



УВЕЛИЧАВАНЕ НА ПРОПУСКАТЕЛНАТА СПОСОБНОСТ В СЪВРЕМЕННИТЕ БЕЗЖИЧНИ МРЕЖИ

Георги Димитров
g.dimitrov@nvna.eu

*ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“, гр. Варна, ул. “Васил Друмев“ 73,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *Повсеместна свързаност, MIMO, GSM CDMA, Wi-Fi, LTE, 5G, 802.11, подобряване на спектрална ефективност, пропускателна способност*

Резюме. *Повсеместната свързаност с много входове и много изходи (MIMO) представлява една от най-обещаващите технологии за следващите поколения безжични комуникационни мрежи, защото притежава потенциала да осигури много добра спектрална и енергийна ефективност. Съвременните технологии промениха коренно начина за комуникация. Времето, когато телефоните, компютрите и интернет връзките трябваше да бъдат по кабел и използвани само от предварително зададени локации, отдавна е преминало. Тези комуникационни услуги в днешно време са безжични от почти всяко кътче на Земята, благодарение на разгръщането на клетъчните мрежи - GSM, UMTS, LTE, локалните мрежи WiFi с различните разновидности на стандарта 802.11, а така също и сателитните комуникации. Публикуваният материал разглежда въпроса, свързан с увеличаване на пропускателната способност, който представлява параметъра за измерване на производителността на съвременните и бъдещите мрежи. Уплътняването на потребителите и употребата на допълнителна честотна лента води до намаляване на мобилността. Ако честотният спектър се преизползва, в резултат може да се получат подобрения на спектралната ефективност на мрежата. Така всъщност, следва да се търсят нови начини за модулация и мултиплексиране. Радиопредаването в клетъчните мрежи като цяло се влияе от смущения, свързани с едновременно излъчване в същите или в други клетки. Когато смущаващият сигнал е много силен, тогава потенциално той може да бъде декодиран и така да се извади намесата от получения сигнал, преди извеждането на желаната информация. Това е концептуално просто, но трудно за изпълнение на практика в клетъчните мрежи, където смущаващите сигнали се променят с течение на времето и клетките работят независимо.*

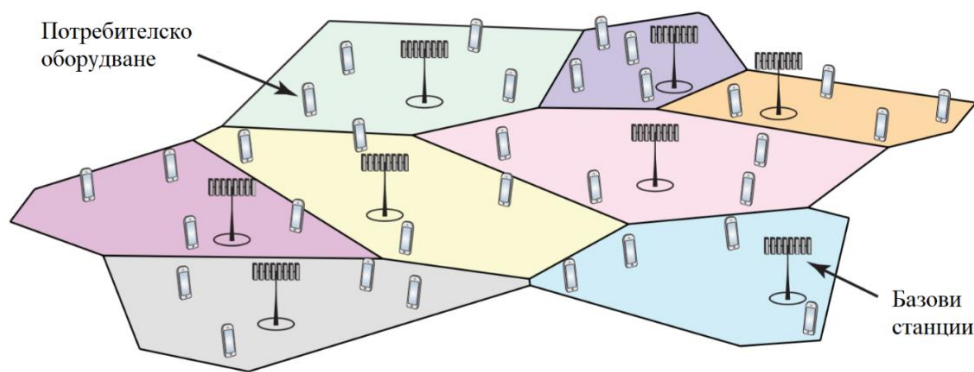
ВЪВЕДЕНИЕ

Безжичната свързаност се превърна в съществена част от обществото - също толкова жизненоважна като електричеството - и като такава, самата технология стимулира нови и нови приложения и услуги. Вече станяхме свидетели на революцията в медийните приложения - т.нар „стриймिंग“, където музика и видео се доставят при поискване през интернет. Успешни са първите стъпки към изцяло мрежово

ориентирано общество, използващо подсилена или разширена реалност със специфични софтуерни приложения, интернет свързани домове и автомобили, както и комуникации между машини и машини. Ако погледнем към следващите 15 години в бъдещето, ще намерим нови иновативни безжични услуги, които днес дори не можем да предвидим. Количеството на безжичните гласови комуникации и предаването на данни нараства с експоненциални темпове в продължение на много десетилетия. Тази тенденция е известна като "Законът на Купър". Изследователят Мартин Купър [1] и създател на първият мобилен телефон, забелязва през 90-те години как броят на телефонните разговори и предаването на данни се удвоява на всеки две години и половина, откакто съществува първата безжична мрежа на Гулиелмо Маркони през 1895 г. Това съответства на 32% годишен темп на растеж. Докладът за мобилност на Ericsson прогнозира сложен годишен темп на растеж от 42% в мобилния трафик на данни за периода от 2016 г. до 2022 г. [2], което е дори по-стремително развитие от "Закона на Купър". Търсенето на непрекъсната безжична свързаност определено ще продължи да се увеличава в обозримо бъдеще. Важен въпрос е как да се развият настоящите безжични комуникационни технологии, за да се отговори на непрекъснато нарастващото търсене, като по този начин се избягват ограниченията в трафика. Също толкова важен въпрос е как да се задоволят нарастващите очаквания и за качеството на услугата. Клиентите ще очакват безжичните услуги да работят еднакво добре навсякъде и по всяко време, точно както очакват електрическата мрежа да бъде здрава и постоянно на разположение.

АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

За да се отговори на експоненциалния растеж на трафика, скоростта и едновременната повсеместна свързаност, научно-изследователската работа непрекъснато трябва да търси всевъзможни варианти за революционни безжични мрежови технологии. Безжичната комуникация е радио комуникация, което означава, че електромагнитните (ЕМ) вълни са проектирани да пренасят информация от предавател до един или няколко приемника. Тъй като ЕМ вълни се разпространяват във всички възможни посоки от предавателя, енергията на сигнала се разпръсква и по-малко енергия достига желанния приемник, тъй като разстоянието се увеличава. За да се доставят безжични услуги с достатъчно висока енергия на сигнала навсякъде в зоните на покритие, изследователите от Бел Лабс постулират още през 1947 г., че е необходима клетъчна мрежова топология [3]. Според тази идея, зоната на покритие е разделена на клетки, които работят поотделно, използвайки фиксирани базови станции. Това представлява част от мрежовото оборудване, което улеснява безжична комуникация между устройствата и мрежата. Клетъчната концепция е доразвита и анализирана през следващите десетилетия [4, 5] като по-късно се внедрява в практиката.



Фиг.1 Топология на клетъчна мрежа

Илюстрация на клетъчна мрежа е показана на фиг.1 Базовите станции предлагат покритие на географски регион и осигуряват съответните услуги на мобилните потребители. „Клетката“ включва всички места, където съответната базова станция осигурява сигнал в права посока, с максимално ниво. Понастоящем съществуват няколко аспекта в областта на безжичните комуникации, които се прилагат. На първо място, това е стандартът, според препоръка 802.11 за безжична мрежова свързаност WiFi. След това може да се говори за стандарта 3GPP (Third generation partnership project), който е свързан с поколенията мобилни комуникации - GSM, UMTS, LTE, заедно и с конкурентния 3GPP2, осигуряващ IS-95/CDMA2000/EV-DO [6]. Някои стандарти от тези фамилии представляват еволюция на друг, с цел оптимизация на едни и същи услуги, докато други са проектирани за различни потребителски случаи. Така заедно те могат да формират т.нар. хетерогенни мрежи. Те могат да бъдат разгледани в два различни аспекта:

- **Ниво на покритие** - състоящо се от базови станции, разположени на открито и осигуряващи зоните на обслужване на мобилния оператор. Те се разделят между множеството мобилни потребители.
- **Ниво на точките за достъп** - състоящо се основно от базови станции в затворени помещения, които осигуряват висока пропускателна способност в малки зони, обслужващи няколко мобилни потребителя.

Терминът "хетерогенни" предполага тези две нива да съжителстват в една и съща област. В частност, точките за достъп представляват малки клетки, които работят в зоната на обслужване на базовите станции, както се вижда и от фигурата.

УВЕЛИЧАВАНЕ НА ПРОПУСКАТЕЛНАТА СПОСОБНОСТ

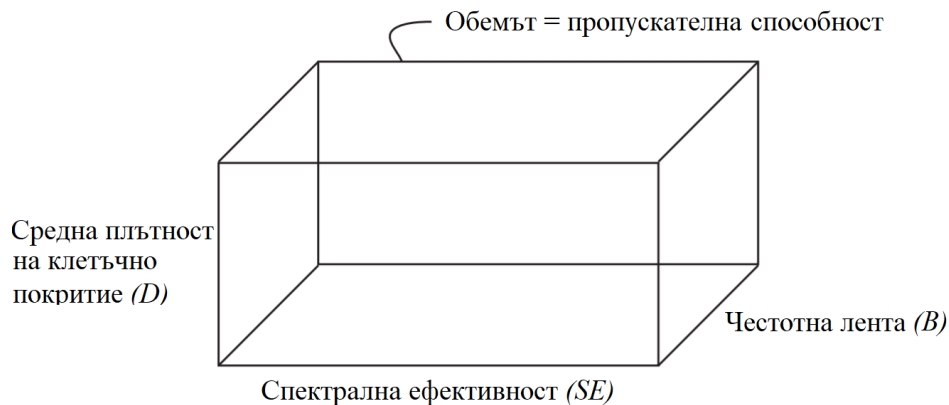
Съвременните безжични мрежи се наричат хетерогенни, тъй като нивото от "малки клетки" се разгръща с цел да се разтовари трафика на покритието на зоната. За да се подобри пропускателната способност на зоната на покритие, е важно да се увеличи спектралната ефективност. Уплътняването с потребители и в резултат на това - употребата на допълнителна честотна лента води до намаляване на мобилността и покритието. Двете нива, споменати по-горе могат да използват еднакъв честотен спектър, но на практика е прието да се ползва различен, за да се избегнат смущения в координирането. Например, покритието на базовите станции използва 4G LTE в обхвата на 2.1GHz, докато точките за достъп са WiFi и работят в обхвата от 5 GHz. Клетъчните мрежи първоначално са били предвидени за безжично предаване на глас, но доминиращите услуги понастоящем са свързани с предаването на данни.[2] Заявките

от акаунти за видео комуникации представляват по-голямата част от трафика в безжичните мрежи и са главният двигател който увеличава търсенето на трафик. Пропускателната способност на една зона на покритие така представлява подходящ параметър за измерване на производителността на съвременните и бъдещите мрежи. Измерва се в bit/s/km^2 и може да бъде представен с формулата:

$$(1) \quad A [\text{bit/s/km}^2] = B [\text{Hz}] \cdot D [\text{cells/km}^2] \cdot SE [\text{bit/s/Hz/cell}]$$

където A е пропускателната способност, B е широчината на честотната лента, D представлява плътността на клетката, а SE е спектралната ефективност на клетка. Спектралната ефективност представлява количеството от информация, което може да бъде прехвърлено за секунда през един Hz от честотната лента. Съществуват три основни компонента, които е необходимо да се увеличат, за да се получи по-добра пропускателна способност в бъдещите мобилни мрежи. Този принцип се отнася, както за слоя от базови станции, така и за слоя на точките за достъп. Когато се разглежда формулата, B , D и SE могат да се разглеждат като страните на обемна фигура. Налице е присъща зависимост между тези три компоненти(параметъра) в смисъла на това че изборът на честотен диапазон и плътността на клетката влияят на условията за разпространение на радиовълните. Например, каква е вероятността да е налице канал с пряка видимост (LoS) между предавателя и приемника, както и видимост между външните за клетката смутители и приемника. Или каква е средната стойност на загубите от разпространение в средата. Все пак, тези параметри могат да бъдат разглеждани независимо и като първа апроксимация може да се достигне следното прозрение: Съществуват три основни начина за подобряване на пропускателната способност при клетъчните мрежи.

- Заделя се по-широка честотна лента
- Уплътнява се мрежата с повече базови станции
- Подобрява се спектралната ефективност на клетката



Фиг.2.Пропускателната способност като зависимост от три параметъра

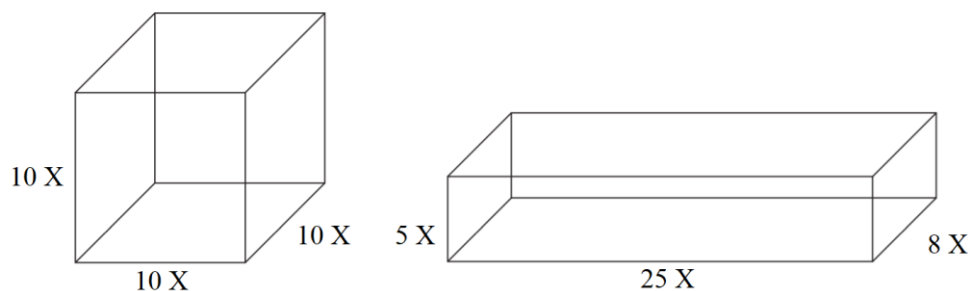
Пропускателната способност на областта може да се разглежда като обем на правоъгълен паралелепипед, където страните са клетъчната плътност, изградена от наличните базови станции, широчината на честотната лента и спектралната ефективност. Ако предположим че за задача има да се проектира нова мобилна мрежа, която да има по-добра пропускателна способност с фактор 1000 пъти. Това означава, че трябва да се осигурят 1000 пъти повече трансфер на данни.[7] Обърнете внимание, че такава мрежа трябва да може да се справи с увеличаване на три порядъка на безжичния трафик от данни, което се очаква да се случи през следващите 15-20 години, ако темпът

на растеж на потреблението данни е в границите 41%-59%. Според формулата, по какъв начин може да се отговори на това предизвикателство.

Едно решение е да се увеличи честотната лента 1000 пъти. Настоящите клетъчни мрежи колективно употребяват повече от 1GHz честотна лента в обхвата под 6GHz. Например, мобилните оператори в Швеция притежават лицензи за повече от 1GHz от спектъра, докато съответният брой в САЩ има лицензи за 650MHz.[8]. Допълнителен спектър от 500MHz е на разположение за WiFi мрежите [9]. Това би означавало че увеличаването 1000 пъти отговаря на използване на честотна лента 1ТHz. Това е практически невъзможно, тъй като честотният ресурс е глобален и се поделва за много различни услуги. Освен това предполага използването на много високи честоти отколкото преди, което води до ограничаване на обхвата и намаляване на надеждността. Все пак, ако се използва милиметровия обхват(честотите 30-300GHz) може да се намери приложение при къси дистанции. Тези милиметрови обхвати са примамливи по отношение на точките за достъп, но по-малко приложими при осигуряване на широки зони на покритие тъй като сигналите в тези обхвати се влияят и блокират от обекти и хора, което не може да осигури стабилно покритие.

Друго потенциално решение е да се уплътни клетъчното покритие, като се изградят повече от хиляда базови станции на квадратен километър. Дистанциите между базовите станции, понастоящем в градските региони са няколкостотин метра, като самите станции се изграждат на високи места, с цел избягване на засенчване от сгради и обекти. Това всъщност води до ограничения в броя на базовите станции, които ще осигуряват покритието. И е трудно да се увеличи броя, тъй като те трябва да бъдат близо до мобилните апарати, което води до рискове да се попадне в радиосянка и така води до намаляване на покритието. По-жизнеспособно решение е да се използват повече точки за достъп.

Преизползването на честотния спектър в зоната на покритие, като се включат честоти от милиметровия обхват при тези малки клетки, може да доведе до значителни подобрения по отношение на пропускателната способност. По-голямата плътност на клетките и по-голямата честотна лента исторически доминират еволюцията на слоя осигуряващ покритието със сигнал, което обяснява защо се получава точка на насищане, след която по-нататъшните подобрения стават все по-сложни и скъпи. Увеличаването на спектралната ефективност е от особена важност за базовите станции, които осигуряват покритие. При тях се оказва трудно използването на милиметров обхват и не е практично прилагането на мрежово уплътняване. Добра спектрална ефективност означава ефективно използване на честотната лента чрез нови начини за модулация и мултиплексиране. Принципната цел е да се получи правоъгълен паралелепипед, при който всяка страна показва мултиплицирано подобрение по отношение на плътност, честотна лента или спектър. Както се вижда от фигурите по-долу, съществуват много начини чрез които да се постигне хиляда пъти по-добра пропускателна способност. Един прагматичен подход представлява - на първо място да се изследва колко ще се подобри спектралната ефективност по посока 1000 пъти X целта и след това да се увеличават компонентите - честотна лента и плътност на покритието.



Фиг.3 Увеличаване на пропускателната способност 1000 пъти

На Фиг.3 са дадени примери за различни начини, чрез които да се постигне 1000 пъти подобрение на пропускателната способност в определен регион. Всяка стена на правоъгълния паралелепипед представлява клетъчната плътност, честотната лента и спектралната ефективност. Мултиплицирането на всеки един параметър води до подобряване на пропускателната способност.

ИЗВОДИ

Бъдещите изследвания следва да се фокусират върху покритието на мрежата, което ще се запази като областта с най-много предизвикателства в бъдеще, тъй като покритието на мрежата осигурява мобилността на услугите, като същевременно гарантира еднакво качество във всяка клетка. Всичко това трябва да се постигне без съществено уплътняване или използване на милиметровия честотен диапазон, тъй като неизбежно ще има разпокъсано покритие със сигнал. Главната цел на слоя с точките за достъп е да се разтовари слоя осигуряващ покритието на мрежата от голямото количество трафик генериран от слабо подвижните мобилни устройства. Тъй като, само близко-обхватните комуникационни услуги трябва да се поддържат, този слой може да бъде разширен с уплътняване на базовите станции и широка честотна лента в милиметровия диапазон.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cooper, M. 2010. “The Myth of Spectrum Scarcity”. Tech. rep. DYNA llc. url: <https://ecfsapi.fcc.gov/file/7020396128.pdf>
- [2] Ericsson. 2017. “Ericsson mobility report”. Tech. rep. url: <http://www.ericsson.com/mobility-report>
- [3] Ring, D. H. 1947. “Mobile Telephony - Wide Area Coverage”. Bell Laboratories Technical Memorandum
- [4] Schulte, H. J. and W. A. Cornell. 1960. “A high-capacity mobile radiotelephone system model using a coordinated small-zone approach”. IEEE Trans. Veh. Technol. 9(1): 49–53.
- [5] Frefkiel, R. H. 1970. “A high-capacity mobile radiotelephone system model using a coordinated small-zone approach”. IEEE Trans. Veh. Technol. 19(2): 173–177.
- [6] Ghosh, A., J. Zhang, J. G. Andrews, and R. Muhamed. 2010. Fundamentals of LTE. Prentice Hall.
- [7] Qualcomm. 2012. “Rising to meet the 1000x mobile data challenge”. Tech. rep. Qualcomm Incorporated.
- [8] Bazelon, C. and G. McHenry. 2015. “Mobile broadband spectrum: A vital resource for the U.S. economy”. Tech. rep. The Brattle Group
- [9] Boström, J. 2015. “Spectrum for mobile – A Swedish perspective for 2020 and beyond”. Tech. rep. Swedish Post and Telecom Authority (PTS). url: <http://wireless.kth.se/wp-content/uploads/2015/02/KTH-Frekvenser-f%5C%22%7Bo%7Dr-4Goch-5G.pdf>.

THROUGHPUT IMPROVEMENT IN MODERN WIRELESS NETWORKS

Georgi Dimitrov
g.dimitrov@nvna.eu

Nikola Vaptsarov Naval Academy73, Vasil Drumev str. Varna,
BULGARIA

Key words: *Massive interconnections, MIMO, GSM CDMA, Wi-Fi, LTE, 5G, 802.11, spectral efficiency throughput, coverage layer, access point layer*

Abstract: *The Massive multiple-input, multiple output technology will be one of the most promising technologies for the future mobile network generations. It will bring the potential to provide improvement in spectral efficiency as well as energy efficiency. Modern technologies changed dramatically the ways of communication. Time when the telephones, the computers and the internet connections should have been via cable and used from determined locations, is long gone. All communication services nowadays are wireless from almost everywhere on Earth, thanks to the rapid development of cellular networks – GSM, UMTS, LTE. Future research should focus on network coverage, which will remain the area of greatest challenge in the future, as network coverage ensures service mobility while ensuring the same quality in each cell. The published material addresses the option to increase the frequency bandwidth, which is the parameter for measuring the performance of current and future wireless networks. User density and the utilization of additional bandwidth leads to reduced mobility. If the frequency spectrum is over-utilized, improvements in the spectral efficiency of the network can result. Thus, in fact, new ways of modulation and multiple access techniques should be developed. Radio transmission in cellular networks is generally affected by the interference associated with simultaneous transmissions in the same or from other cells. When the interfering signal is strong enough, then potentially it can be decoded and thus the interference from the received signal eliminated, before obtaining the desired information. This is conceptually simple but difficult to implement in practice in wireless networks, where interference signals change over time and cells are not fully cooperating.*