



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

**Факултет по телекомуникации
Катедра „Комуникационни мрежи“**

Маг. инж. Пламен Трифонов Семов

**СЪЗДАВАНЕ НА АРХИТЕКТУРНА РАМКА ЗА
САМООРГАНИЗАЦИЯ В КОГНИТИВНИ РАДИО МРЕЖИ
ИЗПОЛЗВАЙКИ МАШИННО ОБУЧЕНИЕ И
ТЕОРИЯ НА ИГРИТЕ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Професионално направление: 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“

Научна специалност: „Комуникационни мрежи и системи“

Научен ръководител: Проф. д-р инж. Владимир Костадинов Пулков

СОФИЯ, 2017 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Комуникационни мрежи“ към Факултет Телекомуникации на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 27.02.2017 г..

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 03.07.2017 г. от 13,00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ120 / 23.03.2017г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р. Владимир Пулков– председател
2. Проф. Георги Илиев
3. Доц. д-р. Васил Къдрев
4. Доц. д-р. Розалина Димова
5. Доц. д-р. Олимпия Роева

Рецензенти:

1. Проф. Георги Илиев
2. Доц. д-р. Олимпия Роева

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет Телекомуникации на ТУ-София, блок №1, кабинет 1254.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Комуникационни мрежи“ на факултет Телекомуникации. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски публикации.

Автор: маг. инж. Пламен Трифонов Семов

Заглавие: Създаване на архитектурна рамка за самоорганизация в когнитивни радио мрежи използвайки машинно обучение и теория на игрите

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД ¹

Актуалност на проблема

С развитието на безжичните мрежови технологии и с появата на когнитивните радио мрежи, възниква необходимостта от механизми за ефективно, справедливо и автономно управление на комуникационната мрежа. Разработените методи трябва да са независими от проблемите, използваните технологии и от производителите на оборудване. За да се дадат насоки и стандарти е нужно да се разработят абстрактни когнитивни функции, които ще се намират изцяло в нова равнина. Тази равнина ще комуникира с комуникационните възли, ще ги наблюдава и ще ги контролира. За да е осъществимо това, в когнитивната равнина ще се поместят иновативни алгоритми, които имитират интелигентността на човек.

Машинното обучение, генетичните алгоритми, както и размитата логика намират широко приложение при разработването и внедряването на автономни и оптимизационни функции в комуникационната мрежа. Тези подходи, поотделно или чрез различни комбинации между тях, могат да се използват за подобряване на ефективността на комуникационната мрежа без да е нужна намеса от човек.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационен труд е разработване на нови ефективни методи за оптимизация на ресурсите в когнитивна радио мрежа или телекомуникационна мрежа от ново поколение. Да се предложи нова когнитивна рамка за изграждане и внедряване на автономни функции в комуникационна мрежа. Да се предложи нов метод за постигане на самоконфигуриране в комуникационна мрежа и предлагане на комуникационна рамка за теле-рехабилитация за постигане на добро QoS.

За постигането на поставените цели е необходимо решаването на следните задачи:

1. Въз основа на анализа на съществуващите когнитивни рамки и проблеми свързани със разработването им, да се предложи нов подход за тяхното им създаване и внедряване в комуникационните мрежи;
2. Да се разработят алгоритми за повишаване на пропускателната способност на мобилна мрежа и потребители чрез контролирането на разпределението на радио ресурсите.
3. Да се потърси начин за контролиране на излъчената мощност в посока нагоре;
4. Въз основа на предложения подход в т. 1, да се разработи когнитивна рамка. Рамката да предлага възможност за еволюционно и революционно развитие на комуникационните технологии;
5. На основата на предложената когнитивна рамка да се разработят оптимизационни алгоритми в HetNet.

Научна новост

В настоящата дисертация се използва новост при разработването на когнитивна архитектурна рамка, съответните автономни функции и тяхното внедряване в комуникационната мрежа. Иновативността се изразява в използването и комбинирането на абстрактни алгоритми от машинното обучение и теория на игрите за разработването на когнитивни функции в комуникационната мрежа.

¹ Информацията по тази част е с препоръчителен обем 2-3 страници

Практическа приложимост

Настоящата дисертация представлява изследване с отворен характер и дава фундамент за разработване на иновативни алгоритми, които биха могли да намерят своето реално практическо приложение за целите на автономното управление на телекомуникационните мрежи от ново поколение.

Апробация

Апробацията на изследванията в дисертацията включва използване на числен и симулационен подход. Численият подход е приложен при оценка на отношението сигнал към смущения плюс шум от разстоянието до базовата станция и от активността на потребителите, посредством изчисления в среда MATLAB. Симулационният подход, реализиран в среда на MATLAB е използван за моделиране на радио комуникационен канал и симулиране на мобилна мрежа с активни потребители.

Публикации

Направените анализи, предложените подходи и получените резултати за периода 2011–2017 са представени в 10 авторски публикации, 6 от които на международни конференции VITAE 2013,2014, WVITAE 2015, WCNCW 2014, TSP 2015, BlackSeaCom 2015, 1 на национална конференция TELECOM 2011, 2 в международни списания с голям импакт фактор Springer WPC 2016, 2017 и последната в национално научно списание.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **147** страници, като включва увод, 5 глави за решаване на формулираните основни задачи, заключение, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **147** литературни източници, като **134** са на латиница, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **72** фигури и **9** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. Автономни мрежи

1.1 История

Най-честите наименования за мрежа, която може да се самоуправлява са „когнитивна мрежа“ и „автономна мрежа“. И двете наименования ще бъдат използвани еднозначно. Първата дефиниция на мрежа, която има когнитивни способности е предоставена от Theo Kanter в неговия дисертационен труд през 1998 г. [1]. Той представя когнитивната мрежа като мрежа с памет. Theo Kanter е бил студент на проф. Gerald Q. Maguire Jr., който също така е бил консултант на Joe Mitola, създателят на когнитивното радио. Докато Mitola се фокусира върху когнитивността във възлите на мрежата, Kanter се фокусира върху самата когнитивност в мрежата. Дисертационният труд на Mitola [2], публикуван през Август 1999 г. е най-ранната публикация на понятието когнитивна мрежа, тъй като Kanter публикува своя труд малко по-късно.

Развитието на когнитивните мрежи е свързано с инициативата на IBM, стартирана през 2001г. под наименованието „Autonomic networking“ (автономни мрежови изчисления). Инициативата продължава идеята на автономните изчисления. Главната цел е да се създаде самоуправляваща се мрежа, която да се справи с нарастващата сложност на интернет и на други мрежи. Също така да им помогне да се разрастват безпроблемно с размери много по-големи от настоящите. Думата „автономност“ е избрана от IBM преднамерено за да се покажат приликите с биологичните механизми в природата, като например автономната нервна система. От друга страна използването на думата „когнитивност“ има за цел да покаже, че мрежата може да се самообучава и да разсъждава. И двете определения имат еднаква цел.

1.2 Техники използвани за постигане на автономност

За постигането на автономност в комуникационните мрежи се използват най-различни техники, алгоритми и методологии. Съществуват две основни направления за създаване на когнитивни алгоритми. Двете направления използват по различен начин генерираните данни в мрежата. Едното направление е със строги предефинирани алгоритми, при което дадения алгоритъм е разработен на базата на предварителни анализи и оценка на данните взети от мрежата с много допускания в самия алгоритъм. При това направление се губи гъвкавост и мащабируемост в бъдеще. Другото направление е по-гъвкаво и се възползва от информацията, която може да се извлече от данните.

Най-често използваните алгоритми са от сферата на машинното обучение (ML – Machine Learning), теория на игрите, алгоритми вдъхновени от биологията и алгоритми свързани с извличане на знания от данните (DM - Data Mining). Например, при когнитивното радио, интелигентните алгоритми на базата на машинно обучение, генетични алгоритми и размита логика, се използват за наблюдение на състоянието на безжичната среда и за натрупване на знания за околната среда. Това знание се използва от когнитивното радио при взимането на решение за достъп до честотния спектър.

1.3 Проблеми, свързани с автономните мрежи

Техническите аспекти за управлението на сложността в една система са добре описани в литературата. Въпреки това, бизнес аспектите за контролиране на сложността са получили по-малко внимание. Програмата NGOSS на „The TeleManagement Forum“ има ясно изразени методологии, които обръщат внимание на нуждите на различни заинтересовани страни (бизнес анализатори, системни архитекти, програмисти, инженери и други) през целия жизнен цикъл на дадено решение/технология [34]. Предишни усилия като [35] обръщат внимание на потенциалната връзка между NGOSS и автономните изчисления, но пропускат да обърнат внимание на това как ще се управлява и интегрира разнообразната информация и нееднородните по тип данни, които се съдържат в системата. Основните проблеми при разработването на автономни мрежи са свързани с езиците за управление, програмните модели, липса на универсален език.

1.4 Архитектурни рамки

1.4.1 Препоръчителен модел MAPE-K

Една автономна система постига самоуправление благодарение на наблюдението на контролираните елементи, анализ на събраната информация, планиране на адаптационни стъпки, свързани с мрежата и тяхното им изпълнение. Тези когнитивни стъпки сформират автономния контролен контур (ACL – Autonomic Control Loop) около мрежовите ресурси [41]. IBM препоръчва общ препоръчителен модел за ACL с наименованието MAPE-K (Monitor, Analyze, Plan, Execute and Knowledge). Този модел предоставя основните компоненти и функции на една автономна система. Човекът оператор се намира извън границите на модела, който има само основната задачата да дефинира целите на автономната система.

1.4.2 Класификация на архитектурните рамки

По-голяма част от научните изследвания са посветени на принципите и характеристиките на автономните системи и тяхното класифициране. Въпреки това, в литературата все още няма ясна изградена представа за това как трябва да се оцени една автономна мрежа и как да се сравни с друга. В [47] е направен опит да се опишат съществуващите дотогава методи за класификация и техниките за оценка на архитектурните рамки.

В [48] са разгледани проучванията направени в областта на архитектурните рамки за автономни изчисления. В първата част на изследването, авторите класифицират съществуващите решения в седем области: вдъхновени от биологията, разпределени в широк мащаб, базирани на агенти, базирани на компоненти, фокусирани на техниката, ориентирани към самоуправляващи се услуги и на базата на изкуствен интелект. Във втората част е обърнато внимание на техниките, които могат да бъдат използвани за постигане на автономни способности.

1.4.3 Йерархични архитектури

В сравнение с класическите подходи за управление на мрежата, йерархичната архитектура дефинира няколко нива на управление, вариращи от нива, които контролират и взимат решения (ниво мениджър) до нива, които се управляват и изпълняват планове взети от нивото мениджър. В контраст с настоящите методологии, които предлагат централизирано управление, йерархичният метод предлага разпределено такова. Също така, вероятността да достигнат до оптималното състояние на мрежата е по-голямо, тъй като решенията, които се взимат са на няколко нива с различна сложност и виждане на мрежата.

1.4.4 Плоски архитектури

Както споменахме вече, при плоските архитектури комуникационните възли си сътрудничат помежду си за постигане на автономни функции. Действията на възлите зависят от информацията, която имат за мрежата. За оптимално адаптиране, всеки възел трябва да има правилно виждане за мрежата от гледната точка на другите възли и правилно виждане на контекста на мрежата.

1.5 3GPP SON

Концепцията на самоорганизиращите се мрежи може да намали разходите за изграждане и експлоатация на една мрежа, като се минимализира човешката дейност в гореспоменатите процеси и се увеличи автономността на мрежовите елементи (NE). 3GPP стандартизира архитектура/рамка на базата на автоматизирани механизми за реализацията на самоорганизиращи се мрежи (3GPP TR32.500, 2011) под общото наименование SON. С въвеждането на SON функциите в мрежата се цели да се намали човешката намеса в управлението на мрежата. Чрез SON човек ще бъде освободен от стандартни и повтарящи се задачи и ще има възможността да управлява мрежата от по-високо ниво.

На практика, една SON система ще бъде комбинация от стандарти и специфични за производителя функции. В 3GPP стандартите се дефинират нужните интерфейси, метрики и сигнална информация, които ще подържат различните функции разработени от производителите на комуникационно оборудване. Самата SON логика винаги ще бъде специфична за самият производител. Възможно е даден производител да разработи SON функции извън препоръките и стандарта на NGMN и 3GPP.

1.6 Приноси към първа глава

1. Въз основа на детайлен литературен обзор е направен анализ на съществуващите когнитивни рамки за комуникационни системи, както и на приложението на различни техники използвани за постигане на автономни функции. Разглежда ни са различните проблеми свързани с постигането на когнитивни способности в комуникационната мрежа.

ГЛАВА 2. УПРАВЛЕНИЕ НА РАДИО РЕСУРСИ В HETNET

Днес мобилните радио връзки са едни от основните нужди на хората. С увереност може да се заяви, че в бъдеще мобилният трафик ще се увеличи експоненциално и ще се изискват високи скорости за предаване на данни. Идва моментът, когато различните видове услуги (глас, данни, мултимедия, SMS) ще се слоят в една мобилна услуга и ще се говори за мобилна свързаност или интернет свързаност. За да предложат по-високи скорости за предаване на данни, мрежовите доставчици, трябва да намерят по-добри начини за използване на електромагнитния спектър и да използват нови технологии. Електромагнитния спектър е оскъден ресурс, който трябва да се използва в мобилните клетъчни мрежи по начин, който отговаря на нуждите на клиента и да не се достига до случаи с високи нива на интерференция, където безжичната комуникация не е постижима.

2.1 Алгоритъм „Q-function”

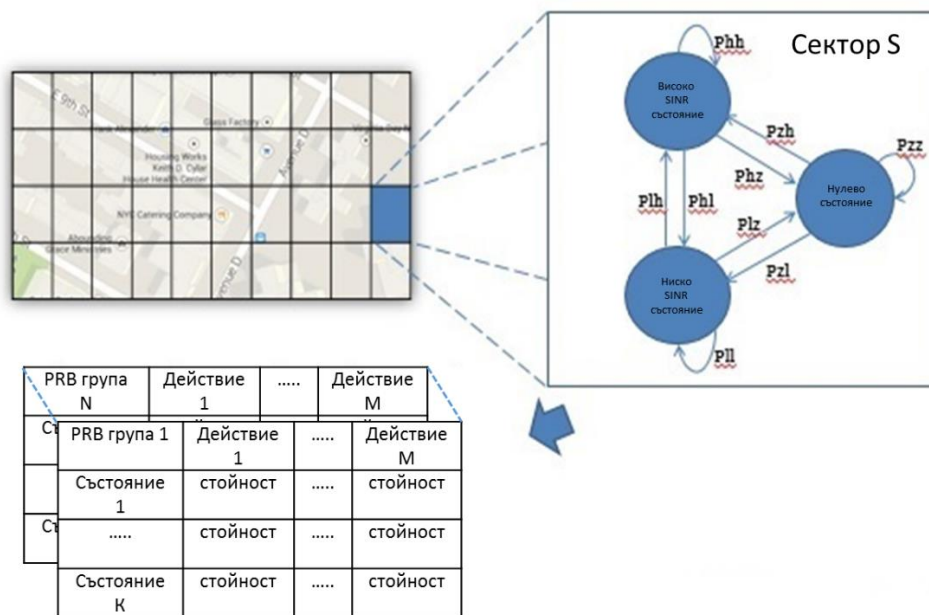
В средата на RL се включва всеки параметър или характеристика, която може да се променя, манипулира или променя от агентът чрез неговите действия. Когато агентът реши (в този случай - клетката) да използва нови PRBs за услуга, има вероятност мобилните терминали с тези нови заделени PRBs да получат висок или нисък SINR зависимост - от една страна, от това дали същите PRBs се използват от друга съседна клетка, и от друга, от разстоянието и заделената мощност за тях. По този начин основният параметър на околната среда, която ще я характеризира или основният параметър на състоянията ще бъде полученото отношение сигнал към интерференция и шум (SINR – Signal to noise and interference ratio). За простота и за разбирането на алгоритъма са избрани две състояния на SINR - високо и ниско. Действията ще доведат до високо или ниско състояние на SINR в зависимост от средният праг на SINR. Други параметри, които могат да се променят са параметрите на самата клетка. Например типа на разпределение на ресурсите, броят на разпределените PRBs, начина на разпределение на мощността към PRBs и т.н. Тези параметри ще създадат втори слой от състояния. В настоящата дисертационна работа ще се вземе параметъра за разпределение на PRBs и параметъра за мощност. Параметърът за разпределение и за мощност ще взема 1 или 0, ако групата се използва или не. Концепцията на състоянията е илюстрирана на Фигура 2.4. За простота пълния брой комбинации на параметрите, формиращи вторичните състояния и преходните вероятности не са показани. Както може да се види на Фигура 2.4, в основните състояния за SINR имаме малки топчета, представляващи група PRB със своите вторични параметри. Когато групата на физическите радио блокове (PRB – Resource Radio Block) не се използва, тя ще остане в нулево състояние. Ако клетката реши да използва нова група, състоянието ще премине от нула в едно от другите две основни състояния. Основната цел е да има повече групи в състояние от високо ниво. Ако група PRB остава дълго време в състояние на ниско SINR без значение какви действия са предприети, групата ще се изхвърли, като му се дава 0 на параметъра за разпределение и по този начин ще влезе в нулево състояние. Силата на този алгоритъм е, че агентът, преди предприемането на действия допълнително се информира за приблизителното географско положение на потребителите. Този тип информираност се игнорира в съществуващите алгоритми, които използват RL. Информацията за географското местоположение се използва за да направи по-ясно определянето на действието на клетката.

Изчислението на географското положение може да бъде направено чрез измервания в клетката и в свързаните мобилни апарати. За изчислението могат да се използват техниките свързани с изчисляването на времето, силата и ъгълът на сигнала при приемане ("time of arrival" (TOA) или "time difference of arrival" (TDoA), "angle of arrival" (AoA) и "receive signal strength" (RSS)) [103], [104]. За приблизителна оценка на разположението на съседните клетки, можем да използваме RSS от различни мобилни терминали комбинирани с триангулация. За да намерим клетките с високо SINR, ние приемаме следната хипотеза: Физическите ресурсни блокове са разделени на групи. Всяка клетка ще се използва една група с високо SINR за излъчване на собствените си параметри, за да бъдат клетките разпознати от мобилните терминали. Това разпределение може да се направи ръчно, преди да се постави клетката в експлоатация в мрежата или от самата клетка от предприемането на предварителни измервания. За по-голям капацитет на клетката ще се използват повече групи от PRB.

Като се вземе предвид и местоположението на мобилните терминали се формира ново състояние, от което ще зависи вероятността за преход от едно главно състояние в друго. В този контекст състоянието може да бъде представено като първично състояние, съдържащо местоположението на мобилните терминали и поставяйки го зад основните състояния ще ни даде различни вероятности за преходи от едно състояние в друго. Това означава, че ако имаме два потребителя, които са относително отдалечени един от друг и единият от тях е в периферията на клетката, ще имаме две задни състояния, даващи различни вероятностни преходи. Наградата за взимане на определено действие се образува от средната стойност на SINR за групата от SINR и ще бъде използвана за актуализиране на Q-функцията от Уравнение (2.11). Основни правила при прехода на PRB групите са, както следва:

- Ако една група се използва за първи път ще започне от нулево състояние. Клетката прилага задното състояние, след което включва параметри, различни от нула, определени във вторичното състояние (това ще формира определено действие). Групата отива от нулево състоянието към друго основно състояние с допълнителна вероятност определена от задното състояние;
- Когато една PRB група е вече разпределена за дадени UEs или за дадено първично състояние, тя остава блокирана за останалите задни състояния и не може да се използва;
- Ако група остане в ниско SINR състояние, без значение какви действия се предприемат за да отиде групата в високо SINR състояние, клетката предприема действие, за да върне групата в нулево състояние. Групата от PRB е свободна да бъде използвана от други потребители с различно първично състояние.

Целта на първичните състояния е да проектира действията във вторични главни състояния. Единствените преходи, които могат да се случат са между трите главни състояния. Описаният алгоритъм ще бъде сравнен с два метода за разпределение на ресурси - некоординиран (това се получава, когато се зададат едни и същи честотни ресурси на макро и пико клетките за да могат да си интерферират) и координиран (като се използват статично разпределение на ресурсите).



Фигура 2.4 Състояния и преходи на "Q-function" алгоритъма

2.2 Описание на ролите

Ролите ще се раздават на базовите станции за да се контролира използването на честотните ресурси и излъчената мощност в права посока. Една роля трябва точно и ясно да показва колко на брой физически ресурси използва една базова станция (ако ресурсите са групирани да се покажат кои са те), дали е способна да ги сподели (това е възможно, ако базовата станция е отделила голям брой ресурси за мобилно устройство, използващо услугата "file transfer") и също така да индикира дали е надвишена допустимата сумарна стойност на приетите смущения. Ако е надвишена тази стойност се изпраща съобщение до съседните базови станции за да предприемат мерки и да намалят излъчената мощност.

За настоящата дисертационна работа максималната агрегирана честотна лента ще е 40 MHz. Допълнително чрез обучение с утвърждение и информацията за приблизителното географско местоположение на мобилното устройство, базовата станция ще разпределя ресурсите по-ефикасно и ще пази информация за това кое действие е добро да се вземе в даден момент от време и зависимост от географското местоположение на абоната.

Причините да се комбинира ролевите игри и обучение с утвърждение е кооперативност и полу-координираност. Ако една макро клетка използва само RL, то тя ще взема действия, които са благоприятни само за нейните абонати. В примера на Фигура 2.3, ако абонат UE 1 се намира достатъчно далече за да не получава интерференция от BS 3, BS 1 ще вземе решение да използва същият канал, който се използва и от BS 3 в права посока и по този начин ще заглуши връзката ѝ с UE 3. Чрез ролите това може да се предотврати. При полу-координираност, базовите станции няма да изграждат връзка през X2 интерфейса, а ще съобщават ролите си на съседните базови станции или на сървър, достъпен от всички. Също така ролевия подход може да премахне проблема при обучение с утвърждение в среда с много агенти, които могат да вземат едновременно едно и също действие за назначаване на

ресурси, при което ще вземат решение, че физическите ресурси не са свободни в даден момент.

Ако се вземат предвид буферното разстояние, спомената по-горе, BS трябва да задава една роля за абонати във външната зона на клетката (в нейната периферия) и друга за абонати във вътрешната част на клетката. Ако една BS знае ролите на външните зони на съседните клетки, на нея би било по-лесно да се съобрази с тях и да избере съответна роля за нейната външна зона с минимални смущения.

Ролята е съставена от 2 числа разделени с точка. Първото число е за броя физически ресурсни групи, които се използват. В 40 MHz агрегирана честотна лента има 200 PRBs, което прави 40 PRBs на група при 5 броя ресурсни групи. Следващото число е за допустимите смущения, които могат да се приемат (сумарно на група от физически ресурси или за едно PRB) и дали е възможно да се освободят ресурси. В таблица 4.1 и 4.2 са показани съответните роли. Първото число ще има функцията на главна роля, а второто число като подроля. След като се избере главната роля, на базата на услугите трябва да се определи какви смущения могат да получават мобилните терминали и ако за дадена услуга са заделени допълнително ресурси (като например "file transfer) се слага индикатор, че има ресурси, които могат да се освободят преждевременно.

Причината за задаване на различни роли към клетките е да се направят кооперативни без да се вкарва голям информационен излишък при сигнализация. Всяка зададена роля ще бъде асоциирана с количеството и типа ресурси, която клетката използва, колко интерференция може да приеме за мобилните си абонати и възможността да освободи ресурси. В тази връзка, подхода за ролева игра е подобен с подхода реализиран в [105]. Различните роли се определят в зависимост от нужното качество на обслужване (QoS – quality of service) във всеки сектор. Ролята може да бъде моделирана със следната функция:

$$\text{Role}_i(X_i, Y_j) = \left\{ \sum_{j=1}^k \text{PRB}, \text{Pos}_i, \text{MAX}[\text{PRB интерференция}] \right\} \quad (2.21)$$

където PRB е PRB група, Pos_i е географското местоположение на UE или на група UEs. и последният параметър показва максималната допустима интерференция.

Нека да се разгледа следният пример. Трябва да се зададе роля на външната зона на BS 1. Макро клетката на BS 1 има две съседни клетки. Техните роли за външната зона са - 4.7 и 7.1. На BS 1 са й нужни 2 групи от физически ресурси за абонатите във външната зона с максимална допустима интерференция. Възможностите за главна роля, при които застъпването на физическите ресурси е минимално са 5 или 6. Тъй като втората съседна клетка е зела подроля с минимални смущения, BS 1 ще избере главна роля 5. Ако зададем подроля 1, има вероятност смущенията да са над допустимата стойност. В такъв случай BS 1 изпраща съобщение до съседната клетка, с която се застъпват да намали излъчената мощност за съответната група от честотни ресурси.

В настоящата симулация макро клетката ще има две роли - една роля за външната зона и една за вътрешната. Пико клетката ще има само една роля.

Таблица 2.2 Главни роли

Главна роля	Използвани ресурсни групи
1	1
2	3
3	5
4	1,2
5	
6	3,4
7	4,5
8	1,2,3
9	2,3,4
10	3,4,5
11	1,2,3,4
12	2,3,4,5
13	1,2,3,4,5

Таблица 2.3 Подроли

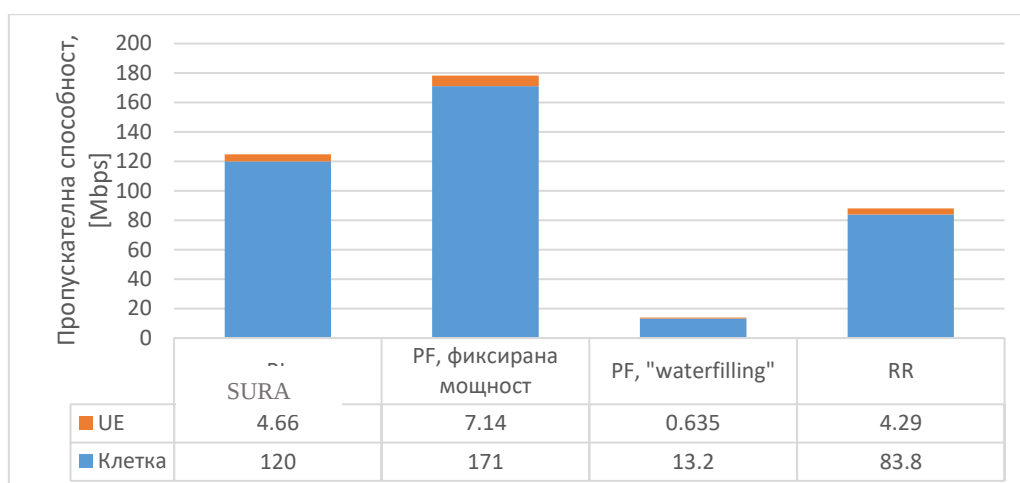
Подроля	Средни допустими смущения за 1 PRB [W]	Възможност за освобождаване на ресурси [брой]
1	8,9838E-15	0
2	8,9838E-15	1
3	8,9838E-15	2
4	1,11047E-13	0
5	1,11047E-13	1
6	1,11047E-13	2
7	5,26711E-12	0
8	5,26711E-12	1
9	5,26711E-12	2

2.3 Некоординирано разпределение SURA

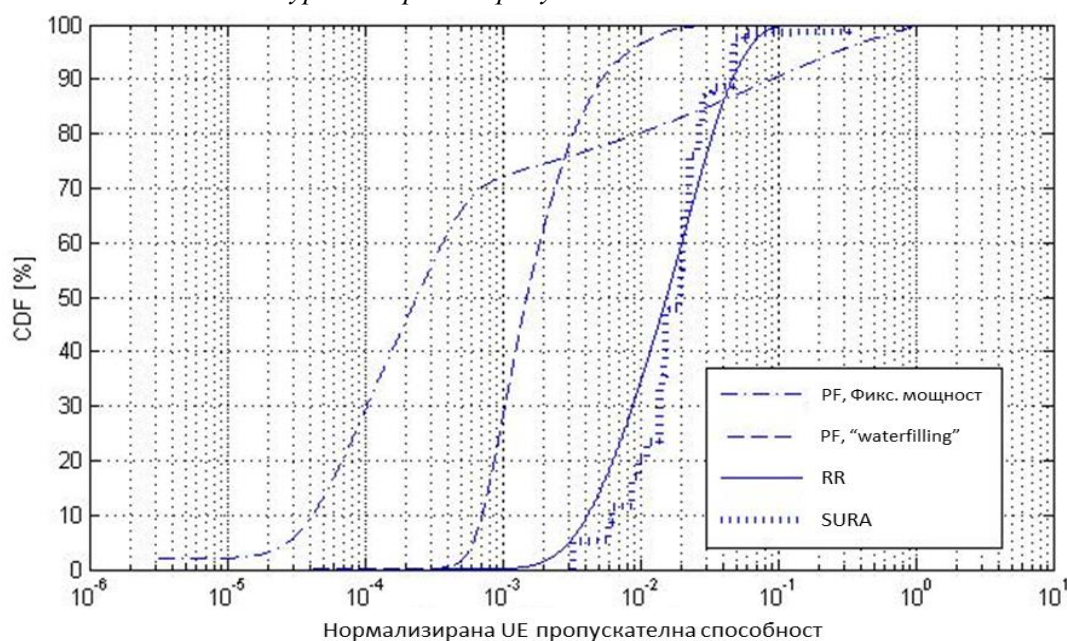
При некоординираното разпределение на радио ресурси всяка клетка ще се опита да увеличи собствената си пропускателна способност като избягва онези PRB групи, при които интерференцията е прекалено висока. Използва се предложеният алгоритъм SURA без ролевите игри.

Фигура 2.7 е показана средната пропускателна способност на клетка и на мобилно устройство. Четири различни алгоритъма са сравнени: “Round Robin” (RR – Round Robin), “Proportional Fair” (PF - Proportional Fair) с фиксирана мощност на предаване, PF с алгоритъм “water filling” за настройване на мощността на предаване и предложеният алгоритъм SURA. Основната разлика между първите три алгоритъма с предложеният алгоритъм, е че последният алгоритъм е подсилен с информация относно географското местоположение на мобилното устройство. По този начин клетката може да реши кои радио ресурси са по-удачни да бъдат заделени за дадено UE. SURA алгоритъмът има поведение подобно на FSU алгоритъм. Средната пропускателна способност на UE е приблизително еднаква за SURA и RR. Причината за това е че за всеки потребител се заделят равен по количество радио ресурси. Разликата е при самото разпределение. RR разпределя радио ресурсите по случаен принцип, а SURA ги разпределя зависимост от наблюдаваните стойности на SINR за дадена географска зона. PRB може да бъде заделено за определена зона, ако SINR е бил по-висок от допустимите 12 dB. Историята за SINR се пази в “Q-action” параметъра, който се оценява чрез опит и проучване във времето. Поради тази причина SURA алгоритъмът има по-добра клетъчна пропускателна способност. При сравнение на PF с фиксирана мощност и SURA, PF има по-добра средна пропускателна способност. При сравнение на CDFa на Фигура 2.9, PF има по-лоша пропускателна способност за UE в ниските стойности, а SURA ги подобрява. Това е обяснимо, тъй като, PF заделя повече ресурси за UEs, които имат по-добри SINR стойности. Заключение, е че SURA поддържа

стабилни и увеличени стойности на пропускателната способност на UE спрямо другите алгоритми.



Фигура 2.7 Средна пропускателна способност



Фигура 2.9 Нормализирана UE пропускателна способност

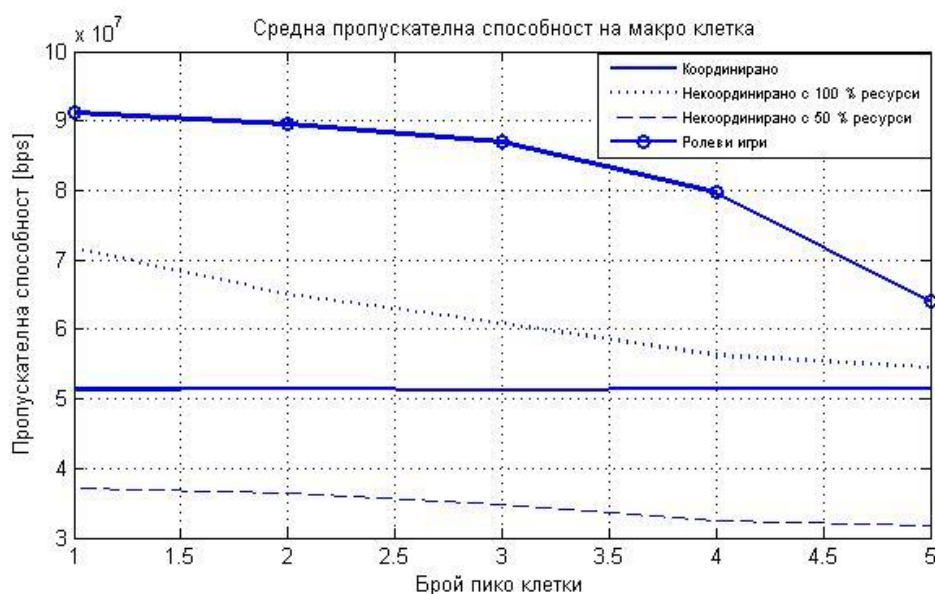
2.3 Полукоординирано разпределение CSRA-RG

Когато комбинираме алгоритма "Q-Function" с ролевата игра се създават нови състояния с допълнителен параметър, който да индикира дали дадена група създава смущения или не на съседна клетка. Преди, ако клетката се е стремяла да бъде във високото основно състояние, то сега ще се стреми да е пак в него, но този път ще се стреми да е във вторично състояние, в което индикатора за смущения е нула.

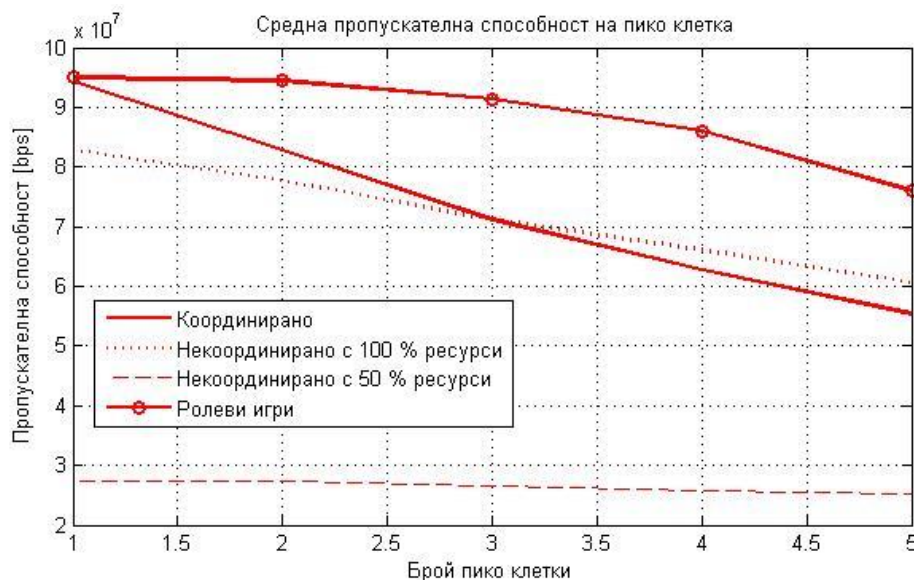
Получените резултати от използвания алгоритъм са сравнени с 3 техники за използване на честотните ресурси. Първата техника е координирана чрез статично разпределение на физическите ресурси. Първо наличната честотна лента е разделена наполовина между макро и пико клетките. След това заделените ресурси за макро клетките е допълнително статично разпределена. Другите два метода са некоординирани като се използват

физическите ресурси на 50 % и 100 % (физическите ресурси са споделени между макро и пико клетките, но няма координация между тях).

При некоординираните методи ясно се вижда, че използването на физическите ресурси не е ефективно. При 100 % използвани ресурси и 5 броя пико клетки, пропускателната способност на макро клетката при некоординираният метод клони към пропускателната способност на координираният метод, използващ по-малко физически ресурси. При пропускателната способност на пико клетката ситуацията е същата. При една пико клетка, въпреки използването на 100 % ресурси от страна на некоординираният метод, средната пропускателна способност е по-малка от тази на координираният метод, използващ ресурси на 50 %. Некоординираният метод има малко по-висока стойност за пропускателната способност на пико клетката при 5 броя пико клетки.



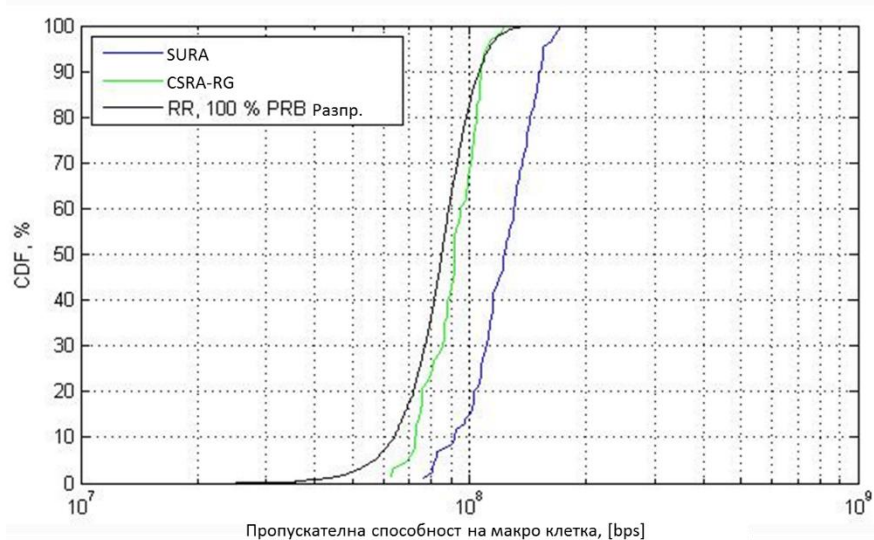
Фигура 2.10 Средна пропускателна способност на макро клетка



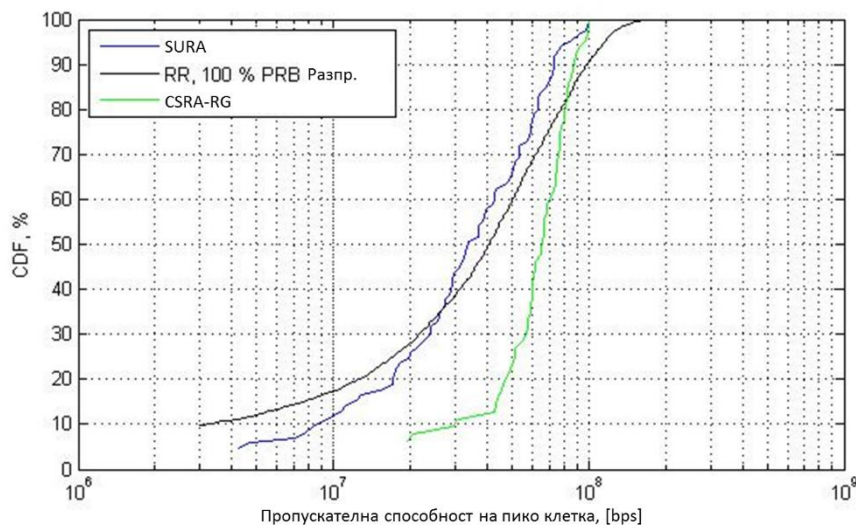
Фигура 2.11 Средна пропускателна способност на пико клетка

При алгоритъмът, използващ ролеви игри, ясно се вижда увеличената пропускателна способност на макро и пико клетката. Трябва да се отбележи, че намаляването на пропускателната способност на макро клетката при увеличаването на броя на пико клетките е по-бързо отколкото при пико клетките. Причината за това е, че макро клетката трябва да се съобразява с ролята на всички пико клетки, а самата пико клетка трябва да се съобрази основно с нейните съседни клетки, а не със всички.

На Фигура 2.16 и Фигура 2.17 може да се види кумулативната функция на разпределението (CDF – Cumulative Distribution Function) на пропускателната способност на 3 различни метода съответно за макро/пико клетка/потребител. Първият метод е некоординираният с 100% използвани ресурси. Вторият метод е SURA алгоритъма без ролеви игри, който също така е наречен 'selfish'. Последният метод е CSRA-RG алгоритъм с ролевите игри, който е наречен 'cooperative'. Забелязва се значително подобрение на пропускателната способност на пико клетките и съответно на пико потребителите за сметка на намелена пропускателна способност на макро клетката.



Фигура 2.16 Пропускателна способност на макро клетка в права посока



Фигура 2.17 Пропускателна способност на пико клетка в права посока

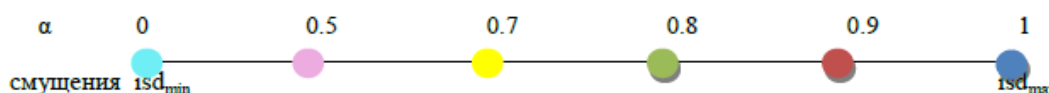
2.3 Управление на мощността в посока нагоре на основата на секторизиране

Нека да се разгледа примерът от Фигура 2.22, където е показана една базова станция разделена на сектори. Общата излъчена мощност от един сектор зависи от излъчваната мощност p_i , от потребителските устройства в клетката. Ако се приеме, че спектралната плътност на мощността, излъчена от едно UE, е psd_i , то общата спектрална плътност на смущенията към съседните клетки ще бъде:

$$ISD_i = \sum_{j=1}^k psd_i * pg_{ij} \text{ W/Hz} \quad (2.22)$$

където k е брой клетки, pg_{ij} е коефициент, отразяващ големината на смущенията, които абонат i предизвиква в съседната клетка j , [108].

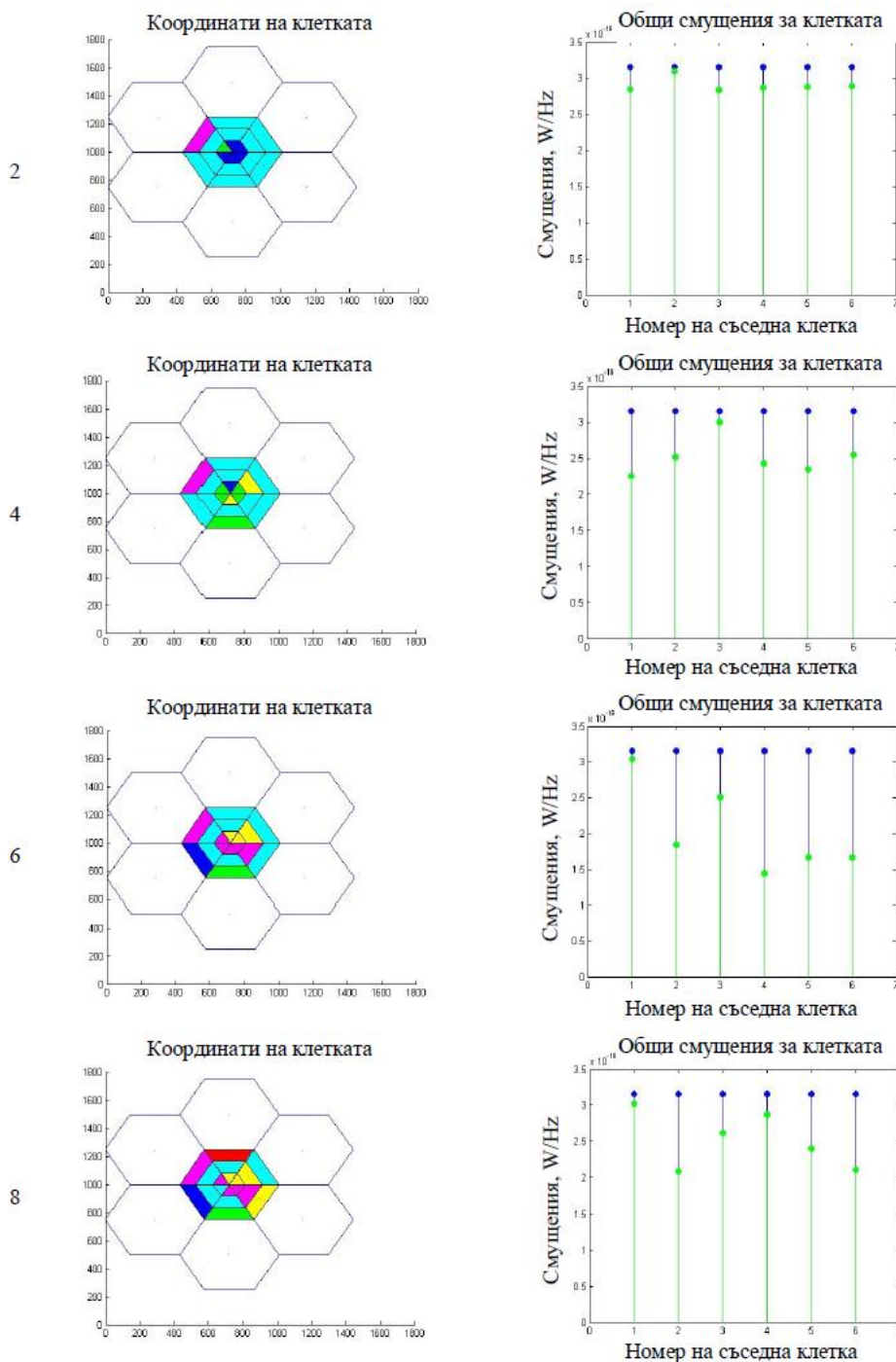
UE, което се намира във външната зона (на границата) на обслужващия eNB и излъчва с максимална мощност, ще предизвика максимални междуклетъчни смущения. Обратно, минимални междуклетъчни смущения ще се получат, когато UE е възможно най-близо до обслужващия eNB. На практика тези две крайни стойности могат да се използват за дефиниране на един диапазон на изменение на допустимите смущения, които определят и динамичния диапазон на системата за управление на мощността. Нека да се приеме, че той е равномерно квантуван ниво, както е показано на Фигура 2.23, и че на всяко ниво, съответства един коефициент α отразяващ общата позволена мощност, която може да излъчва даден сектор. На практика този коефициент отразява компенсацията на затихването (отдалечеността на сектора от eNB), която всеки сектор може да получи. При $\alpha=0$ не се компенсира затихването т.е. не се прилага управление на мощността. За $\alpha=1$ затихването се компенсира напълно, чрез разрешение за увеличаване на мощността на потребителите в даден сектор до максимално допустимата.



Фигура 2.23 Квантуване на динамичния диапазон на мощността и съответни стойности на коефициента α

При така приетото секторизиране на клетката, нивото на генерираните смущения ще се определя от броя на абонатите във всеки сектор от тази клетка, тяхното разположение спрямо съседните клетки и услугите, които искат да им бъдат предоставени (съответната скорост на предаване). Това означава, че назначаването на стойност на коефициента α към даден сектор ще бъде динамично спрямо броя на абонатите, тяхното местоположение и услугите, които се предоставят. Дефинирането само на сектори и α не е достатъчно за управление на мощността. За тази цел се въвежда гранична стойност на общите смущения към съседните клетки, генерирани от абонатите на централната клетка. Задаването на тази максимално допустима стойност въвежда ограничение в начините на задаване на α по сектори. В конкретния пример допустимите стойности на смущенията могат да бъдат еднакви или различни за всички клетки. Ако всички абонати/сектори излъчват с еднаква мощност, а също така са равномерно разпределени в централната клетка, то съгласно (2.22), спектралната плътност на смущенията ще е еднаква за всички съседни клетки.

На Фигура 2.25 е илюстрирано промяната на ролите на секторите за стъпка 2, 4, 6 и 8.



Фигура 2.25 Общи смущения зависимост от α

Предимството на такъв един подход за управление на мощността, чрез секторизиране на клетките е, че стойността на α в отделните сектори се избира по такъв начин, че да не надвишава една предварително зададена допустима максимална стойност на междуклетъчните смущения. Изборът на тази стойност зависи от разпределението на абонатите в клетката. В анализите на повечето методи предлагани понастоящем се приема, че абонатите са разпределени равномерно в клетката, което е много условно допускане. Чрез секторизиране на клетката е възможно, едно динамично управление на мощността в зависимост от разпределението на абонатите в мобилната клетка. На сектори с по-малък брой абонати общата излъчена мощност ще е по-ниска, което ще позволи задаване на допълнителна мощност на абонатите в други сектори с по-голям брой потребители.

Резултатите от симулациите показват, че ако се налага да се даде максимална излъчена мощност на даден сектор от външната зона, може да се намери решение което да доведе до достигане на максимална обща пропускателна способност на клетката.

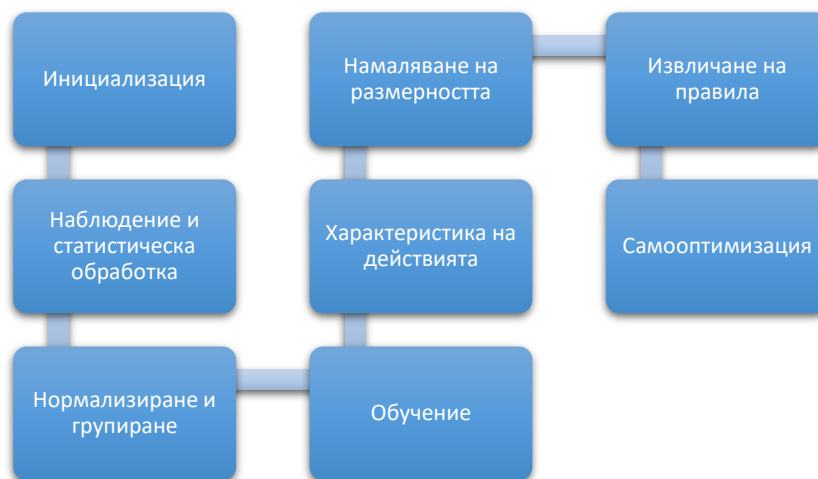
2.3 Приноси към втора глава

1. Разработени са алгоритми за разпределение на радио ресурсите в посока надолу:
 - 1.1 Алгоритъм за некоординирано разпределение на радио ресурси в посока надолу в мобилните радио мрежи, използвайки машинно обучение и информацията свързана с географското местоположение на потребителите. Концепцията на алгоритъма е показана на Фигура 2.4. Блоквата схема е показана на Фигура 2.5;
 - 1.2 Алгоритъм за полукоординирано разпределение на радио ресурсите в посока надолу в мобилните радио мрежи. По този начин се подобрява пропускателната способност на пико клетките и пико потребителите. Блоквата схема е показана на Фигура 2.6.
2. Предложен е игрови подход за управление на мощността в посока нагоре на основата на секторизиране. Чрез този подход се постига динамично контролиране на максималната стойност на смущенията към всяка клетка. Резултатите са илюстрирани нагледно на Фигура 2.25.

ГЛАВА 3. Имплементиране на когнитивна архитектурна рамка за самоорганизация

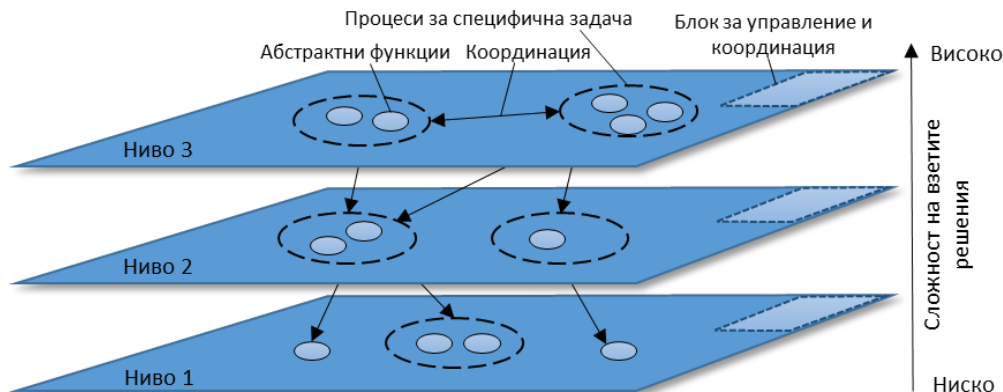
3.1 Концепция за когнитивна равнина

На Фигура 3.3 е илюстрирана предложената ML схема и създаването на основния когнитивен поток, който се намира в блока "съзнание". Той е разделен на много индивидуални функционални стъпки, които са модулни и абстрактни едни от други. Някои от стъпките в предложената схема могат да се пропуснат. Примерно, стъпката "Намаляване на размерността" може да бъде пропусната, ако в стъпка "Инициализация" са зададени само тези функции, които са важни за дадена задача. До голяма степен функционалностите на блока „съзнание“ наподобяват начините, с които хората взимат решения в реалния живот. Един човек няма конкретен алгоритъм за всяка задача, но инструменти като ML, които се използват и се оформят от данните получени при търсене на решение. Например, когато човек се обучава как да кара колело или кола, той в началото използва статистическа информация, която ще му помогне да създаде потенциални състояния, в които ще взима решения. След това той ще използва наблюдавани или ненаблюдавани методи за да намери най-доброто действие за всяко състояние. Това човешко поведение при самообучение може да се опише като абстрактна програма, която се оформя от данните получени при взаимодействие с околната среда. Предложения когнитивен процес ще имитира това поведение. Човек оператор ще създаде ML потока, който от своя страна ще бъде оформен от генерираните данни от мрежата. Още повече, когато този ML модел е абстрахиран от използваните комуникационни технологии, същият този модел може да бъде преизползван за същите цели в друга мрежа.



Фигура 3.3 Когнитивни стъпки

На Фигура 3.4 е илюстрирана йерархичността при вземане на решение. Също така, всяка автономна задача или процес е изграден от по-малки абстрактни функции. Всяко ниво от йерархията имат специфични функции и свойства, които предлагат своите услуги на прилежащите им нива. Ако функция на ниво 3 се нуждае от информация, която може да се снабди от ниво 1. Функцията се обръща към функциите от ниво 2 по абстрактен начин, които знаят как да се обърнат към ниво 1.



Фигура 3.4 Йерархичност при вземане на решение

При създаването на такава ML схема се получават следните предимства:

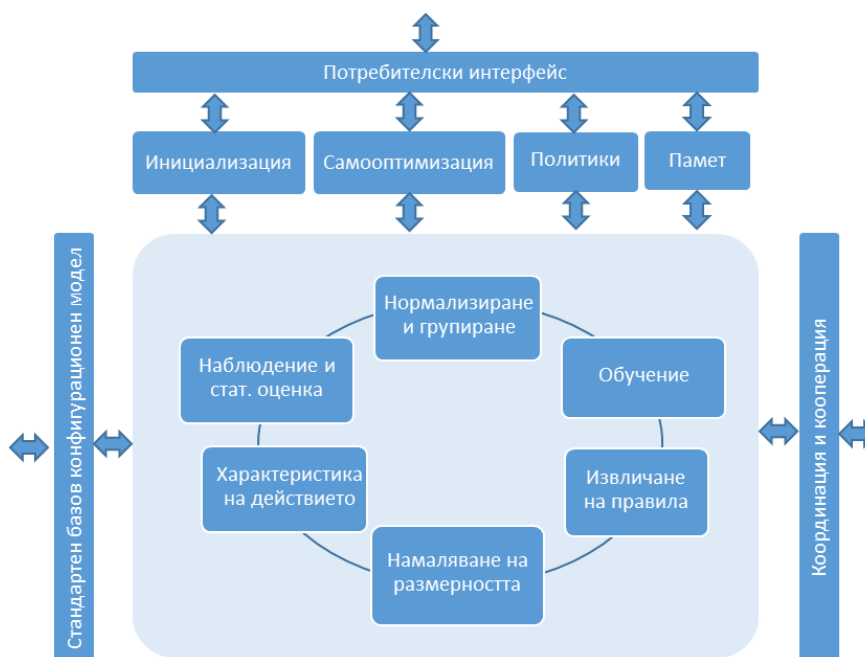
- Намалена сложност. Един комплексен оптимизационен проблем може да бъде решен и разбит на няколко по-прости ML функционални стъпки. Понякога е невъзможно да се разработи оптимизационен алгоритъм, поради факта, че пълно знание и информация относно проблема не е налична, като параметрични зависимости, граници и други. Поради тази причина се правят допускания и се опростява оптимизационния проблем. Въпреки опростяване на проблема, крайният резултат е твърде сложен алгоритъм, който е твърде труден за разбиране с високо ниво на детерминираност и почти невъзможен за мащабируемост. Когато се раздели проблема на по-малки оптимизационни задачи и се решат с ML алгоритми, се получава решение, което е лесно за проследяване, разбиране, оформено и адаптирано от генерираните данни от комуникационната мрежа;

- Преизползване. Обикновено някои комплексни проблеми имат прилики. Ако тези прилики се решат с ML и се направят абстрактни, алгоритмите могат да бъдат преизползвани за разрешаването на други проблеми и цели;
- Гъвкавост и мащабируемост. Когнитивните алгоритми трябва да бъдат лесни за манипулиране и могат да се използват при увеличаването на размерите на комуникационната мрежа. Създавайки функционални стъпки с абстрактни ML алгоритми ще бъде лесно да се проследи информационния поток и начина на взимане на решение. Също така, създадения когнитивен поток може лесно да се променя.

Когнитивните стъпки и блокове от предложената когнитивна равнина са както следва:

- Инициализация - в този блок се дефинират параметрите, действията, ограниченията за предприемане на действие и целевите параметри, които са нужни да бъдат оптимизирани или следени;
- Наблюдение и статистическа обработка - данните за взимане на решение се събират от комуникационната мрежа. Това включва сигнална информация, KPIs и други. След като е събрана нужната информация се прави предварителна статистическа обработка или извличане на информация от данните, която ще е нужна за самообучителния процес;
- Нормализиране и групиране - за да може всеки параметър да има равно въздействие при взимане на решение, се извършва предварително нормализиране. Данните, които имат приблизителни стойности се групират. Така се минимализира броя на състоянията, в които мрежата може да попадне. Броя на групите определя броя на състоянията;
- Обучение (връзка група-действие) - за всяка група трябва да се намери оптималното действие, което максимализира целевия параметър или параметри. Също така, това действие не трябва да нарушава ограниченията, които са поставени;
- Характеристика на действието - тази стъпка следи реакцията на комуникационната система при взимане на действие. Тази характеристика се използва за предсказване на следващите потенциални състояния на мрежата. Една такава характеристика може да бъде извлечена като се запазят входните и изходните данни от мрежата, когато е предприето действие. Събраната информация се интерполира за да се намери повърхността на прехода на комуникационната система при даденото действие;
- Намаляване на размерността - параметрите, които не допринасят за взимане на решение се премахват от когнитивния процес;
- Извличане на правила - когато процесът на обучение е завършен, може да се извлече полезна информация относно границата между различните състояния с различни действия. Тази информация може да бъде споделена и да ускори самообучителния процес за други агенти или други автономни функции;
- Самооптимизация - на базата на получената информация от предишните стъпки, алгоритъм, който е лесен за разбиране може да бъде разработен за целевите параметри;
- Блок „Потребителски интерфейс“ - позволява взаимодействието с когнитивната равнина;

- Блок „Политики“ - пази абстрактни от високо ниво правила, които контролират поведението на автономните функции;
- Блок „Памет“ – данни, събрани при наблюдение на мрежата и информация, извлечена от данните или получена по време на обучения се пази в този блок;
- Блок „Стандартен базов конфигурационен модел“ - данните, които идват от мрежовите устройства са стандартизирани и абстрактни. Конфигурационните параметри, функции, свойства на дадено комуникационно оборудване също се вижда еднозначно от страна на когнитивната равнина;
- Блок „Координация и кооперация“ - В сценарий с много агенти е нужно споделяне на информация или агент, който играе като арбитър при сблъсък на интереси между отделни агенти или между отделни автономни функции.



Фигура 3.5 Концептуална архитектурна когнитивна рамка

3.2 Оценка и управление на риска при внедряването на автономни функции в комуникационните системи

При използването на много разнообразни устройства в една комуникационна мрежа, които се различават по технология и поколение, съществува риск, че всяко едно оборудване може да доведе до неизправност или смущения в комуникационната система. При количественото оценяване на риска се изчислява вероятността p дадено събитие да се случи, което е недоброкачествено за системата и внася загуби *'loss'*. Понякога риска може да се счита за приемлив, когато разходите за минимизиране на риска са по-големи от очакваните загуби за системата. От теорията за управление на риска откриването на нивото на риск в системата и вземането на превантивни мерки изисква събиране на данни от комуникационната система, идентифициране на потенциалните заплахи и уязвимости, оценяване на вероятността събитието да се случи (LoO - likelihood of occurrence), изчисляване на честота на подлагане на дадено събитие (FoE - frequency of exposure) и определяне на сериозността (SoC - severity of consequences) [114].

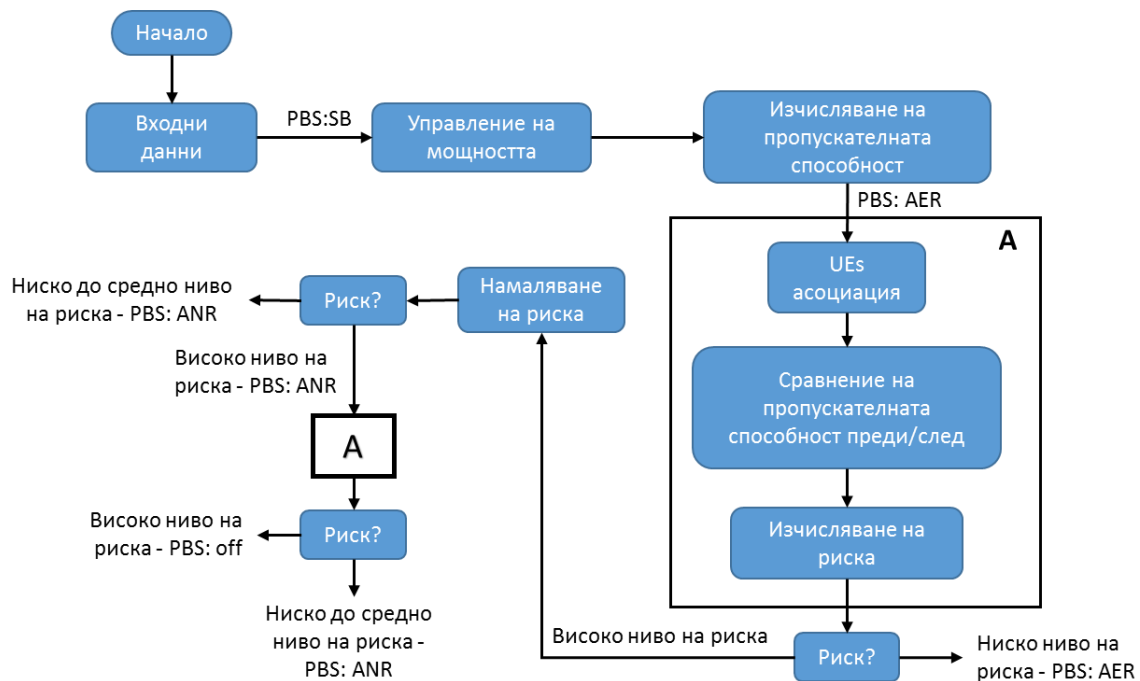
В случаите, когато в една HetNet мрежа работят алгоритми за спестяване на енергия или балансиране на натоварването между клетките съществува риск от генериране на допълнителна интерференция между клетките. При включване на PBS в обхвата на MBS съществува риск с някаква вероятност, че пико потребителите ще получат смущения от MBS и нейните потребители и обратно. Мерките, които могат да се предприемат за минимизирането на смущенията са намаляване на излъчената мощност или промяна на енергийния режим на PBS (режими: „изчакване” (SB), ”изключено“ (off), „нормален“ (ANR) и „разширен“ (AER)). За да се изчислят вероятностите и евентуалните загуби, изразени като намалена пропускателна способност, се приема че предварителните стъпки свързани с наблюдение на рисковата зона са извършени и необходимата информация е налична.

На Фигура 3.8 е показана блоковата схема за оценка и контрол на риска в HetNet. Риска, който се оценява е вероятността за поява на смущения и нейната големина зависимост от промяната на енергийния режим на PBS и коефициентите за компенсиране на смущенията. При стартирането на алгоритъма съществуват първоначални данни за състоянието на мрежата, които са събрани по време на наблюдението ѝ. PBS, за която се оценява риска се поставя в състояние SB. След като съседните клетки си настроят мощността към UEs чрез коефициентите за компенсиране на мощността се изчислява пропускателната способност на всяка клетка. След като завърши тази операция PBS се слага в състояние AER. Към нея се асоциират UEs и се изчислява тяхната пропускателна способност. Пропускателната способност на клетките преди включването на PBS в AER режим се сравнява със сегашната пропускателна способност. Операцията завършва с оценяване на риска. Ако риска е с малка стойност, на PBS и се позволява да останава в AER режим. Ако риска е висок се вземат постепенни превантивни мерки, които имат за цел да намалят риска от смущения. В най-лошият случай е когато PBS трябва да се деактивира.

В Таблица 3.1 е показана оценката на риска за една PBS. Сравнени са стойностите на две от нейните състояния. За този частен случай, когато PBS е в нормално енергийно състояние има по-голям риск от смущения, отколкото когато работи в разширен режим. Това е така, защото в зоната на разширения режим на работа се намират UEs, които са потенциални източници на смущения, ако те не бъдат обслужени от PBS.

Таблица 3.1 Оценка на риска при състояние AER и ANR

	AER	ANR
Загуби	25	100
Ниво на превантивни мерки	40	40
Ниво на заплаха	24	69
Стойност на риска	40	115



Фигура 3.8 Оценяване и контрол на риска в HetNet мрежа

3.3 Приноси към трета глава

1. Предложена е концептуална когнитивна архитектурна рамка за самоорганизация в комуникационните мрежи. Рамката е показана на Фигура 3.5. Предложеният когнитивен поток на базата на машинно обучение е показан на Фигура 3.3;
2. Предложен е подход за управление на мощността чрез оценка и контрол на риска.

ГЛАВА 4. Алгоритми за самооптимизация в мобилна мрежа

4.1 Автономна функция за спестяване на енергия

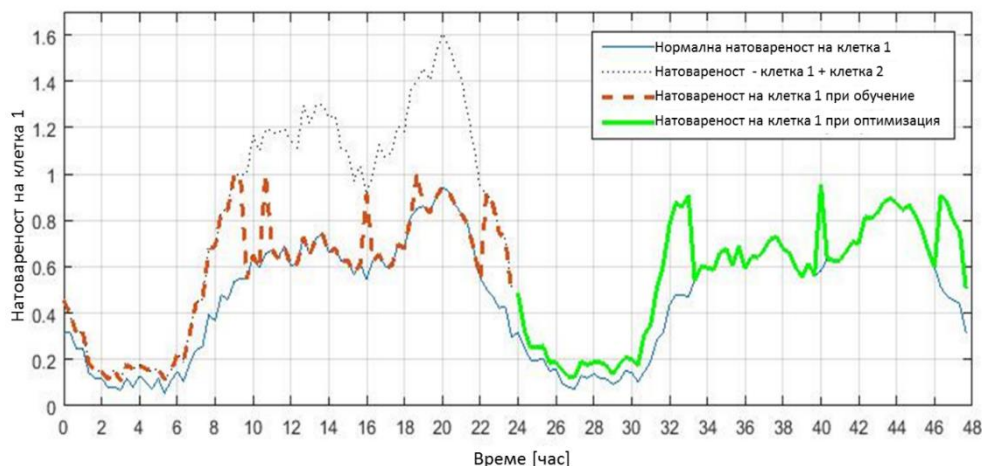
Целта на спестяване на енергия (ES – Energy Saving) е да се намали общото потребление на енергия в мрежата, като по този начин се намаляват емисиите на въглероден диоксид в атмосферата. В режим на "Икономия на енергия" алгоритъмът намира оптимални периоди, в които клетки със слаби натоварвания могат да разтоварят трафика към съседните клетки и същевременно да се изключат. Измервания като натоварване на клетка (CL- cell load), мощност на входа на приемника за референтен сигнал (RSRP - Reference Signal Received Power), репорти от мобилните терминали относно силата на сигнала от клетките (MRE - Measurement Reporting Events) и други се използват за създаване на състоянията в които мрежата може да попадне. Ключови индикатори за производителността (KPI - Key performance indicators) като степен на грешка при хендовър (HFR - Handover Failure Rate), брой хендоври на повикване (HPC - Handovers Per Call; пинг понг предаване), степен на неуспешни радио връзки (RLFR - Radio Link Failure Ratio) ще дадат оценка за ефективността на предприетите действия в определените състояния.

Прехвърлянето на трафика при процедурата за деактивиране на дадена клетка може да стане чрез намаляване на главния сигнал за радио покритие. В този случай, изискванията за хендовър ще бъдат изпълнени и процедурата за прехвърляне ще бъде изпълнена. Другият начин, при който може да се изпълни прехвърлянето на натовареността е чрез взимането на

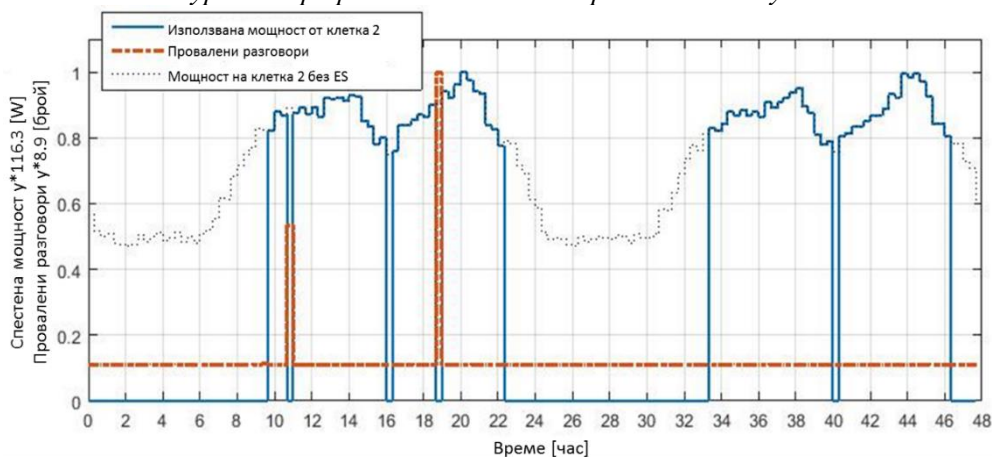
решение от страна на eNB на базата на някакви изисквания свързани със спестяване на енергия. При това решение прехвърлянето ще се извърши преждевременно преди да се изпълнят изискванията за хендовър. Когато една клетка бива деактивирана, тя изпраща съобщение към останалите клетки, че процедурата за изключване е в ход. Това се прави за да се предотврати бъдещи хендоври към нея.

За разработването на алгоритъма за спестяване на енергия се използва когнитивния процес представен в глава 3.

На Фигура 4.9 може да се види как трафикът на клетка 1 се променя по време на обучение и след това. Съответно на Фигура 4.10 може да се наблюдава как се променя консумираната мощност на клетка 2 и KPI (неуспешни опити за връзка), който играе като ограничител на действието. Вижда се ясна разлика между периода на обучение и периода на експлоатация. В периода на обучение има две нарушения на ограничителя в повече в сравнение с периода на експлоатация. Моментите, в които агентът нарушава ограничителите маркира състоянието за неподходящо за взетото действие. В периода на експлоатация, тези състояния са вече маркирани и агентът не предприема действието да изключи клетка 2.



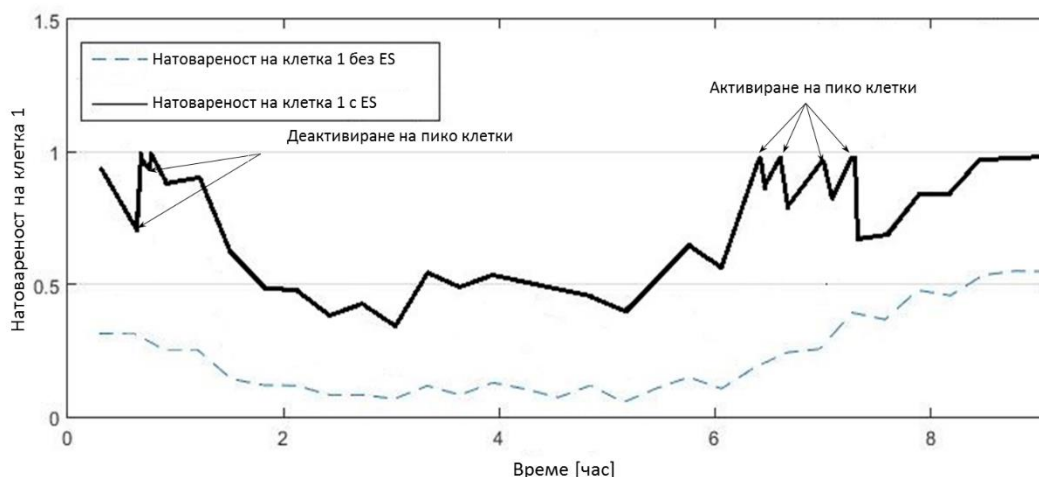
Фигура 4.9 Трафик на клетка 1 по време и след обучение



Фигура 4.10 Промяна на KPI и консумираната мощност на клетка 2

Фигура 4.11 илюстрира промяната на трафика на клетка 1, когато агентът трябва да управлява няколко клетки. Когато натовареността на клетка 1 е ниска, агентът взима

решение да изключи няколко клетки. Това се постига чрез изчисляване на поетапно потенциалното бъдещо състояние на клетка 1, ако агентът изключи дадени клетки.

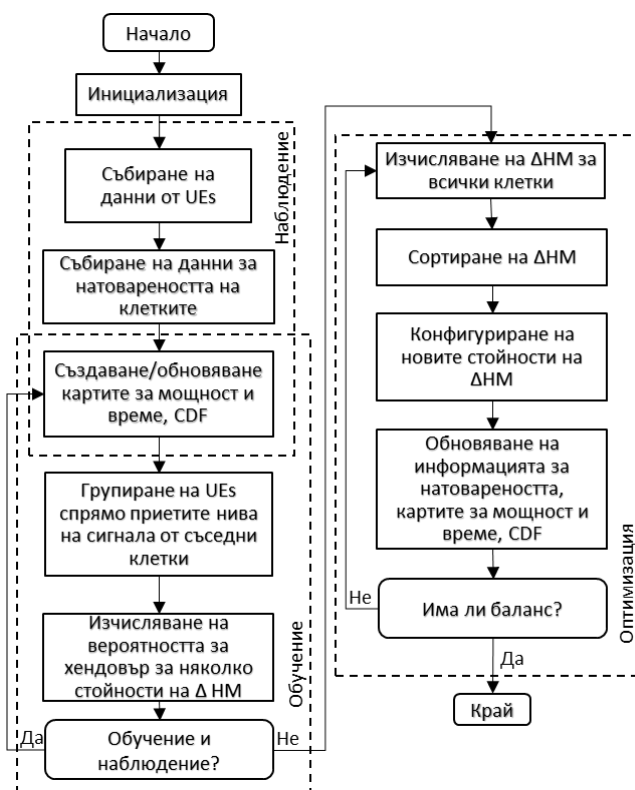


Фигура 4.11 Сценарий „спестяване на енергия“ с много клетки

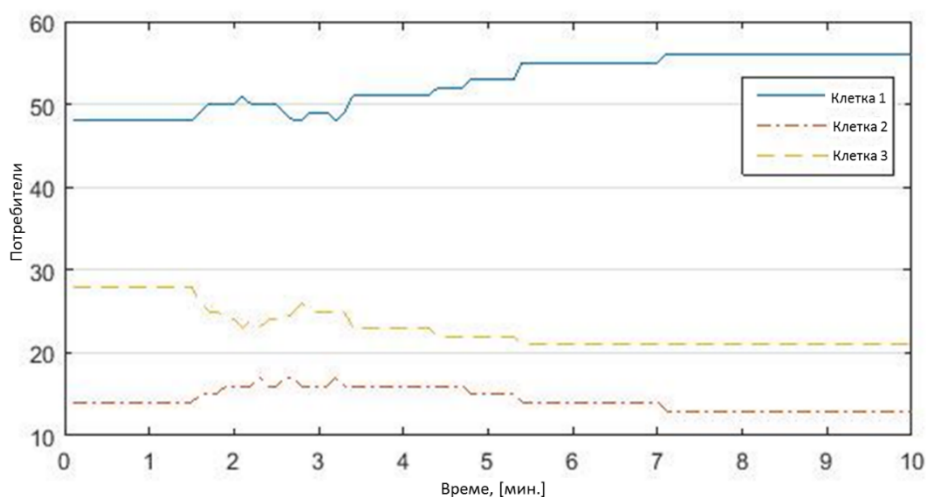
4.2 Автономна функция за балансиране на трафика

Балансиране на трафика се отнася за процес, при който се балансира натоварването между мрежови елементи, които имат еднаква роля в комуникационната мрежа. Подобни мрежови елементи могат да бъдат пакетните шлюзове или базовите станции за радио достъп. В резултат на използваните алгоритми в реално време в различните възли може да се предостави баланс на потребителския трафик и системното натоварване за всеки мрежов елемент по зададени политики. Освен това, в дългосрочен план изменението на трафика на всеки възел може да се следи, така че трафикът може да бъде контролиран априори от централизирана система в мрежата. Например, това може да е желателна функция за места, където редовно се срещат периодични или планирани събития, които водят до голяма концентрация на хора (например спортни събития, конференции, паркове и т.н.).

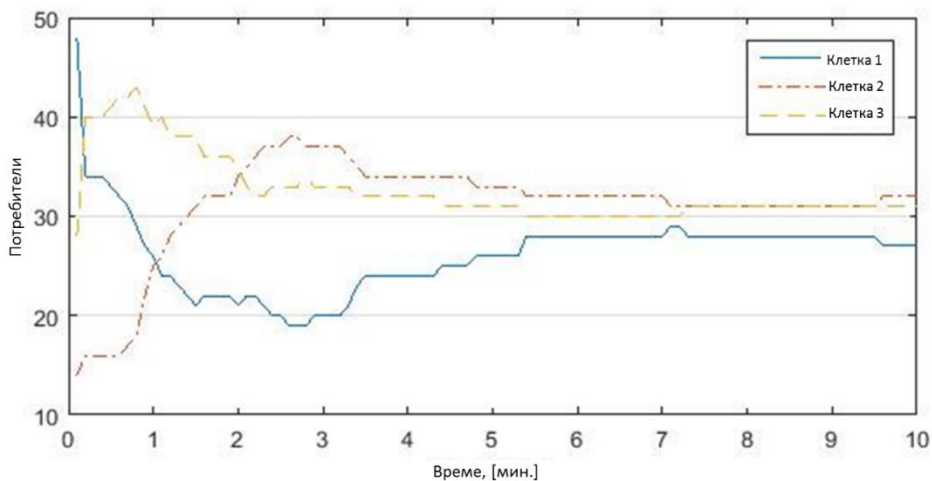
На Фигура 4.13 е показана блоковата схема за ALB. Фигура 4.15 и Фигура 4.16 илюстрира изменението на трафика на трите клетки преди и след ALB. По време на обучението клетките събират информация относно приетата мощност, разпределението на продължителността за приемане на дадена мощност и вероятността да се направи успешен хендвър между тях. При ALB се наблюдава превключване на ролите от донор към реципиент и обратно. Това се контролира от промяна на хистерезиса ΔHM като прави натоварените клетки донори, а по-слабо натоварените реципиенти. На Фигура 4.16 клетка 1, която е най-натоварена играе ролята на донор за останалите клетки. Когато става по-малко натоварена от останалите две клетки, играе ролята на реципиент.



Фигура 4.13 Блокова схема за ALB



Фигура 4.15 Изменение на трафика във времето преди ALB



Фигура 4.16 Изменение на трафика по време на ALB

4.3 Баланс между енергийна ефективност и пропускателна способност

На Фигура 4.20 алгоритъмът за дадена PBS започва с начална конфигурация и енергийно потребление. След което в блок (3) може да се избере нов енергиен режим за PBS. При деактивиране на PBS, натоварването се прехвърля към съседните клетки, като се изчислява компенсиращата мощност (блок 5). След което в блок (6) се изчисляват коефициентите ESE и TME, които ще послужат за решение дали енергийния режим на PBS е приемлив, като се приемат изискванията за QoS от блок (10). След взимане на решение алгоритъмът започва отново от блок (1). Когато PBS премине в „нормален“ или „разширен“ енергиен режим нови UEs се свързват към PBS (блок 7). Когато вече има обслужвани устройства към PBS се изчислява пропускателна способност на клетката и интерференцията, която PBS е допринесла при смяната на енергийния си режим. След което се изчислява ESE и TME нужни за блок (9). Блок (11) служи за база данни, която пази информация за минали стойности на SINR, смущения и шум.



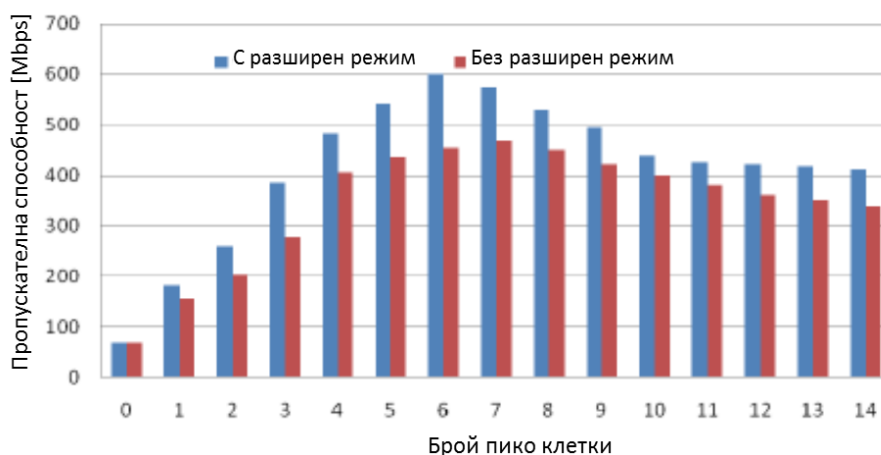
Фигура 4.20 Блокова схема за максимизиране на пропускателната способност с енергийна ефективност

При преминаването на PBS от нормален режим към разширен или от изключен режим към един от двата останали режима се очаква да се получи междуклетъчна интерференция. За да се отчете получената интерференция, ще се използва следният коефициент за пропускателна ефективност (TME – Throughput Maximization Efficiency) при максимизиране на капацитета на HetNet мрежа:

$$TME = \frac{TH_{\text{след}} + TX_{PBS}}{TH_{\text{преди}}}, \quad (4.19)$$

където $TH_{\text{след}}$ е общата пропускателна способност на съседните клетки на пико клетката след нейното преминаване в нов енергиен режим, TX_{PBS} е пропускателната способност на PBS в новия режим, $TH_{\text{преди}}$ е пропускателната способност на съседните клетки преди промяната на енергийния режим на PBS. За ефективно използване на честотните ресурси е необходимо стойността на TME да бъде по-голяма от 1.7. На Фигура 4.21 може да се види максималната пропускателна способност на мрежата при различен брой PBS и с различен режим. Най-

добрата пропускателна способност при разширен режим се получава при 6 броя PBS, а при нормален режим с една PBS в повече.

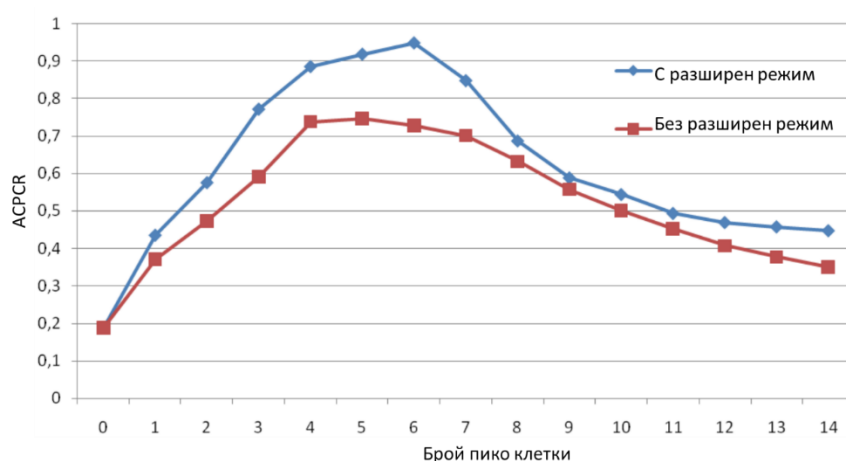


Фигура 4.21 Максимална пропускателност на мрежата с и без разширен режим на PBS

За да се оцени максималната пропускателна способност спрямо използваната енергия е нужно да се изчисли коефициентът на ефективност на пропускателна способност на мрежата отнесена към използваната мощност (ACPCR - achieved capacity over power consumption ratio):

$$ACPCR = \frac{TH_{Max}}{P}, \quad (4.20)$$

където TH_{Max} е максималната пропускателна способност на мрежата, P е използваната мощност за достигане на този капацитет. На Фигура 4.22 е илюстрирано отношението ACPCR. Когато се сравни с Фигура 4.21 се забелязва, че енергийната ефективност с PBS без



Фигура 4.22 Отношение на максималната пропускателна способност към енергийното потребление

4.3 Приноси към четвърта глава

1. Разработен е самооптимизиционен алгоритъм за спестяване на енергия в мобилна радио мрежа. Описанието на алгоритъма е даден в точка 4.1.3;
2. Разработен е самооптимизационен алгоритъм за балансиране на трафика в мобилна радио мрежа. Блокова схема е дадена на Фигура 4.13;

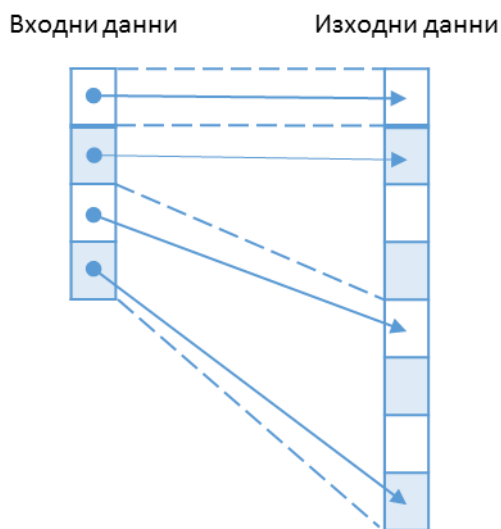
3. Предложен е подход за оптимизиране на енергийната ефективност като се търси увеличение на максималната пропускателна мощност на мрежата.

ГЛАВА 5. Алгоритми за самоорганизация и адаптиране на комуникационния канал

5.1 Алгоритъм за самоконфигурация в мобилните мрежи

Обикновено за конфигурирането на определено комуникационно устройство се използва предварително зададен скрипт със стойности по подразбиране, който е създаден от човек. Преди да бъде зареден в мрежовото устройство е нужно да се променят онези параметри, които са уникални и индивидуални за всяко устройство и зависещи от планираните данни и цели. По този начин до някаква степен процесът за конфигуриране е автоматизиран, но въпреки това пак е необходима човешка намеса и знания за допълнителната до настройка. За да се намери връзка между входните параметри (данните за планиране) и изходните параметри (конфигурационния файл) се използва алгоритъм за намиране на асоциации в често повтарящи се обекти/артикули.

На Фигура 5.2 може да се види откритите зависимости. Някои параметри от входните параметри се нанасят директно върху изходните. Съществуват параметри, които активират няколко изходни параметъра. Стойността на входният параметър се пренася в един от изходните параметри, а останалите параметри имат подразбиращи се стойности.

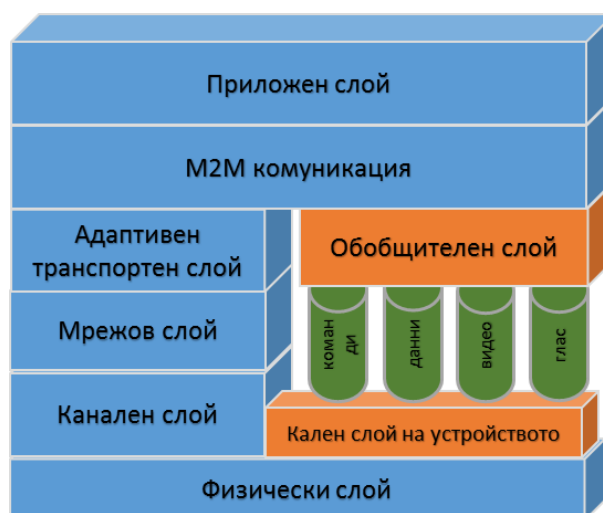


Фигура 5.2 Открита взаимовръзка между входни и изходни данни

5.1 Адаптиране на комуникационния канал

Поради факта, че съществуват различни транспортни протоколи и технологии за телемедицина е предложена следната комуникационна рамка със следните функции:

- Осигуряване на абстрактност и уеднаквяване на предадените данни от различни устройства за телемедицина;
- Създаване на различни поточни тунели за данни с различни изисквания към QoS;
- Предоставяне на M2M комуникация между различни устройства за телемедицина;
- Общ и мащабируем приложен софтуер за всички използвани устройства;
- Адаптационни свойства на транспортния слой за постигане на QoS.



Фигура 5.3 Рамка за обобщение на данните и адаптиране на транспортния слой

5.2 Приноси към пета глава

1. Предложен е алгоритъм за самоконфигурация на базови станции. Представена е концепция за адаптиране на комуникационния канал в телемедицината.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Въз основа на детайлен литературен обзор е направен анализ на съществуващите когнитивни рамки за комуникационни системи, както и на приложението на различни техники използвани за постигане на автономни функции. Разгледа ни са различните проблеми свързани с постигането на когнитивни способности в комуникационната мрежа.
2. Разработени са алгоритми за разпределение на радио ресурсите в посока надолу:
 - 1.1 Алгоритъм за некоординирано разпределение на радио ресурси в посока надолу в мобилните радио мрежи, използвайки машинно обучение и информацията свързана с географското местоположение на потребителите. Концепцията на алгоритъма е показана на Фигура 2.4. Блоковата схема е показана на Фигура 2.5;
 - 1.2 Алгоритъм за полукоординирано разпределение на радио ресурсите в посока надолу в мобилните радио мрежи. По този начин се подобрява пропускателната способност на пико клетките и пико потребителите. Блоковата схема е показана на Фигура 2.6.
3. Предложен е игрови подход за управление на мощността в посока нагоре на основата на секторизиране. Чрез този подход се постига динамично контролиране на максималната стойност на смущенията към всяка клетка. Резултатите са илюстрирани нагледно на Фигура 2.25.
4. Предложена е концептуална когнитивна архитектурна рамка за самоорганизация в комуникационните мрежи. Рамката е показана на Фигура 3.5. Предложеният когнитивен поток на базата на машинно обучение е показан на Фигура 3.3;
5. Предложен е подход за управление на мощността чрез оценка и контрол на риска.
6. Разработен е самооптимизиционен алгоритъм за спестяване на енергия в мобилна радио мрежа. Описанието на алгоритъма е даден в точка 4.1.3;

7. Разработен е самооптимизационен алгоритъм за балансиране на трафика в мобилна радио мрежа. Блокова схема е дадена на Фигура 4.13;
8. Предложен е подход за оптимизиране на енергийната ефективност като се търси увеличение на максималната пропускателна мощност на мрежата.
9. Предложен е алгоритъм за самоконфигурация на базови станции. Представена е концепция за адаптиране на комуникационния канал в телемедицината.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

- [A1] P. Semov, „Development of cognitive networks“, *Journal „IN-SILICO INTELLECT“*, 2017, приета за печат.
- [A2] Semov P., A. Mihovska, R. Prasad, V. Poulkov, "Use of positioning information for performance enhancement of uncoordinated heterogeneous network deployment", in *Proceedings of International Conference on Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems (VITAE)*, Atlantic City, NJ, Jun 24-27 2013, pp. 1-8, ISBN: 978-1-4799-0237-8.
- [A3] Semov P., V. Poulkov, A. Mihovska, R. Prasad, "Increasing throughput and fairness for users in heterogeneous semi coordinated deployments", in *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*, Istanbul, Turkey, Apr 06-09 2014, pp. 40-45, ISBN: 978-1-4799-3086-9.
- [A4] Vladimir Poulkov, Plamen Semov, Pavlina Koleva, "LTE uplink power control based on cell sectoring", *TELECOM 2011*, 13-14 October, NSTC, Sofia, BULGARIA
- [A5] Semov P., V. Poulkov, A. Mihovska, R. Prasad, "Self-Resource Allocation and Scheduling Challenges for Heterogeneous Networks Deployment", *Springer, Wireless Personal Communications*, vol. 87, no. 3, pp. 759-777, 2016, DOI: 10.1007/s11277-015-2640-7.
- [A6] Plamen Semov, Hussein Al-Shatri, Krasimir Tonchev, Vladimir Poulkov and Anja Klein, "Implementation of Machine Learning for Autonomic Capabilities in Self-Organizing Heterogeneous Networks", *Wireless Personal Communications*, Springer journal, January 2017, Volume 92, Issue 1, pp 149–168, DOI: 10.1007/s11277-016-3843-2.
- [A7] Koleva P., P. Semov, O. Asenov, V. Poulkov, "Risk assessment based LTE HetNet uplink power and interference control", in *Proceedings of International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Prague, Czech Republic, Jul 09-11 2015, pp. 210-214, ISBN: 978-1-4799-8497-8.
- [A8] Semov P., P. Koleva, K. Tonchev, A. Mihovska, V. Poulkov, "Autonomous learning model for achieving multi cell load balancing capabilities in HetNet", in *Proceedings of IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, Varna, Bulgaria, Jun 06-09 2016.
- [A9] Mihaylov M., A. Mihovska, R. Prasad, P. Semov, V. Poulkov, "Energy efficiency vs. throughput trade-off in an LTE-A scenario", in *Proceedings of International Conference on Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems (VITAE)*, Aalborg, Denmark, May 11-14 2014, pp. 1-5, ISBN: 978-87-93102-88-0.
- [A10] Plamen Semov, Nikolay Dandanov, Georgi Balabanov, Krasimir Tonchev and Vladimir Poulkov, "Communication Framework for Tele-rehabilitation Systems with QoS Guarantee", *IEEE GLOBAL WIRELESS SUMMIT-2015: WVITAE Special Session on "Communication, Navigation, Sensing and Services (CONASENSE)"*, Hyderabad, India, December 2015.

Implementation of machine learning and game theory for creating architecture framework for selforganization in cognitive radio networks

Plamen Trifonov Semov, M. Sc.

Abstract of Ph.D. Thesis

The subject of the current PhD Thesis is related to cognitive networks and the implementation of autonomic functions in communication network by using machine learning and game theory. In this thesis, we illustrate the implementation of a novel model for the introduction of autonomic capabilities in selforganizing networks. The idea is based on simplification of a complex task by splitting it into smaller ones that could be much more easily solved with machine learning techniques through the approaches of abstraction and modularity and adaptation via learning from the preprocessed data generated from the network. Based on this a scheme that is technology and vendor independent and reusable for other common optimization tasks is achieved. The model is tested in a simulation scenario of a heterogeneous mobile network to solve an energy saving problem and cell load balancing.

In this thesis a novel algorithm for dynamic physical resource allocation based on the use of positioning information during carrier aggregation (CA) in a semi-and uncoordinated deployment of heterogeneous networks (HetNet) is proposed. The algorithm uses the known Q-learning method enhanced with information about the locations of the mobile users and neighboring cells to solve the problem of dynamic physical resource assignment in uncoordinated scenario while accounting for improved allocation and scheduling.

For LTE uplink power control a new algorithm is proposed based on the division of the cell into sectors. The major goal of such an approach is maximum utilization of resources, which in this case is the cell throughput. The total emitted power from all user equipments located in a given sector of the cell is controlled in such a way, as to achieve a maximum of the total throughput of the cell. The advantages of such an approach are that the total uplink power from the different sectors is set under a limit, defined by the maximum admissible inter-cell interference that could be generated by the user equipments in the cell.

An uplink power and interference control mechanism is proposed based on a generalized (standard) risk assessment and management procedure which can be applied in heterogeneous networks. Based on this and the application of a modified open loop power control method we propose a proactive algorithm for uplink power and interference control and illustrate it with a simulation in a simplified HetNet macro – pico cell scenario.

This PhD thesis proposes a novel approach to optimizing network performance by introducing an estimation of the energy consumption associated with the allocation of physical resources to users, as well as their offload from one serving base station to another (macro or pico). An algorithm for minimizing the energy consumption while optimizing resource allocation to pico-cell users in a wireless heterogeneous scenario is proposed and evaluated. The adopted model uses the information about the distance between the cells, their load and the quality of service (QoS) requirements of the mobile users together with an estimate of the associated energy saving.

The thesis is a fundament for the development of innovative algorithms, which could find a practical implementation for the goals of achieving autonomic capabilities in the communication networks.