

ПОДХОДИ И МЕХАНИЗМИ ЗА УВЕЛИЧАВАНЕ НА КАПАЦИТЕТ И ВЪТРЕШНО СГРАДНО РАДИОПОКРИТИЕ НА МОБИЛНИ КЛЕТЪЧНИ МРЕЖИ

Росен Пасарелски

APPROACHES AND MECHANISMS FOR INCREASING CAPACITY AND INTERNAL BUILDING RADIO COVERAGE OF MOBILE CELLULAR NETWORKS

Rosen Pasarelski

Резюме: Целта на доклада е да се проучат различни подходи и механизми за увеличаване на капацитета и вътрешното радиопокрытие на сградата на мобилните клетъчни мрежи. Представени са различни методи за радиопокрытие на закрито чрез сравняване и анализ на предложените решения. По повод преодоляване на ограничението на външните микроклетки се предлагат други диференцирани подходи за директно повишаване на вътрешния сграден сигнал. Подходът се състои в внедряване на антени и оборудване директно вътре в сградите. Тези вътрешни антени и радиотехниката се определят като разпределена антенна система. С развитието на мобилните клетъчни мрежи от четвъртото 4G и въвеждането на петото поколение 5G все повече започна да се разчита на нов оптимален и ефективен подход за подобряване на вътрешното радио покритие и капацитет в сгради и помещения на крайни потребители, представени като домашни базови станции или фемтоклетки.

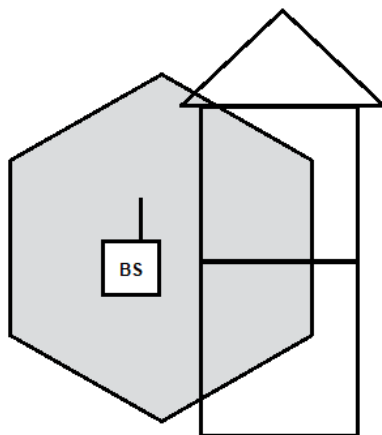
Ключови думи: Мобилна, Мрежа, Микро, Фемто, Клетка, Капацитет, Радио покритие, 4G, 5G.

Abstract: The aim of the report is to study different approaches and mechanisms for increasing the capacity and internal building radio coverage of mobile cellular networks. Various methods for indoor radio coverage are presented by comparing and analyzing the proposed solutions. On the occasion of overcoming the limitation of external microcells, other differentiated approaches are proposed for direct increase of the internal building signal. The approach consists of implementing antennas and equipment directly inside the buildings. These indoor antennas and radio engineering is defined as a distributed antenna system. With the development of mobile cellular networks of the fourth 4G and the introduction of the fifth 5G generation increasingly began to rely on a new optimal and effective approach to improving internal radio coverage and capacity in buildings and premises of end users presented as home base stations or femtocells.

Key words: Mobile, Network, Micro, Femto, Cell, Capacity, Radio coverage, 4G, 5G.

1. Въведение

Подобряването на вътрешното радиопокрытие, в сградите и помещенията на крайните потребители, при изграждане на мобилни клетъчни мрежи е от изключителна важност. Това е причината да се въвеждат различни механизми и технологични решения. В първите поколения мобилни клетъчни мрежи покритието на закрито бе осигурявано само от външни антени и базови станции, както е илюстрирано на фигура 1.



Фиг. 1 Вътрешно сградно радиопокрытие с външна антена и базова станция

При този подход единственият начин да се повиши покритието на закрито е да се усили мощността на радиопредавателя на базовата станция или да се добавят допълнителни по-малки по размер клетки. Това от своя страна води до създаването на повече малки външни клетки наречени микроклетки, осигуряващи повече капацитет на мрежата. Този подход е скъп за операторите, поради причината, че трябва да се инсталират по-голям брой сайтове, което подчертано увеличава разходите за техника и поддръжка. Приемането на този механизъм води и до нарастване на проблемите по отношение на смущенията, поради факта, че повече клетки се припокриват една с друга. Като общ извод може да се отбележи, че подобряването на вътрешното радиопокрытие чрез добавяне на допълнителни външни микроклетки не е оптимално, тъй като не оптимизира директно вътрешното покритие и не води до по-висока ефективност. По повод преодоляване на ограничението на външните микроклетки, се предлагат други диференцирани подходи за директно увеличаване на вътрешния сграден сигнал. Подходът се състои в имплементиране на антени и техника директно вътре в сградите. Тези вътрешни антени и радиотехника се определя като разпределена антенна система. Във вътрешността на сградата са разпределени различен тип антени с цел да се създаде хомогенно покритие. Тези антени са свързани към общ радио приемо/предавател – базова станция. Алтернативен на този подход се приема механизма на излъчващия кабел, чрез който могат да се покрият с радиосигнал дълги коридори и дълги сградни разстояния. Излъчващият кабел е възможност да се замести антената, с цел сигнала да се разпространява по него. Най-оптималният и ефективен подход за директно увеличаване на вътрешния сграден сигнал е инсталирането на малки домашни базови станции - фемтоклетки.

2. Подходи и механизми за увеличаване на капацитет и покритие

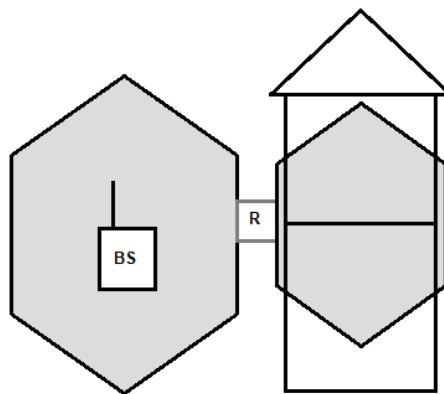
Бързата еволюция на мобилните клетъчни мрежи през универсални мобилни телекомуникационни системи от трета генерация до днешното пето 5G поколение води след себе си появата на все повече нови услуги за крайните потребители, изискващи по-голямо покритие. Пред операторите се изправя задачата да увеличат капацитета на мрежите си, с която могат да се справят като използват подходите:

- да инсталират малки външни базови станции – микроклетки, разположени в специфични области, в които е необходим допълнителен мрежов капацитет. Внедряването на микроклетки в градската среда води до разделяне на основно планираните клетки, което от своя страна е възможност за

оптимизиране на използвания честотен спектър и увеличаване на капацитета на мрежата.

- Да оптимизират директно вътрешно сградното покритие.

Необходимостта от директно оптимизиране на радиопокритието вътре в сградите на закрито води до нуждата от внедряване на специфични технологии и механизми. Сградното затихване, от стените в сградата, от асансьорите и други, е фактор, справянето с който е комплицирана задача. Въвежда се подход чрез имплементиране на радио компонент, който усилва външния сигнал и ретранслира вътре в сградата, с цел да се увеличи радиопокритието на закрито. На фигура 2 е представено имплементирането на ретранслатор, имащ задачата да усилва и препредава външния сигнал вътре в сградата.



Фиг. 2 Имплементиране на ретранслатор за усилване на радиосигнал вътре в сграда

При подходите за усилване на радиосигнала вътре в сграда се въвеждат два различни вида ретранслатори:

- Пасивни ретранслатори - усилват сигнала в определен честотен обхват, независимо от неговия характер.
- Активни ретранслатори - обработват сигнала преди повторно предаване.

Пасивните ретранслатори работят на определен честотен обхват и са съставени от три основни компонента – антена за приемане на сигнал с ниско ниво от близка външна клетка, усилвател и антена за ретранслиране на усиления сигнал вътре в сградата. Антената за приемане на сигнал с ниско ниво като изпълнение е насочена антена и ориентирана в посока на най-близката секторна антена на базова станция във външна клетка. Използването на насочени антени с високо усилване дава възможност за осигуряване на значително по-висок сигнал.

Усилвателят е задължителен елемент, поради факта, че ако приемем S за мощността на сигнала издващ от външната антена на близката базова станция, а P мощността на сигнала, излъчен от вътрешната антена, то усилването на мощността G се изчислява със следното уравнение:

$$G = 10 \times \log\left(\frac{P}{P_0}\right) [\text{dB}]$$

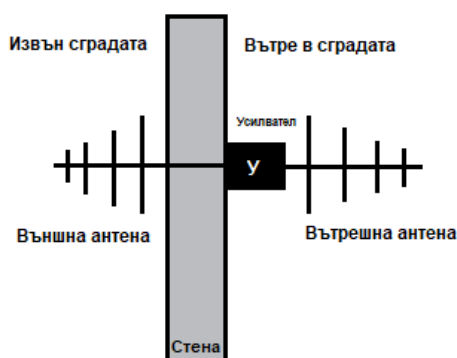
Обикновено стойността на усиляването може да варира от 30 до 50 dB.

Вътрешната антена излъчва повторно усиления сигнал вътре в сградата за постигане на по-добро радиопокрытие.

Активните ретранслатори имат способността да обработват сигнала - да декодират, да го преформатират, преди повторното му предаване. Целта на тази обработка на сигнала е да се премахне шума. Ретранслирането на сигнала може да се осъществи на различен честотен канал от този на приетия. Това са предимства на активните ретранслатори и в случай, че те са правилно инсталирани, могат да доведат до много по-висока производителност от пасивните ретранслатори, които пък от своя страна са в пъти по-евтини. Активните ретранслатори не само разширяват покритието, но и увеличават скоростта на пренос на данни, като намаляват нивото на грешките.

Вътрешните повторители се внедряват с основната задача да усилят външния сигнал и да го ретранслират вътре в сградата, като по този начин се постига нарастване на външното радиопокрытие вътре в сградата. Ретранслаторите могат да бъдат имплементирани и само на закрито, като по този начин се цели препредаване на сигнала от една част на сградата до друга, пресичане на препятствия като стени, асансьорни шахти и увеличаване на обхвата на мрежата. Тези редица ретранслатори се комбинират с фазови превключватели, като така се постига конструктивно комбиниране на сигналите в желаните зони чрез настройка на фазата. Подобен е случая на формиране на антенна решетка в резултат, на което диаграмата на излъчване се променя. Чрез правилно настройване на фазите на различните ретранслатори е възможно да се нагодят най-добре сигналите да пасват на зоните за радиопокрытие. Този подход е изключително особен, защото голям брой ретранслатори създават повече многопътни и по-некорелирани сигнали, което спомага за продукцията на голямо разнообразие и подобрява производителността на MIMO системите с множество входи и множество изходи, които характерно се имплементират в мобилните клетъчни мрежи от четвърто и пето поколение.

В система с ретранслатор с две антени е много важно тези антени да са достатъчно изолирани една от друга, за да се избегнат осцилиращи ефекти, представено на фигура 3. Ако приемем, че изолацията между антените не е достатъчна, то е възможно външната антена да приеме не само идващия от базовата станция сигнал отвън, но и част от вътрешния сигнал от вътрешната антена. Резултатният сигнал след това бива усилен, като по този се добавя шум към първоначалния сигнал, което значително влошава производителността на системата. За избягване на ефекта на осцилирането, е необходимо да се поддържа стойност на изолацията препоръчително минимум 15 dB. При инсталиране на вътрешни ретранслатори, е особено важно да се провери дали затихването между двете антени е достатъчно. Това затихване най-често се получава от разделителната стена или препятствието между антените. Съществено също така е да се изберат подходящи насочени антени, с цел избягване на обсега на припокриване. Увеличаване на разстоянието между антените също е фактор водещ до намаляване на смущенията. Съществуват ретранслатори оборудвани със системи за премахване на смущения, като при този подход интерполираните филтри се въвеждат като входни филтри за избор на честотна лента и изходен филтър за управление на маската на спектъра.



Фиг. 3 Ретранслатор с две антени изолирани една от друга

Основен проблем при ретранслаторите е, че шумът се усилва, което води до силно влошаване на производителността. Правилното усилване на сигнала не е проста задача, поради факта, че е нужно да има компромис между високо усилване, предлагащо на теория по-добро покритие, но с внасяне на повече шум и по-ниско усилване, редуциращо усилването на шума, но алтернативно и размера от покритата площ. Внедряват се ретранслатори с автоматичен контрол на усилването, което спомага повторителите да се адаптират автоматично и усилването да зависи от необходимия капацитет, като по този начин се постига задачата - размера на обслужваната зона да остане постоянен.

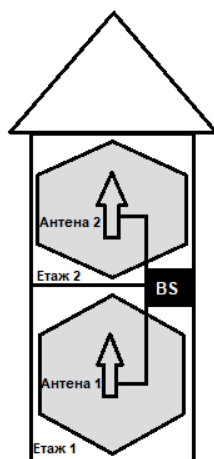
За целите на постигане на висок капацитет и радиопокрытие на мобилните клетъчни мрежи се въвеждат разпределените антенни системи. Задачата на тези антенни системи е чрез тях да се раздели предаваната мощност между отделните елементи на антената. Този тип антени могат да бъдат разположени на различни етажи на сграда, за да осигурят хомогенно радиопокрытие. Разпределените антенни системи подобряват значително ефективността на мрежата, както като се погледне от гледна точка на припокриването между зоните на покритие, така и зоните на радиопокрытие на антените да се напасват възможно най-добре на формата на сградата. Задачата е вътрешното планиране на радиопокрытието да се направи възможно най-хомогенно.

Както и ретранслаторите така и разпределените антенни системи могат да бъдат пасивни и активни. Пасивните разпределени антенни системи използват пасивни елементи, за да разделят мощността на сигнала към антените. Тези пасивни елементи могат да бъдат:

- Коаксиални кабели - използват се за разделяне на сигнала и формиране на връзката между различните елементи на разпределените антенни системи. Като техен основен недостатък може да се отчете, че имат големи загуби на сигнал в зависимост от разстоянието. За да се отговори на изискването, че е налична правилната излъчена мощност на всяка антена, е необходимо да се вземат предвид дължината на кабелите, за да се изчислят общите загуби, като например - 10-сантиметров коаксиален кабел на 1800MHz, загубите са около 0,1dB на метър.
- Атенюатори - елементи чиято цел е да отслабват сигнала със стойността на атенюатора. Използват се за свеждане на сигнала до по-ниско ниво.

- Филтри – тяхната функция е да филтрират сигнала на честотни ленти, като например триплексорния филтър разделя входящия сигнал на три изходящи, съответстващи на честотите 900MHz, 1800MHz и 2100MHz.
- Сплитери - този компонент разделя по равно входния сигнал на N изходни сигнала. Използва се като взаимовръзка за разделяне на сигнала между различните антени.
- Тапове – това са елементи подобни на сплитерите, които могат да разделят входния сигнал на два изходни сигнала в различни съотношения. Използват се например за регулиране на мощността за разпределяне на различни етажи от сградата.
- Съединители – елементи, които се използват за комбиниране на сигнали от различни входящи източници.

На фигура 4 е представена пасивна разпределена антенна система, при която сигнала се разпределя между антените с помощта на пасивни елементи.



Фиг. 4 Пасивна разпределена антенна система

За дадена излъчена мощност, N разпределена антенна система, в сравнение с единична, ще произведе нова максимизирана зона на покритие A_N , така че:

$$A_N = N^{1-\frac{\alpha}{2}} A$$

За дадена зона на покритие, излъчената мощност P_N в сравнение с тази на една антена P се намалява така, че:

$$P_N = N^{1-\frac{\alpha}{2}} P, \quad \text{при същите параметри намаляването на мощността е 9dB.}$$

В сравнение с пасивните системи, активните разпределени антенни системи използват различни активни елементи, както следва:

- главно устройство - устройство, което може да бъде свързано към базовата станция или ретранслатора. То разпределя сигнала по оптично влакно до различни допълнителни модули. Главното устройство е интелигентната част от разпределената антенна система, която контролира и регулира нивата всички предавателни сигнали чрез вътрешни усилватели и преобразуватели.
- Отдалечено устройство - свързва се и се инсталира близо до антената с цел минимизиране на загубите. Неговата задача е да преобразува кабелния сигнал в радиосигнал в права посока и противоположното в обратна посока.

- Кабел – възможно е използването, както на меден коаксиален кабел, така и на оптичен. В първият случай възникват проблеми със загубите, но активното отдалечено устройство ги компенсира в зависимост от разстоянието. При използването на оптични кабели проблеми със загуби не са често срещани.

С развитието на мобилните клетъчни мрежи от четвърто 4G и внедряването на петото 5G поколение все повече започна да се залага на нов подход за подобряване на вътрешното радиопокрытие и капацитет, в сградите и помещенията на крайните потребители представен като домашни базови станции или фемтоклетки. Сходно с вече известните WiFi точки за достъп по стандарт 802.11 се имплементират фемтоклетъчни точки за достъп. Фемтоклетката може да бъде дефинирана като по-малка по обхват пикоклетка с много по-маломощна базова станция, инсталирана директно в дома на крайния потребител на мобилната мрежа. Фемтоклетъчното устройство съчетава в себе си функциите на базовата станция на пикоклетката и базовия контролер. По този начин се избягва връзката към контролера на базови станции в мобилната клетъчна мрежа, а фемтоклетката се свързва директно към Интернет. На фигура 5 е представена свързаност на фемтоклетка. При фемтоклетките всички комуникации към мрежата на оператора минават през Интернет и не е необходима част от опорната инфраструктура като базови контролери и мобилна централа. Фемтоклетките са ограничени по обхват, капацитет и предавателна мощност – до 50 метра, между 2 и 10 потребителя и от 10 до 100 миливата. В рамките на мобилната клетъчна мрежа между фемтоклетките и останалите клетки от мрежата на оператора има наличен мек хендвър, което спомага потребителите да имат гладка комуникация с максимално покритие вътре в дома.

Фемтоклетъчните точки за достъп за разлика от пикоклетките са свързани към мрежата на оператора чрез широколентова оптична връзка. Фемтоклетката се разглежда като самостоятелна базова станция свързана към опорната мрежа посредством Интернет IP протокол. Фемтоклетката се конфигурира автономно и интерфейсът между нея и опорната мрежа е опростен с цел да се избегнат допълнителни действия от страна на оператора. Интерфейсите са стандартизирани и при използване на фемтоклетки от различен производител те имат съвместимост.

3. Заключение

Целта на доклада е изследване на различни подходи и механизми за увеличаване на капацитета и вътрешното сградно радиопокрытие на мобилни клетъчни мрежи. Представят се разнообразни способности за радиопокрытие на закрито като е направено сравнение и анализ на предложените решения. Обстойно е засегната необходимостта от директно оптимизиране на радиопокрытието вътре в сградите на закрито и внедряването на специфични технологии и механизми. Въвежда се подход чрез имплементиране на радио компонент, който усилва външния сигнал и ретранслира вътре в сградата, с цел да се увеличи радиопокрытието на закрито. За целите на постигане на висок капацитет и радиопокрытие на мобилните клетъчни мрежи се анализират разпределените антенни системи. Задачата на тези антенни системи е чрез тях да се раздели предаваната мощност между отделните елементи на антената с цел увеличаване на радиопокрытието. В края на доклада са засегнати и нови технологии имплементирани в съществуващите мобилните клетъчни мрежи от четвърто 4G и при внедряването на петото 5G поколение, за

подобряване на вътрешното радиопокрытие и капацитет в сградите и помещенията на крайните потребители, представени като домашни базови станции или фемтоклетки.

Литература и източници на информация:

1. AL-TURJMAN, Fadi. *Smart Things and Femtocells: From Hype to Reality*. Boca Raton: CRC Press, 2020. ISBN 978-036-757-135-1.
2. CHU, Xiaoli, Haijun ZHANG, Xiangming WEN. *4G Femtocells: Resource Allocation and Interference Management*. New York: Springer, 2013. ISBN 978-1-4614-9080-7.
3. SAEED, Rashid A., Bharat S. CHAUDHARI, Rania A. МОКХТАР, and Andrei GURTOV. *Femtocell Communications and Technologies: Business Opportunities and Deployment Challenges*. Hershey, Pa.: Information Science Reference, 2012. ISBN 978-146-660-092-8.
4. СИМЕОНОВА, Цветелина. Анализ на типове комуникационни услуги при 6G. *Годишник Телекомуникации 2021* [онлайн]. 2021, (8), с. 35-46 [прегледан 20 януари 2023]. eISSN 2534-854X. Достъпен на: <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii-broeve/godishnik-telekomunikacii-2021-g-tom-8> [СИМЕОНОВА, Tsvetelina. Analiz na tipove komunikatsionni uslugi pri 6G. *Godishnik Telekomunikatsii 2021* [onlayn]. 2021, (8), s. 35-46 [pregledan 20 yanuari 2023]. eISSN 2534-854X. Dostapen na: <https://telecommunications.nbu.bg/bg/godishnik-telekomunikacii-broeve/godishnik-telekomunikacii-2021-g-tom-8>]
5. ПАСАРЕЛСКИ, Росен и Тереза ПАСАРЕЛСКА. Изследване на фазите за мрежово планиране на мобилни клетъчни мрежи. *Индустриални технологии*. Бургас: Университет „Проф. д-р Асен Златаров“, 2022, (8), с. 122-129. ISSN 1314-9911. [PASARELSKI, Rosen i Tereza PASARELSKA. Izsledvane na fazite za mrezhovo planirane na mobilni kletachni mrezi. *Industrialni tehnologii*. Burgas: Universitet „Prof. d-r Asen Zlatarov“, 2022, (8), s. 122-129. ISSN 1314-9911.]
6. АЛЕКСАНДРОВ, Ангел и Тереза СТЕФАНОВА. Предизвикателства и проблеми пред 5G. *Сборник доклади от годишната университетска научна конференция на НБУ „Васил Левски“, Велико Търново, 27-28 май 2021*. В. Търново: Нац. воен. унив. „Васил Левски“, 2021, с. 2445-2454. ISSN 1314-1937. [ALEKSANDROV, Angel i Tereza STEFANOVA. Predizvikatelstva i problemi pred 5G. *Sbornik dokladi ot Godishna universitetska nauchna konferentsiya na NVU „Vasil Levski“, Veliko Tarnovo, 27-28 may 2021*. V. Tarnovo: Nats. voen. univ. „Vasil Levski“, 2021, s. 2445-2454. ISSN 1314-1937.]
7. ПАСАРЕЛСКИ, Росен, Васил КЪДРЕВ, и Теодора ПАСАРЕЛСКА. Петото поколение (5G) - мобилни системи и технологии за комуникации на бъдещето. *XXV научна конференция с международно участие „Телеком 2017“, София, 26-27.10.2017: Сборник доклади [CD]*. 2017, с. 1-10. ISSN 1314-2690. [PASARELSKI, Rosen, Vasil KADREV, i Teodora PASARELSKA. Petoto pokolenie (5G) - mobilni sistemi i tehnologii za komunikatsii na badeshteto. *XXV nauchna konferentsia s mezhdunarodno uchastie „Telekom 2017“, Sofia, 26-27.10.2017: Sbornik dokladi [CD]*. 2017, s. 1-10. ISSN 1314-2690.]
8. TS22.220. Technical specification. *3GPP* [online]. [viewed 20 January 2023]. Available from: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=626>
9. TR23.830. Technical specification. *3GPP* [online]. [viewed 20 January 2023]. Available from: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=910>
10. TR33.820. Technical specification. *3GPP* [online]. [viewed 20 January 2023]. Available from: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=910>

Информация за авторите:

доц. д-р Росен Пасарелски, НБУ департамент „Телекомуникации“, rpasarelski@nbu.bg

Contacts:

Assoc. Prof. Rosen Pasarelski, PhD, New Bulgarian University, Department Telecommunications, rpasarelski@nbu.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 10.06.2022

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2022