



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
ФАКУЛТЕТ ПО ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ
КАТЕДРА „КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ“

маг. инж. Чаудхари Манохар Сантош Бикубай

**МАКСИМИЗИРАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ И
КАЧЕСТВОТО НА РАБОТА НА РЕСУРСНО ОГРАНИЧЕНИ
AD-HOC МРЕЖИ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за присъждане на образователна и научна степен
„ДОКТОР“**

Област на висше образование: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.3 Комуникационна и компютърна техника

Научна специалност: Комуникационни мрежи и системи

Научни ръководители: доц. д-р инж. Павлина Христова Колева

проф. д-р инж. Владимир Костадинов Пулков

София, 2017

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Комуникационни Мрежи“ към Факултет по Телекомуникации при Технически Университет – София на редовно заседание, проведено на 15.05.2017 г. (протокол № 9)

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 09.10.2017 г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-235/15.06.2017 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р Георги Любенов Илиев – председател
2. Проф. д-р Владимир Костадинов Пулков – научен секретар
3. Доц. д-р Васил Марков Къдрев
4. Доц. д-р Розалина Стефанова Димова
5. Проф. д-р Маргарита Кръстева Тодорова

Рецензенти:

1. Проф. д-р Георги Любенов Илиев
2. Доц. д-р Розалина Стефанова Димова

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на Факултет по Телекомуникации, блок 1, стая 1439-Б и на Интернет страницата на Технически Университет – София.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Комуникационни Мрежи“, Факултет по Телекомуникации. Изследванията по дисертационният труд са направени от автора, като резултатите от тях са публикувани.

Автор: маг. инж. Чаудхари Манохар Сантош Бикубай

Заглавие: Максимизиране на енергийната ефективност и качеството на работа на ресурсно ограничени ad-hoc мрежи

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

През последните години основен проблем при безжичните сензорни и мобилни ad-hoc мрежи е осигуряването на надеждна и устойчива работа. Решаването на този проблем е много трудно поради сложността на организация на комуникацията между възлите при този тип мрежи, които са мобилни, с ограничено захранване, лимитиран обхват и продължителност на обмена на данни по между им. Този проблем е много актуален и решения за практическа имплементация, осигуряващи ефективна и надеждна структура на такива мрежи са все още във фаза на изследване и изпитване. В работата се предлага един иновативен подход за постигане на енергийно ефективни, надеждни и сигурни механизми, които да могат да се имплементират в ресурсно ограничени ad-hoc мрежи.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е: Да се предложат и разработят енергийно ефективни, надеждни и сигурни механизми, които да могат да се имплементират в ресурсно ограничени ad-hoc мрежи, такива като мобилни ad-hoc мрежи (MANETs – Mobile Ad-hoc Networks) и безжични сензорни мрежи (WSNs – Wireless Sensor Networks), за да се постигне по-добра работоспособност, устойчивост, надеждност и общо подобрене в състоянието и продължителността на живота на мрежата. За постигане на поставената цел е необходимо решаването на следните конкретни задачи:

1. Разработване на нови рутиращи техники, които да осигурят устойчива комуникация и подобрени работни параметри, такива като повишена енергийна ефективност и пропускателна способност, по-малки загуби на пакети и закъснение. Имплементирането на подходящ протокол за рутиране може да доведе до значително подобрене продължителността на живота на възлите, изграждащи една ad-hoc мрежа и да повиши нейната устойчивост.
2. Разработване на методи и алгоритми за подобряване на надеждността на ресурсно ограничени ad-hoc мрежи, като същевременно максимално се подобрят работните параметри, такива като пропускателна способност и брой доставени пакети, заедно с имплементирането на подходи за пестене на енергия в различни елементи на мрежовата архитектура, с цел осигуряване по-добра обща ефективност на мрежата.
3. Разработване на механизми за подобрене на сигурността за защита на мрежата и предотвратяване на атаки с подобрени работни параметри, такива като пропускателна способност, коефициент на доставени пакети и закъснение.

Методологията на изследванията в дисертацията включва използване на числен и симулационен подход. В предложеното подобрене на съществуващия DSR (Dynamic Source Routing) алгоритъм, наречен Distance Power based DSR (DPDSR), се използва числен подход за оценка на разстоянието между източника и получателя, и между източника и i -тия съседен възел, както и за оценка на отношението разстояние към енергия между източника и получателя, и на отношението разстояние към енергия за i -тия възел. За симулациите на DPDSR алгоритъма е използван мрежови симулатор NS2 (Network Simulator 2). В

разработения нов алгоритъм за рутиране, наречен Service Zone Gateway Prediction (SZGP), се използва числен подход за оценка на тегловия показател W_i и за оценка на рутиращия маркер за следващия слой M_{li} . Симулациите и сценариите на SZGP алгоритъма са реализирани, използвайки NS2 v.2.35, както и Java базиран генератор NSG2.1. В предложения нов метод за подобряване на енергийната ефективност и надеждността на ad-hoc мрежи, наречен Adaptive Sectoring Scheme for Reliability (ASSR), се използва симулационен подход, реализиран в средата NS2. В предложения нов евристичен подход за разпределение, наречен Energy Saving Dynamic Level Scheduling (ESDLS), се използва числен подход за оценка на динамичното ниво DL (Dynamic Level) и за оценка на модифицираната оценъчна функция. За симулациите и оценка на предложения подход е разработен симулатор, написан на Perl. В предложената модификация на байт метода за предотвратяване навлизането на възли от тип „черна дупка“ в мрежата е използван симулационен подход, реализиран в средата NS3.

Научна новост

Научната новост в настоящата дисертация е свързана с предлагането на нови методи и подходи за максимизиране на енергийната ефективност и качеството на работа на ресурсно ограничени ad-hoc комуникационни мрежи. Разработени и изследвани са нови и иновативни механизми за рутиране и разпределение на трафика в този тип мрежи, а също така са предложени няколко модификации на добили вече практическо приложение рутиращи механизми, които осигуряват подобрени работни параметри. В работата са предложени и методи и подходи за подобряване на енергийната ефективност и надеждността на ad-hoc мрежи. Разработена и имплементирана е модификация на байт метода за предотвратяване навлизането на възли от тип „черна дупка“ в мрежата, като по този начин се повишава сигурността и се спомага за поддържане на нейната надеждност.

Практическа приложимост

Всички разработени методи и механизми за рутиране, както и предложените подобрения към вече практически имплементирани такива, са изследвани и анализирани посредством симулационни експерименти. Направено е и сравнение с други такива в основата, на които са заложили подобни функционалности и характеристики, или имат сходни цели по отношение на подобрение на работните им параметри. За целта са използвани съвременни и професионални мрежови симулатори, чрез които се проверява функционалността на повечето сензорни и мобилни ad-hoc мрежи, имплементирани в практиката. Всичко това прави възможността за внедряване на резултатите от настоящия дисертационен труд непосредствени и лесно реализуеми.

Публикуване на резултатите от дисертационното изследване

Направените анализи, предложените подходи и получените резултати за периода 2014–2017 са представени в общо **9** авторски публикации, **6** от които на *международни конференции*, а останалите **3** - в *международни научни списания*. **1** от публикациите е самостоятелна, а останалите **8** са в съавторство. Международните конференции са: *Global Conference on Communication Technologies (GCCT) 2015*; *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC) 2015* – 2 публикации; *International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC) 2015*; *Global Wireless Summit (GWS)*

2016; *International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP) 2017*.
Международните научни списания са: *International Journal of Computer Science and Mobile Computing (IJCSMC) 2014; International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR) 2017; Springer Journal, Wireless Personal Communications 2017*.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е написан на английски език и е в обем от **116** страници формат A4 и съдържа увод, четири глави, заключение с изложени основни приноси, списък на фигурите, списък на таблиците, списък на използваните съкращения, списък с публикациите по дисертацията, списък на използваната литература. Изложението на дисертационния труд съдържа **87** фигури, **6** таблици и **8** математически израза. Използвани са **80** литературни източници като всички са на латиница, **86%** от които са от последните десет години. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. Състояние на проблема

1.1. Ad-hoc мрежи с ограничени ресурси

Безжичната ad-hoc мрежа (WANET - Wireless Ad-hoc Network) е децентрализиран тип безжична мрежа. Мрежата е ad-hoc, тъй като тя не разчита на предварително съществуваща инфраструктура, като например базирана на рутери в кабелни мрежи или точки за достъп в управляваните (инфраструктурни) безжични мрежи. Ресурсно ограничена е всяка мрежа, която трябва да функционира с ограничени ресурси, като например ограничено време на живот на батериите на устройствата или ограничена честотна лента, споделена от голям брой потребители [1]. Основна тема в най-новите изследвания в тази област са свързани с намиране на решения, осигуряващи максимална ефективност при съответните ограничения на ресурсите за мобилни ad-hoc мрежи (MANETs - Mobile Ad-hoc Networks) и безжични сензорни мрежи (WSNs - Wireless Sensor Networks). Първите съдържат мобилни възли, които са свободни да се движат и да се организират произволно, докато последните се състоят от голям брой сензорни възли, които са по-ограничени по мощност, изчислителен капацитет и памет от тези в MANET.

MANET са различни от другите мрежи, тъй като те са с динамично променяща се мрежова топология, която е невъзможно да бъде предвидена. На практика те са мрежи с мобилност на възлите, чести промени в топологията, ограничената честотна лента и консумация на енергия [2]. Основни научни теми, свързани с MANET, са енергийната ефективност на маршрутизиращите протоколи и устойчивостта на мрежата. Енергийно ефективните маршрутизиращи механизми могат да осигурят необходимото качество на услугата (QoS - Quality of Service) и да повишат устойчивостта или живота на мрежата. Следователно по време на процеса на маршрутизиране оценката на мощността на даден възел по отношение на неговата остатъчна енергия е важен въпрос за избора на междинните възли, за да се поддържа стабилно и продължително предаване на данни по избрания маршрут [A1].

1.2. Рутиращи механизми и механизми за разпределение на трафика за подобряване работоспособността на MANET

За да се поддържа приемливо качество на услугата по време на комуникацията между възлите, е необходим и ефективен маршрутизиращ механизъм. Следователно, мощността на един възел по отношение на наличната му енергия е важен въпрос за избора му като междинен възел, с оглед поддържане на стабилно предаване на данни между възлите [17]. Трябва да се отбележи, че трафикът на данни се увеличава експоненциално в днешните MANETs, но и изискванията към енергийната ефективност също се увеличават. Когато в резултат на увеличения трафик енергията на батерията стане недостатъчна, възниква проблема с т.н. „енергийна дупка“ [A1]. Друг важен въпрос е да се запази жизнения цикъл на маршрута в мрежата, което е предизвикателна задача, тъй като мощността на един възел зависи от неговия размер, модела на разпространение, свойствата на модела и капацитета на батерията [18].

1.3. Рутирание за MANET на основата на оценка на мощността на възлите

По отношение на потреблението на енергия MANETs са ограничени мрежи, тъй като възлите им работят на батерия, така че намаляването на потреблението на енергия по време на маршрутизацията е основно предизвикателство.

С оглед на получаване на по-добра ефективност е възможно прилагане на подход за разпределение на натоварването, при който маршрутът се избира не на базата на най-краткия път, а през възли, които са използвани по-рядко, т.е. притежават повече запас на батерията. Благодарение на правилното разпределение на натоварването между възлите, се получава по-голям баланс в използването на енергията на възлите. Този подход не предоставя избор на най-енергийно ефективен път, но със сигурност възпрепятства претоварването на някои възли и допринася за по-дълъг живот на мрежата [A3].

Един от маршрутизиращите протоколи за пестене на енергия и оцеляване, който се основава на DSR (Dynamic Source Routing), е въведен в [A1]. Той използва техника за пестене на енергия във всеки възел като се въвежда метод, основаващ се на излъчването на специален пакет "ниска енергия", който сигнализира източникът и съседните му възли за ниско енергийно ниво. Тази техника избягва прекомерното използване на възли с малка остатъчна енергия, с което се осигурява по-голяма продължителност на живота на мрежата.

В статията [A2] е представено проучване и сравнение на предимствата и недостатъците на различни протоколи, използвани за нискоенергийни мрежи. Сравнението се основава на анализ на прилаганите схеми за контрол на мощността и ефективността, както и някои ограничения, свързани с мобилността на възлите и загубите на пакети. В тази статия се разглежда и анализират мрежите със загуби и ниска ефективност (LLNs - Low-power and Lossy Networks) на специализираната група за интернет инженеринг (IETF - Internet Engineering Task Force). В [A2] се посочва, че:

1) LLNs са "ограничени" мрежи, които се състоят от много евтини вградени устройства с малка консумация на енергия, памет и оперативни ресурси.

2) LLNs включват няколко комуникационни технологии с ниска мощност, които обикновено се влияят от различни параметри, свързани със загубите и свързаността.

3) Преобладаващият трафик, структуриран в LLNs, е поток от множество точки към една точка (например приложения, които събират информация от огромен брой възли). Докато потоците от точка до точка или от точка до множество точки се срещат по-рядко.

1.4. Надеждност и устойчивост на мрежата

В MANETs, устойчивостта на мрежата е свързана с аспектите, осигуряващи надеждна комуникация, и може да се отнесе към способността на дадена система своевременно да изпълни мисията си по време на атаки, неуспехи или злополуки [65], [66]. Надеждността също е много важен въпрос, когато безжичните пълносвързани мрежи се използват като мрежи за предоставяне на достъп до Интернет, какъвто е случая с AMMNET (Autonomous Mobile Mesh Network), които могат да се използват за офис комуникации, частни жилища, служби за спешна помощ и др. [68]. В такива случаи най-общо устойчивостта на мрежата се отнася до ситуации, при които мрежата трябва да остане жива за продължителен период от време. Устойчивостта на MANET е свързана с възможността на мрежата да осигури дълго време непрекъсната връзка между възлите. Устойчивостта зависи от мобилността на възлите, тяхното натоварване, недостига на енергия и бързите промени в топологията [67].

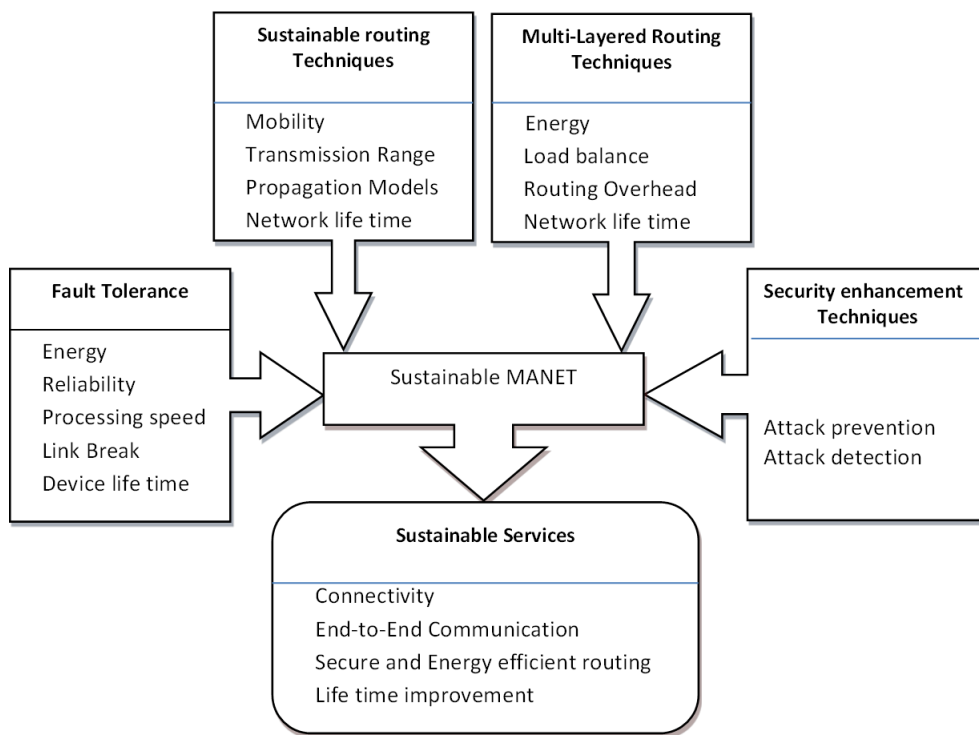
1.5. Подобряване на сигурността за надеждна MANET

Ad-hoc мрежите са лесни за настройка, евтини и бързи, но при тези мрежи има много предизвикателства. Едно от тях е "Сигурността". Сигурността е критичен въпрос за ad-hoc мрежите, които все още са до голяма степен неизследвани. Тъй като възлите използват отворени, споделени радио канали в една потенциално несигурна среда, те са особено предразположени към злонамерени атаки, като отказ от услуга (DoS - Denial of Service). Във връзка с това, сигурността наистина е един от най-трудните проблеми, които трябва да бъдат решени [A3]. Има различни типове DoS атаки [69] като една от тях е атака тип „черна дупка“ (Blackhole). Тази атака представлява отказ от услуга (DoS), при която зловредният възел показва на източника, че има валиден маршрут до местоназначението с минимален брой връзки. Атакуващият възел изпраща фалшиво съобщение за отговор на маршрута (RREP - Route Reply) към възела на източника с валиден маршрут. По този начин възелът източник избира пътя за изпращане на пакети през атакуващия възел, т.н. „възел черна дупка“, който изхвърля пакетите без да ги препраща. При тази атака възелът източник не разпознава зловредния възел и сляпо изпраща пакетите към него. Това свойство различава Blackhole атаката от другите DoS атаки.

1.6. Предпоставки за устойчивост на една Ad-Нос мрежа

Като цяло, основните изисквания към MANETs са свързани с ефективно, оптимално, сигурно и устойчиво маршрутизиране и подобряване на основните работни параметри, такива като по-висок коефициент на доставени пакети и по-голяма пропускателна способност, по-ниско закъснение от край-до-край и по-малка консумация на енергия, всичко това в условията на добър баланс на натоварване на възлите.

Като се вземат предвид състоянието на техниката и анализът от предишните точки, основните компоненти на устойчивостта на ad-hoc мрежата могат да бъдат обобщени и групирани по начин, представен на фиг. 1.3. Те са отказоустойчивост и поддържане на работоспособността (толерантност) при наличие на грешки и повреди, маршрутизация, сигурност и резултатът от всички - устойчиви услуги. Тolerантността към грешки е свързана с енергийната ефективност, надеждността и прекъсването на връзката, както и с времето на живот на устройството/възела. Маршрутизацията е много важна за устойчивата работа на мрежата. Енергийно ефективното маршрутизиране е много важно при MANET, като маршрутизиращите техники могат да се класифицират като устойчиво маршрутизиране и многослойно маршрутизиране. Сигурността е още едно от големите предизвикателства, които трябва да бъдат разгледани с оглед устойчивата работа на MANET. Злонамерени възли могат много по-лесно да навлязат в MANET в сравнение с една кабелна мрежа, което води до влошаване на пропускателната способност на мрежата и засяга цялостната ѝ свързаност. Предпоставките за устойчива ad-hoc мрежова архитектура, както е показано на фиг. 1.3, са надеждна връзка, комуникация от край до край, сигурно и енергийно ефективно маршрутизиране, подобряване на времето за живот [A1].



Фиг. 1.3 Предпоставки за устойчива ad-hoc мрежова архитектура

1.7. Заключение

Въз основа анализ на състоянието на проблема, направен в глава 1, може да се отбележи, че основните въпроси, свързани с MANET, са енергийната ефективност на протоколите за маршрутизиране и устойчивостта на мрежата. Енергийно ефективните маршрутизиращи механизми могат да осигурят необходимото качество на услугата (QoS) и да повишат устойчивостта или живота на мрежата. От литературното проучване се установи, че надеждността и производителността на топологията на физическата мрежа са от голямо значение, тъй като отразяват способността на мрежата да осигурява връзка във всеки един момент между възлите в ad-hoc мрежата. Поддържането на свързаност също е голямо

предизвикателство, като в много случаи се има предвид самоорганизиращия характер на мрежовата топология и динамичната промяна в поведението на възлите, в следствие на чести откази във връзките и възлите, породени от мобилността, смущенията, ограничената енергия на батерията и влиянието на радиоканала. Сигурността е също така критичен въпрос за ad-hoc мрежите, които все още са до голяма степен неизследвани. Мрежовите и нискоенергийни мрежи (LLNs) изискват ефективни протоколи за маршрутизация, които да отговарят на изискванията на критичните приложения, като например работа в реално време, надеждност и висока устойчивост.

Всичко това повдига въпроса за необходимостта от значителна промяна на традиционните маршрутизиращи протоколи и алгоритми за разпределяне на ресурсите или разработването на нови подходи за поддържане на свързаност, като същевременно се оптимизира работоспособността и енергийната ефективност в тези мрежи. Като се имат предвид тези изисквания, в тази глава са дефинирани необходимите параметри за енергийно ефективна, сигурна, устойчива маршрутизираща архитектура на MANET. Основният ключов фактор за устойчивата мрежа е, че тя трябва да може да предоставя основни услуги дори при възникване на откази, атаки и прекъсвания.

1.8. Приноси към първа глава

1. Направено е проучване и са анализирани различни енергийно ефективни и с повишено качество на работа маршрутизационни механизми / техники и протоколи, водещи до удължаване на жизнения цикъл и устойчивостта на ресурсно ограничени ad-hoc мрежи, такива като мобилни ad-hoc мрежи (MANETs – Mobile Ad-Hoc Networks) и безжични сензорни мрежи (WSNs – Wireless Sensor Networks), въз основа на което *са дефинирани основните предпоставки и проблемите при изграждане на една енергийно ефективна и устойчива архитектура за MANETs с подобрени работни параметри*, с цел осигуряване на по-добра свързаност, по-добра комуникация от край до край, по-сигурно и енергийно ефективно маршрутизиране.
2. В резултат на направеното проучване, извършения анализ на съвременното състояние, дефинирането на проблемите и определянето на предпоставките за устойчиви мрежови архитектури на ad-hoc мрежи, е *формулирана целта на дисертацията като за постигането на тази цел са предложени три различни подхода*.

ГЛАВА 2. Маршрутизиране за устойчива и енергийно ефективна комуникация в ad-hoc мрежи

Прилагането на подходяща техника на маршрутизиране би могло значително да подобри жизнения цикъл на възлите, изграждайки една ad-hoc мрежа, и да повиши цялостната ѝ устойчивост. Тази глава е свързана с разработването на нови маршрутизиращи техники, осигуряващи устойчива комуникация, съвместно с подобряването на работни параметри, такива като енергийна ефективност, загуба на пакети, пропускателна способност и закъснение, което е един от подходите за постигане на целта на дисертационния труд. Предлагат се нови методи за маршрутизация и тяхната работа се анализира чрез симулационни експерименти. Първият се основава на оценката на остатъчната енергия и разстоянието на възлите и се нарича DPDSR ((Distance Power based DSR)) алгоритъм,

отчитащ енергията на възлите и разстоянието между тях, а при втория се следва слоест подход на маршрутизация и се нарича Service Zone Gateway Prediction (SZGP) алгоритъм или алгоритъм за прогнозиране на зоната на обслужване [A4 , A5, A6].

2.1. Distance power based DSR algorithm

Предложеният DPDSR алгоритъм има за цел да подобри енергийната ефективност, оттук и устойчивостта на възлите и продължителността на живот на мрежата [A4]. Тъй като енергията е от критично значение за оцеляването на възлите в мрежата, предложеният алгоритъм се основава на мониторинг на енергийните нива на възлите в процеса на изграждане на заявения път от източника към местоназначението. За да изгради пътя, възелът на източника препраща пакет за заявка за маршрут (Rreq) към междинните възли, за да провери остатъчната енергия и разстоянието. Този алгоритъм избира междинните възли, изграждащи пътя, на базата на два параметъра: а) остатъчна енергия на възела, по-голяма от предварително определената прагова енергия, б) минимално разстояние между възела на източника и i -тия междинен възел. Тъй като DSR избира пътя с минимален брой отсечки (хопове), разстоянието между някои от двойките възли обикновено е по-голямо, което изисква по-голяма мощност при комуникация между двойката възли.

За да се удължи времето за експлоатация на мрежата и устойчивостта на мрежата, DPDSR алгоритъмът избира алтернативен път въз основа на разстоянието и остатъчната енергия на възлите. В този случай поради избраните енергийни параметри пътят може да не е най-краткият път, тъй като в процеса на комуникация междинните възли губят първоначалната си енергия. Ако остатъчната енергия на един междинен възел падне под определен праг, той няма да бъде включен в маршрута. Предложеният алгоритъм избира друг път въз основа на съотношението на разстоянието и остатъчната енергия. По този начин за един и същ възел източник и възел получател съществуват множество пътища с възли, които имат достатъчно енергия за препращане на пакети. По този начин в процеса на маршрутизация участват повече възли и се постига по-добър баланс на потреблението на енергия в мрежата.

Предложеният алгоритъм следи разстоянието между междинните възли заедно с тяхната остатъчна енергия и се опитва да изгради път с възли, които са на по-малко разстояние едни от други и имат достатъчно енергия за успешно препращане на пакетите. Тъй като DPDSR алгоритъмът разглежда съотношението на разстоянието спрямо сумата на енергията на съответните възли, това гарантира, че възлите с по-голяма остатъчна енергия и по-малко разстояние между тях ще бъдат избрани в процеса на маршрутизиране.

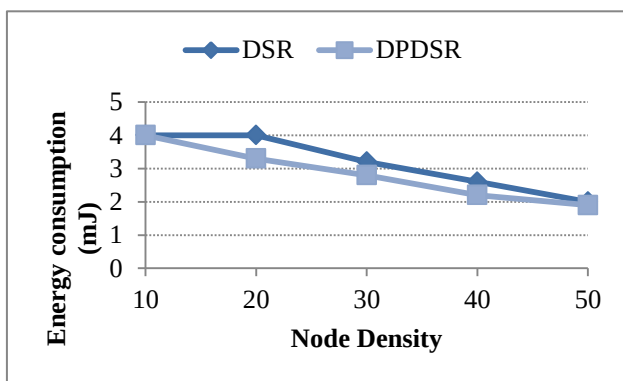
За симулационните експерименти се използва NS2 като мрежов симулатор, който е платформа за симулация с отворен код [77]. Предложеният DPDSR алгоритъм се сравнява със съществуващия DSR алгоритъм по отношение на пропускателната способност, консумацията на енергия, закъснение от край-до-край и джитер. Разработен е стандартен сценарий, при който се изпитват различни условия на работа на мрежата със симулационни параметри, показани в Таблица 2.1.

След прилагането на предложения DPDSR алгоритъм, се наблюдават следните резултати. На фиг. 2.2 е показано сравнение на общото потребление на енергия спрямо нарастващия брой възли за DSR и DPDSR алгоритмите. Скоростта на възлите се поддържа постоянна - 2 m/s. Вижда се, че DPDSR се представя по-добре по отношение на общото потребление на

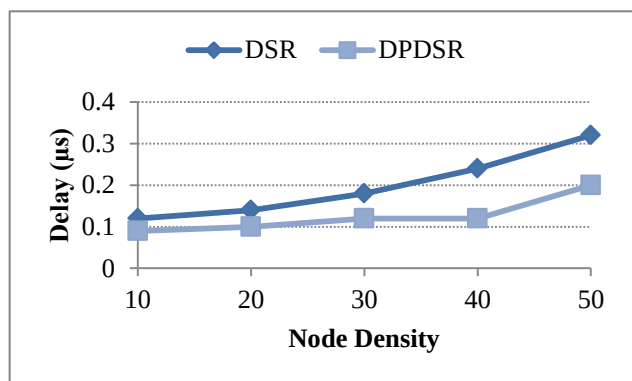
енергия. Това се наблюдава поради отчитането на параметрите на мощността в процеса на откриване на маршрута. С увеличаването на броя на възлите, т.е. плътността на възлите, общото потребление на енергия намалява и в двата случая, тъй като средното разстояние между възлите става по-малко, което изисква по-малко енергия за предаване. С увеличаване на броя на възлите маршрутизирането е по-добро, но има праг за плътността на възлите, поради вероятността за претоварване в мрежата.

Таблица 2.1 Симулационни параметри за имплементиране на DPDSR

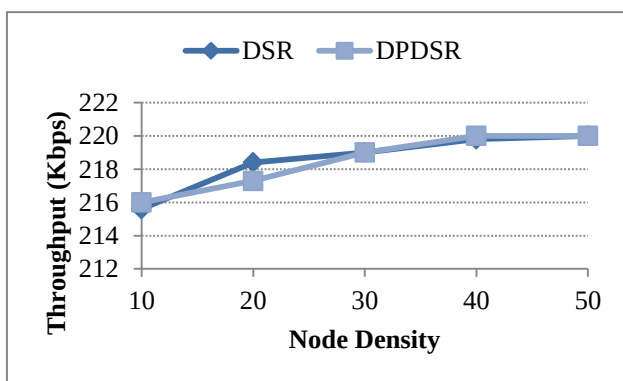
Simulation Parameter	Value	Simulation Parameter	Value
Simulation Area	500m X 500m	Routing Protocols	DSR/DPDSR
Channel Type	Wireless Channel	Number of nodes	10-50
MAC Type	IEEE 802.11	Mobility	2-10 m/s
Traffic Type	CBR	Initial Energy of node	10 Joules
Propagation Model	Two Ray Ground	Reporting Rate	2-10 pkt/sec
Network Interface Type	Phy/Wireless PHY	Packet Size	100 bytes



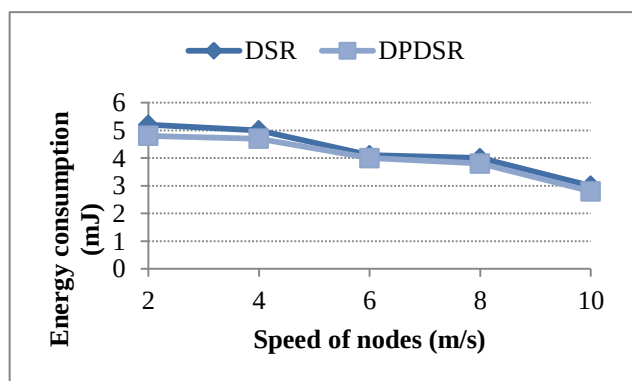
Фиг. 2.2 Общо потребление на енергия в зависимост от броя на възлите



Фиг. 2.3 Закъснение в зависимост от броя на възлите



Фиг. 2.5 Обща пропускателна способност във функция от броя на възлите



Фиг. 2.6 Общо потребление на енергия във функция от мобилността на възлите

На фиг. 2.3 е показано сравнение на закъснението от край-до-край за двата рутиращи алгоритъма в зависимост от броя на възлите в мрежата. Скоростта на възлите за симулационните експерименти се поддържа постоянна на 2 m/s. Може да се види, че при DSR алгоритъма закъснението се увеличава с нарастване на плътността на възлите в мрежата. Това може да се обясни с характера на алгоритъма, тъй като той винаги се опитва да намери най-краткия път, независимо от натоварването на възела или неговата консумация

на енергия и пренасочва пакетите към местоназначението по един и същ маршрут. В такъв случай времето на чакане или времето, необходимо на пакета да бъде обработен в буферите на възлите, се увеличава, което води и до нарастване на общото закъснение и вероятността за претоварване на мрежата. Обратно, при DPDSR алгоритъма се избира път за маршрутизиране въз основа на съотношението разстояние към енергия, като по този начин за пренасочване на пакети се избират по-малко натоварени възли, които имат достатъчно енергия и се нуждаят от по-малко време за обработка. Резултатите показват, че при някои сценарии с различно разпределение на възлите закъснението при DPDSR може да бъде до 35% по-малко в сравнение с DSR.

На фиг. 2.5 е показано сравнение на общата пропускателна способност за двата алгоритъма във функция от броя на възлите. В този случай отново скоростта на възлите се поддържа на 2 m/s. Резултатите и за двата алгоритъма са подобни. Когато броят на възлите се увеличава, се увеличава и пропускателната способност, поради наличието на множество пътища и по-малката вероятност за претоварване и прекъсване на връзката.

На фиг. 2.6 е показано общото потребление на енергия във функция от мобилността на възлите. Броят на възлите се поддържа постоянен и е равен на 20. DPDSR алгоритъмът превъзхожда съществуващия DSR алгоритъм, благодарение на подхода за отчитане на енергията, приет от DPDSR. Може да се види, че потреблението на енергия от DPDSR се влияе по-слабо от мобилността на възлите.

2.2. Multilayered Distributed Routing SZGP algorithm

Основната идея зад предложения SZGP алгоритъм може да бъде очертана в следното [A4], [A5]. Въвежда се концепцията за слоесто и разпределено маршрутизиране въз основа на формирането на зони с шлюзове по подразбиране (default gateways). Зоните се определят предварително за всяка стъпка от процеса на маршрутизиране, тъй като се прилага "многослоесто" маршрутизиране. По този начин, като се започне от долните слоеве нагоре, маршрутизиращите параметри като функция на плътността на възлите се подобряват. SZGP алгоритъмът има подобни свойства като CMMR (Cluster-Mesh based Multicast Routing - многослоесто маршрутизиране на основата на свързани клъстери) алгоритъма, но използва единично предаване в процеса на маршрутизация в противовес на многослоестото, както е предложено в [31]. Предложеният SZGP алгоритъм е хибриден тип разпределен маршрутизиращ механизъм, включващ предварително изчисление на участъците от маршрута, с периодично актуализирана йерархична многослойна структура и с възможности за самоорганизация и саморегулиране.

За реализирането на маршрутизиращия механизъм се прилага мрежов модел с универсални свойства на основните възли. За всеки възел са дефинирани две функционални и едно генерично свойство. Функционалните свойства са *степен на привличане* и *степен на насищане* [75, 76]. *Степента на привличане* е геометрична оценка на обхвата на предаване или зоната на обслужване на възела по отношение на останалите възли в мрежата, за които този възел се счита за "шлюз по подразбиране", означен с *Stax*. *Степента на насищане* е оценка на границата на трафика, който може да поеме възела, обозначена с *Dmax*. Това практически е трафикът, който възелът може да обслужи без загуба на пакети породени от

препълване на буфера или от липса на изчислителна мощност. Генеричното свойство показва живота на възела, измерен чрез оставащия капацитет на батерията му B_i .

Алгоритъмът има логиката на алгоритъм за некооперативна маршрутизация, базиран на оценката на основните свойства на обслужващите възли. При прилагането на този алгоритъм се въвежда самооценка на теглото на всеки възел, която се прави в началото на всеки интервал от време, въз основа на състоянието и функционалната история на възела в предишния времеинтервал. Определянето на възел като "шлюз по подразбиране" в процеса на самоорганизация се основава на слоест модел. На всеки слой се определя различна стойност на степента на привличане, базирана на ограничаването на мощността на възела до определено ниво. В първата стъпка степента на привличане се определя като процент от номиналната мощност на всички възли (в началото на симулацията стойността е зададена на 30%). Всеки възел изпраща съобщение "HELLO", включващо собствената си стойност на тегловната метрика W_i , изчислена както следва:

$$W_i = \frac{B_i}{\left(\frac{C_i}{C_{max}} + \frac{D_i}{D_{max}}\right)} \quad (2.5)$$

където B_i е нивото на батерията, D_i е пропускателната способност (включително собствената пропускателна способност на възела, като по този начин $D_i \neq 0$), C_i е броят на връзките (включително собствения възел, като по този начин $C_i \geq 1$), нормализирани с D_{max} и C_{max} , съответно максималната възможна пропускателна способност и максималният брой връзки. Ако два възела се „виждат“ взаимно, т.е. успешно обменят своите HELLO пакети, те се считат за съседи. Ако два съседни възела i и j са обменили тегловните си показатели W_i и W_j , се изчислява маркерът за маршрутизация M_i за първи слой. Този маршрутизиращ маркер указва кой от възлите е "шлюз по подразбиране". Ако $W_i > W_j$ тогава шлюзът по подразбиране е възел i и в т.н. "Матрица на маршрутизиращия маркер" на алгоритъма се съхраняват стойностите на маркерите $M_{lij} = 1$ и $M_{lji} = 0$. Тези стойности по-късно се използват за определяне на шлюзовете по подразбиране в следващия слой. В края на първата стъпка на алгоритъма част от възлите са избрани за шлюзове по подразбиране за даден брой възли. След това, за всеки възел i се изчислява маршрутизиращият маркер за следващия слой L , както следва:

$$M_{li} = \sum_{k=1}^{N_i} M_{lki} \quad (2.6)$$

където N_i е броят на съседните възли. Всички възли, за които M_{li} е различен от нула, участват в процеса на определяне на шлюза по подразбиране в следващия слой. С други думи, всички възли, избрани да бъдат шлюзове по подразбиране от по-нисък слой, участват в следващата стъпка на алгоритъма като кандидати да бъдат един от шлюзове по подразбиране на следващото по-високо ниво. Процедурата се повтаря докато не се прекрати обменът на "HELLO" пакети в ad-hoc мрежата. Трябва да се отбележи, че участието в процедурата за избор на шлюз по подразбиране на по-високо ниво изисква увеличаване на номиналната мощност на участващия възел, т.е. степента на привличане на тази възлова точка. На всеки

слой съобщенията съдържат актуализиран матричен показател на теглото и матрица на маркерите за маршрутиране. Тегловният показател за всеки слой зависи от броя на връзките на долния слой и от максималните връзки, които възелът може да приеме, т.е. степента на насищане. Този вид оценка предполага поведение за балансиране на натоварването между възли с голям брой връзки и възли с малък брой връзки и по този начин се постига по-добра устойчивост на ad-hoc мрежата.

Симулационните сценарии са реализирани чрез мрежов симулатор NS2 ver. 2.35 и NSG2.1, който е JAVA базиран генератор на сценарии [77]. Симулационните параметри и конфигурацията на възлите са дадени в Таблица 2.2. За генерирането на топология се разглеждат три сценария: топология тип свързване в мрежа (решетъчна), топология тип хоризонталната верига и случайна топология. В симулирана мрежова архитектура 50 възли се считат за разположени на площ от 1000 m x 1000 m. Използва се постоянната скорост на предаване (CBR - Constant Bit Rate) за генериране на трафика и се прилага случайна мобилност за всичките 50 възли. Предполага се, че това е екстремнен сценарий в реално време, тъй като на практика рядко се случва, всички мобилни възли да се движат едновременно. Скоростта на движение е 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20 m/s (1 m/s = 3,6 km/h).

Таблица 2.2 Симулационни параметри и конфигурация на възлите

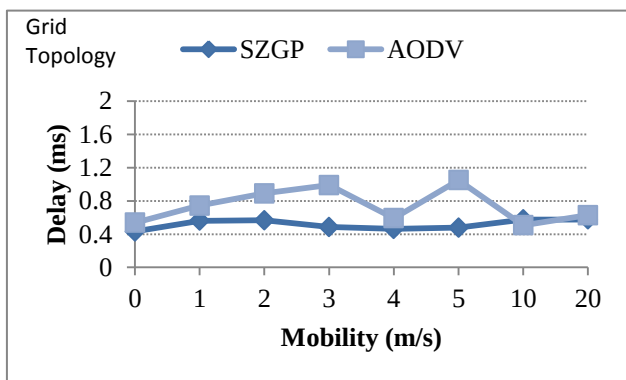
Parameter	Value	Parameter	Value
Channel type	Channel/Wireless Channel	Number of mobile nodes	50
Radio propagation model	Propagation/Two Ray Ground	Time of simulation end	25
Network interface type	Phy / Wireless Phy	Initial energy in Joules	5
MAC type	Mac/802_11	Traffic Type	CBR
Interface queue type	Queue/Drop Tail / PriQueue	Topology of Network	Random
Link layer type	LL	idlePower	0.010
Antenna model	Antenna/Omni Antenna	Receive Power in watt	0.025
Routing protocol	SZGP/AODV	Transmit Power in watt	0.05
X dimension of topography	1000m	Sleep Power in watt	0.000015
Y dimension of topography	1000m	Idle Power in watt	0.010
Max packet in ifq	50	idlePower in watt	0.010

Чрез симулационните експерименти е извършен анализ на някои от основните работни параметри, такива като коефициент на доставени пакети (PDR - Packet Delivery Ratio), закъснение (Delay), пропускателна способност (Throughput), обща консумирана енергия (Total Energy Consumption), размер на заглавните полета за управление и маршрутизиране, (Control Overhead and Normalized Routing Overhead), и са сравнени с тези на AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector) алгоритъма. Най-общо може да се каже, че резултатите от симулацията показват, че двата алгоритъма имат сходни работни показатели.

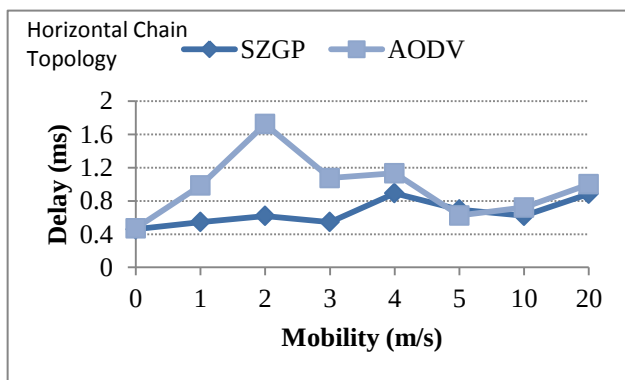
При SZGP алгоритъмът е налице малко подобрение в закъснението за топология тип свързване в мрежа и топология тип хоризонталната верига при сценарии с ниска мобилност. Но при по-висока стойност на мобилността, след известен период от време, топологиите стават случайни, и както може да се види от фиг. 2.24, и двата алгоритъма се представят еднакво.

Предимството на SZGP алгоритъма по отношение на AODV може да се види от оценката на общата консумация на енергията в мрежата, свързана с енергийната ефективност на възлите

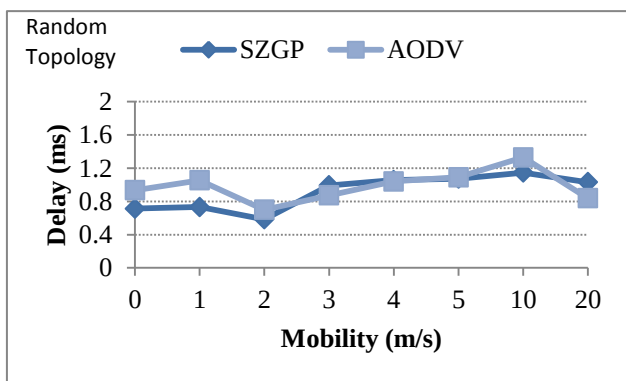
като функция от мобилността им, както е показано на фиг. 2.28, фиг. 2.29 и фиг. 2.30. Във всички симулационни сценарии предложенят алгоритъм показва значително по-добри стойности в сравнение с AODV алгоритъма. Това се дължи на механизма, прилаган в процеса на маршрутизация, въз основа на слоето разпределено маршрутизиране с формиране на зони с шлюзове по подразбиране и дефиниране на тегловен метър Wi (2.5) като функция на параметрите за оценка на свойствата: степен на привличане, степен на насищане, остатъчен капацитет на батерията на възела Bi .



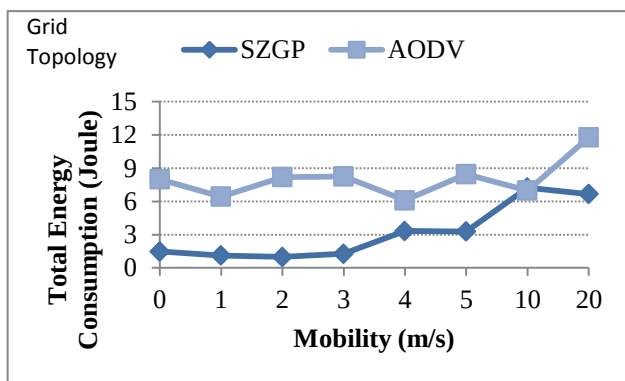
Фиг. 2.22 Закъснение в зависимост от мобилността за топология тип свързване в мрежа



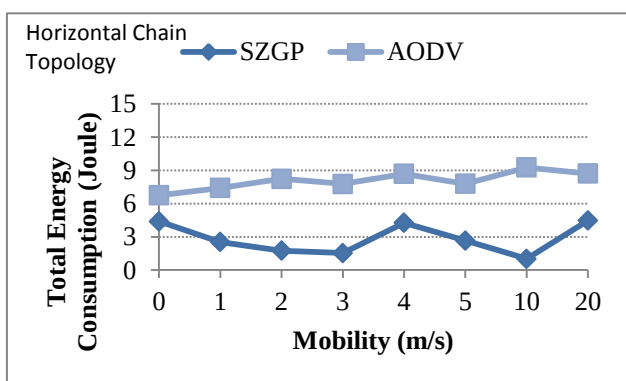
Фиг. 2.23 Закъснение в зависимост от мобилността за топология тип хоризонталната верига



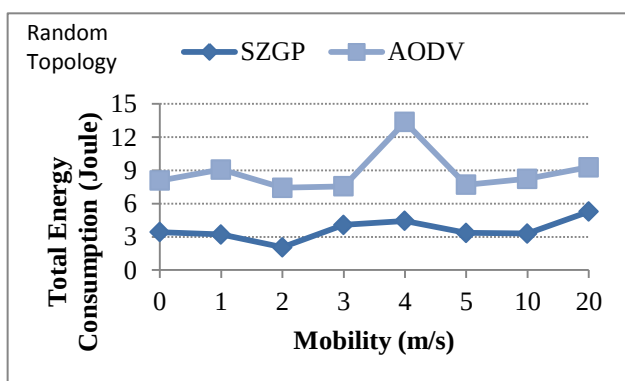
Фиг. 2.24 Закъснение в зависимост от мобилността за случайна топология



Фиг. 2.28 Обща консумирана енергия в зависимост от мобилността за топология тип свързване в мрежа

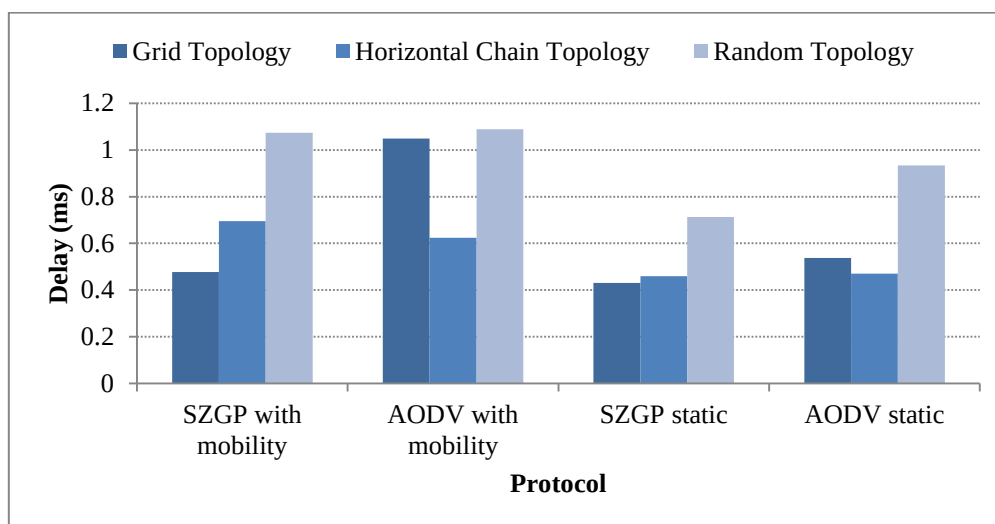


Фиг. 2.29 Обща консумирана енергия в зависимост от мобилността за топология тип хоризонтална верига

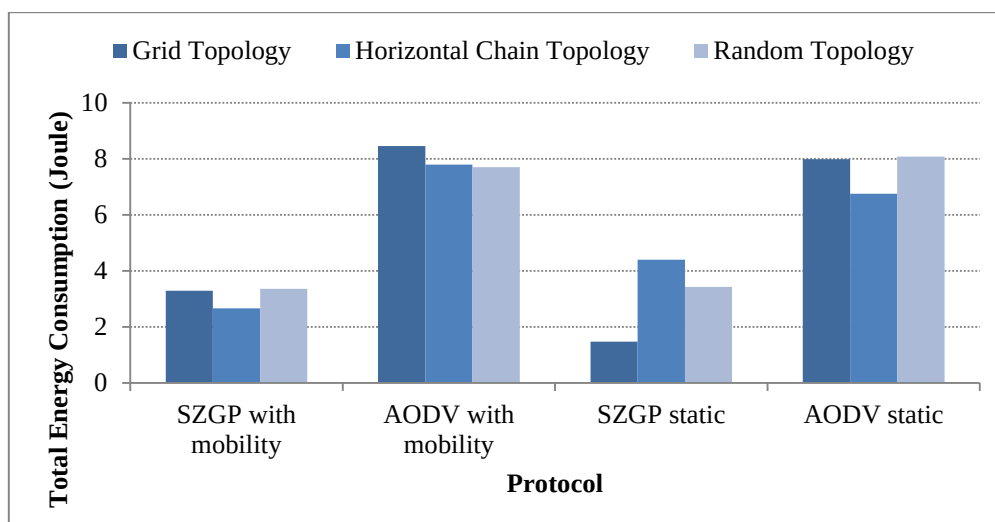


Фиг. 2.30 Обща консумирана енергия в зависимост от мобилността за случайна топология

На останалите фигури са показани същите работни параметри, сравняващи двата алгоритъма в два различни сценария - статичен и с мобилност от 5 m/sec. Симулационните експерименти са направени за трите различни топологии. Както вече беше споменато, може да се види, че във всички сценарии SZGP алгоритъмът показва значително по-добра енергийна ефективност в сравнение с AODV.



Фиг. 2.38 Закъснение при различни сценарии на топологии с и без мобилност



Фиг. 2.40 Обща консумирана енергия при различни сценарии на топологии с и без мобилност

2.3. Заключение

В тази глава са предложени два нови маршрутизиращи механизма. Първият, т.н. DPDSR, се основава на оценката на остатъчната енергия и разстоянието между възлите. Предложеният DPDSR алгоритъм е сравнен със съществуващия DSR по отношение на консумацията на енергия, пропускателна способност, закъснения и джитер. Резултатите от симулацията на двата алгоритъма показват, че общата консумация на енергия при DPDSR е намалена и се

наблюдава по-добра пропускателната способност, закъснение и джитер. Това показва, че благодарение на въвеждането на подход за отчитане на изразходваната енергия в процеса на маршрутизиране, общото потребление на енергия в мрежата, както и други работни параметри, могат да бъдат значително подобвени. Подобен подход би могъл значително да подобри устойчивостта и надеждността на възлите в ad-hoc мрежи.

Втория предложен подход се базира на прогнозиране на зоната на обслужване и се нарича Service Zone Gateway Prediction (SZGP). Чрез него се постига по-добра енергийна ефективност, по-добро балансиране на натоварването и устойчивост на ad-hoc мрежата. Маршрутът се основава на формиране на обслужващи зони във всеки слой и избор на възли от тези зони, които да имат функционалността на шлюзове по подразбиране.

Работните параметри на предложения алгоритъм са сравнени с тези на AODV алгоритъма. Резултатите от симулационните експерименти показват, че представянето на двата алгоритъма по отношение на основните работни параметри са подобни, но резултатите от симулационните експерименти, свързани с енергийната ефективност показват, че предложеният SZGP алгоритъм превъзхожда значително AODV. Във всички симулационни сценарии, с различни топологии на мрежата и различна мобилност на възлите, предложеният алгоритъм показва по-добра енергийната ефективност в сравнение с AODV алгоритъма.

2.4. Приноси към втора глава

1. *Предложено е подобрене на съществуващия DSR (Dynamic Source Routing) алгоритъм, наречен Distance Power based DSR (DPDSR) алгоритъм, чрез въвеждане една допълнителна функционалност в процеса на избора на път, базирана на оценка на остатъчната енергия и разстоянието между възлите, като по този начин се постига по-добра работоспособност по отношение на консумирана енергия, пропускателна способност, закъснение и джитер, водеща до повишаване на устойчивостта на мрежата.*
2. *Разработен е нов алгоритъм за рутване, наречен Service Zone Gateway Prediction (SZGP), който представлява слоест маршрутизиращ алгоритъм, постигащ по-добра енергийна ефективност, по-добро балансиране на натоварването и повишена устойчивост на ad-hoc мрежи, което е доказано чрез подходящи симулационни сценарии и експерименти.*

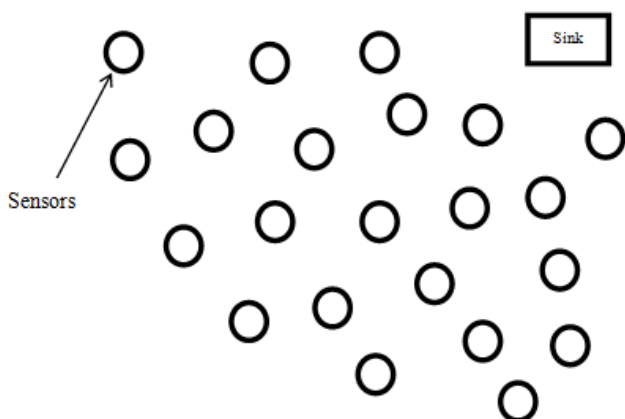
ГЛАВА 3. Техники за подобряване на надеждността и енергийната ефективност на ресурсно ограничени мрежи

Един проблем, свързан с устойчивостта и енергийната ефективност, е разпределянето на сензорите и / или гъстотата на разполагане на сензорите в дадена област, които в една безжичната сензорна мрежа (WSN) с висока плътност могат да предизвикат претоварване на мрежата и повишена консумация на енергия. В тази глава са предложени два подхода и са разработени съответните алгоритми за подобряване на консумацията на енергия за безжични сензорни мрежи с гъсто разположени сензори. Първият, наречен „Схема за адаптивно секторизиране за постигане на надеждност“ (ASSR - Adaptive Sectoring Scheme for Reliability), прилага подход за разделяне на една зона, с гъсто разположени сензори, на няколко сектора с цел постигане на по-добра надеждност на предаване на данните, минимизиране на големината на заглавното поле за управление, намаляване на загубите на

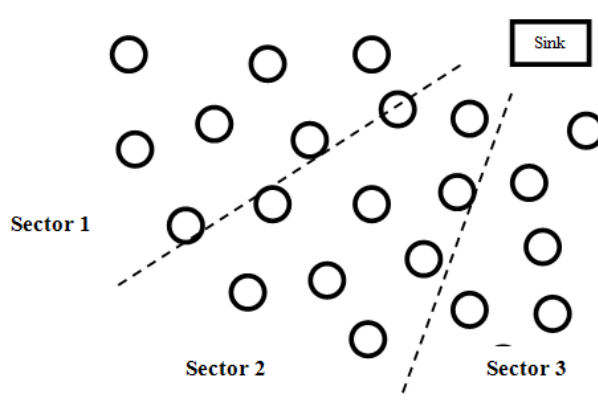
пакети и по-ниска консумация на енергия. Вторият се основава на въвеждането на нов евристичен подход за разпределение, наречен Energy Saving Dynamic Level Scheduling (ESDLS), следвайки оперативната логика на многопроцесорна архитектура, която може да бъде реализирана в крайния приемен възел.

3.1. Повишаване на надеждността и подобряване на енергийната ефективност чрез прилагане на адаптивен алгоритъм за секторизиране на ресурсно ограничени ad-hoc мрежи

На фиг. 3.1 е показана безжична сензорна мрежа с гъсто разположени сензори. Стандартният подход за работа е сензорите или възлите на източника, да съберат информацията и да я изпратят до крайния приемен възел.



Фиг. 3.1 WSN с гъсто разположени сензори



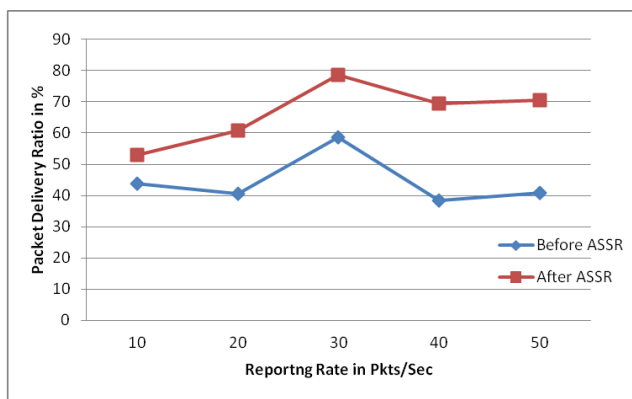
Фиг. 3.2 Предложена схема за секторизиране

На фиг. 3.2 е показана структурата след прилагане на метода за секторизиране, при който сензорното поле се разделя на три различни сектора. Целта е да се постигне предварително определена надеждност чрез прилагане на адаптивно секторизиране. При този метод дадената мрежа е разделена на N на брой сектори и в даден момент се активира само един сектор. Например, ако дадено събитие се случи в един от секторите от фиг. 3.2, тогава се активира само текущият сектор, към който принадлежи това събитие, а всички останали възли са неактивни, т.е. не участват в процеса на предаване на данните. Така, след прилагане на предложения адаптивен секторен метод, се очаква да бъде постигната по-добра надеждност, да се минимизира големината на заглавното поле за управление, да се намалят загубите на пакети и да се намали консумацията на енергия [A7].

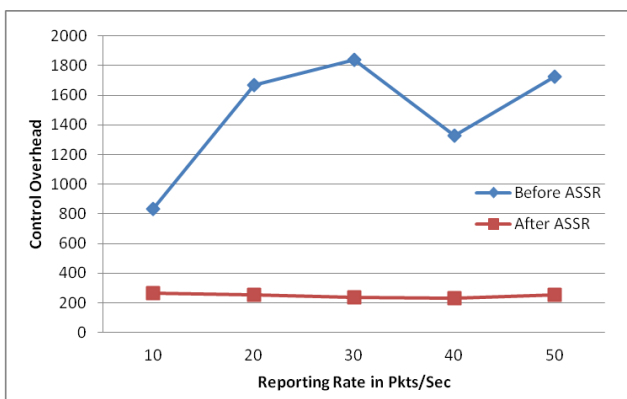
За симулационната среда се използва NS-2 (Network Simulator-2). Топологията е случайна. Зоната на сензорното поле е $1000 * 1000$ m. Използваният MAC протокол е IEEE 802.11 и маршрутизираният алгоритъм е AODV. Броят на възлите в полето е 30. Размерът на пакета е 50 байта, а честотата на отчитане (RR - Reporting Rate) варира от 10 до 50 пакета/сек със стъпка от 10 пакета за секунда.

Фиг. 3.3 показва коефициента на доставени пакети (PDR – Packet Delivery Ratio) като функция на честотата на отчитане (RR). С първоначалното увеличаване на RR, коефициентът на доставени пакети се увеличава, но след преминаване на прага t ($RR = 30$) започва да намалява до $RR = 40$, след което остава относително постоянен. Това е така, защото с RR до

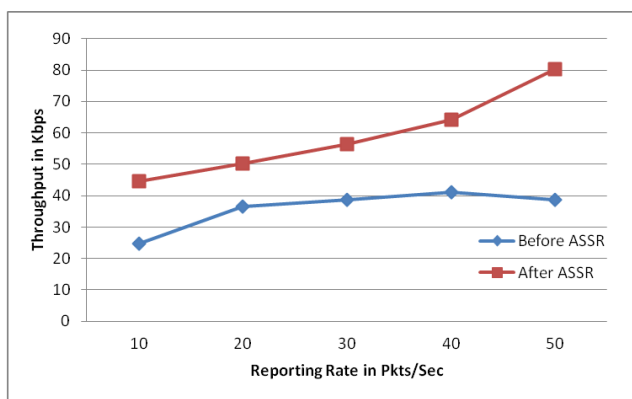
30, повече пакети се доставят без претоварване, което води до по-малко загуби на пакети. Това може да се счита за прагова стойност за претоварване. Когато RR надвиши 30, претоварванията започват да се увеличават. Поради ограничението на честотната лента, се увеличава загубата на пакети, което води до намаляване на коефициента на доставени пакети. Друга причина за увеличаването на претоварването може да бъде и факта, че скоростта на обработка и капацитетът за съхранение на данни на възлите са постоянни. Може да се заключи, че прилагайки ASSR схемата, се постига подобрение до 30% по отношение на PDR.



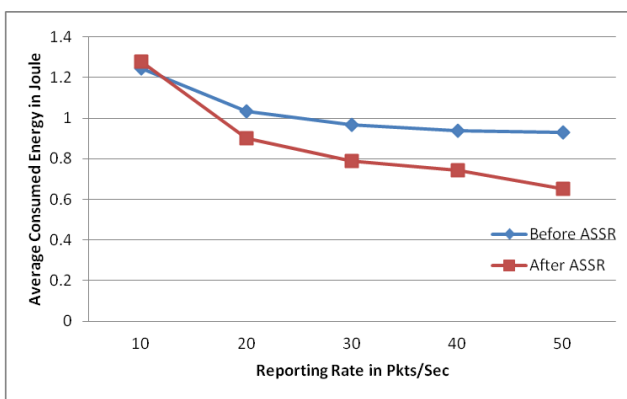
Фиг. 3.3 Коефициент на доставени пакети в зависимост от честотата на отчитане



Фиг. 3.4 Размер на заглавното поле за управление в зависимост от честотата на отчитане



Фиг. 3.5 Пропускателна способност в зависимост от честотата на отчитане



Фиг. 3.6 Изразходвана енергия в зависимост от честотата на отчитане

Фиг. 3.4 показва размера на заглавното поле за управление като функция от RR. Може да се види, че при AODV без ASSR, с увеличаване на RR, по-голям брой пакети са налични в мрежата. При ограничен брой възли, претоварването постепенно започва да се увеличава и има по-голяма вероятност за загуба на пакети. Наблюдава се, че размерът на заглавното поле за управление преди и след прилагане на ASSR остава приблизително постоянен. Причината за това е, че след прилагането на схемата за секторизиране се намалява размера на заглавното поле за управление. Тъй като AODV се прилага във всеки сектор, той не избира пътища извън сектора. Следователно във всеки сектор се намира най-краткият път, тъй като заявките за маршрут и съобщенията за отговор на маршрута се заменят в рамките на дадения сектор. Тъй като всеки сектор е разположен близо до ограничени секторни възли, има по-малка вероятност за загуба на пакети и необходимост от препредаването им. Така, всеки

пакет се очаква да бъде доставен до местоназначението и с това да се подобри надеждността и енергийната ефективност.

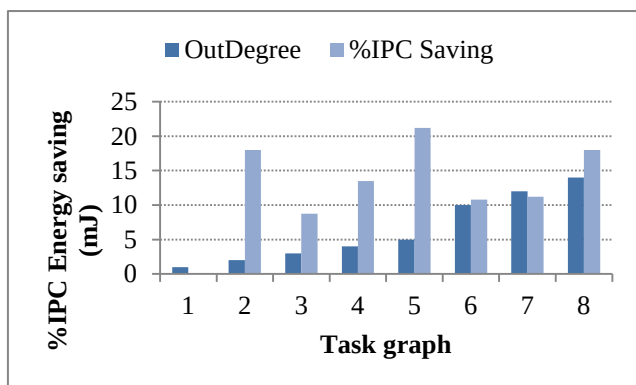
Графиката на фиг. 3.5 показва пропускателната способност като функция на RR. Може да се види, че с увеличаване на RR се увеличава броя на пакетите, които могат да бъдат доставени, което увеличава пропускателната способност. Подобриенето на пропускателната способност след прилагане на ASSR е приблизително с 50% по-голямо в сравнение с това преди прилагането на ASSR.

На фиг. 3.6 е показана изразходваната енергия (в джаули) като функция на RR. Може да се види, че след прилагане на предложената схема се постига почти 20% по-малка консумация на енергия.

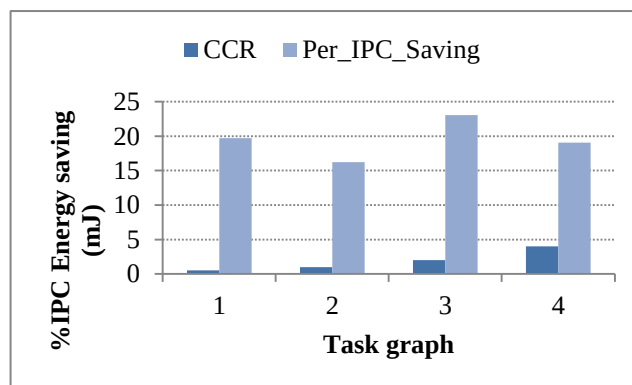
3.2. Динамично трафично разпределение по нива за подобрене на енергийната ефективност

В този раздел е описан разработения нов механизъм за подобрене на ефективността чрез прилагане на подход за разпределение на трафика на базата на използването на метода на насочените ациклични серийни графи (DAPG - Directed Acyclic Precedence Graph) [A8]. Подходът е илюстриран върху многопроцесорна архитектура с цел да се сведе до минимум консумираната енергия, свързана с комуникацията между процесите (IPC - Inter Process Communication). Предлага се нов евристичен подход за разпределение на трафика, наречен енергоспестяващо динамично разпределение по нива (ESDLS - Energy Saving Dynamic Level Scheduling), който отчита консумацията на енергия в IPC в една хомогенна многопроцесорна архитектура. В ESDLS алгоритъма стандартната стойност на функцията на разходите за DLS (Dynamic Level Scheduling) е модифицирана чрез добавяне на параметър, отчитащ консумацията на енергия на възела. Тази техника може да се използва за подобряване на работните параметри на WSN устройствата, за устройства, използвани като шлюзове и едновременно с това за подобряване жизнеспособността на мрежата, чрез пестене на енергия.

За оценка на ESDLS алгоритъмът и сравняването му с DLS е разработена симулационна програма на програмния език Perl.



Фиг. 3.10 Out-Degree Vs. % IPC енергоспестяване



Фиг. 3.11 CCR Vs % IPC енергоспестяване

Фиг. 3.10 показва връзката между енергията, която се пести в проценти от IPC, и параметърът OD (OutDegree), който отразява средния брой изходни ребра от всеки възел.

Когато броят на ребрата е близък до броя на процесорите в целевата архитектура, се наблюдава значителна икономия на енергия от IPC. Средното енергоспестяване е 12,65%.

Фиг. 3.11 показва връзката между % IPC енергоспестяване и отношението средна цена за комуникация към средна цена за изчисления (CCR - Communication to Computation Ratio). Чрез прилагане на евристиката за разпределение на трафика са получени резултати за 100 възли с различни стойности на CCR като 0.5, 1, 2 и 4. От графиката се наблюдава, че с увеличаване на CCR процентът спестена енергия се увеличава, като оптимален резултат се постига при брой на процесорите равен на 4.

3.3. Заключение

В тази глава са предложени два нови подхода за подобряване на надеждността и енергийната ефективност на ресурсно ограничени мрежи. Първият е адаптивна схема за секторизиране осигуряваща надеждна комуникация за безжични сензорни мрежи. За да се увеличи надеждността на WSNs, е разработен нов метод, наречен "Adaptive Sectoring Scheme for Reliability" (ASSR). При този метод сензорното поле е разделено на сектори като в дадено време се активира само текущият сектор, в който се случва дадено събитие. За да се сведе до минимум претоварването, както и да се увеличи пропускателната способност (при максимално PDR), процесът на секторизиране трябва да се регулира динамично, за да може предаването на данни да се осъществява ефикасно и ефективно. При този подход се оценяват работните параметри на ASSR и резултатите показват подобрене в пропускателната способност, коефициентът на доставени пакети и енергийната ефективност.

При втория подход се предлага нов механизъм за подобряване на комуникацията между процесорите (IPC), чрез прилагане на подход за разпределение на трафика на базата на използването на метода на насочените ациклични серийни графи (DAPG - Directed Acyclic Precedence Graph). Подходът е илюстриран върху многопроцесорна архитектура с цел да се сведе до минимум консумираната енергия, свързана с комуникацията между процесите (IPC - Inter Process Communication) и може да бъде реализиран в приемащия възел на дадена ad-hoc мрежа. Този подход може да се приложи с цел подобряване на работоспособността на безжични сензорни мрежи и техните входно/изходни възли, като същевременно се пести енергия и се повишава устойчивостта на мрежата.

3.4. Приноси към трета глава

1. *Предложен е нов метод за подобряване на енергийната ефективност и надеждността на ad-hoc мрежи, наречен Adaptive Sectoring Scheme for Reliability (ASSR). Методът се основава на въвеждането на подход за секторизиране на една плътно наситена площ със сензори, като по този начин се намалява размера на заглавното поле (overhead) на пакетите, минимизира се потреблението на енергия и води до по-малки загуби на пакети.*
2. *Въведен е нов евристичен подход за разпределение на трафика, наречен Energy Saving Dynamic Level Scheduling (ESDLS), следвайки оперативната логика на мултипроцесорна архитектура, която може да бъде реализирана в приемащия възел на дадена ad-hoc мрежа. Подходът е приложен върху многопроцесорна архитектура с цел да се сведе до минимум изразходваната енергия, свързана с комуникацията между процесите. Този подход може да се приложи с цел подобряване на работоспособността на безжични сензорни мрежи и*

техните входно/изходни възли, като същевременно се пести енергия и се повишава устойчивостта на мрежата.

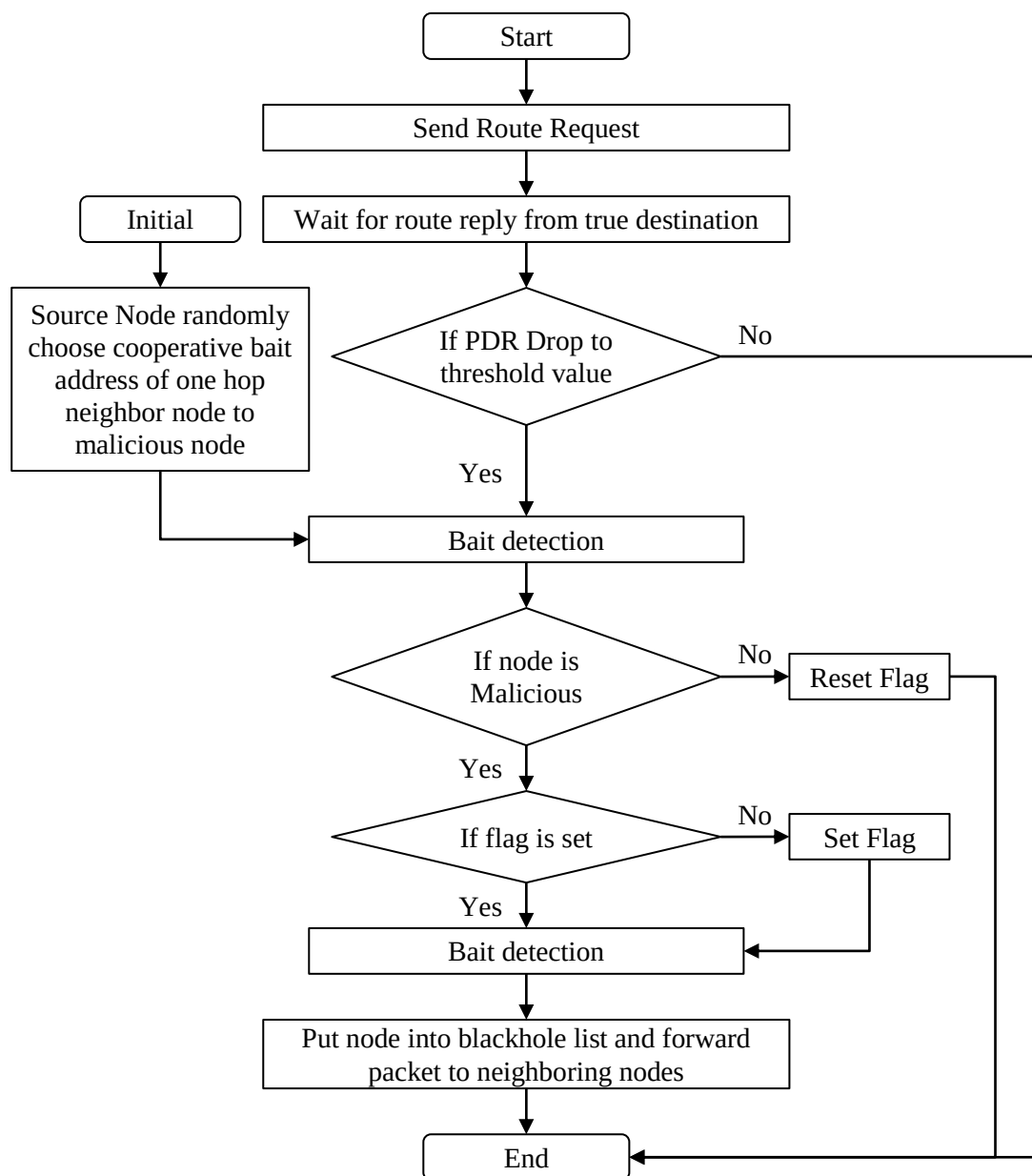
ГЛАВА 4. Повишаване на сигурността на автономни мобилни ad-hoc мрежи

При групова мобилност в MANET се получава разделяне на мрежата на участъци, в следствие на което не може ефективно да се осигури свързаност към всички възли в мрежата. Автономните мобилни пълносвързани мрежи (AMMNET - Autonomous Mobile Mesh Network) е нов клас мрежи от тип MANET, при които този недостатък е преодолян. AMMNET са уязвими от атаки към процеса на маршрутизация, като например Blackhole атаката, при която зловредният възел може да се превърне в междинен групов, междугрупов или междугрупов мостов маршрутизатор и да разруши мрежата. Поддържането на сигурността е голямо предизвикателство в такава самоорганизираща се топология. За да се отговори на тази слабост, се предлага подход, който измерва ефективността на въздействието за подобряване на сигурността на AMMNET на базата на схема за откриване на примамки. Предлага се модифициран метод за откриване на примамки с цел да се предотврати навлизането на черна дупка в мрежата, което помага да се поддържа надеждността на системата. Предложената схема използва идеята, заложена в концепцията Wumpus World на базата на изкуствен интелект. Модифицираната схема за откриване на примамки може да предотврати атака от тип „черна дупка“, чрез което се повишава сигурността на мрежата.

4.1. Схема за предотвратяване на атака тип „черна дупка“

В AMMNET, възелът източник изпраща пакети към крайния възел при стартиране на процеса на откриване на маршрута. По време на процеса на откриване на основния път се стартират таймерите за проверка на коефициента на доставени пакети (PDR - Packe Delivery Ratio). Ако PDR падне под дадена праговата стойност, се стартира процес на откриване на примамка [73], но в този случай се разменят само съобщенията за примамка, а алармените съобщения не се предават на съседните възли, тъй като те ще увеличат обмяната на служебна информация. Вместо да изпраща алармени съобщения, възелът, който е в съседство с черната дупка, запаметява флаг, който показва, че един от съседните възли е злонамерен възел. Всеки път, когато възелът източник изпраща пакети, междинните възли първоначално проверяват дали флагът е налице или не. Ако флагът е вдигнат, това означава, че може да има злонамерен възел в съседство. В противен случай пакетите се препращат. Ако флагът е вдигнат, възелът препраща пакета към възел, различен от възела на черната дупка, който има минимален номер на серийния номер [71]. Тази процедура се повтаря, ако PDR спадне под прага. Праговата стойност се актуализира динамично. В [A9] се представя разработен алгоритъм за предотвратяване на навлизането на зловреден възел в активния път.

На фиг. 4.3 е показан алгоритъмът, когато даден възел източник трябва да комуникира с възел приемник.



Фиг. 4.3 Диаграма на Mbait схемата

4.2. Оценка на работоспособността на предложената схема

Оценката на работоспособността на алгоритъмът се осъществява чрез използване на мрежов симулатор-3 (NS3) [80] със схема за откриване на примамки при използване на AODV алгоритъм като броят на възлите се променя от 25 до 81 с пет двойки източник-получател. В симулацията се създават пет злонамерени възли, които не си сътрудничат помежду си. Таблица 4.1 показва конфигурацията на симулационните параметри.

Таблица 4.1 Симулационни параметри

Parameter	Value	Parameter	Value
Application Traffic	CBR	Maximum Speed	0 to 10 m/s
Transmission Rate	4 packets/sec	Pause Time	0 to 5 m/s
Packet Size	64 kb	Number of Nodes	25 to 81
Channel Data Rate	11 Mbps	Topology	Grid/AMMNET/ Attack-AMMNET/MBAIT
Wireless Standard	IEEE 802.11		

В симулацията са сравнени различни мрежи при наличие на атака – Решетъчна (Grid), AMMNET, AMMNET под атака и AMMNET с модифицирани примамки (Mbait), като се разглеждат три сценария. При първият сценарий броят на възлите се променя при постоянна скорост и време на паузите. Във вторият сценарий скоростта варира, запазвайки броя на възлите и времето на паузите постоянно, а в третият сценарий се променя времето на паузите, запазвайки броя на възлите и постоянна скорост, както е показано в Таблица 4.2.

Таблица 4.2 Сценарии, използвани за симулацията

Scenario	X axis Variable Parameter	Constant Parameter	Topology	Y axis Performance Parameter
I	Number of nodes	Speed and pause time	Grid, AMMNET, Attack- AMMNET, Mbait- AMMNET	PDR Delay Throughput
II	Speed of Nodes	Number of nodes and pause time		
III	Pause time	Nodes and speed constant		

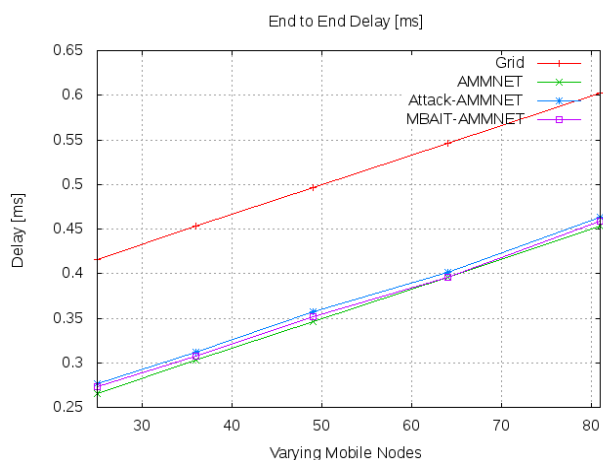
На фиг. 4.5 е показано сравнение между GRID, съществуващата AMMNET и модифицираната BAIT AMMNET. Поради факта, че GRID има фиксирана топология, характерът на графиката показва, че когато броят на възлите се увеличава, закъснението в мрежата също се увеличава. Това се дължи на факта, че когато броят на възлите се увеличава, повече междинни възли са на разположение за препращане на пакетите. Но при повече междинни участъци, времето за предаване на пакетите е по-голямо. В този случай при модифицираната AMMNET е необходима допълнителна обработка с цел откриване на примамки и избягване на злонамерени възли, което въвежда допълнително закъснение, но същевременно се представя по-добре в сравнение с AMMNET.

На фиг. 4.6 е показана пропускателната способност като функция от броя на възлите с постоянна скорост и продължителността на паузите. Mbait показва малко по-лоши показатели от GRID и AMMNET, което се дължи на факта, че в AMMNET има няколко междинни възела, като повечето от тях са маршрутизатори за междугруповите и вътрешногрупови рутери, при което се получава по-голяма пропускателна способност.

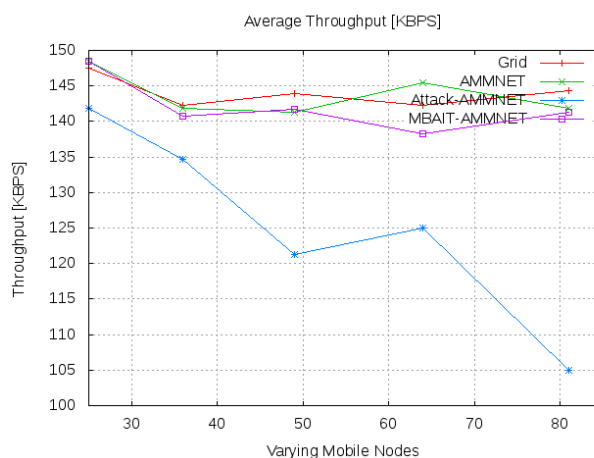
На фиг. 4.8 е показано закъснението от край-до-край като функция на скоростта при постоянен брой възли и време на паузите, както и възли, движещи се със скорост от 10 до 50 m/s. Може да се види, че няма значителна промяна в закъснението в която и да е от мрежите. При увеличаване на скоростта на възлите се увеличава и закъснението. Поради мобилността, често се получава изграждане и разграждане на топологията, при което се получават загуби на пакети. В следствие на това е необходимо често препредаване на пакетите, което води до увеличаване на закъснението с увеличаване на мобилността. Може да се види, че Mbait се представя малко по-добре в сравнение с Attack-AMMNET.

На фиг. 4.9 е показана пропускателната способност като функция от скоростта с постоянен брой възли и време на паузите. Може да се види, че за скорост до 30 m/s, при Mbait-AMMNET пропускателната способност е подобрена в сравнение с всички останали мрежи. След праг на скоростта от 30 m/s, пропускателната способност при GRID и Mbait намалява малко, но после се подобрява. Това се дължи на факта, че при по-висока мобилност първоначално топологията е склонна да бъде нарушена, но след известно време топологията се възстановява, увеличава се свързаността, което води до увеличаване на пропускателната

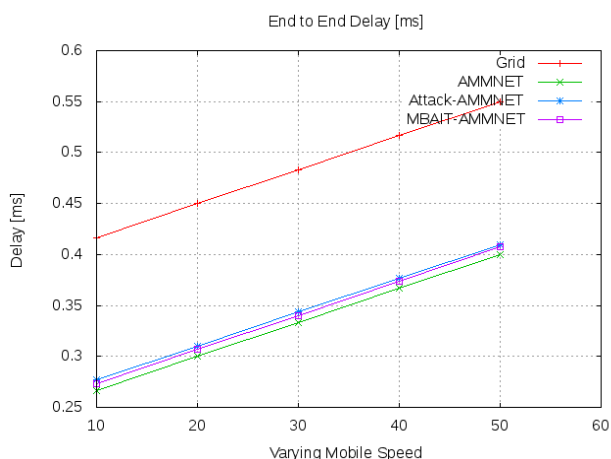
способност. В случай на ATTACK_MBAIT, с увеличаването на скоростта и броят на черните възли, загубата на пакети се увеличава и пропускателната способност намалява. Може да се види, че в сценария за мобилност, MbaIt дава подобрена пропускателна способност в сравнение с Grid, AMMNET и Attack-AMMNET.



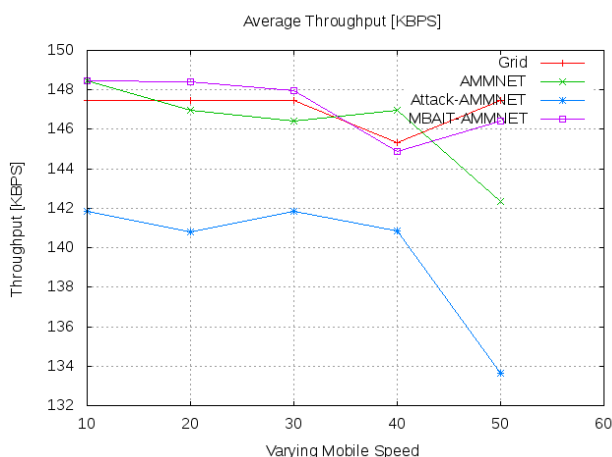
Фиг. 4.5 Закъснение от край-до-край като функция от скоростта с постоянен брой възли и време на паузите



Фиг. 4.6 Пропускателна способност като функция от броя на възлите с постоянна скорост и продължителност на паузите



Фиг. 4.8 Закъснение от край-до-край като функция на скоростта, при постоянен брой възли и време на паузите



Фиг. 4.9 Пропускателна способност като функция от скоростта с постоянен брой възли и време на паузите

4.3. Заключение

Един от факторите, оказващи влияние на надеждността, е сигурността на мрежата и предложеният подход би могъл да гарантира надеждността на мрежовата комуникация като предпази мрежата от злонамерени атаки. Подходът позволява подобряване на сигурността в AMMNET въз основа на схема за откриване на примамки с цел да се предотврати навлизането на черни възли в мрежата и да се запази надеждността на мрежата, независимо от атаките. Предложената схема използва идеята за прилагане на изкуствен интелект в концепцията Wumpus World и AODV алгоритъм за маршрутизиране. Предложената схема може да бъде приложена при различни мрежови топологии, използвани от безжичните сензорни мрежи.

Ефективността на предложената схема се сравнява при четири различни топологии, които са GRID, AMMNET, Mbait-AMMNET и Attack-AMMNET. Резултатите от симулационния експеримент показват по-добри стойности на PDR, закъснение и пропускателна способност при Mbait-AMMNET в сравнение с другите топологии. Предложената схема на Mbait е ефективна за откриване и предотвратяване на атаки от тип „черна дупка“ при AMMNET с AODV алгоритъм. Обобщавайки резултатите, може да се отбележи, че предложената схема ефективно открива и предотвратява атаките от тип "черна дупка" в мобилни ad-hoc мрежи и може да се прилага и при решетъчни топологии на мрежата, използвани от безжичните сензорни мрежи.

4.4. Приноси към четвърта глава

1. *Предложена е модификация на байт метода за предотвратяване навлизането на възли от тип „черна дупка“ във мрежата, като по този начин се повишава сигурността и се спомага за поддържане на нейната надеждност. Освен това се подобряват и някои параметри, свързани с работоспособността, като коефициент на доставени пакети, пропускателна способност и закъснение от край до край.*

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНИ ПРИНОСИ

Настоящата дисертация е посветена на максимизиране на енергийната ефективност и качеството на работа на ресурсно ограничени ad-hoc комуникационни мрежи с цел предлагане и разработване на енергийно ефективни, надеждни и сигурни механизми, които биха могли да се имплементират в ad-hoc мрежи, за постигане на по-добра работоспособност, устойчивост и цялостно подобряване на жизнения цикъл на мрежата. За постигането на тази цел са предложени и разработени нови маршрутизиращи техники, осигуряващи устойчива комуникация, методи и алгоритми за подобряване на надеждността и механизми за повишаване на сигурността на мрежата и предотвратяване на атаки.

Като обобщение може да се каже, че тематиката на дисертацията е актуална и поставената цел е осъществена чрез изпълнение на поставените задачи, вследствие на което са постигнати следните съществени резултати с научноприложен характер:

1. Направено е проучване и са анализирани различни енергийно ефективни и с повишено качество на работа маршрутизационни механизми / техники и протоколи, водещи до удължаване на жизнения цикъл и устойчивостта на ресурсно ограничени ad-hoc мрежи, такива като мобилни ad-hoc мрежи (MANETs – Mobile Ad-Hoc Networks) и безжични сензорни мрежи (WSNs – Wireless Sensor Networks), въз основа на което *са дефинирани основните предпоставки и проблемите при изграждане на една енергийно ефективна и устойчива архитектура за MANETs с подобрени работни параметри*, с цел осигуряване на по-добра свързаност, по-добра комуникация от край до край, по-сигурно и енергийно ефективно маршрутизиране.
2. В резултат на направеното проучване, извършения анализ на съвременното състояние, дефинирането на проблемите и определянето на предпоставките за устойчиви мрежови архитектури на ad-hoc мрежи, *е формулирана целта на дисертацията като за постигането на тази цел са предложени три различни подхода.*

3. *Предложено е подобрене на съществуващия DSR (Dynamic Source Routing) алгоритъм, наречен Distance Power based DSR (DPDSR) алгоритъм, чрез въвеждане една допълнителна функционалност в процеса на избора на път, базирана на оценка на остатъчната енергия и разстоянието между възлите, като по този начин се постига по-добра работоспособност по отношение на консумирана енергия, пропускателна способност, закъснение и джитер, водеща до повишаване на устойчивостта на мрежата.*
4. *Разработен е нов алгоритъм за рутиране, наречен Service Zone Gateway Prediction (SZGP), който представлява слоест маршрутизиращ алгоритъм, постигащ по-добра енергийна ефективност, по-добро балансиране на натоварването и повишена устойчивост на ad-hoc мрежи, което е доказано чрез подходящи симулационни сценарии и експерименти.*
5. *Предложен е нов метод за подобряване на енергийната ефективност и надеждността на ad-hoc мрежи, наречен Adaptive Sectoring Scheme for Reliability (ASSR). Методът се основава на въвеждането на подход за секторизиране на една плътна наситена площ със сензори, като по този начин се намалява размера на заглавното поле (overhead) на пакетите, минимизира се потреблението на енергия и води до по-малки загуби на пакети.*
6. *Въведен е нов евристичен подход за разпределение, наречен Energy Saving Dynamic Level Scheduling (ESDLS), следвайки оперативната логика на мултипроцесорна архитектура, която може да бъде реализирана в приемащия възел на дадена ad-hoc мрежа. Подходът е приложен върху многопроцесорна архитектура с цел да се сведе до минимум изразходваната енергия, свързана с комуникацията между процесите. Този подход може да се приложи с цел подобряване на работоспособността на безжични сензорни мрежи и техните входно/изходни възли, като същевременно се пести енергия и се повишава устойчивостта на мрежата.*
7. *Предложена е модификация на байт метода за предотвратяване навлизането на възли от тип „черна дупка“ във мрежата, като по този начин се повишава сигурността и се спомага за поддържане на нейната надеждност. Освен това се подобряват и някои параметри, свързани с работоспособността, като коефициент на доставени пакети, пропускателна способност и закъснение от край до край.*

IV. ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

AMMNET - Autonomous Mobile Mesh Network
AODV - Ad-hoc On Demand Distance Vector
ASSR - Adaptive Sectoring Scheme for Reliability
CBR - Constant Bit Rate
CCR - Communication to Computation Ratio
CMMR - Cluster-Mesh based Multicast Routing
DAPG - Directed Acyclic Precedence Graph
DL - Dynamic Level

DLS - Dynamic Level Scheduling
DoS - Denial of Service
DPDSR - Distance Power based DSR
DSR - Dynamic Source Routing
ESDLS - Energy Saving Dynamic Level Scheduling
IETF - Internet Engineering Task Force
IPC - Inter Process Communication
LLN - Low-power and Lossy Network

MANET - Mobile Ad-hoc Network

RREP - Route Reply

NS2 - Network Simulator 2

SZGP - Service Zone Gateway Prediction

PDR - Packet Delivery Ratio

WANET - Wireless Ad-hoc Network

QoS - Quality of Service

WSN - Wireless Sensor Network

RR - Reporting Rate

V. СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

- [A1] Manohar Chaudhari, “Energy Efficient Sustainable Routing Architecture for MANET” *International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCESR)*, vol. 4, no. 1, pp. 84-96, January 2017, ISSN (PRINT): 2393-8374, (ONLINE): 2394-0697.
- [A2] Deepak Gadde, Manohar S. Chaudhari, “Survey on routing protocol for low-power and lossy networks”, in *Proceedings of IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, Madurai, India, 10-12 December 2015, pp. 1-5, DOI: 10.1109/ICCIC.2015.7435775.
- [A3] Shashank S. Tolye, Manohar S. Chaudhari, “A Survey on Energy Efficient AODV and DSR Routing Protocols”, *International Journal of Computer Science and Mobile Computing (IJCSMC)*, vol. 3, no. 11, pp. 654-659, November 2014, ISSN 2320–088X.
- [A4] Manohar S. Chaudhari, Soumya Samal, Pavlina Koleva, Vladimir Poulkov, “Sustainable Routing Protocol to Improve Life Time of MANET”, in *Proceedings of Global Wireless Summit (GWS)*, Aarhus, Denmark, 27-30 November 2016.
- [A5] Manohar Chaudhari, Pavlina Koleva, Vladimir Poulkov, Oleg Asenov, “Multilayered Distributed Routing for Power Efficient MANET Performance”, *Springer Journal, Wireless Personal Communications*. (Accepted)
- [A6] Manohar Chaudhari, Pavlina Koleva, Vladimir Poulkov, “Performance Analysis of Service Zone Gateway Prediction Algorithm for MANETs”, in *Proceedings of International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Barcelona, Spain, 5-7 July 2017. (Accepted)
- [A7] Manohar S. Chaudhari , Ramjee Prasad, Vivek Deshpande, “Characterization for Reporting Rate of Adaptive Sectoring Scheme to Improve Reliability in WSN”, in *Proceedings of International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, Hyderabad, India, 13-16 December 2015.
- [A8] Manohar S. Chaudhari, Ramjee Prasad, “Energy saving dynamic level scheduling with energy estimation and monitoring in homogeneous multiprocessor system”, in *Proceedings of Global Conference on Communication Technologies (GCCT)*, Thuckalay, India, 23-24 April 2015, pp. 49-54, DOI: 10.1109/GCCT.2015.7342622.
- [A9] Rishikesh J. Teke, Manohar S. Chaudhari, Ramjee Prasad, “Impact of security enhancement over Autonomous Mobile Mesh Network (AMMNET)”, in *Proceedings of IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, Madurai, India, 10-12 December 2015, pp. 1-6, DOI: 10.1109/ICCIC.2015.7435739.

VI. ИСПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Conti, M., & Giordano, S. (2014). Mobile ad hoc networking: milestones, challenges, and new research directions. *IEEE Communications Magazine*, 52(1), pp. 85-96.
- [2] Kumar, G. V., Reddy, Y. V., & Nagendra, M. (2010). Current research work on routing protocols for MANET: A Literature Survey. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 2(3), pp. 706-713.
- [17] Patil V.P, “ Efficient AODV routing protocol for MANET with enhanced packet delivery ratio and minimized end to end delay.” *International Journal of Scientific and research publications*, vol. 2(8), pp. 1–6, 2012.
- [18] Medetov S, Bakhouya M, Gaber J, Wack M., “Evaluation of an energy-efficient broadcast protocol in mobile ad hoc networks.” *Proceedings of international conference on telecommunications (ICT)*. IEEE; pp. 1–5, 2013.
- [31] Younis, M., Farrag, O.; Lee, S. (2011). Cluster mesh based multicast routing in MANET: An Analytical Study. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, June 5-9 (pp. 1-6). Kyoto, Japan.
- [65] G. Zhao, H. Wang, and J. Wang, “A Novel Quantitative Analysis Method for Network Survivability,” in *First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS'06)*, pp.30–33, 2006.
- [66] M. Lima, A. dos Santos, and G. Pujolle, “A survey of survivability in mobile ad hoc networks,” *IEEE Commun.Surv. Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp.66–77, 2009.
- [67] Z. Yuan, X. Chunhe, W. Haiquan, and Q. Jianzhong, “Research on Survivability of Mobile Ad-hoc Network,”*J.Softw. Eng. Appl.* pp.1084–1088, 2009.
- [68] B. Salem and J. Hubaux, “Securing Wireless Mesh Networks,” *IEEE Wireless Comm.*, vol. 13, no. 2, pp. 50-55, Apr. 2006.
- [69] Ashok M.Kanthe, Dina Simunic and Marijan Djurek, “Denial of Service (DoS) Attacks in Green Mobile Adhoc Networks,” *IEEE MIPRO 2012*, May 21-25, 2012, Opatija, Croatia.
- [71] Gundeep Singh Bindra, Ashish Kapoor, Ashish Narang, Arjun Agrawal, “Detection and Removal of Co-operative Blackhole and Grayhole Attacks in MANET,” *International Conference on System Engineering and Technology*, September 11-12, 2012.
- [73] Jian-Ming Chang, Po-Chun Tsou, Isaac Woungang, Han-Chieh Chao, and Chin-Feng Lai, “Defending Against Collaborative Attacks by Malicious Nodes in MANETs: A Cooperative Bait Detection Approach,” *IEEE system journal*, 2014.
- [75] Koleva, P., Poulkov, V., & Asenov, O. (2014). Resource Management Based on Dynamic Users Association for Future Heterogeneous Telecommunication Access Infrastructures. *Wireless Personal Communications*, .78(3), 1595-1611.
- [76] Asenov, O., Koleva, P., & Poulkov, V. (2014). Quality Improvement of Generic Services by Applying a Heuristic Approach. In L. Ligthart, R. Prasad (Ed.), *Convergence of Communications, Navigation, Sensing and Services* (pp. 91-125). Denmark: River Publishers.
- [77] The network simulator-ns 2.35. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [80] Discrete-event network simulator for Internet systems NS-3. <https://www.nsnam.org>



TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA
FACULTY OF TELECOMMUNICATIONS
DEPARTMENT “COMMUNICATION NETWORKS”

Manohar Chaudhari, M.Sc.

**MAXIMIZING ENERGY EFFICIENCY AND PERFORMANCE OF RESOURCE
CONSTRAINED AD-HOC COMMUNICATION NETWORKS**

ABSTRACT of Ph.D. THESIS

The topic of this thesis is related to maximizing the energy efficiency and performance of resource constrained ad-hoc communication networks, with the goal of proposing and developing power efficient, reliable and secure mechanisms that could be implemented in resource constrained ad-hoc networks for achieving better performance, sustainability, survivability and overall network lifetime improvement. For the achievement of this goal were proposed and developed novel routing techniques ensuring sustainable communication, methods and algorithms for reliability improvement and security enhancement mechanisms for network protection and attack prevention.

The thesis consist of 4 Chapters, 82 Figures, 6 Tables, 6 Formulas. The analysis, proposed methods and results are presented through 9 author publications, 3 of which in Journals and 6 presented at international conferences. In Chapter 1 a survey and analysis of the state of the art is carried related to MANET's energy efficiency of the routing protocols and sustainability of the network. In Chapter 2 two novel routing techniques are proposed with detailed performance analysis. Further in the chapter a layered routing algorithm with the goal of achieving power efficiency, better load balancing and sustainability of ad-hoc networks is proposed. In Chapter 3, two novel approaches to improve reliability and energy efficiency for resource constrained networks are proposed. In Chapter 4 a new approach to enhance the security in routing is discussed to ensure reliability of the network communication by preventing the network from malicious attacks.

The major contributions and novelties of the thesis are related to: a) the development of a novel routing algorithm named Service Zone Gateway Prediction (SZGP) layered routing algorithm achieving power efficiency, better load balancing and sustainability of ad-hoc networks proved through appropriate simulation scenarios; b) the development of a novel method for the improvement of the energy efficiency and reliability of ad-hoc networks, called Adaptive Sectoring Scheme for Reliability; c) the proposal for implementation of a new scheduling heuristic approach named Energy Saving Dynamic Level Scheduling in the sink nodes of ad-hoc networks; d) a proposal for to security improvement of ad-hoc networks through modification of the bait method to be used for the prevention of “blackhole” nodes entering into the network.