

СМУЩЕНИЯ МЕЖДУ LTE МОБИЛНИ ПОТРЕБИТЕЛСКИ УСТРОЙСТВА

Анушка Станчева, Васил Къдрев

LTE MOBILE EQUIPMENT MUTUAL INTERFERENCE

Anushka Stancheva, Vasil Kadrev

Резюме: В днешно време LTE мрежите стават все по-популярни. Потребностите на абонатите за по-голям и по-бърз трафик на данни непрекъснато се увеличават, което принуждава мобилните оператори да увеличават капацитета и покритието на мрежата, за да посрещнат това предизвикателство. Друго предизвикателство в тази динамично променяща се среда е ефективното използване на честотния спектър и осигуряване на задоволително качество на услугите, предоставяни на потребителите. Обаче увеличаването на капацитета и покритието на мрежите, базирано на използването на една и съща широчина на честотната лента в съседни клетки води до сериозни междуклетъчни смущения, особено в покрайнините на клетките.

Целта на настоящата статия е систематизиране на типовете смущения, които могат да възникнат между функциониращи в близост мобилни телефони/потребителски устройства, включително смущенията при директната комуникация между потребителски устройства (D2D комуникация), както и разглеждане и анализиране на типични проблемни ситуации.

Въз основа на субективен и обективен анализ на свободно достъпни литературни източници, в доклада са систематизирани методологиите за управление в реално време на смущенията от UEs в LTE мрежи, които често се използват от операторите и са предложени решения за потискане/смекчаване на този тип взаимни смущения.

Ключови думи: взаимни смущения, LTE, мобилни телефони, потребителски устройства, потискане на смущенията.

Abstract: Nowadays, LTE networks are becoming more and more popular. The subscribers' demands for even faster data traffic are constantly increasing and force mobile operators to increase the capacity and cell coverage of the network to meet this challenge. Another challenge in this dynamically changing environment is the efficient use of spectrum and the satisfactory quality of services provided to users. However, increasing the capacity and coverage of networks based on the use of the same bandwidth in neighboring cells leads to serious inter cell interference, especially at the cell boundaries.

The purpose of this article is to outline the types of interference that may arise between mobile phones/user equipment, including interference in direct communication between user devices (D2D communications), as well as examining and analyzing typical problem situations.

Based on a subjective and objective analysis of freely available literary sources, the report outlines the methodologies for real-time management of interference from UEs in LTE networks that are often used by operators and suggested solutions to suppress/mitigate this type of interference.

Keywords: interference mitigation, LTE, mobile phones, user equipment, mutual interference.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

В последно време мобилният трафик на данни се увеличава експоненциално поради появата на приложения, изискващи интензивно използване на данни, като онлайн игри, видео споделяне и т.н. Това кара телекомуникационната индустрия, както и изследователската общност да предлагат нови методологии, чрез които да се поддържат ефективно и ефикасно такива високи изисквания за скорост на пренос на данни в съществуващата безжична мрежа за достъп.

В посока на предаване към базовата станция излъчването от потребителското устройство (UE) може да бъде подложено на смущения от излъчванията в посока към

базовата станция на други потребителски устройства (UEs), комуникиращи със съседните базови станции или от други безжични радиочестотни (RF) предаватели. Тези смущения могат да влошат работните характеристики на системата, както в посока към базовата станция, така и в обратната посока – от базовата станция към потребителските устройства.

Тъй като търсенето на мобилен широколентов достъп продължава да се увеличава, вероятността за смущения и претоварване на мрежите нараства, вследствие на увеличаване на UEs, които имат достъп както до безжични далекосъобщителни мрежи с голям обхват, така и до локални безжични мрежи с малък обхват. За да се удовлетворят нарастващите изисквания за скорост на предаване на данни и ниска латентност, клетъчната технология UMTS е усъвършенствана и наречена Long Term Evolution (LTE). Проблемът с покритието в сгради обаче ще продължи да съществува поради голямо затихване на сигнала от външната макро базова станция по пътя на разпространение, вследствие преминаването през стени. Отговорът за решаване на този проблем е Femtocell технологията [2, 3]. В този случай могат да възникнат смущения между новосъздадената фемтоклетка и съществуващата макроклетка, тъй като двете клетки използват една и съща ширина на лентата, което води до междуклетъчни смущения, особено в покрайнините на клетките.

С развитието на технологиите, Консорциумът 3GPP предложи стандарт LTE-A, който представлява подобрена и разширена версия на LTE и дава възможност за поддържане на върхови стойности на скорост за предаване на данни от порядъка на Gbits/sec. За да се постигнат тези работни характеристики LTE-A технологията е специфицирана да интегрира бързо развиващи се съвременни технологии като интелигентни антенни технологии и агрегиране на носещия сигнал с цел осигуряване на висок капацитет на канала, директна комуникация между мобилни телефони/устройства (Device-to-Device (D2D) communication) и др. D2D комуникацията е технология за радиодостъп, която дава възможност на потребителите да комуникират директно по между си, когато са близко един до друг, без трафикът да преминава през мрежовата инфраструктура [1]. Обаче, при предоставяне на възможност за D2D комуникации в клетъчна мрежа, възникват проблемни ситуации с управлението на радио ресурсите, тъй като D2D връзките преизползват ресурсите на клетъчните потребители в обратна посока и могат да причинят вътрешноканални смущения на потребителското D2D (DUE) оборудване [4].

Имайки предвид важността на проблема със смущенията и необходимостта от предоставяне на качествени услуги на потребителите, в настоящия доклад, въз основа на субективен и обективен анализ на свободно достъпни литературни източници, са систематизирани типовете смущения, които могат да възникнат между функциониращи в близост мобилни телефони/потребителски устройства, разгледани са типични проблемни ситуации и начините за подтискане на този тип взаимни смущения.

II. ТИПОВЕ СМУЩЕНИЯ

Доказано е, че радиосмущенията са най-големият проблем в безжичните комуникации, защото:

- Радиоспектърът е ограничен ресурс
- Броят на потребителите непрекъснато се увеличава

В зависимост от същността им и източника на смущението те могат да бъдат класифицирани като [5, 6]:

- **По същност:** вътрешноканални смущения и смущения по съседен канал.

Когато два различни смущаващи се сигнали използват една и съща честота, възникват вътрешноканални смущения. Ако използват различни, но не достатъчно отделени честоти възникват смущения по съседен канал.

• **В зависимост от източника:** вътрешноклетъчни или междуклетъчни смущения

При вътрешноклетъчното смущение смущаващите се потребителски устройства/телефони (UEs) са в същата клетка. Излъчването на съседен канал в клетката води до смущения в рамките на тази клетката.

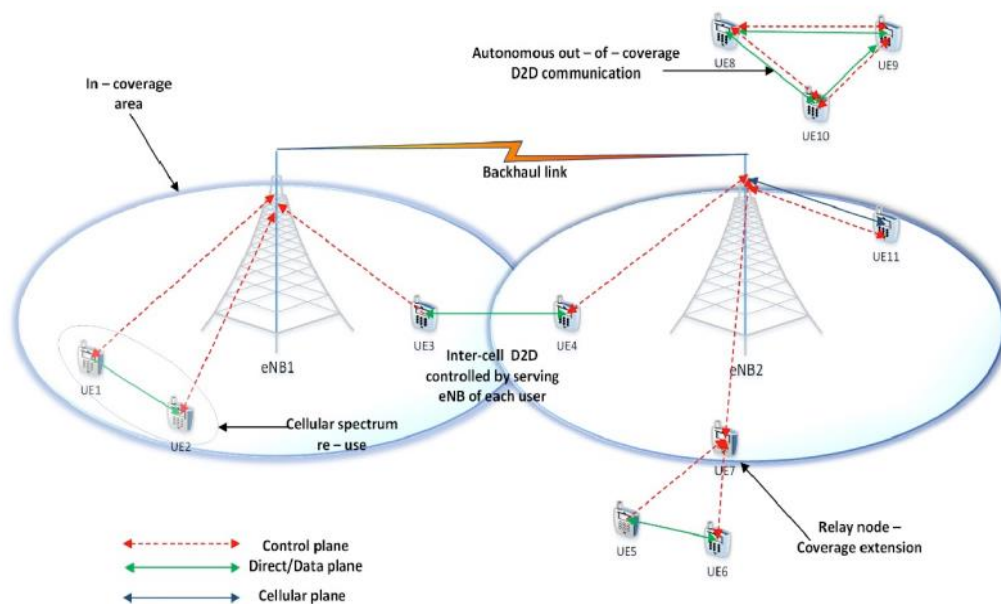
При междуклетъчни смущения смущаващият мобилен телефон е в съседната клетка. Смущенията се дължат на използването на същия честотен канал в съседни клетки. Този проблем е най-сериозен, когато потребителските телефони са в покрайнините на клетката, вследствие на припокриването на честоти в съседните клетки.

Смущения при D2D комуникации

Директната комуникация между потребителски устройства (D2D communication) в клетъчни мрежи се разглежда като перспективно решение, което се очаква да функционира или в зоната на покритие на съществуваща базова станция (eNB) и в същия честотен спектър на клетката (комуникация в лентата) или в отделен спектър (комуникация извън лентата), като трафикът не преминава през eNB.

При комуникация в лентата, D2D потребителите споделят лицензиран спектър заедно с потребителите в клетъчната LTE-A мрежа. При комуникация извън лентата, D2D устройствата използват нелицензирани честотни ленти в обхвата разпределен за промишлени, научни и медицински устройства (ISM обхват).

Въвеждането на D2D комуникации в клетъчните системи поставя нови технически проблеми, които трябва да бъдат решавани. Възникването на смущения между D2D възлите и потребителите в клетката е един от сериозните проблеми. При D2D комуникацията се използва излъчване във всички посоки (не насочено излъчване), което генерира нежелани смущения за потребителите в клетката и за други D2D потребители, използващи същия радио ресурс, което води до силно влошаване на работните характеристики [1, 4].



Фиг.1. Илюстрация на концепцията за клетъчна мрежа с възможност за D2D комуникации и сценарии за използване [3].

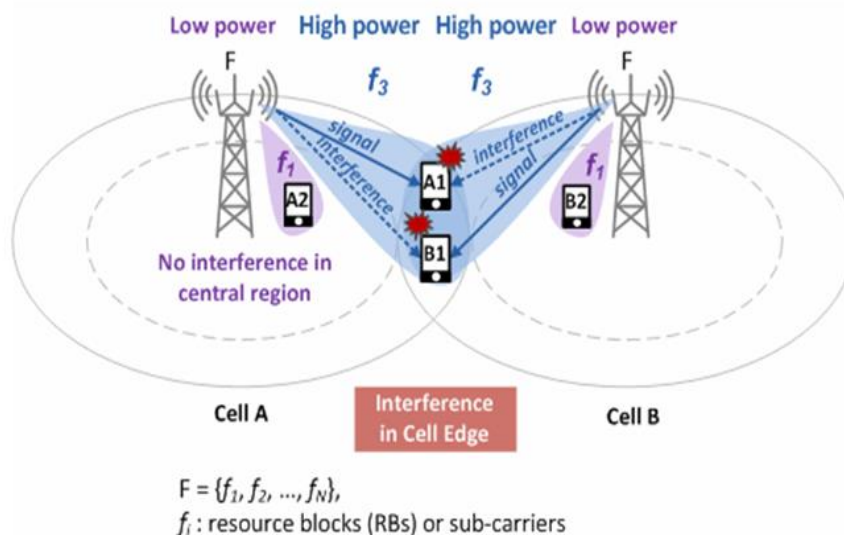
Конвенционалната стратегия за управление на мощността в тази хетерогенна мрежа не може да се справи с проблема със смущенията, тъй като D2D двойките функционират съвместно с потребителите на клетъчната мрежа, поради което възниква нова смущаваща ситуация, дължаща се на съвместното използване на спектъра.

Следователно, за да се защити клетъчната мрежа от D2D смущения, а така също за да се подобри надеждността на D2D комуникацията и на клетъчните мрежи е необходимо да се подтиснат смущенията в посока на предаване (UL), както тези от D2D комуникацията, така и тези от клетъчната мрежа, когато D2D двойките и потребителите в клетката споделят едни и същи честотни ресурси в посока UL. Това може да се постигне чрез използване на стратегия за формиране на лъча на антените в D2D двойката – остро насочени лъчи между потребителите на директната D2D комуникация и нулиране на излъчванията/смущенията към потребителите в клетката.

III. СИТУАЦИИ НА ПОТЕНЦИАЛНИ СМУЩЕНИЯ

Важно е да се изяснят причините за междуклетъчните смущения.

Най-голямата причина за по-ниския капацитет на дадена мобилна мрежа са смущенията. Те възникват, когато потребители в различни съседни клетки използват един и същ честотен ресурс по едно и също време. Нека предположим, че има две клетки, в които потребителите използват един и същ честотен канал (например с широчина на лентата 10 MHz в честотен обхват 1,8 GHz) като във всяка от клетките има потребителско устройство и тези две устройства използват една и съща честота [7]. Както се вижда от фигура 2 по-долу, ако две потребителски устройства A2 и B2 са разположени в централната област на клетките между тях няма да възникнат взаимни смущения, тъй като те използват ниска мощност, за да комуникират по между си. Обаче, ако те са в покрайнините на клетките, както A1 и B1, техните сигнали ще се смущават по между си, тъй като двата телефона използват висока мощност при осъществяване на комуникацията.



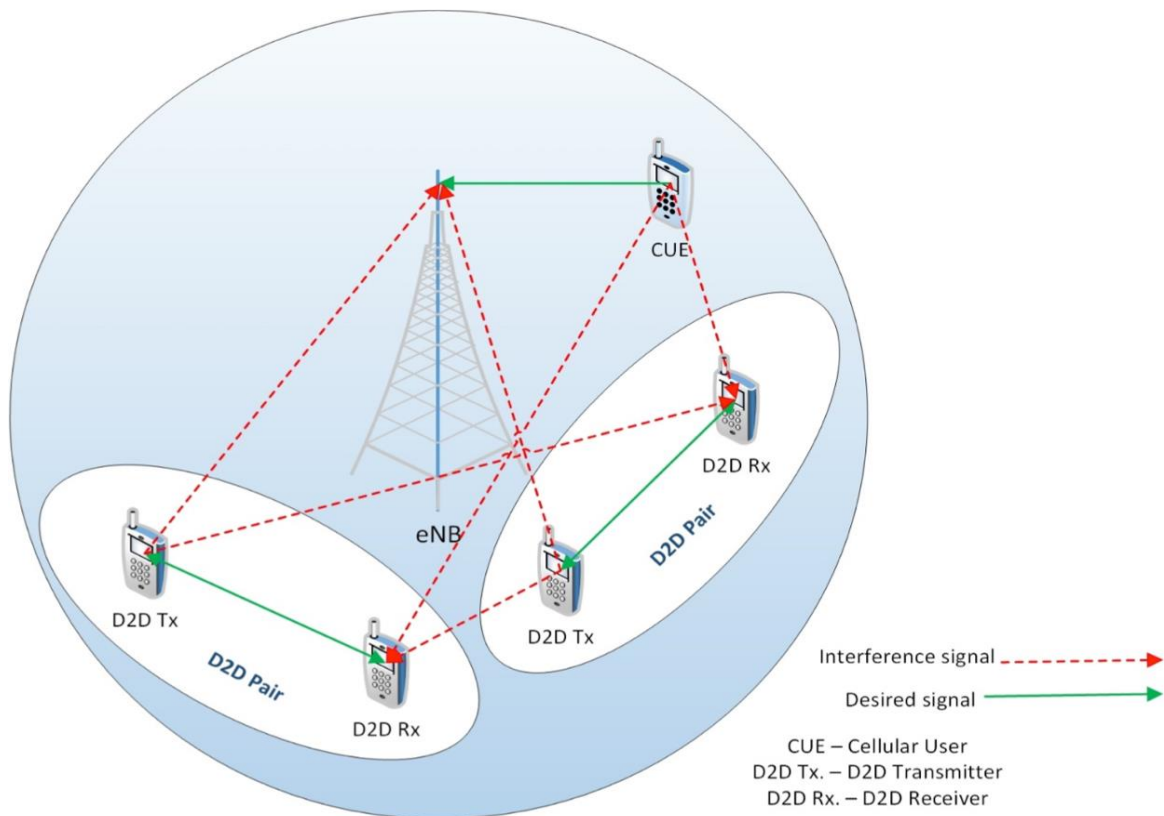
Фиг.2. Илюстрация на смущаваща ситуация между два мобилни телефона в покрайнините на клетките използващи един и същ честотен ресурс f_3 [7].

Смущенията възникват поради факта, че клетките знаят само какви честотни ресурси се използват от обслужваните от тях UEs, но нямат информация за честотните ресурси, които се използват от UEs в съседните клетки. Като резултат клетките присвояват

честотен ресурс за обслужваните от тях UEs независимо една от друга. При този сценарий на потребителските устройства (A1 в клетка A и B1 в клетка B) може да бъде разпределен един и същ честотен ресурс. За решаване на този проблем в LTE мрежи се използва технологията за координиране на междуклетъчните смущения [5].

В случай на D2D комуникации се очаква съответната LTE – A клетъчна мрежа да оперира със същата област на покритие на съществуваща клетка и да използва съвместно същия честотен спектър. Следователно, използването на едни и същи ресурсни блокове от клетъчните потребители и от тези осъществяващи D2D връзка води до нежелани смущения (кръстосани смущения – cross-tier), причинявани от клетъчните потребители на D2D потребителите и обратно – от D2D потребителите на клетъчните потребители [7].

Фигури 3 и 4 илюстрират ситуации на смущения при преизползване на честотите съответно в посока към базовата станция (UL) и в обратна посока – към мобилен телефон/устройство (DL). За съвместно използване на ресурси в посока UL от фигура 4 може да се види, че D2D предавателят причинява нежелани смущения на базовата станция (eNB), докато клетъчният потребител в посока UL генерира смущения в приемните канали Rx на D2D устройствата. За посока DL (фиг.4) eNB е източникът на смущения за D2D приемниците, а D2D предавателите причиняват смущения на клетъчния потребител в посока DL. Същевременно съществуват взаимни смущения между D2D двойките, които споделят едновременно едни и същи ресурсни блокове RBs при преизползване на честотите в посоки UL и DL. Тези смущения са от типа кръстосани смущения. Ето защо е крайно необходимо да се намалят смущенията, причинени от D2D потребителите, за да не се предизвика прекъсване на услугата на потребителите на клетъчната мрежа.



Фиг. 3. Ситуация на смущения на D2D и клетъчни линии при преизползване на ресурси в посока UL [8].

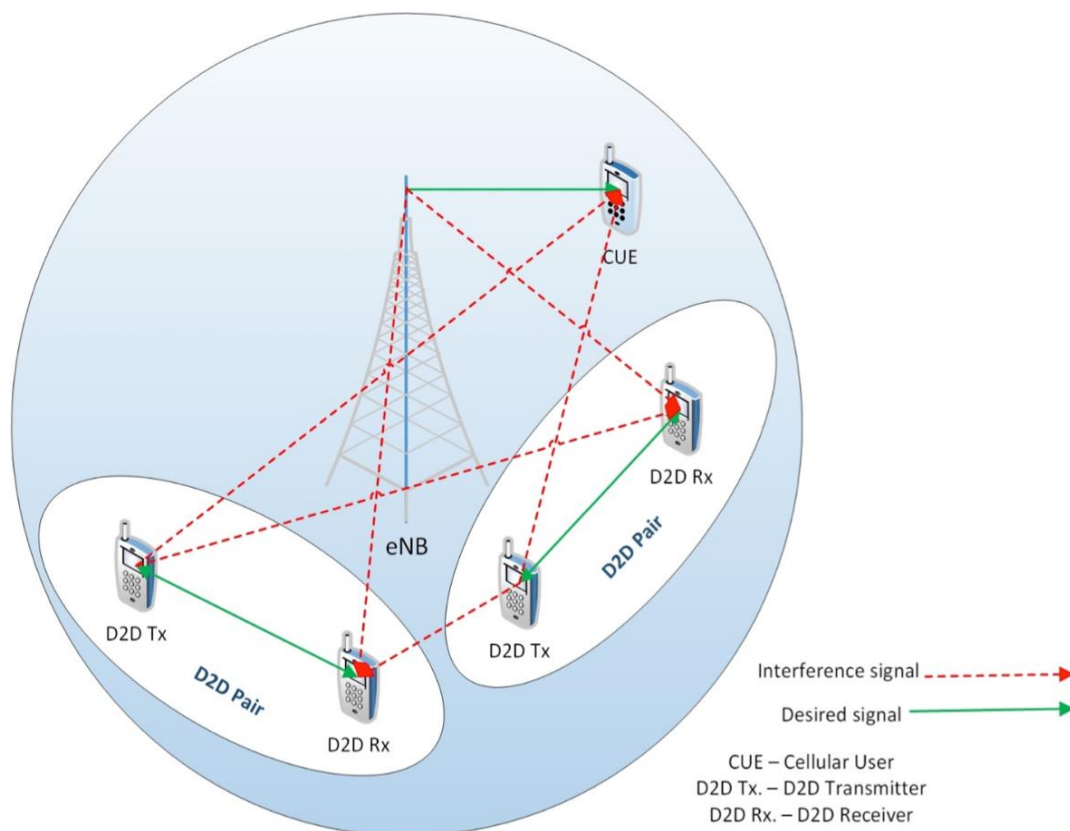
ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ НА СМУЩЕНИЯ МЕЖДУ LTE МОБИЛНИ ПОТРЕБИТЕЛСКИ УСТРОЙСТВА

Анушка Станчева, Васил Къдрев

Ситуациите на потенциални смущения в клетъчни мрежи с възможност за D2D комуникации са обобщени в таблица 1.

Табл. 1. Класификация на ситуациите на потенциални смущения за различни периоди на съвместно използване на ресурси [3].

Случай	Посока на съвместно използване на ресурс	Източник на смущения	Смущавано устройство	Тип на смущението	Приоритет
1	UL	D2D Tx	eNB	Кръстосано (cross-tier)	да
2	UL	Клетъчен потребител (CU)	D2D Rx	Кръстосано (cross-tier)	не
3	DL	D2D Tx	CU	Кръстосано (cross-tier)	да
4	DL	eNB	D2D Rx	Кръстосано (cross-tier)	не
5	UL/DL	D2D Tx	D2D Rx	По съвместим канал (co-tier)	не



Фиг. 4. Ситуация на смущения на D2D и клетъчни линии при преизползване на ресурси в посока DL [8].

Случаи 1 и 3 илюстрират смущения от D2D комуникация на обикновени потребители на клетъчни услуги при използване на UL и DL ресурси. Тези ситуации на възникване на смущения имат висок приоритет с цел защита на стандартните потребители на клетъчни услуги от прекъсване на услугата. От друга страна, случаи 2 и 4 са ситуации на смущения от клетъчни комуникации на потребителите на D2D услугата за UL и DL периоди на преизползване на ресурси. Тези случаи на смущения намаляват надеждността

на D2D комуникацията и трябва да бъдат избягвани. Случай 5 е ситуация на смущения между множество D2D двойки, използващи едновременно едни и същи UL/DLресурси. Тези смущения допълнително влошават характеристиките на D2D комуникацията.

IV. НАЧИНИ ЗА ПОТИСКАНЕ НА СМУЩЕНИЯТА

Основните аспекти на настоящата работа са насочени към решения за потискане/смякчаване на смущенията в мобилни телефони/потребителски устройства при предаване към друго потребителско устройство при асиметрична конфигурация на периодите на предаване в посока UL/DL. Когато се появят такива смущения, UE източници на смущения и тези изложени на смущения трябва да се идентифицират чрез измерване на качеството на условията за комуникация, така че да могат да се идентифицират клетките, в които UEs са потенциални рецептори на смущения и качеството на тяхното приемане може да бъде повлияно неблагоприятно от излъчването в посока UL на UEs, източници на смущения. В този случай е необходимо да се разширят механизмите за координиране на междуклетъчните смущения (ICIC), за да се договори и изготви график, който интелигентно да намалява смущенията, които могат да възникнат в припокриващи се времеинтервали.

Някои от методологиите за управление в реално време на смущенията от UEs в LTE мрежи, които често се използват от операторите са систематизирани и анализирани по-долу:

- *В потребителското устройство:*

Това са средства като разнесено приемане (по честота, пространство и време) за максимално отношение на комбиниране на сигналите (MRC), комбинирано потискане на смущенията (регенериране на приетия сигнал, въз основа на оценка на данните от предходните приемания, изкривявания, дължащи се на многолъчево разпространение и изваждане на всички регенерирани смущаващи сигнали от приетите сигнали в посока към базовата станция), с цел постигане на по-реална оценка на оригиналните потребителски данни (IRC) и елиминиране на смущенията (IC), чрез формиране на лъча на приемната антена (BF), като се вземат предвид мрежовите условия.

MRC увеличава надеждността на линията (но не и скоростта ѝ) в околна среда с ниски нива на отношението сигнал/смущения/шум (SINR). Сигналят се приема от два отделни приемника и се комбинира линейно в сумарен сигнал.

IRC е по-съвременен метод за разнесено приемане от MRC, при който се извършва и анализ на пространствените компоненти на приетия сигнал. Той е проектиран за подобряване на SINR чрез изчисляване на времевата и пространствената корелация на приетите сигнали, за да се елиминират тези, които се смущават по между си.

Методологията за формиране на лъча на приемната антена, подобна на тази използвана в eNB, може да се използва, за да се формира по-тесен лъч на приемната антена, ориентиран към обслужващата клетка. Когато UE е в покрайнините на клетката и получава сигнал от две клетки, мобилният телефон може да насочи лъча на приемната си антена към по-силния (или предпочитания) сигнал и да игнорира смущаващия сигнал от другата клетка.

Тези методи могат да се прилагат само за потребителски устройства, които поддържат такава функционалност, т.е. наличието на тези възможности зависи изключително от производителя на устройствата, но те могат да се приложат безпрепятствено веднага, след като такива устройствата се включат в мрежата, без да се изисква допълнително интегриране и имат незабавно въздействие върху намаляването на нивата на смущенията.

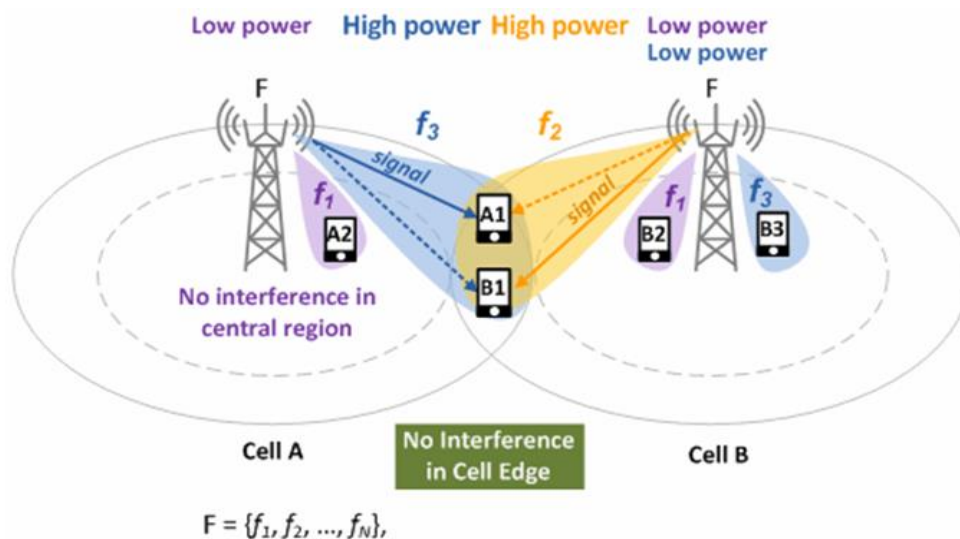
- Координиране на междуклетъчните смущения (*Inter Cell Interference Coordination - ICIC*) [7,9] :

В действителност географското разпределение на UEs, както и тяхното разпределение в областите на клетката има много голямо влияние върху нивото на междуклетъчните смущения.

Увеличаващото се търсене за пренос на данни в мобилни мрежи, както и експоненциалното нарастване на мобилните приложения принуждават операторите на мобилни мрежи да използват гъсти модели за преизползване на честоти, за да подобрят спектралната ефективност и да увеличат капацитета на мрежата. В този случай проблемите с междуклетъчните смущения имат отрицателно въздействие върху пропускателната способност на UE и характеристиките на мрежата.

ICIC е дефинирана в 3GPP версия 8 като технология за координиране на смущенията в LTE мрежи. Чрез нея се намаляват междуклетъчните смущения за устройства разположени в един и същ край на клетките, но обслужвани от различни клетки, като им се разпределят различни честотни ресурси. Базовите станции, които поддържат тази функционалност могат да генерират информация за смущенията за всеки честотен ресурс (RB) и да обменят тази информация със съседни базови станции чрез съобщения по X2 интерфейс. От това съобщение съседните станции могат да научат какъв е статусът с потенциалните смущения на съседните им базови станции и да присвоят радиоресурси (честота, Tx мощност и т.н.) за обслужваните от тях потребителски устройства, така че да се избегнат междуклетъчните смущения.

Например (фиг. 5), нека UE обслужвано от Клетка А, намиращо се в покрайнините на зоната на обслужване, използва висока Tx мощност при честотен ресурс (f_3). Използвайки ICIC, Клетка В разпределя различен честотен ресурс (f_2) на обслужваното от нея UE в покрайнините на клетката и честотен ресурс f_3 за едно от устройствата в централната област, което използва ниска Tx при комуникацията.



f_i – ресурсен блок (RB) или поднодещи честоти

Фиг. 5. Координиране на между клетъчните смущения [7]

Клетка А и Клетка В се координират, за да се гарантира:

- че са разпределени различни честотни ресурси f_3 и f_2 на потребители А1 и В1 в покрайнините на клетките, което дава възможност за по-високо качество на комуникацията без смущения;

- че клетка В разпределя честота f_3 на UE, което използва ниска излъчвана мощност T_x , ако клетка А вече използва честота f_3 за UE в покрайнините на клетка, което използва висока излъчвана мощност T_x .

- *Управление и подтискане на смущенията при D2D комуникация*

Въвеждането на D2D комуникация в LTE-A мрежи наложи разработване на техники за управление и подтискане на смущенията, генерирани при този тип комуникации.

В литературата са проучени различни технологии за избягване на смущенията, като контрол на излъчената мощност [2, 10], схеми за ефикасно управление на радиоресурсите [11, 12], съвместно управление на мощността и разпределяне на ресурсите [13, 14], MIMO технологии [15, 16].

1) контрол на излъчваната мощност

Една от най-масово използваните схеми за избягване на смущенията е настройване на излъчената D2DTx мощност под предварително дефинирания праг, като същевременно се изпълняват изискванията за SINR за клетъчната комуникация [11, 13]. При този начин за контрол на мощността може да се подтиснат смущенията от D2D комуникацията в клетъчната комуникация, но той е приложим само в случаите, когато D2D двойките са близо една до друга и на достатъчно разстояние от eNB или CUE.

2) схеми за ефикасно управление на радиоресурсите

Целта на методите за разпределяне на радиоресурсите е да се оптимизира използването на радиоресурса между основните клетъчни потребители и D2D двойките. Прилагането на различни техники за присвояване на радиоресурси намалява проблема със смущенията, когато D2D комуникациите се използват едновременно с клетъчната мрежа. Обаче, основният недостатък е недостатъчно използване на радио ресурсите и намаляване на многообразието от потребители, защото физическото разделяне ограничава алтернативите за планиране на eNB [17].

3) съвместно управление на мощността и разпределяне на ресурсите

По-усъвършенстван подход за смекчаване на смущенията при D2D/LTE системи е да се използва съвместен контрол на мощността с различни методологии за присвояване на ресурси, за да се реализира пълният потенциал на D2D комуникацията. За да се избегнат смущения от клетъчните потребители на този тип комуникация, D2D потребителите преизползват само UL ресурсни блокове, разпределени за клетъчни потребители, които не са в непосредствена близост до D2D двойката.

4) техники за разделяне на спектъра

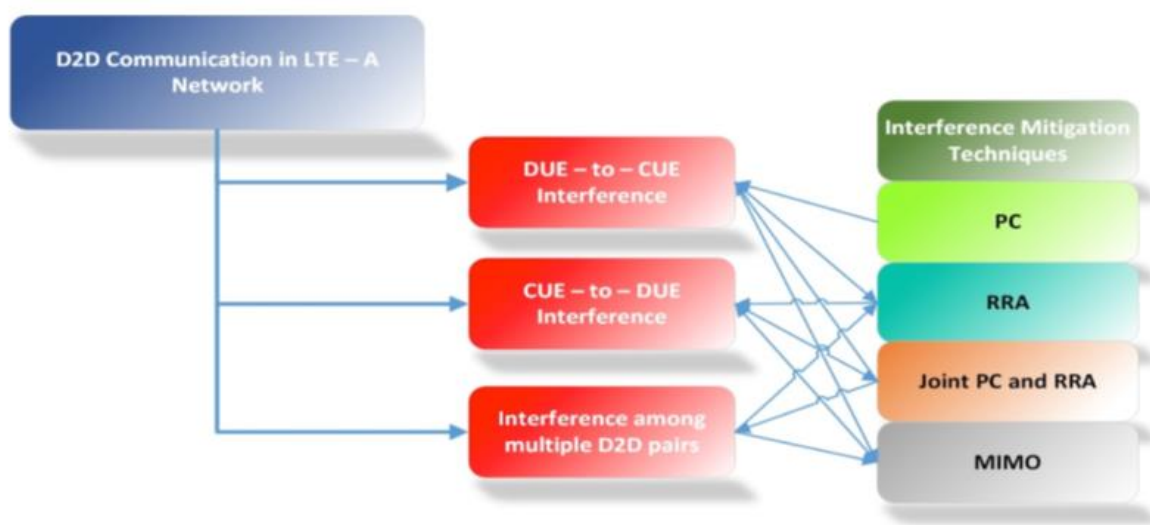
Разделянето на спектъра е най-лесният начин за избягване на смущенията в клетъчна мрежа с възможност за предоставяне на D2D комуникации. Прилагайки технология за мултиплексиране с разделяне по време (TDM) с цел разделяне на излъчванията на клетъчните потребители и D2D излъчванията, би могло ефективно да се намалят нивата смущенията в хибридна клетъчна мрежа с D2D комуникации [1]. Обаче, този подход ще доведе до неефективно използване на наличния честотен спектър. Също така се вземат предвид само кръстосаните (cross-tier) смущения между клетъчни и D2D потребители. Следователно, се налага използването на допълнителен метод за подтискане на смущенията между множеството D2D потребители, които използват един и същ набор от ресурси.

5) MIMO технологии

Интелигентните антенни системи с много входове и много изходи (MIMO) станаха важен компонент в съвременните стандарти за клетъчни безжични мрежи, за да се подобрят цялостните работни характеристики на системата [18]. Използвайки механизъм

за формиране на лъча съвместно с контрол на мощността, така че тя да бъде максимална в посока на желаня D2D приемен възел и ограничена във всички други посоки се постига минимизиране на смущенията в мрежата.

Въпреки че интегрирането на D2D комуникации в клетъчна мрежа ще донесе огромни ползи, като по-високи максимални скорости на пренос на данни, ефективно използване на спектъра, повишен капацитет, намаляване на претоварванията на мрежата, намалена консумация на мощност и т.н., то може да бъде причина за вредни смущения за потребителите в клетката, които използват спектъра на първична основа вследствие на съвместното му използване. Допълнителен проблем са и взаимните смущения между множеството D2D двойки, преизползващи времевите и честотни ресурси. Наличието на нежелани смущаващи сигнали може да доведе основно до влошаване на качеството на комуникациите в безжични мрежи и по-конкретно в клетъчни и D2D комуникационни системи.



DUE – D2D потребители CUE – клетъчни потребители

PC – контрол на мощността RRA – присвояване на радио ресурси

MIMO – интелигентни антени технологии

Фиг. 6. Обобщение на методите за потискане на смущенията при D2D комуникации в LTE - A мрежа [3].

V. ИЗВОДИ

Основно изискване към операторите на мобилни мрежи е поддържането на взаимните смущения на минимално ниво. Използването на ефективни методи за управление на смущенията им позволява да реализират по-добра производителност, респективно по-висока печалба чрез своите LTE мрежи. Допълнителният капацитет и подобреното покритие позволяват на мобилните оператори да транспортират бързо увеличаващия се трафик, без да се получават задръствания.

При съвременните клетъчни комуникации все по-често се използват хибридни мрежи. Малките клетки, в частност гъсто разположените фемтоклетки, са особено подходящи за осигуряване на допълнителен капацитет в големи затворени пространства, но те водят до значителни междуклетъчни смущения, особено при разпространение на сигнала между различни етажи.

Междуклетъчните смущения са сериозен проблем при едновременни комуникации между мобилни устройства при използване на един и същ честотен ресурс в съседни LTE

клетки, тъй като водят до намаляване на отношението SINR, особено за потребителите в покрайнините на клетките, които са относително далеко от обслужващия ги eNodeB. Следователно те имат негативно влияние върху качеството на функциониране на потребителските устройства, намаляват ефективността на използване на честотния спектър и качеството на предлаганите услуги.

D2D комуникациите са обещаваща технология за увеличаване на капацитета на системата и ефективността на използване на честотния спектър, но са сериозен проблем със смущенията.

Имайки предвид важноста на изложените проблеми, в доклада са систематизирани типовете смущения, които могат да възникнат между функциониращи в близост мобилни телефони/потребителски устройства, разгледани са типични проблемни ситуации и начините за потискане на този тип взаимни смущения.

ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ:

- [1] MUSTAFA, H. A., M. Z. SHAKIR, M. A. IMRAN, A. IMRAN and R.TAFAZOLLI. Coverage gain and device-to-device user density: Stochastic geometry modeling and analysis. *IEEE Communications Letters* [online]. 2015, vol. 19(10), pp.1742-1745 [viewed 07 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. ISSN 1089-7798. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [2] KHANDARE, Reshma. Co-tier and Cross-tier Interference Mitigation in LTE based Femtocell Network using CASFR Scheme. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering* [online]. 2015, vol. 4(12), pp. 583-585 [viewed 07 March 2017]. eISSN 2278-1021, ISSN 2319-5940. Available from: <https://ijarcece.com/>
- [3]. SAFDAR, G.A., M. UR-REHMAN, M. MUHAMMAD, M. A. IMRAN and R. TAFAZOLLI. Interference Mitigation in D2D Communication Underlying LTE-A Network. *IEEE Access* [online]. 2016, vol. 4, pp. 7967 – 7987 [viewed 07 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. ISSN 2169-3536. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [4] KIM, J., N. A. KARIM and S. CHO. An Interference Mitigation Scheme of Device-to-Device Communications for Sensor Networks Underlying LTE-A. *Sensors* [online]. 2017, vol. 17(5), pp. 1-18 [viewed 07 June 2017]. Academic Search Complete. EBSCOhost. ISSN 1424-8220. Available from: <http://search.ebscohost.com>
- [5] СТАНЧЕВА, А., П. ПАСАРЕЛСКИ и В. КЪДРЕВ. Методи за намаляване на радиосмущенията в LTE мрежи. *Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, Национален военен университет „Васил Левски”, 01-02. 06. 2017 г., В. Търново.* 2017, с. 670-677. ISSN 2367-7481.
- [6] L'ÓPEZ-P'EREZ, D., A. JUTTNER and J. ZHANG. Dynamic Frequency Planning Versus Frequency Reuse Schemes in OFDMA Networks. *VTC Spring 2009 - IEEE 69th Vehicular Technology Conference* [online]. 2009, pp. 1-5. [viewed 07 March 2017] IEEE Xplore Digital Library. ISSN 1550-2252. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [7]. DO, M. M. and H. J. SON. Interference Coordination in LTE/LTE-A (1): Inter-Cell Interference Coordination (ICIC). *NetManias* [online]. 05 June 2014 [viewed 08 March 2019]. Available from: <https://www.netmanias.com>
- [8] ABBASI, Q. H., M. UR-REHMAN, K. QARAQE and A. ALOMAINY, eds. *Advances in body-centric wireless communication: Applications and state-of-the-art*. The Institution of Engineering and Technology, 2016. ISBN 978-1-84919-989-6. eISBN 978-1-84919-990-2.
- [9] YASSIN, M., M. ABOULHASSAN, S. LAHOUD, M. IBRAHIM, D. MEZHER, B. COUSIN and E. A. SOUROUR. Survey of ICIC Techniques in LTE Networks under Various Mobile Environment Parameters. *Wireless Networks* [online]. 2017, vol. 23(2), pp. 403-418 [viewed 08 April 2017]. SpringerLink. ISSN 1022-0038, eISSN 1572-8196. Available from: <https://link.springer.com>
- [10] WU, J.Y, J. LIU, J. CHEN and X. CHU. Cooperative Interference Mitigation for Indoor Dense Femtocell Network. In: *7th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)* [online]. 2012, pp. 93-98 [viewed 08 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. ISBN 978-1-46732-698-8; eISBN 978-1-4673-2697-1. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [11] KHOUEIRY, B. and M. SOLEYMANI. A novel coding strategy for device-to-device communications. In: *12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)* [online]. 2015, pp. 200-205. [viewed 08 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. eISBN 978-1-4799-6390-4. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [12] DOPPLER, K., M. RINNE, C. WIJTING, C. RIBEIRO and K. HUGL. Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2009, vol. 47(12), pp. 42-49.

- [viewed 08 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. ISSN 0163-6804, ISSN e1558-1896. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [13] ARAÚJO, D. C., T. MAKSYMUYUK, A. L. F. de ALMEIDA, T. MACIEL, J. C. M. MOTA and M. JO. Massive MIMO: Survey and future research topics. *IET Communications* [online]. 2016, vol. 10(15), pp. 1938-1946. [viewed 08 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. ISSN 1751-8628, eISSN 1751-8636. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [14]. GU, J., S. J. BAE, B. CHOI and M. Y. CHUNG. Dynamic power control mechanism for interference coordination of device-to-device communication in cellular networks. In: *Third International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)* [online]. 2011, pp. 71-75 [viewed 08 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. eISBN 978-1-4577-1177-0; ISBN 978-1-4577-1176-3. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [15] SONG, L., D. NIYATO, Z. HAN and E. HOSSAIN. *Wireless device-to-device communications and networks*. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. ISBN 978-1-107-47873-2 ; 978-1-107-06357-0.
- [16] HUANG, L., Z. SU, Z. GAO, Z. LIN, T. HU, M. LIWANG. OOP-based device-to-device communication simulator design of LTE network. In: *9th International Conference on Computer Science & Education* [online]. 2014, pp. 294 – 297 [viewed 08 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. eISBN 978-1-4799-2951-1, ISBN 978-1-4799-2949-8. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [17] MACH, P., Z. BECVAR and T. VANEK. In-band device-to-device communication in OFDMA cellular networks: A survey and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* [online]. 2015, vol. 17(4), pp. 1885-1922 [viewed 08 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. ISSN 2373-745X, eISSN 1553-877X. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [18]. GE, X., R. ZI, H. WANG, J. ZHANG and M. JO. Multi-user massive MIMO communication systems based on irregular antenna arrays. *IEEE Transactions on Wireless Communications* [online]. 2016, vol. 15(8), pp. 5287-5301 [viewed 08 March 2017]. IEEE Xplore Digital Library. ISSN 1536-1276. eISSN 1558-2248. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org>
- [19] PAOLINI, M. Interference management in LTE networks and devices. *Sequans* [online]. Senza Fili Consulting, 2012 [viewed 09 March 2017]. Available from: <https://www.sequans.com>

Информация за авторите:

доц. д-р инж. Анушка Станчева, Департамент "Телекомуникации" НБУ, ул. Монтевидео № 21, 2-609, Тел.: 02 8110609, e-mail: astancheva@nbu.bg

доц. д-р инж. Васил Къдрев, Департамент "Телекомуникации" НБУ, ул. Монтевидео № 21, 2-609, Тел.: 02 8110609, e-mail: vkadrev@gmail.com

Contacts:

Assoc. Prof. Anushka Stancheva, PhD, New Bulgarian university, Department Telecommunication, Sofia, 21 Montevideo St., tel.: 359 2 8110609; e-mail: astancheva@nbu.bg

Assoc. Prof. Vasil Kadrev, PhD, New Bulgarian university, Department Telecommunication, Sofia, 21 Montevideo St., tel.: 359 2 8110609; e-mail: vkadrev@nbu.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 24.07.2017

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 11.09.2017