriai nėra tokie galinigi, jog perduotu sukauptą informaciją toli iki apdorojimo stočių. Sensorių tinklus dažniausiai apjungia ir surenka iš jų informaciją Mesh tipo tinklai. Jie surenka sukauptą sensorių arba sensorių grupių informaciją ir kitais dažniais nusiunčia ją iki stočių kurios apdoroja informaciją arba kitaip gautą duomenų srautą. Taip sutaupoma sensorių energija, bei pagerinamas informacijos gavimo laikas.



Pav. 6 Daugiašulių tinklų klasifikacijos

Apibendrinimas

Dabartinės belaidžių tinklų technologijos yra paremtos centrinio prieigos taško principu, tai reiškia, kad nepriklausomai nuo to kaip arti yra komunikuojantys irenginiai, komunikacija tarp jų vyks per centrinį prieigos tašką.

Tokia architektūra dažniausiai ne optimaliai išnaudoja fizinius eterio resursus (radijo bangas). Naujos kartos belaidžiuose tinkluose siekiama atsisakyti centrinio prieigos taško principo. Tinkluose remiamasi daugiašulių paketų perdavimo principo, kiekvienas tinklo mazgas atlieka tiek maršrutizatoriaus, tiek centrinio prieigos taško vaidmenį. Kiekvienas tinklo mazgas persiunčia paketus sekančiam tinklo mazgui, kol paketai pasiekia reikiamą adresatą.

Daugiašulių tinklų technologija kur kas geriau išnaudoja belaidės terpės resursus ir tinklo diegimo kaštus. Tačiau visos naujovės yra kupinos dar neišnagrinėtų grėsmių, kuriomis gali pasinaudoti piktavaliai.

1.3 Bevielių tinklų maršrutizavimas

Maršrutizavimas yra labai didelė problema egzistuojanti bevieliuose tinkluose, panaudojimo galimybės išnagrinėtos ganėtinai gerai. Jie skverbiasi į mūsų kasdienį gyvenimą, tačiau maršrutizavimo standartų kurie užtikrintų mums pilnai saugų ir nenutrūkstamą tinklo ryšį nėra iki galo išbaiktų. Maršrutizavimo protokolai vis dar atviras ir svarbus klausimas. Vieningų

maršrutizavimo taisyklių nėra priimtų galbūt dėl tokių priežasčių, kaip plačių bevielių tinklų panaudojimo gakimybių. Kiekvienai pritaikymo sričiai reikalingi skirtingi protokolai.

Pagrindinė problema kuriant naujos kartos maršrutizavimo protokolus tokia, kad reikia atsisakyti centrinio prieigos taško, kuris ir valdydavo visą maršrutizavimo procesą. Daugiašiuolių tinklų mazgų mobilumas, dar labiau apsunkina maršrutizavimą, kadangi reikia nuolat taikytis prie naujų tinklo mazgų arba atsijungusių senų. Nėra centrinio taško maršrutizavimo, vadinasi kiekvienas tinklo mazgas, turi pats atlikti šią funkciją. Mazgai turi apdoroti gautą informaciją ir perduoti ją aplinkiniams mazgams taip, jog duomenų srautas kuo greičiau pasiektų adresatą, rastų optimaliausią maršrutą. Duomenys gali būti perduodami ne tik lokaliajame, bet duomenų srautas gali būti perduodamas ir į globalųjį tinklą.

Minėtuose tinkluose mazgai juda skirtingai, todėl modeliuojant tinklus reikia atsižvelgti į mazgų judėjimą tikrovėje, kad sumodeliuotas tinklas atitiktų realybę.

Tinklų mobilumo modeliai

- **Statinis** – tinklo mazgai nekeičia savo pozicijų;
- **Atsitiktinis, vaikščiojimo punktais modelis** - įtraukiamos pauzės tarp krypties ar greičio pokyčių;
- **Atsitiktinis, vaikščiojimo modelis** - atsitiktinės kryptys ir greičiai;
- **Atsitiktinių krypčių modelis** - kryptys keičiamos tik erdvės pakraščiuose;
- **Beribis modelis** - Dvimatė erdvė transformuojama į toro formos paviršių;
- **Gauso-Markovo modelis** - mobilumo atsitiktinumą dydis reguliuojamas vienu parametru;
- **Tikimybinis atsitiktinio vaikščiojimo modelis** - naudojami tikimybiniai skirstiniai apskaičiuojant sekančias mazgų pozicijas;
- **Miesto mobilumo modelis** - modeliuojamos miesto gatvės bei judėjimas jose.

2. Darbinės srities analizė

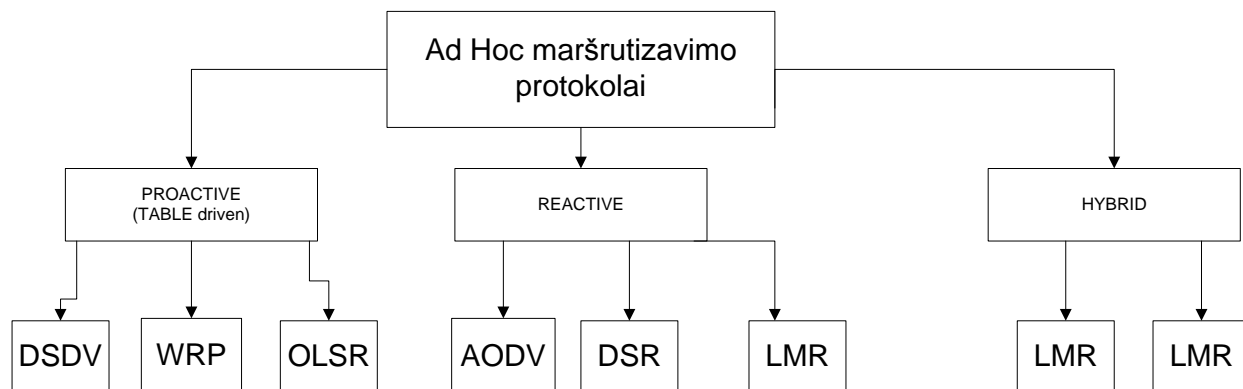
Ad hoc tinklų technologija vis labiau skverbiasi į mūsų bevielių tinklų kasdienybę. Šios technologijos apima vis daugiau sričių, nuo įvairių konferencijų, kai į tinklą apjungiami mobilieji telefonai ar nešiojamieji kompiuteriai, arba apjungiami dideli automobilių tinklai.

Norint sukurti Ad hoc tinklą reikia žinoti kokį maršrutizavimo protokolą taikyti geriausia konkrečiu atveju (žiūrėti pav. 7). Pasirinkus tinkamą maršrutizavimo protokolą bus galima pilnai

išnaudoti tinklo resursus, bei apjungti maksimalų kiekį vartotojų (tinklo mazgų). Kuriant Ad hoc technologijos modelį apžvelgsime du populiariausius maršrutizavimo algoritmus AODV ir DSR.

Ad hoc tinklų maršrutizavimo protokolai

Jeigu įrenginiai Ad Hoc tinkle „nemato“ vienas kito tiesiogiai, jie gali komunikuoti per kitus tarpinius įrenginius. Taigi įrenginiai Ad Hoc tinkle vienu metu gali būti ir siuntėjai, ir gavėjai (tinklo resursų vartotojai). Turi veikti kaip maršrutizatoriai, persiunčiantys kitų įrenginių paketų srautus kaip ir laidiniuose tinkluose, čia taip pat reikalingi maršrutizavimo protokolai optimalių tinklo kelių suradimui pagal „hop“ (šuolių) skaičių. Kadangi mobilaus tinklo įrenginiai gali laisvai judėti – tinklo topologija gali keistis – todėl turi būti naudojami specialiai Ad Hoc tinklams skirti maršrutizavimo protokolai. Maršrutizavimo protokolai Ad Hoc tinkluose skirstomi į dvi dideles grupes, tai paremti lentelėmis (angl. table-driven) statiniai ir inicijuojami šaltinio (angl. source-initiated) dinaminiai, bei retai naudojami hybridiniai (žiūrėti pav. 7). Toliau apžvelgsime populiariausius protokolus. Šių tinklų maršrutizavimas vyksta taip, kad dinamiškoje aplinkoje stengiamsi maksimizuoti tinklo pralaidumą, jog būtų kuo labiau sutaupomi banginiai ir energijos resursai.



Pav. 7 Ad Hoc maršrutizavimo protokolai.

AODV maršrutizavimo protokolas

AODV yra dinaminis Ad Hoc tinklams skirtas maršrutizavimo protokolas, kurio pirmtakas yra anksčiau DSDV protokolas. Maršrutų lentelės yra panašios į DSDV protokolo lenteles, tačiau įvestas vienas papildomas parametras:

- Įrenginio gavėjo IP adresas, kuriam yra skirtas įrašas lentelėje;
- Sekantis „šuolis“ (hop) – IP adresas to įrenginio, per kurį duomenys turėtų būti išsiųsti gavėjui;
- Šuolių skaičius (hop count) – per kiek tarpinių įrenginių yra pasiekiamas paketo gavėjas;
- Sekos numeris (sequence number). Sekos numeriai reikalingi norint išvengti

maršrutizavimo kilpų (routing loops), tai taip pat pasitarnauja atskiriant naują kelio informaciją nuo senos – randant optimalų maršrutą;

- Gyvavimo laikas (life time) – parodo laiką, kiek bus saugomas, tam tikras maršrutų lentelės įrašas;

AODV protokolo maršrutizavimas vyksta tokiu principu, inicijuojamas RREQ paketas (su užklausa), kuriame saugoma: Siuntėjo IP adresas, siuntėjo dabartinis sekos numeris, gavėjo IP adresas, gavėjo sekos numeris.[7]

DSR maršrutizavimo protokolas

Tai yra maršrutizavimo protokolas, pagrįstas siuntėjo įrenginio maršrutizacijos principais. Protokolas duomenų paketams prikabina antraštes, kuriuose saugoma informacija apie eilę įrenginių (tinklo mazgų), per kuriuos šie duomenų paketai turi būti persiunčiami. Taigi tik įrenginys siuntėjas turi žinoti visus reikiamo kelio tarpinius mazgus, o tarpiniai mazgai turi informaciją tik apie savo kaimynus. Kaip ir AODV protokolo atveju, įrenginiai turi laikinai saugoti žinomų kelių informaciją. DSR protokolas veikia dvejomis fazėmis: kelio suradimas ir kelio informacijos saugojimas. Tinklo įrenginys siuntėjas siunčia užklausą su tokia informacija:

- Gavėjo adresas;
- Siuntėjo adresas;
- Unikalus užklaustos identifikatorius;

Kiekvienas įrenginys tikrina savo laikiną maršrutų lentelę, jeigu kelio informacijos neranda – įdeda savo adresą į tą paketą, ir persiunčia jį savo kaimynams. Taip informacija paskleidžiama visame Ad hoc tinkle, tai daroma tol, kol pasiekiamas įrenginys gavėjas arba tas, kuris žino kelią. Tada siuntėjui yra išsiunčiama žinutė su ta kelio informacija. Tarki tarpinis įrenginys pastebi, kad

persiunčiant užklausos paketą įvyko klaida, jis praneša apie klaidą siuntėjui, kuris ištrina šią klaidingą kelio informaciją.[7]

Interferencija Ad hoc tinkluose

Ad hoc tinkluose mazgai tarpusavyje gali komunikuoti atstumu, kuris priklauso nuo kelių kriterijų, tai siunčiamo signalo galios, moduliacijos rūšies ir mazgo imtuvo jautrumo. Pagal technologijos charakteristikas, bevielio ryšio nuotolis r gali kisti nuo 35m (patalpose) iki ~120m (lauke). Plačiau charakteristikos surašytos ankstename skyriuje apie Ad hoc technologiją, lentelėje 1. Aplinkiniai įrenginiai, esantys atstumu $d < r$ nuo siunčiamo mazgo, gali priimti siunčiamą tinklo mazgo signalą.

Kadangi mazgų skleidžiami signalai yra ne kas kita, o radijo bangos atsiranda interferencijos pavojus. Knygoje „Ad hoc tinklų maršrutizavimas“ šio tipo tinklų interferencijai skiriamas visas skyrius (žiūrėti priedas 2). „Bangos, kurių fazių skirtumas laiko atžvilgiu yra pastovus, o dažnai vienodi, yra vadinamos koherentinėmis. Susidedant erdvėje dviem ar daugiau bangų, susidaro jų maksimumai ar minimumai. Jų buvimą lemia bangų fazių skirtumas. Šis reiškinys vadinamas interferencija“[12].

I. PROJEKVINĖ DALIS

1. Projekto vykdymo planas

Darbo metu buvo stangiami įgyvendinti visus užsibrėžtus tikslus. Darbo planas pateiktas lentelėje 5.

Lentelė 5

| Darbai | Laikas | Spalis | | | | Lapkritis | | | | Gruodis | | | | Sausis | | | | Vasaris | | | | Kovas | | | | Balandis | | | |
|----------|----------|--------|---|---|---|-----------|---|---|---|---------|---|---|---|--------|---|---|---|---------|---|---|---|-------|---|---|---|----------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | 25 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | |
| 2. | 25 | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | |
| 3. | 35 | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. | 40 | | | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | |
| 5. | 35 | | | | | | | | | | | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | |
| 6. | 60 | | | | | | | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | | | | | |
| 7. | 50 | | | | | | | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | | | | | |
| 8. | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| Iš viso: | 320 val. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Darbų paaiškinimai:

1. *Informacijos pieška, konsultacijos.*

Buvo ieškoma informacijos apie Ad hoc technologiją bevielių tinklų technologiją.

2. *Teorinė literatūros analizė*

Teorinės literatūros analizė padėjo išspręsti kai kurias iškilusias problemas, bei labiau suvokti tinkamiausią medžiagą išsikeltiems tikslams.

3. *Projekto vykdymo įrankių analizė ir pasirinkimas.*

Buvo analizuojami įrankiai virtualaus modelio tyrimui.

4. *Ad Hoc tinkle modelio struktūros pasirinkimas.*

Analizė skirta kuriamio struktūros pasirinkimui.

5. *Modelio projektavimas.*

“Opnet” programos kofiguravimas, modelio diegimas.

6. *Sukurto tinklų modelio testavimas ir analizavimas.*

Darbas su sukurtu modeliu.

7. *Sukurto modelio analizės rezultatų analizė ir palyginimas.*

Gautų analizės rezultatų palyginimas tarpusavyje, bei teorine literatūra.

8. *Darbo aprašymo sudarymas.*

Darbo aprašymo parengimas.

2. Pradinis projekto aprašymas

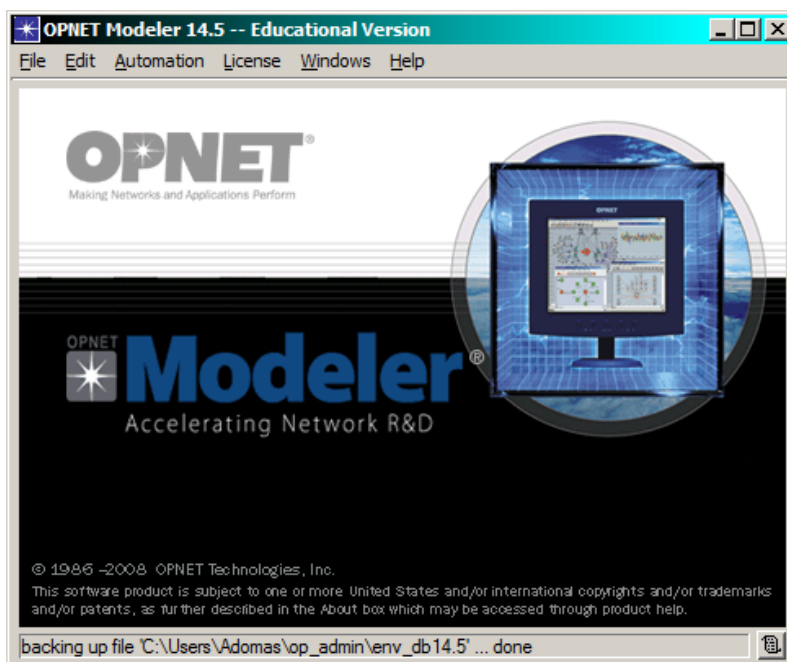
Tirsime Ad hoc tinklo technologijos modelį sudaryta iš 10 ir 20 tinklo mazgų. Toks mazgų skaičius pasirinktas atsižvelgus į Ad hoc tinklų charakteristikų rekomendacijas moksliniuose straipsniuose (An Analysis of the Optimum Node Density for Ad hoc Mobile Networks), taip pat atsižvelgus į interferencijos pavojų. Tinklas maršrutuos du populiariausi Ad hoc tinklų maršrutizavimo protokolai AODV ir DSR. Modeliuose bus imituojami trys scenarijai. Pirmasis bus toks lyg vyktų konferencija ir vartotojai komunikuotų vienas su kitu ne keisdami buvimo vietas. Antrasis scenarijus bus lyg vartotojai kuminuotų vienas su kitu judėdami nedideliu greičiu, tarsi paprastai vaikščiodami. Trečiasis scenarijus, komunikacija vyks taip, lyg vartotojai judėtų automobiliais.

3. Įrankių pasirinkimo analizė

Norint atlikti visus iškeltus uždavinius, reikia pasirinkti specifinius tam darbui pritaikytus įrankius, leidžiančius atlikti visas norimas užduotis. Šiam darbui atlikti pasirinkta „OPNET Modeler 14.5“ programa. Pasirinkimą lėmė tai, kad šis įrankis turi pakankamai didelių duomenų kiekių kiekvienai technologijai, testavimo tipų, taip pat rezultatų pateikimo aiškumo.

Papildomi įrankio „OPNET Modeler“ pasirinkimą lėmė kriterijai:

- Įrankis turi grafinę sąsają, kas palengvina įrankio valdymą.
- Galima dirbti Windows operacinėje sistemoje.
- Labai geras pritaikymas bevielių ryšių technologijai.



Pav. 7 „Opnet“ programos projekto kūrimo langas.

II. DARBO EIGOS APRAŠYMAS

1. Darbo eigos grafikas

Tikroji darbo atlikimo tvarka, nevisai atitinka numatytos darbo atlikimo tvarkos. Numatytosios tvarkos pasikeitimos įtakojo darbo metu iškilusios problemos. Darbų įvykdymo laikas pavaizduotas lentelėje 6.

Lentelė 6 darbų įvykdymo grafikas.

| Darbai | Laikas | Spalis | | | | Lapkritis | | | | Gruodis | | | | Sausis | | | | Vasaris | | | | Kovas | | | | Balandis | | | |
|----------|----------|--------|---|---|---|-----------|---|----|---|---------|---|---|---|--------|---|---|---|---------|---|---|---|-------|---|----|---|----------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | 20 | + | + | + | | + | + | | | + | + | | | + | + | | | + | | | | | | | | | | | |
| 2. | 20 | | | + | | + | + | + | | + | + | | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. | 35 | | | + | | + | | ++ | | +++ | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. | 35 | | | | | | | | | | + | | | + | + | + | | + | + | | | | | | | | | | |
| 5. | 50 | | | | | | | | | | | | | + | + | + | | + | + | + | + | + | | | | | | | |
| 6. | 65 | | | | | | | | | | | | | | + | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| 7. | 50 | | | | | | | | | | | | | | + | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| 8. | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ++ | | + | + | + | + |
| Iš viso: | 320 val. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2. Problemos ir jų sprendimo būdai

Pagrindinės iškilusios problemos:

1. “OPNET Modeler” įdiegimas ir konfigūravimas. Programos įdiegimas yra ganėtinai sąvitas. Teko paanalizuoti lietratūrą apie programos diegimą ir konfigūravimą
2. Problemų iškilo ir kuriant tinklo modelį, kadangi literatūros apie „OPNET“ konfigūravimą yra labai nedaug. Teko atlikti galybę bandymų kol tinklo modelis buvo galutinai išbaigtas.

3. Galutinio projekto būsenos aprašymas

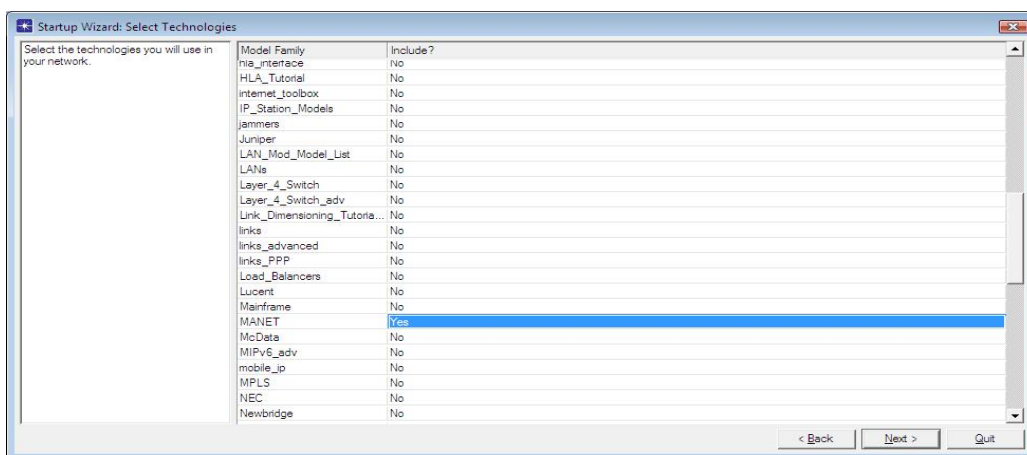
Sumodeliuoti Ad Hoc tinklą, pagal tinklo įrenginių kiekį, judėjimo greitį, vietos informaciją ir siunčiamų bei priimamų radijo signalų lygius metoda. Ištestuoti populiariausius Ad Hoc tinklų maršrutų paieškos protokolus, bei atlikti gautų rezultatų lyginamąją analizę. Tyrimo tikslas nustatyti kokį maršrutų paieškos protokolą geriausia taikyti konkrečiu atveju, taip bus galima nustatyti, koks mazgu porų skaičius tinkle yra optimaliausias. Tikslui pasiekti pasitelktas įrankis „Opnet Modeler 14.5“. Su šiuo įrankiu galima sukurti įvairius tinklo modelius virtualioje aplinkoje. Tyrimo metu bus naudojami populiariausi Ad Hoc tinklo maršrutų paieškos protokolai AODV ir DSR, teorijoje apie juos rašoma, jog šitie protokolai geriausiai tinka aptarnauti judančius mazgus.

Sumodeliuoti tinklo modeliai bus tryjų scenarijų 10 ir 20 tinklo mazgų (vartotojų). Kiekvienas scenarijus bus smulkinamas į tris tipus statinis, kai tinklo mazgai nejuda. Antrasis bus vadinamas dinamišku, tinko mazgai judės mažu greičiau, tarsi žmogus (1 m/s). Trečias labai dinamiškas tipas bus toks, tarsi tinklo mazgai juda automobilio greičiu (60 km/h). Programoje bus naudojama Ad Hoc (Manet) tinklų technologija (žiūrėti 10 pav.). Kiekvienas mazgas turės mažos galios 0,005 W siųstuvą, maksimali priimamų paketų galios riba yra 90 dBm. Tinklas veiks labiausiai paplitusiame 802.11b, 11 Mbps standarte. Testavimui naudajmi 256 bitų paketų siuntiniai.

Tinklo modelio duomenų perdavimo patikimumo testavimui ištirti buvo pasirinkti keli kokybės parametrai tinkle, kurie parodys Ad hoc tinklo sistemos veikimą kritiniais momentais.

Parametrai:

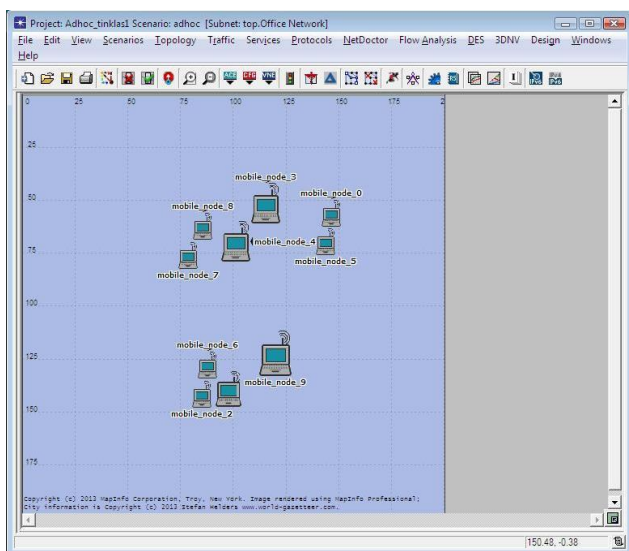
- Nenutrūkstamas duomenų persiuntimas (bitc/sec);
- Tinklo mazgų užklausų siuntimas;
- Prarastų tinklo paketų kiekis;



Pav 10. „Manet“ technologijos pasirinkimas

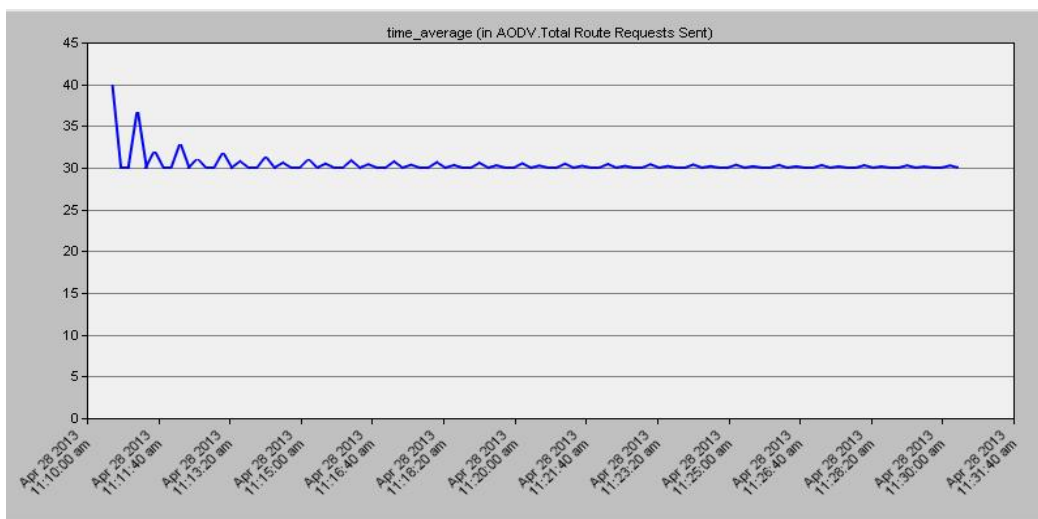
Pirmas Ad Hoc tinklo modelis 10 mazgų

10 mazgų tinklas (žiūrėti pav. 11), su AODV maršrutų paieškos protokolu. Simuliacijos režimas atliktas trimis etapais: Statiniu, dinamišku ir labai dinamišku tinklo tipu. Tinklo mazgais siunčiami 256 bitų paketai, simuliacijos laikas 20 minučių. Siekiant, kad tyrimo rezultatai būtų tiksliausi, pakeitai pradėdami siuntinėti, tik 10- tają simuliacijos režimo sekundę. Pradėjus siųsti tokio dydžio paketus jau pirmąją sekundę, rezultatai būtų netikslūs (iškraipyti), kadangi kaimyniniai mazgai dar netūrėtų ryšio vienas su kitu.

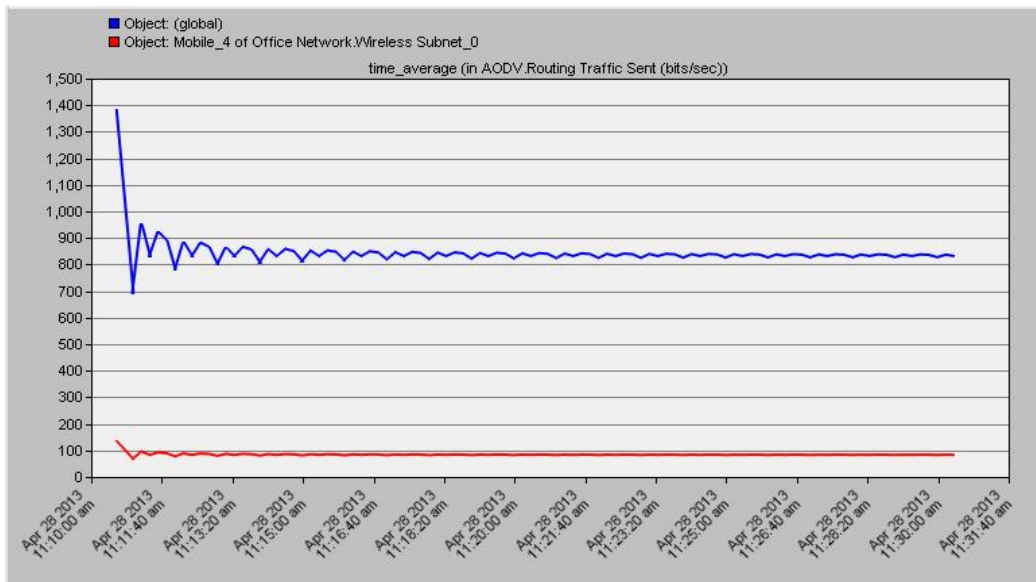


Pav. 11 Ad Hoc tinklo modelis Opnet programoje, 10 mazgų.

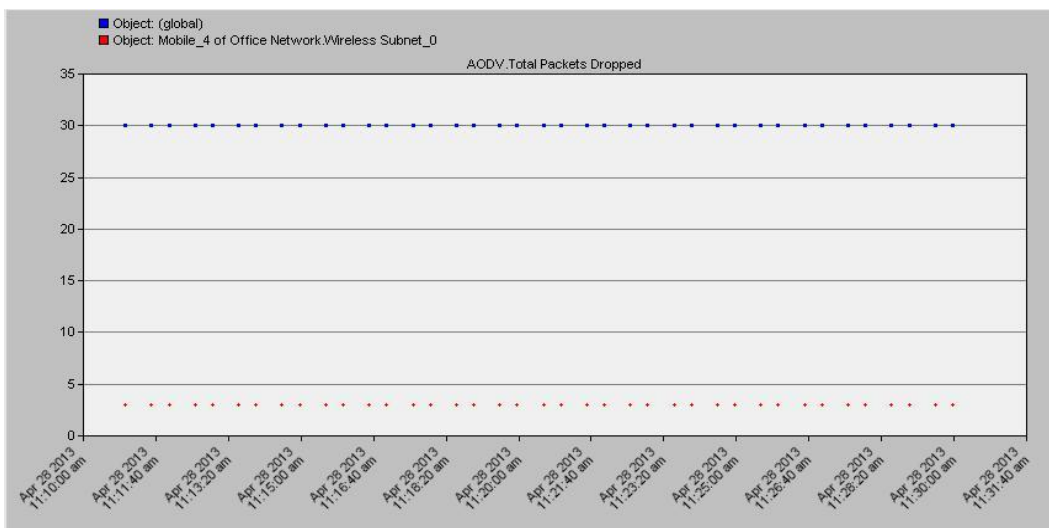
Statinis tinklo modelis 10 mazgų (AODV)



Pav. 12 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo išsiųstų užklausų srauto grafikas AODV



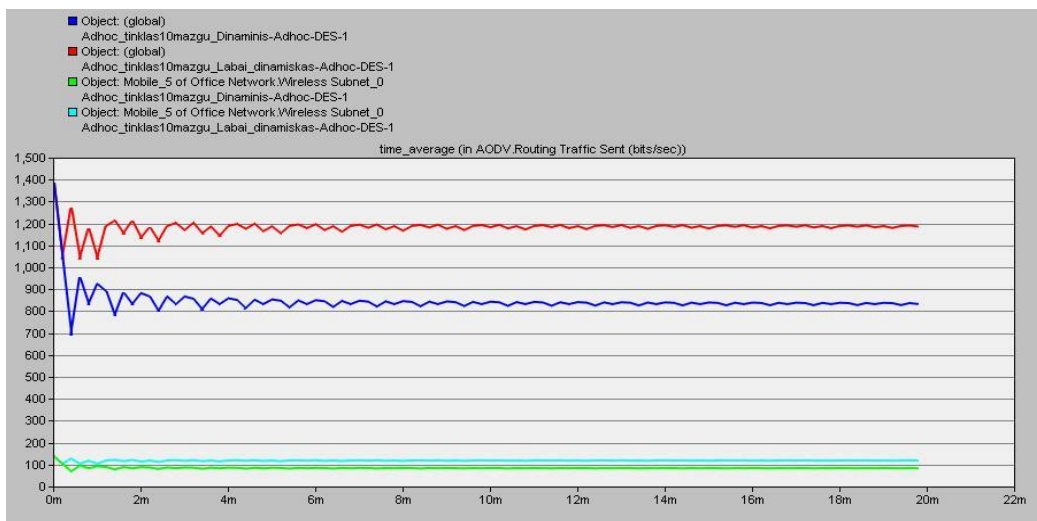
Pav. 13 Viso tinklo ir vieno mazgo tinklo srauto kiekis btais per sekundę. AODV



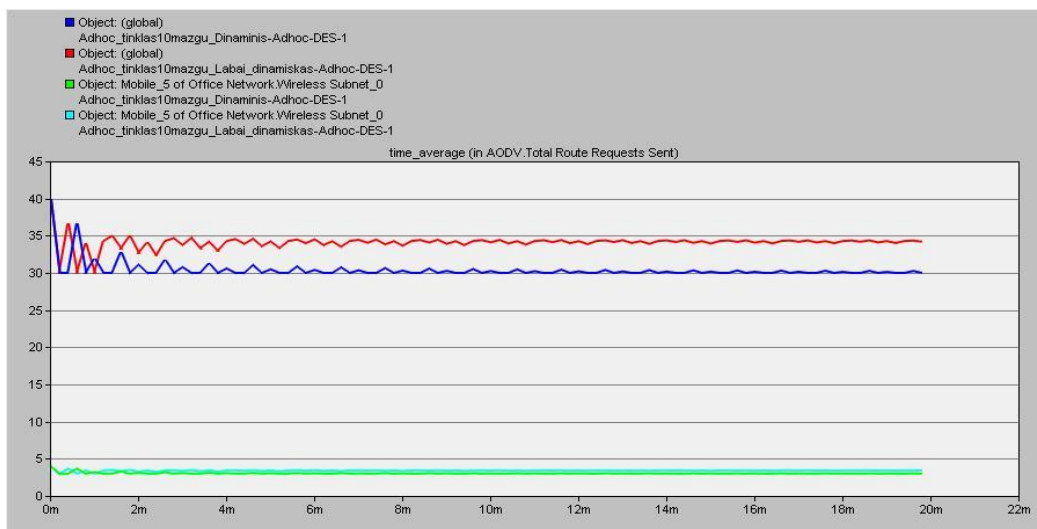
Pav. 14 Viso tinklo ir vieno mazgo tinklo srauto prarastų paketų grafikas. AODV

Atlikus simuliacija su statiniu Ad Hoc modeliu matyti, kad AODV protokolas tinka tokiam tinklo modeliui. AODV maršrutų paieškos protokolas sąlyginai gerai aptarnavo 10 mazgų tinklą. Svarbiausi duomenys pateikti diegramose. Paskutinėje diagramoje (Pav. 15) matomas prarastų tinklo paketų skaičius. Kaip matyti iš skalės jis nėra lygus nuliui, tačiau nėra didelis. Kas leidžia daryti išvadą, kad tinklas veikė be trukdžių. Iš pirmų dviejų diagramų (Pav. 13 ir Pav.14) matomas tinklo srautų šuolis, tuo metu kai buvo pradėti siuntinėti 256 bitų pakeitai, tačiau kaip matyti paskutinėje diagramoje tas neturėjo didelio įtakos tinklo darbu.

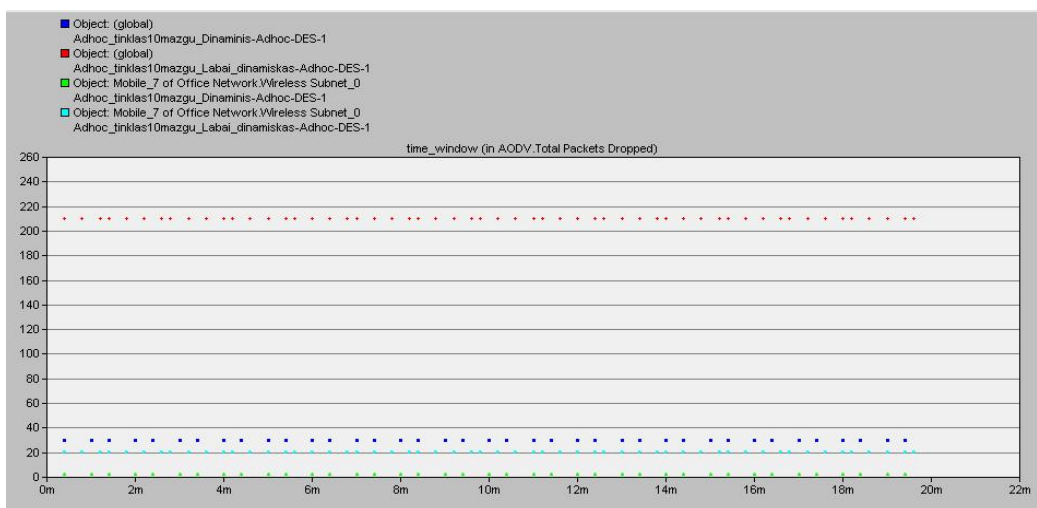
Dinamiškas ir labai dinamiškas tinklo modelis 10 mazgų (AODV)



Pav. 15 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo srauto kiekis bitais per sekundę grafikas. AODV



Pav. 16 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo išsiųstų užklausų srauto grafikas. AODV



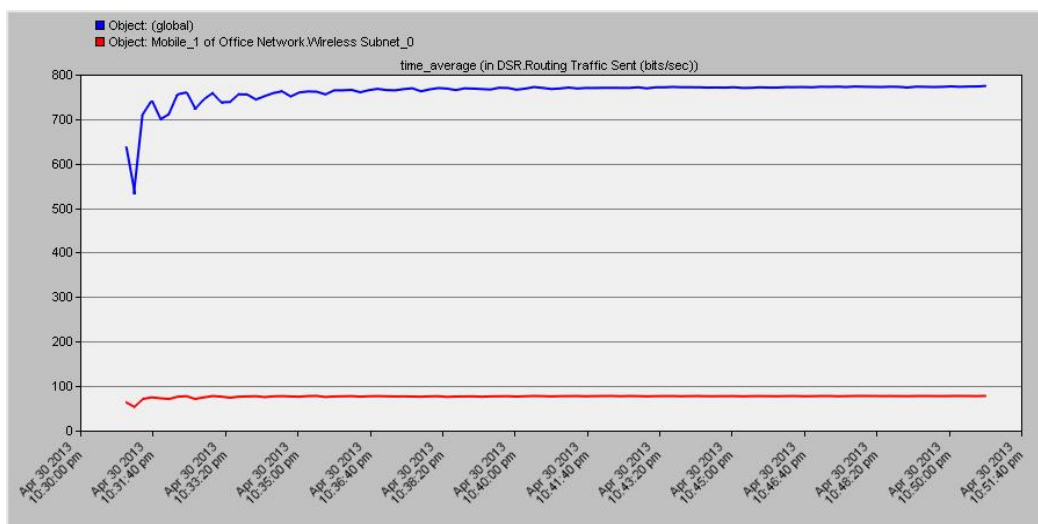
Pav. 17 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo prarastų paketų srauto grafikas. AODV

Atliktas bandymas su dinamišku ir labai dinamišku tinklo modeliu parodė, kad didelis mazgų judėjimo greitis turi nemažą įtaką AODV maršrutų paieškos protokolui. Matomas tinklo srauto išsiųstų bitų (žiūrėti pav. 15) padidėjimas (šuočiai), kas tai įtakojo, siųsti paketai buvo tokio pat dydžio kaip ir statinio modelio atveju. Tai galima paaiškinti pažvelgus į sekančius du grafikus (žiūrėti pav. 16 ir 17). Atsirado tinklo mazgų judėjimas, kas įtakojo tinklo topologijos kitimą. Jeigu keičiasi tinklo topologija, senieji maršrutai saugomi maršrutų lentelėse nebetinka, kadangi tokie maršrutai jau nebesuras kelio siunčiamam paketui iki mazgo kuriam jie buvo adresuoti. Mazgas (siuntėjas) nori išsiųsti paketą iki mazgo (gavėjo), pirmiausia jis siunčia RREQ paketą, kitaip tariant inicijuoja kelio suradimo procesą. Jei mazgas „kaimynas“ neturi adreso iki galutinio paketo adresato, jis tiesiog persiunčia PREQ paketą sekančiam mazgui. Toks papildomas mazgų paketų siuntinėjimas ir įtakojo viso tinklo srauto padidėjimą, kas atsispindi grafike (pav. 15). Sekantis grafikas (pav. 16) parodo tinklo užklausų atsako laiko išaugimą. Persiunčiamų paketų srauto šuočiai ir išaugęs atsako laikas į tinklo užklausas, iššaukė prarastų paketų kiekio padidėjimą.

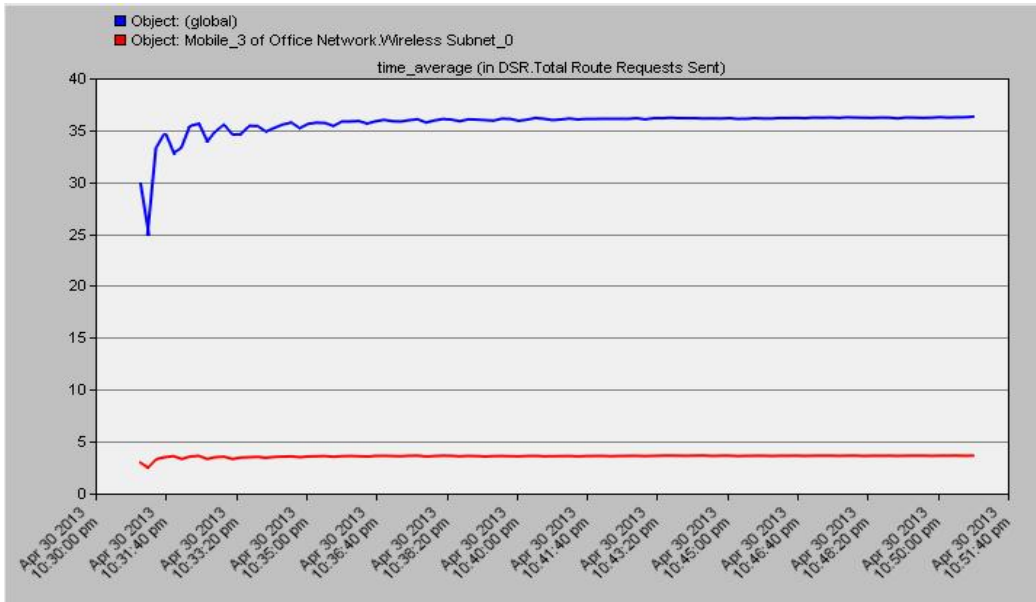
Labai dinaminio modelio atveju matomas sąlyginai didelis prarastų paketų kiekis (pav. 17), tai įtakojo didelis mazgų judėjimo greitis. Mazgų trajektorija dažnai keitėsi, todėl siunčiami paketai nevisalaik pasiekdavo savo adresatą.

Tačiau tinklo srauto ir užklausų grafikuose nesimato trūkio, vadinasi tinklas dirbo nepertraukiamai.

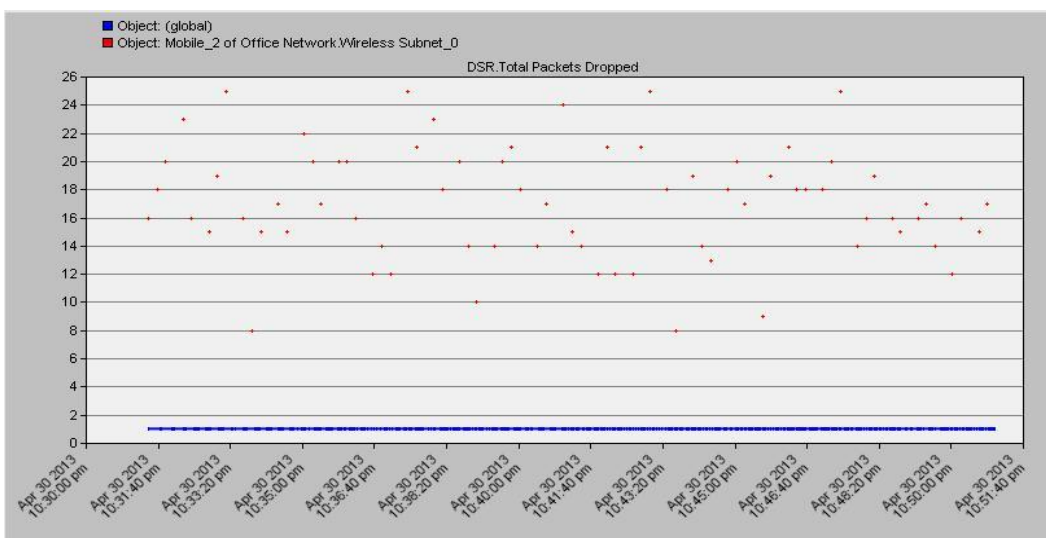
Statinis tinklo modelis 10 mazgų (DSR)



Pav. 18 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo srauto kiekis bitais per sekundę grafikas. DSR



Pav. 19 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo išsiųstų užklausų srauto grafikas. DSR



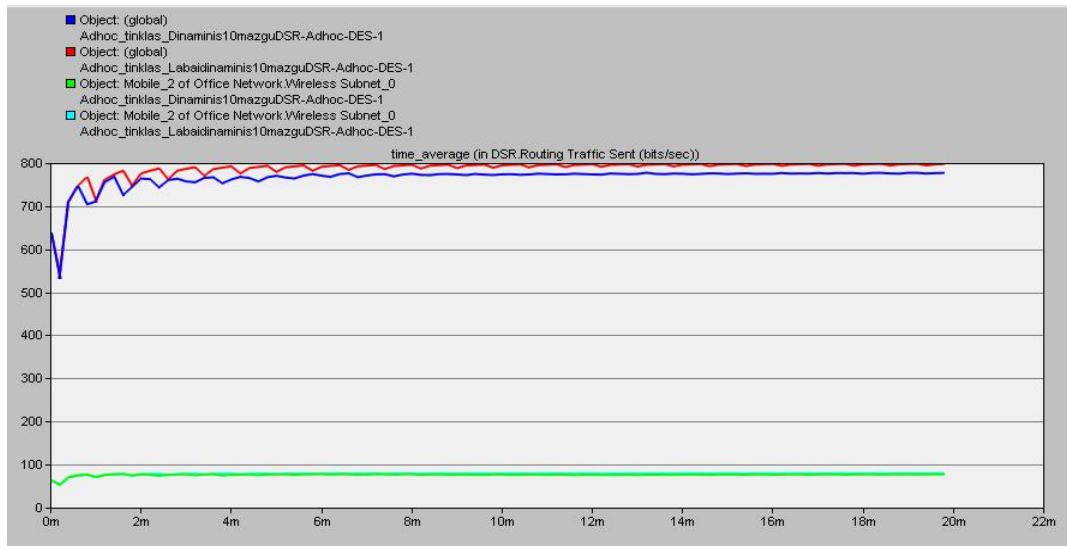
Pav. 20 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo prarastų paketų srauto grafikas. DSR

Atliktas tyrimas parodė, kad DSR maršrutų paieškos protokolas neturėjo didelių problemų su statiniu modeliu. Grafike (pav. 18 ir 19) matyti momentinis tinklo srauto ir užklausų šuolis, taip nutiko dėl 10- taja sekundę pradėtų siuntinėti 256 bitų paketų, tačiau po to tinklo darbas vėl stabilizavosi. Grafikas (pav. 20) pateikia prarastų paketų skaičių, žiūrint į liniją kuri parodo viso tinklo prarastų paketų kiekį matyti, kad ji yra vos aukčiau nulinės ribos. AODV protokolo atveju ši linija buvo arti 30- tos grafiko padalos vertės. Pažvelgus į atskiro mazgo pamestų paketų kiekį

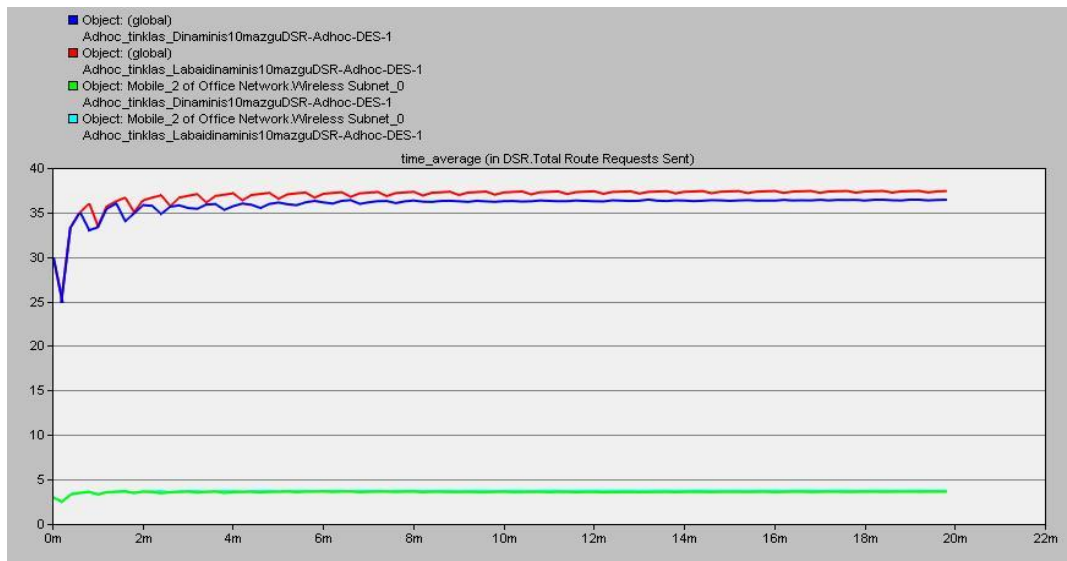
matyti, kad tik atskirais laiko momentais dingdavo vienas kitas užklauso ar failo paketas, kas ir sąlygojo sąlyginai mažą viso tinklo prarastų paketų kiekį.

Taigi galima daryti išvadas, jog DSR maršrutų paieškos protokolą geriau atliko savo darbą, nei AODV protokolą.

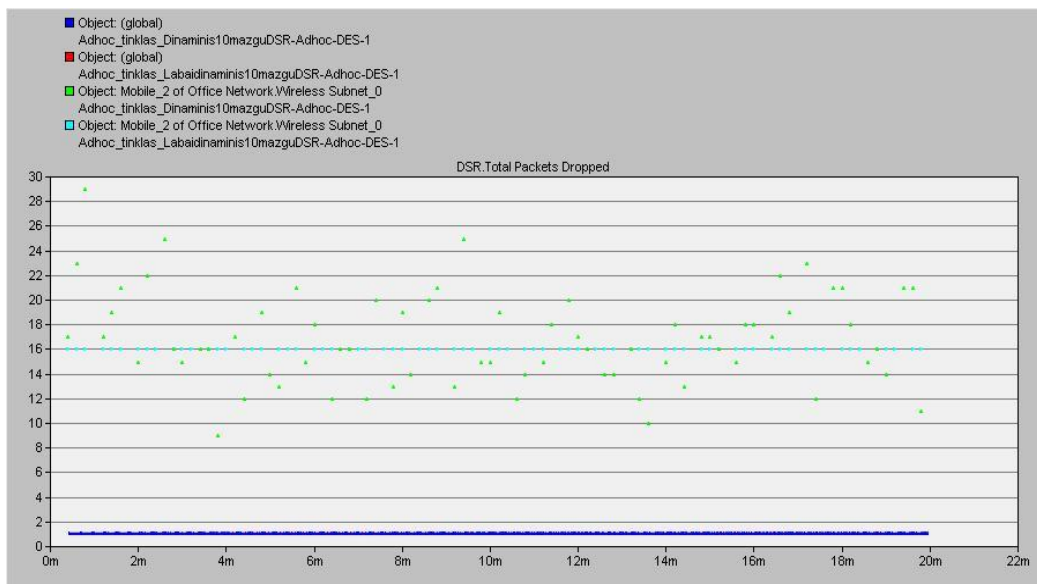
Dinamiškas ir labai dinamiškas tinklo modelis 10 mazgų (DSR)



Pav. 21 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo srauto kiekis bitais per sekundę grafikas. DSR



Pav. 22 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo išsiųstų užklausių srauto grafikas. DSR



Pav. 23 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo prarastų paketų srauto grafikas. DSR

Atlikus eksperimentą su DSR protokolu, dinaminiam ir labai dinaminiam modeliui, gauti rezultatai šiek tiek nustebino. Mazgų greitis nuo 1 m/s padidėjo iki 60 km/h, pavertęs šitą skaičių metrais per sekundę, gauname 16,6 m/s. Tai gi mazgų judėjimo greitis padidėjo labai daug, tačiau pažvelgus į (pav. 22 ir pav. 23) grafikus ryškių skirtunų nesimato. Nežymiai padidėjo tinklo užklausių kiekis ir prarastų tinklo paketų skaičius. Tinklo srautas perdavimas taip pat išliko ganėtinai tolygus. Tiek vieno, tiek kito tinklo atveju prarastų paketų kiekis yra ganėtinai mažas.

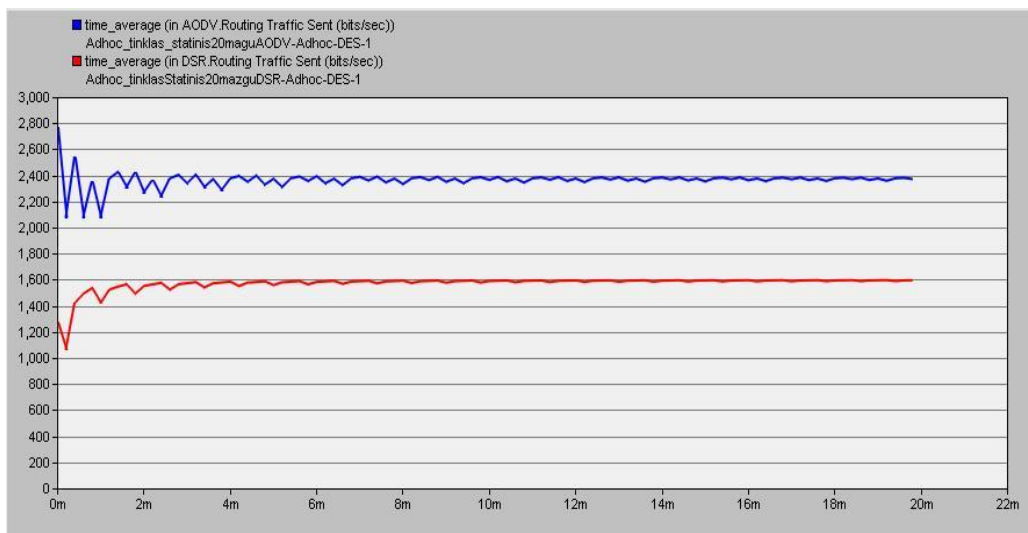
DSR protokolas turi šiek tiek kitokias maršrutizavimo taisykles, nei prieš tai minėtas AODV. DSR maršrutizavimo principas yra toks, kiekvienas tinklo mazgas turi saugoti paketų antraštėse informaciją apie mazgus (kaimynus) per kuriuos būtų galima nusiųsti paketą į jo paskirties vietą. Kiekvienas tinklo mazgas turi laikinai saugoti žinomą kelią iki gretimų mazgų. Todėl mazgui (siuntėjui) nereikia siuntinėti papildomų užklausių, su užklausa kur randasi vienas ar kitas tinklo mazgas (gavėjas). Mazgas siuntėjas tiesiog išsiunčia savo paketą gretimam mazgui, prie paketo pridėdamas informaciją apie gavėją (paskirties vietą), savo adresą ir unikalų ID. Siunčiamas paketas keliauja per gretimus mazgus, kiekvienas mazgas priėmęs paketą patikrina ar jis adresuotas jam, jei adreso vieta kita, jis tiesiog prikabina papildomą informaciją apie savo adresą ir išsiunčia paketa gretimam mazgui. Toks paketo siuntinėjimas vyksta kol jis randa savo paskirties vietą.

Šis maršrutizavimo principas žymiai mažiau apkrauna tinklą, kadangi nereikia siuntinėti papildomų užklausių, bei sumažėja tikimybė prarasti siunčiamus paketus, tai ir atspindi (pav. 22 ir 23) grafikai.

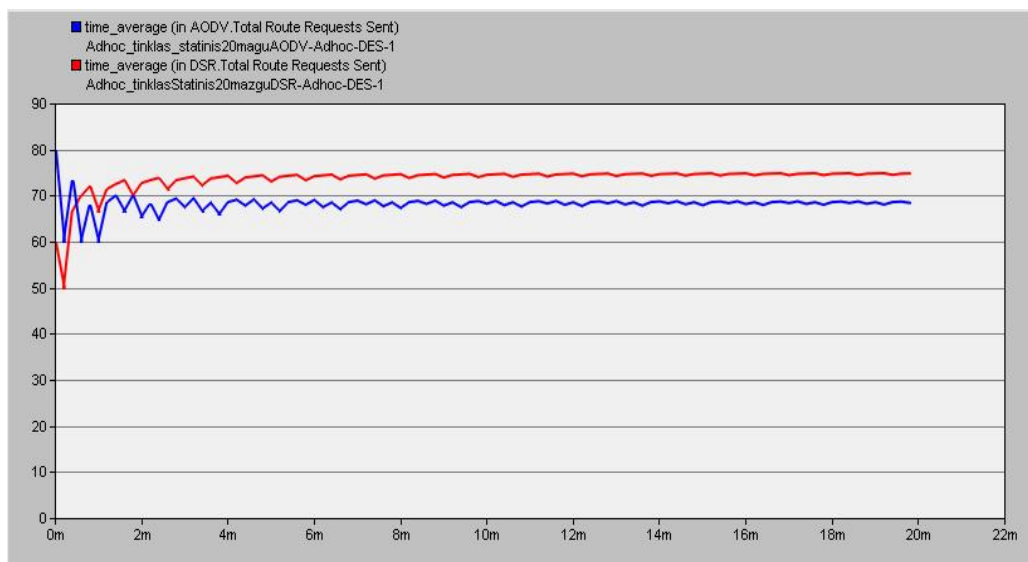
Antrasis Ad Hoc tinklo modelis 20 mazgų

20 mazgų tinklas (žiūrėti pav. 11), su AODV maršrutų paieškos protokolu. Simuliacijos režimas atliktas trimis etapais: Statiniu, dinamišku ir labai dinamišku tinklo tipu. Tinklo mazgais siunčiami 256 bitu paketai, simuliacijos laikas 20 minučių. Siekiant, kad tyrimo rezultatai būtų tiksliausi, pakeitai pradedami siuntinėti, tik 10- tają simuliacijos režimo sekundę. Pradėjus siųsti tokio dydžio paketus jau pirmąją sekundę, rezultatai būtų netikslūs (iškraipyti), kadangi kaimyniniai mazgai dar netūrėtų ryšio vienas su kitu.

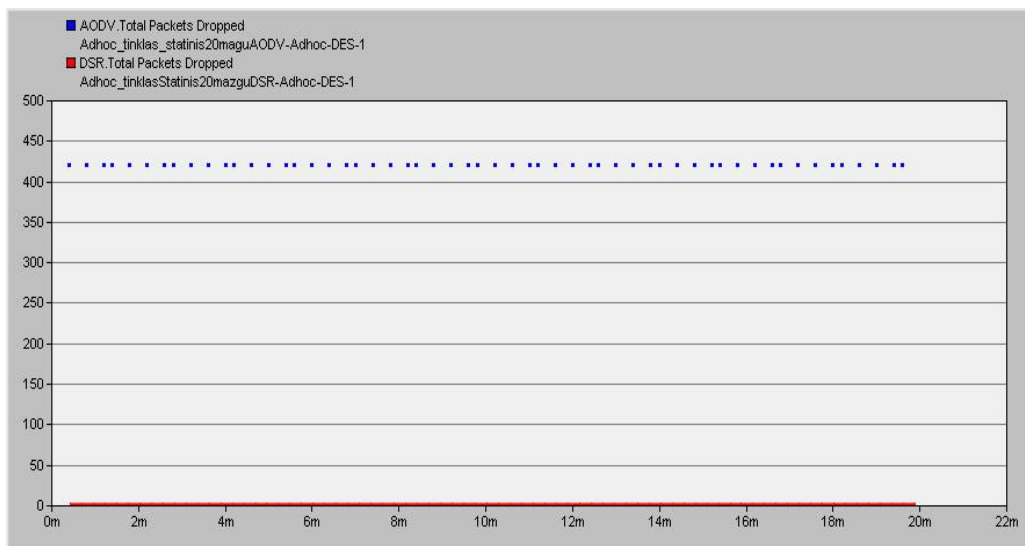
Statinis tinklo modelis 20 magų. (AODV ir DSR)



Pav. 24 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo srauto kiekis bitais per sekundę grafikas. AODV ir DSR



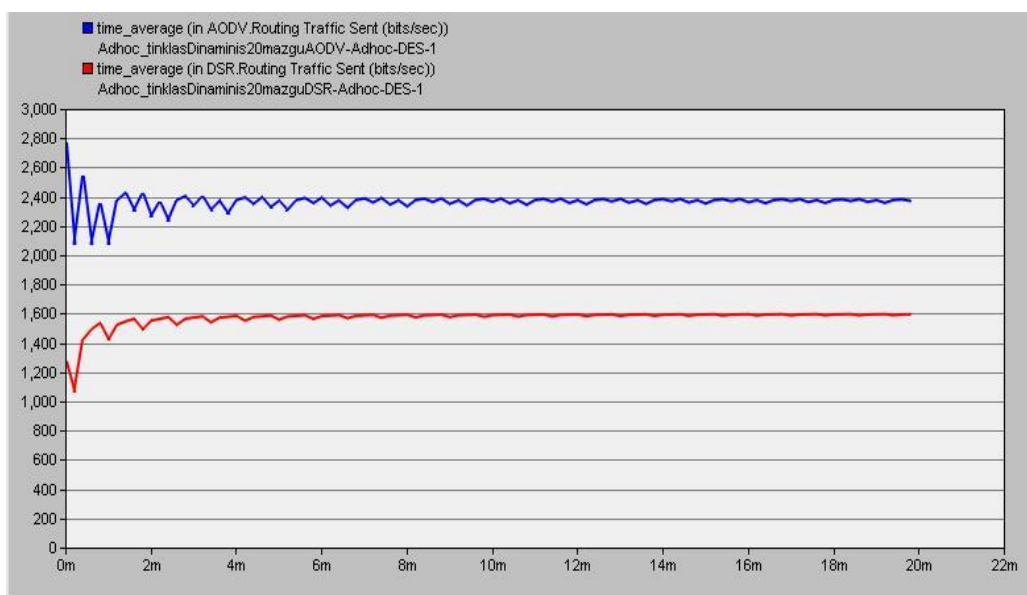
Pav. 25 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo išsiųstų užklausų srauto grafikas. AODV ir DSR



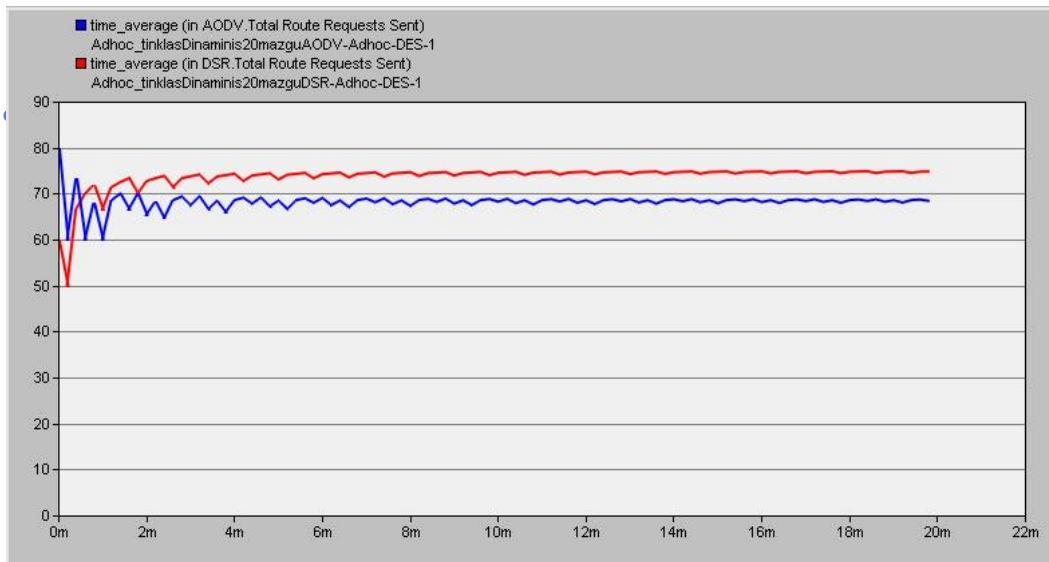
Pav. 26 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo prarastų paketų srauto grafikas. AODV ir DSR

Atliktas bandymas parodė, kad DSR paieškos algoritmas ir šįkart geriau atliko savo darbą. Tai matosi pažvelgus į (pav.26) grafiką, kuriame atvaizduotas prarastų paketų grafikas. Grafike matoma raudona linija, kuri atspindi prarastų paketų kiekį, jų skaičius praktiškai lygus nuliui. Šis kriterijus tinkle yra pats svarbiausias, kadangi jei tinkle dingsta vienas ar kitas failo paketas, galima nepataisomai sugadinti visą failą, arba jis tiesiog nepasieks savo adresato. Tinklo srauto ir užklausų grafikuose nesimato trūkio, vadinasi tinklas dirbo nepertraukiamai.

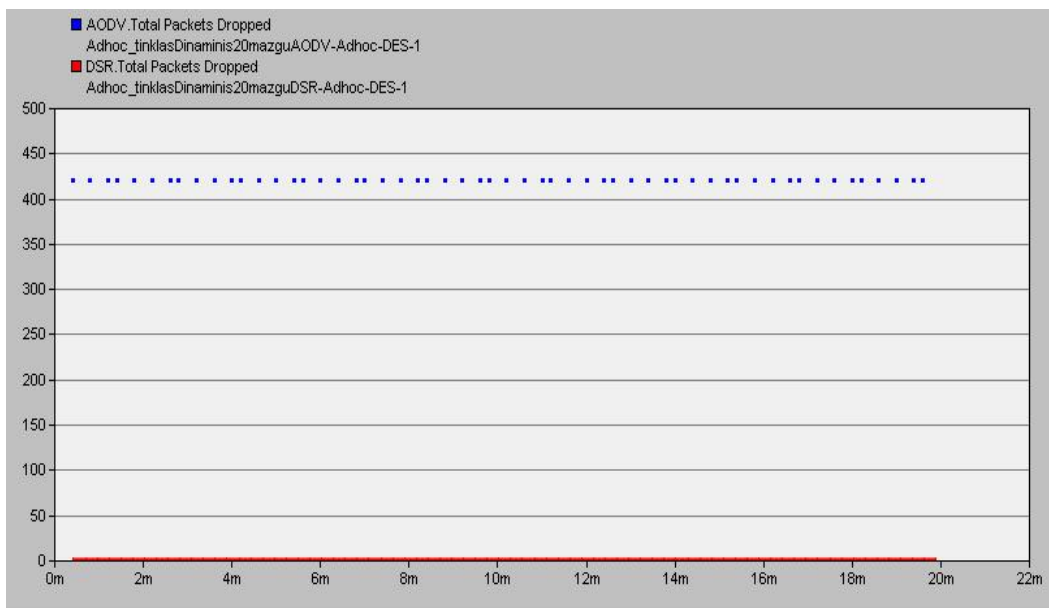
Dinaminis tinklo modelis 20 magų. (AODV ir DSR)



Pav. 27 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo srauto kiekis bitais per sekundę grafikas. AODV ir DSR



Pav. 28 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo išsiųstų užklausų srauto grafikas. AODV ir DSR

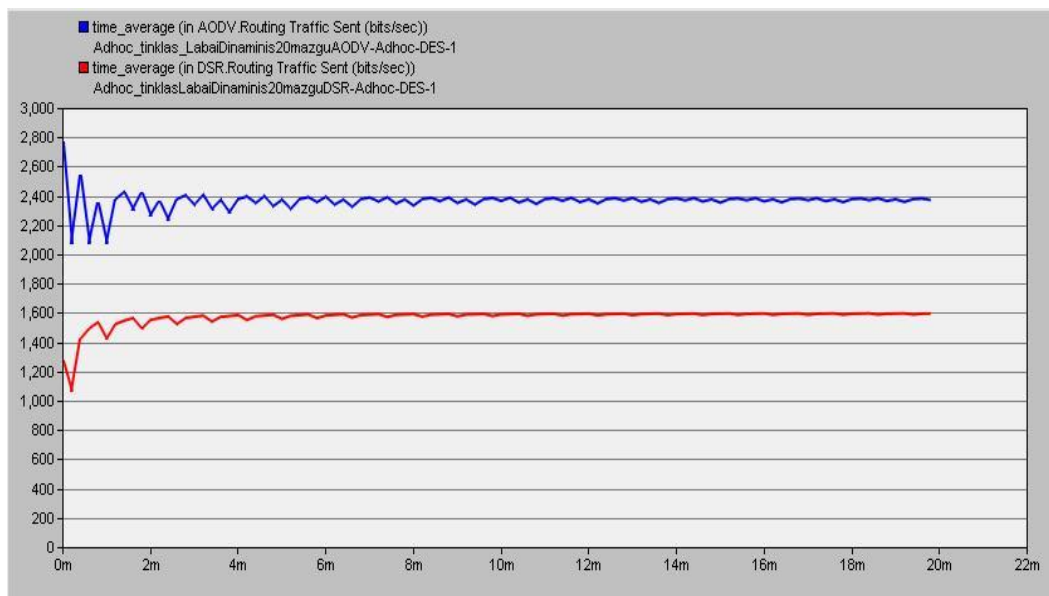


Pav. 29 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo prarastų paketų srauto grafikas. AODV ir DSR

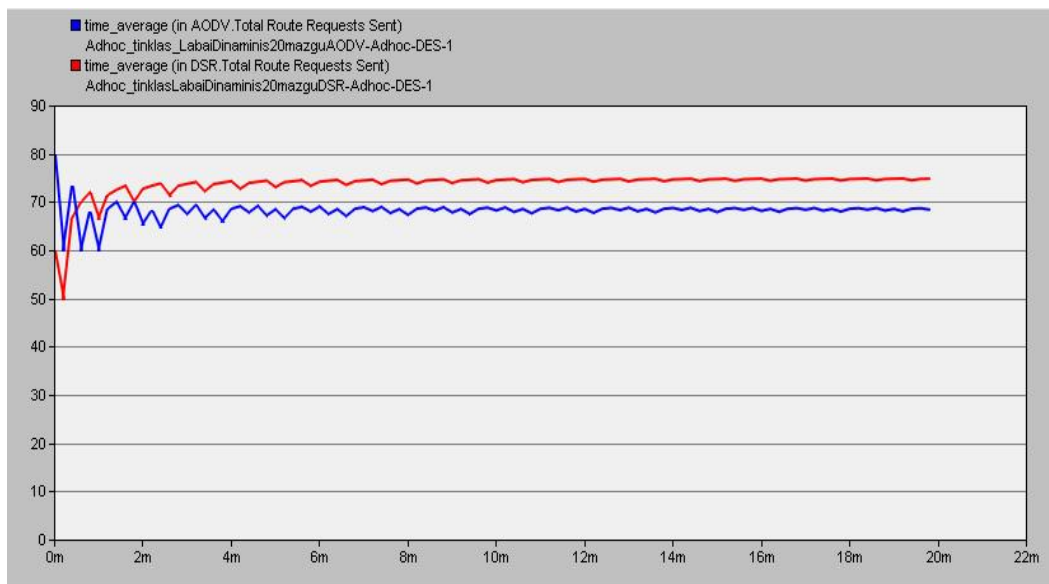
Tinkle su 20 tinklo mazgų matoma didesnė tinklo apkrova, nei tarkim 10 mazgų, tačiau tinklas dirbo be pertrūkių ir didelių sutrikimų, tai atspindi grafikai.

Su dinaminio tinklo modeliu ir dvidešimt tinklo mazgų maršrutizavimo ir šįsyk geriau susitvarkė DSR protokolas. Pažvelgus į prarastų paketų grafiką (Pav. 29) matyti, kad skaičius praktiškai lygus nuliui, o tai puikus rodiklis atliktam tinklo maršrutizavimui. Didelių tinklo šuolių nebuvo nei AODV, nei DSR maršrutizavimo grafike, tačiau AODV prarastų paketų kiekis gerokai didesnis nei DSR protokolo.

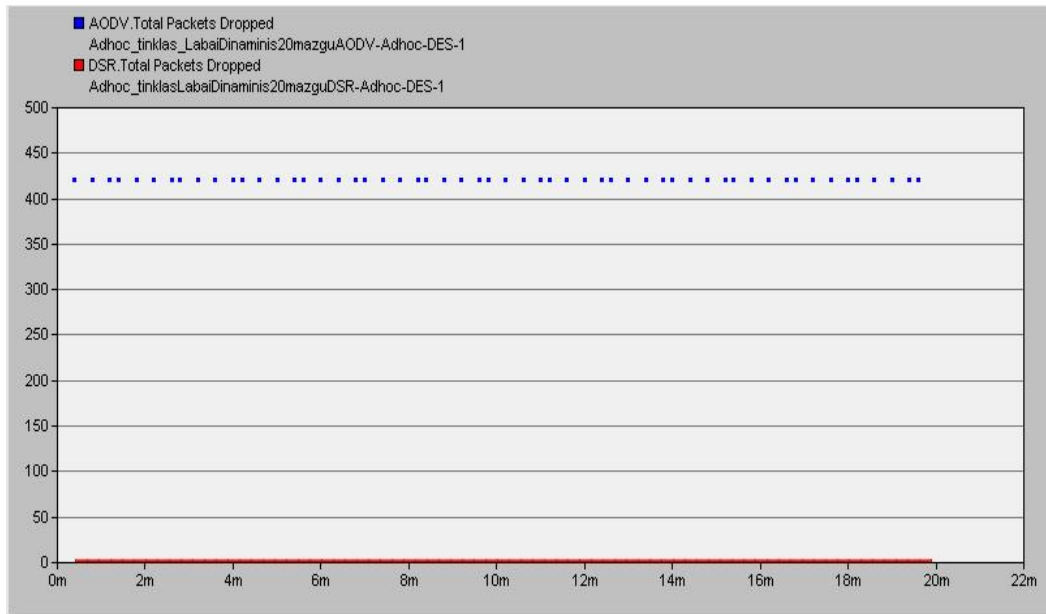
Labai dinamiškas tinklo modelis 20 magų. (AODV ir DSR)



Pav. 30 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo srauto kiekis bitais per sekundę grafikas. AODV ir DSR



Pav. 31 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo išsiųstų užklausų srauto grafikas



Pav.32 Viso tinklo ir vieno tinklo mazgo prarastų paketų srauto grafikas. AODV ir DSR

Atliktas bandymas parodė, kad 20 mazgų tinklą maršrutizavimo protokolai aptarnavo, tinklo darbe trūkių nebuvo, tai matyti iš grafikų. Kaip ir ankstesniais atvejais geriau savo darbą atliko DSR protokolas, prarastų tinklo paketų kiekis praktiškai lygūs nuliui. Nors modelio mazgai judėjo dideliu greičiu, tačiau tinklo srauto ir siunčiamų užklausų tas labai neįtakėjo, bent jau DSR protokolo atveju. Šiek tiek didesnė įtaka matoma AODV protokolo atveju, grafike (pav. 30 ir 31).

4. Darbo rezultatų analizė

Šio darbo atlikimo metu buvo analizuojamos Ad hoc technologijos tinklas. Remiantis išanalizuota teorine literatūra, buvo sukurtas realistinis Ad hoc technologijos tinklų modelis. Modelis sukurtas pasitelkus tinklų modeliavimo įrankį „OPNET Modeler 14.5“.

Modeliai buvo kuriami taip, kad kuo labiau atitiktų realias situacijas. 10 ir 20 tinklo vartotojų. Tryjų scenarijų, pirmasis kai tinklo vartotojai nekeičia savo būvimo vietos. Antrasis kai juda nedideliu 1 m/s greičiu ir trečiasis juda tarsi automobiliais 60 km/h greičiu. Buvo tirti du maršrutizavimo protokolai AODV ir DSR. Tyrimas parodė, kad tiek tinklo mazgų skaičius tinkle, tiek tinklo mazgų judėjimo greitis, bei tinklo maršrutizuojantys protokolai turi didelę įtaka sklandžiam ir tolygiam tinklo darbui. Didesnis mazgų judėjimo greitis daug labiau apkrauna tinklo darbą, ko pasekoja gali atsirasti nepageidaujami reiškiniai sklandaus tinklo darbo veikime, tai

prarastų paketų kiekis ar tinklo darbo trūkiai. Tinkamas maršrutizavimo protokolų pasirinkimas, padeda sumažinti tokių reiškinių grėsmę.

5. Patarimai, pastebėjimai, rekomendacijos

Kuriant Ad hoc tinklų modelius su "OPNET" įrankiu reikėtų pasidomėti kokią versiją geriausia pasirinkti, kadangi Ad hoc technologija ganėtinai nauja, ne visos įrankio versijos pilnai aprūpintos šia bevielių tinklų technologija. Pavyzdžiui nemokama ir studentams skirta versija „IT Guru“ visiškai neturi Ad hoc technologija paremtų tinklo charakteristikų.

Planuojant modeliuoti didelios apimties tinklą reikėtų pagalvoti ir apie kompiuterio į kurį įdiegsite „OPNET“ įrankį parametrus, kadangi atliekant simuliaciją reikalingi sąlyginai dideli kompiuterio resursai.

Ši naudota įrankio versija pilnai aprūpinta visomis Ad hoc tinklo techninėmis charakteristikomis.

III. IŠVADOS

Remiantis darbo rezultatais galima teigti, kad užsibrėžtas tikslas – palyginti bevielių tinklų technologijas ir jų skirtumus, sukurti Ad hoc tinklo modelį ir jį išanalizuoti buvo pasiektas.

Šiam tikslui pasiekti iškelti uždaviniai buvo įgyvendinti:

1. Atlikta teorinės literatūros apie Ad hoc tinklų technologijos analizė, kas leido suvokti šios technologijos veikimo principą, bei lengviau suprojektuoti tinklo modelį.
2. Apžvelgtos ir palygintos šiuolaikinės bevielių tinklų technologijos, iš to galima spręsti apie Ad hoc technologijos svarbą ir reikalingumą.
3. „OPNET Modeler“ programa sukurtas ir išanalizuotas tinklo modelis (žr. Galutinio projekto būsenos aprašas).
4. Atlikti bandymai parodė, kad abu protokolai atitiko pirmąjį iš pasirinktų kokybės kriterijų. Tai yra nenutrūkstamas duomenų persiuntimas (bit/sec). Nei vieno scenarijaus atveju tinklo darbe neįvyko trūkis, tinklas dirbo nepertraukiamai. Žiūrint į grafikus, kurie vaizduoja tinklo užklausų siuntinėjimą, matyti, jog maršrutizavimo protokolai dirbo savo darbą, tinklo užklausos nebuvo nustotos siųsti nei vieno tinklo modelio atveju, tai parodo, kad protokolai maršrutizavo tinklo darbą. Iš grafikų matyti, kad DSR protokolo išsiųstų tinklo užklausų kiekis praktiškai visais atvejais, o ypač judančių tinklo mazgų atvejais yra mažesnis ir tolygesnis, kas įtakoja tolygesnį tinklo darbą. Tai matyti pažvelgus į prarastų tinklo paketų kiekį ir tinklo srauto darbo grafikus. Galima teigti, kad DSR protokolo maršrutizavimo taisyklės yra pranašesnės nei AODV.

Kalbant apie kitą kokybės kriterijų prarastų tinklo paketų kiekį, matomas aiškus skirtumas tarp AODV ir DSR protokolų darbe. AODV maršrutizavimo protokolas visais atvejais prarasdavo dalį tinklo paketų. Statiniais tinklo scenarijais mažesnę kiekį, tačiau kai tinklo mazgai pradėdavo judėti, prarastų paketų skaičius augdavo.

Atlikus visu bandymus galima daryti išvadą, kad Ad Hoc technologijos principu galima apjungti, kad ir 20 tinklo vartotojų, tačiau norint gauti be trukdžių veikiantį tinklą, reikia atsižvelgti į maršrutizavimo protokolą ir į plotą kuriame pasiskirstę tinklo mazgai, taip jog sklindantys banginiai mazgų signalai netrukdytų vienas kitam ir nesukeltų interferencijos. Jeigu tinklo vartotojai judės ir nuolatos keisis tinklo topologija, geriau yra naudoti DSR maršrutizavimo protokolą. Jeigu tinklo mazgai išliks statiškis ir nejudės galima taikyti ir AODV protokolą.

IV. LITERATŪROS IR INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAI

1. GSM technologija. Prieiga per internetą: <http://lt.wikipedia.org/wiki/GSM> [žiūrėta 2012 10 15]
2. „Kova dėl 4G LTE dažnių” Prieiga per internetą: <http://www.technologijos.lt/n/technologijos/gsm/S-24167> [žiūrėta: 2012 12 03].
3. „WI-FI standartas“ . Prieiga per internetą: <http://lt.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> [žiūrėta: 2012 12 05].
4. „Viskas apie naujausią „Wi-Fi“ standartą”. Prieiga per internetą: <http://computerbild.veidas.lt/2011/04/15/naujienos/kita/viskas-apie-naujausia-%E2%80%9Ewi-fi%E2%80%9C-standarta> [žiūrėta: 2013 01 09].
5. F. Anwar, Md. S. Azad, A. Rahman, M. M. Uddin. *Performance Analysis of Ad hoc Routing Protocols in Mobile WiMAX environment*. Prieiga per internetą: http://www.iaeng.org/IJCS/issues_v35/issue_3/IJCS_35_3_13.pdf [žiūrėta 2012 12 18].
6. WiMAX Forum. *Recommendations and Requirements for WiMAX* . Prieiga per internetą: http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2009/08/WMF-T21-001-R010v01%20Rel%201.0%20Mobility%20Profile%20Requirements.pdf .[žiūrėta 2013 01 10].
7. R. Zakarevičius, R. Pleštys. *Maršrutu paieška belaidžiuose AD HOC tinkluose* .Kaunas. KTU leidykla "Technologija"
8. Karan Singh, R. S. Yadav, Ranvijay. *International Journal of Computer Science and Security*.
9. P. Michiardi, R. Molva. *Ad hoc networks security*. Prieiga per internetą: <https://www.eurecom.fr/en/publication/1287/download/ce-michpi-030923.pdf> [žiūrėta 2013 01 15].
10. *Guide to Wireless Mesh Networks*. Prieiga per internetą: http://books.google.lt/books/about/Guide_to_wireless_mesh_networks.html?id=etluRHnDAUQC&redir_esc=y [žiūrėta 2013 02 05].
11. *How Wireless Mesh Networks Work*. Prieiga per internetą: <http://www.howstuffworks.com/how-wireless-mesh-networks-work.htm> [žiūrėta 2013 02 08].
12. J. Navickas. *Fizika*. 2008. Leidykla „Ardiva”. Kaunas

V. ANOTACIJA

Autorius: Adomas Graisas

Tema: Šiuolaikinių bevielių ir mobiliųjų tinklų Ad Hoc sprendimų analizė

Šiaulių universitetas 2013

Šis Bakalauro darbas yra skirtas išanalizuoti bevielių tinklų Ad Hoc technologiją. Darbo metu pasitelkus „Opnet Modeler“ programą, buvo sukurti virtualūs Ad hoc tinklo modeliai. Tinklo modeliai buvo dviejų tipų 10 ir 20 tinklo mazgų. Tinklo maršrutizavimui buvo pasitelkti AODV ir DSR Ad hoc tinklų technologijos protokolai. Atlikus bandymus su tinklo modeliais buvo gauti rezultatai, kurie parodė Ad hoc tinklų galimybes.

SUMMARY

Author: Adomas Graisas

Subject: Modern wireless networks and mobile ad hoc decision analysis

University of Šiauliai 2013

This bachelor degree thesis is to analyze the wireless Ad Hoc network technology. Work through "Opnet Modeler program was to create a virtual ad hoc network models. Network models have been two types of 10 and 20 nodes in the network. Network routing were used AODV and DSR Ad Hoc network technology protocols. The tests with the network models were obtained which showed Ad-hoc networking opportunities.

PRIEDAI

1. Priedas DVD turinys:

- Bakalauro darbas (.docx ir .pdf formatais).
- Kataloge „OPNET Setup” pridėta “OPNET Modeler 14.5” programa su įdiegimo instrukcija.
- Kataloge „Tinklo modeliai“ pridėta sukurti tinklo modeliai.

2. Priedas knygos išrtauka iš skyriaus apie Ad hoc interferenciją

VARTOTOJŲ TANKIO ĮTAKOS AD-HOC TINKLO PRALAIMUMUI ĮVERTINIMAS

V. Dagilis, R. Plėštys

Kauno technologijos universitetas

Anotacija

Analizuojama linijinės ir plokštuminės topologijos Ad-Hoc tinklo pralaidumo priklausomybės nuo tinklo dydžio. Nustatytos ribinės įvairaus dydžio tinklų pralaidumo reikšmės prie labai mažų ir labai didelių tinklo mazgų išsidėstymo tankių. Modeliavimo būdu gautos tinklo pralaidumo reikšmės prie tarpinių tinklo mazgų išsidėstymo tankių.

PAGRINDINIAI ŽODŽIAI: belaidės prieigos tinklai, Ad Hoc tinklai.

Abstract

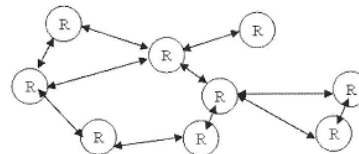
Analysis of network size impact on capacity of linear and plane topology Ad-Hoc network. The capacity limits for large and small density networks are determined. Network capacity values for various density networks are modelled.

KEY WORDS: wireless access networks, Ad Hoc networks.

Įvadas

Mobiliojo ryšio Ad-Hoc tinklai paremti tinklo mazgų bendradarbiavimu su tikslu sukurti mišrią ir patikimą tinklo topologiją, užtikrinančią informacijos perdavimą kintant atstumams tarp tinklo mazgų. Mazgai tarpusavyje sujungti radijo linijomis, kurių ilgiai priklauso nuo tinklo mazgų siunčiamų signalų parametru. Tokie tinklai dirba naudodami vieną bangų dažnį. Kai atstumai tiek padidėja, kad siunčiamą signalą nebegali patikimai priimti ryšyje dalyvaujantys tinklo mazgai, vyksta naujų maršrutų sudarymas [1, 2]. Ad Hoc tinklo mazgų (R) išdėstymo topologijos pavyzdys pateiktas 1 pav.

Jeigu visi tinklo mazgai yra labai arti, tai vienu metu gali siųsti informaciją tik vienas mazgas. Kai tinklo mazgai yra nutolę, keli tinklo mazgai vienu metu gali siųsti informaciją. Siuntimo laikų suderinimo algoritmas atitinka IEEE 802.11g standartą [3]. Tokių tinklų pralaidumo priklausomybės nuo mazgų skaičiaus tirtos P. Gupta ir P.R. Kumar darbe [5].



1 pav. Ad-Hoc tinklo topologija

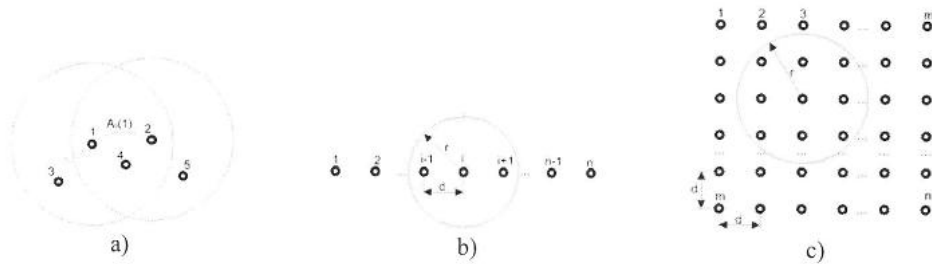
Tyrimai atlikti atsitiktinės topologijos tinkle ir nustatyta, kad pralaidumas į atsitiktinai pasirinktą tinklo įrenginį kinta pagal $\theta \left(\frac{W}{\sqrt{n \log n}} \right)$ dėsnį, naudojant neinterferuojantį protokolą. Mūsų pateikiamo tyrimo tikslas yra nustatyti, kiek daugiausia gali būti tinklo mazgų porų k , kurios gali netrukdomai komunikuoti apibrėžtos topologijos tinkle.

Ad Hoc tinklo mazgų interferencija

Gretimi tinklo mazgai gali tarpusavyje komunikuoti atstumu, kuris priklauso nuo siunčiamo signalo galios, moduliacijos rūšies ir mazgo imtuvo jautrumo. Ryšio nuotolis r gali kisti nuo 35 m (patalpose) iki 95 m (laisvoje erdvėje) [3]. Visi aplinkiniai įrenginiai, esantys atstumu $d < r$ nuo siunčiamo mazgo, gali priimti mazgo signalą.

Skirtingų mazgų porų interferencijos zonų pavyzdys, kai signalus siunčia mazgas 1 ir mazgas 2, parodytas 2 pav. Jeigu tinklo mazgai išsidėstę vienoje tiesėje (3 pav.), i -ojo mazgo signalai pasiekia $i-1$ -ąjį ir $i+1$ -ąjį mazgus ir nepasiekia likusių mazgų. Jeigu tinklo mazgai išsidėstę vienodu atstumu plokštumoje (4 pav.), į aprėpties zoną patenka 8 mazgai. Jei maksimalią linijinę perdavimo spartą pažymėsime w , tinklo mazgų kiekį – n , tai vienam tinklo mazgui vidutiniškai tenkantis srautas:

$$\lambda = k \frac{w}{n} \quad (1)$$

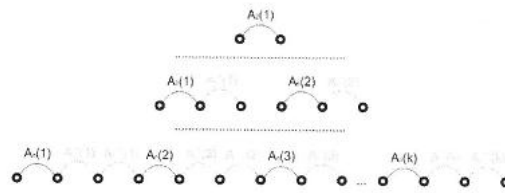


2 pav. Interferencijos zonų išsidėstymas: a) penkių mazgų tinkle, b) linijinės topologijos (1x n)tinkle, c) plokštuminės topologijos (n = m x m) tinkle

Neinterferuojančių mazgų porų suradimo metodika

Linijinės topologijos tinklas. Linijinės topologijos tinklo atveju neinterferuojančių mazgų porų skaičiaus iliustracija, kai $d=r$, pateikta 3 pav. Kai tinkle yra tik du mazgai, galima tik viena neinterferuojanti pora.

Šešių mazgų atveju galimos tik dvi neinterferuojančios poros: $A_6(1)$ ir $A_6(2)$ arba $A_6(1)$ ir $A_6(2)$. Analogiškai pavaizduotos poros iš n tinklo mazgų sudarytame tinkle. Jeigu tinklas proporcingai traukiasi mažėjant d , interferencija apima vis didesnį kiekį mazgų ir trukdo lygiagrečiai vykdyti siuntimą. Dėl to vis mažėja komunikuojančių porų skaičius kol gali sąveikauti tik viena pora.



3 pav. Naujas srautas tiesėje

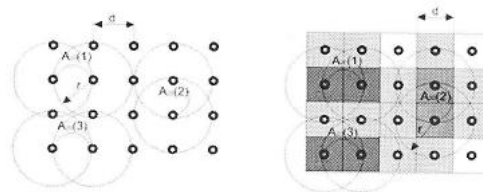
Porų skaičius k linijinės topologijos tinkle:

$$k = \left\lfloor \frac{n}{\left\lfloor \frac{r}{d} \right\rfloor + 2} \right\rfloor$$

(2) čia: $\lfloor X \rfloor$ reiškia sveikąją skaičiaus dalį.

Plokštuminės topologijos tinklas. Neinterferuojančių porų suradimui pasirinktas kvadratinės topologijos tinklas. Tinklo aprėpiamas plotas sudarytas iš elementarių kvadratų. Kiekvienas kvadratas gali turėti tris būsenas: siuntėjo, interferencijos ir laisvąją.

Siuntėjo būseną pavaizduota tamsiai (4 pav.) Kvadratai, kurių centrai yra užgožiami siuntėjų signalu, įgauna interferencijos būseną (4 pav.). Nauji ryšiai gali būti sudaromi tik iš laisvųjų zonų, pažymėtų balta spalva (4 pav.). Specialiai sudaryto algoritmo pagalba kvadratai išdėstomi taip, kad gauti didžiausią siuntėjų skaičius k .



4 pav. Neinterferuojančių porų paieška plokštuminiame tinkle