



СХЕМИ ЗА КОНТРОЛ НА МОЩНОСТТА ЗА КОМУНИКАЦИЯ УСТРОЙСТВО-ДО-УСТРОЙСТВО В 5G МОБИЛНИ МРЕЖИ

POWER CONTROL SCHEMES FOR DEVICE-TO-DEVICE COMMUNICATIONS IN 5G MOBILE NETWORKS

Григор Михайлов*

Русенски университет „Ангел Кънчев“

Теодор Илиев

Русенски университет „Ангел Кънчев“

Елена Иванова

Русенски университет „Ангел Кънчев“

Статията е постъпила на 09 декември 2015 г.; приета за отпечатване на 18 февруари 2016 г.

Abstract

Device-to-device (D2D) communications integrated into cellular networks is a means to take advantage of the proximity of devices and thereby to increase the user bitrates and system capacity. D2D communications has recently been proposed for the 3GPP Long Term Evolution (LTE) system as a method to increase the spectrum- and energy-efficiency. Device-to-device (D2D) communication has the potential of increasing the system capacity, energy efficiency and achievable peak rates while reducing the end-to-end latency. To realize these gains, are proposed resource allocation (RA) and power control (PC) approaches that show near optimal performance in terms of spectral or energy efficiency.

Keywords: Device-to-device communications, 5G mobile network, LTE, power control.

ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременното информационно общество е фокусирано повече от всякога към връзките и комуникациите, като по-високата скорост и по-богатото съдържание са за предпочитане. Първото поколение на мобилни мрежи бяха аналоговите мрежи, като приблизително на около всеки десет години се появява новост при технологиите на мобилните телефони и инфраструктурата на системата, което довежда до фундаментална промяна при предоставянето на услугите. Появяват се мрежи, които са несъвместими с предходните поколения мобилни мрежи, предоставят се по-големи скорости на разпространение на информацията, предлагат се нови честотни диапазони, с по-широки честотни ленти. Тези преходи се посочват като отделни поколения.

Първите мобилни информационни услуги се появяват при второто поколение (2G). Тази технология е разработена около 1990г. за мобилни устройства – глобална

система за мобилни комуникации (GSM), което довежда до масовото потребление на мобилни телефони. Покъсно, технологията EDGE подобрява няколкократно скоростите при пренос на информация – от 9,6 Kbit/s до 236 Kbit/s.

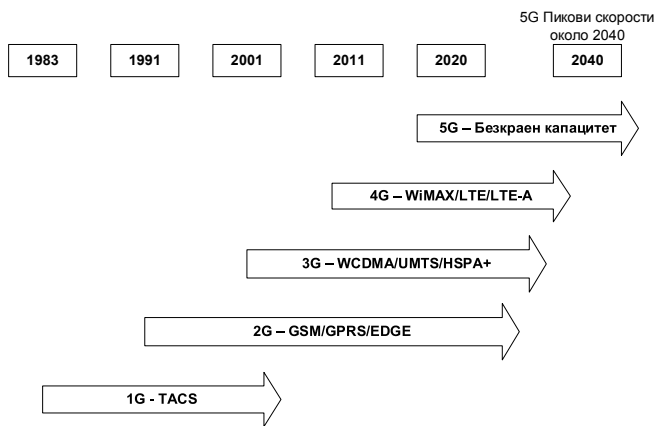
Универсалната мобилна телекомуникационна система (UMTS) и нейното разширение HSPA са технологиите, изградили третото поколение (3G) мобилни мрежи. Скоростите на разпространение на информация са значително по-високи – теоретичната скорост при HSPA+ е 42 Mbit/s. Тези скорости и възможностите, които предлага мобилната мрежа, довеждат до масовата употреба на смартфони.

WiMAX и LTE са технологиите, считани за четвъртото поколение (4G) мобилни мрежи. [1, 2, 3] Основната цел на тези мрежи е предоставянето на интернет услуги при бързо движещи се потребители – на теория около 300 km/h.

Табл. 1. Теоретични скорости на разпространение при поколенията мобилни мрежи

2G		3G		4G	
Технология	Скорост	Технология	Скорост	Технология	Скорост
GPRS	115 kb/s	WCDMA	384 kb/s	WiMAX	60 Mb/s
EDGE	236 kb/s	HSPA	14 Mb/s	LTE	100 Mb/s
		HSPA+	42 Mb/s	LTE-A	200 Mb/s

Основната цел на телекомуникационните технологии е да предостави на потребителите възможността да разговарят помежду си по възможно най-удобния за тях начин. В днешно време, след като тази цел е постигната и основите са положени, са определени нови цели за следващото пето (5G) поколение мрежи.



Фиг. 1. Еволюция на мобилните мрежи

ПЕТО ПОКОЛЕНИЕ МОБИЛНИ МРЕЖИ (5G)

Алианса за следващото поколение мобилни мрежи (NGMN) е асоциация от мобилни оператори, доставчици, производители и изследователски институти за мобилни мрежи.

NGMN Алианса определя следните изисквания за 5G мобилната мрежа:

- Скорости на трансфер на данни от порядъка на няколко десетки мегабита (Mb/s), които да се предоставят на десетки хиляди потребители едновременно;
- 1 Gb/s скорост на трансфер на данни, предлагани едновременно на десетки потребители, разположени на един и същ офис етаж;
- До няколко стотин хиляди едновременни връзки от разположени различни по характер сензори;
- Значително подобрена спектрална ефективност, в сравнение с 4G мобилните мрежи;
- Усъвършенстване в покритието на базовите станции;
- Усъвършенстване в ефективността на сигналите.

Въпреки че тези изисквания са до известна степен неясни, те са предназначени за няколко основни проблема, които трябва да се решат до 2020 година:

- Лавинообразно нарастване на информационния трафик в мобилните мрежи;
- Значително нарастване на броя свързани мобилни устройства – от 5 милиарда (2010) до 50 милиарда (2020);
- Голямо разнообразие в случаите на използване и изискванията;
- Гарантирано ниво на услугата, надеждност, възможности на мобилните устройства, комуникация устройство-до-устройство (D2D);
- Комуникации превозно средство-до-превозно средство (V2V).

Комуникация устройство-до-устройство (D2D)

Този вид комуникации в клетъчния спектър, подкрепян от клетъчната инфраструктура, притежава потен-

циала за разширяване на спектралната и енергийната ефективност, като също така позволява на новите услуги от потребител-до-потребител (*peer-to-peer*) да са с предимство, възползвайки се от близостта между отделните мобилни устройства и повторно използване на сигналите. [4, 5] Въсъщност, D2D комуникациите в клетъчния спектър са обект на проучване от 3GPP, за да могат да се улеснят вътрешно-мрежовите услуги [6], националната и публична сигурност [3] и машинните комуникации [7].

D2D комуникациите, използващи клетъчния честотен спектър, поставят нови предизвикателства. Поради сценарии, близки до клетъчните комуникации, системата трябва да се справи с новите интерферентни ситуации. Например, при една OFDM система, при която потребителските устройства (UE) могат да използват D2D комуникации (*LTE директен режим*), D2D комуникационните връзки могат да използват повторно някои от OFDM време-честотните физически ресурсни блокове (RB). Поради това повторно използване се губи ортогоналността вътре в клетката. Вътрешно-клетъчната интерференция може да се увеличи значително, поради произволните позиции на D2D предавателите и приемниците, а също така и от обикновените потребителски устройства в клетката, комуникиращи с обслужващата ги базова станция (BS) [5, 4].

Управление на D2D комуникациите

Приема се, че D2D координирането и употребата на ресурси са под контрола на мобилната мрежа. Това се дължи на това, че вътрешно-лентовите D2D операции изискват мрежови контрол за D2D радио ресурсите. По този начин се осигурява оптимално използване на ресурсите, намалена интерференция между връзките от/до D2D групата и базовата станция, а също така и по-надеждна мобилност в рамките на клетката.

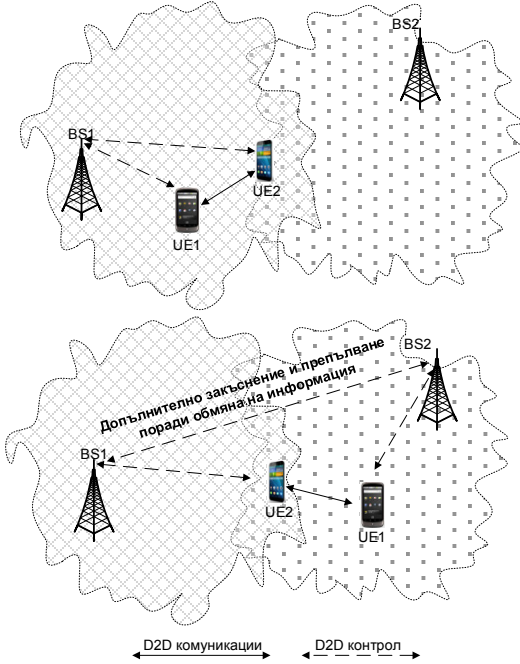
Едно от отличителните предимства на D2D комуникациите е предоставянето на много ниска латентност на комуникациите между крайните потребители. Когато обаче няколко базови станции са свързани помежду си с неидеална връзка и участват в контрола на D2D радио ресурсите, изискването за качество на услугата и малко закъснение може да не бъде удовлетворено, поради големите закъснения при комуникациите между отделните базови станции. От новите възли възниква допълнително закъснение и препълване, поради обмяна на информация за контрол, както е показано на фигура 2. Поради тази причина са предложени две гъвкави решения за управление на мобилността на потребителите. Тези подобрения могат да се използват за намаляване на негативните въздействия (допълнително закъснение и по-голямо препълване на сигналите), чрез контрол на D2D хендвъра и избора на клетка по време на мобилността на D2D свързани потребители (DUEs):

- D2D-уведомително хендвър решение;
- D2D-задействащо хендвър решение.

Трябва да се отбележи, че контрола за D2D хендвър и обикновения клетъчен хендвър могат да се извършат поотделно и независимо един от друг [7].

D2D-уведомително хендвър решение

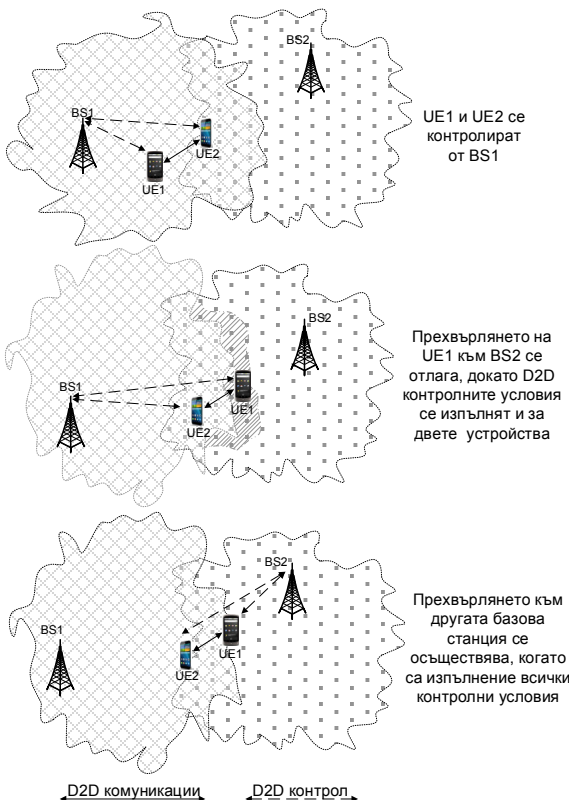
Този метод се използва за намаляване на закъснението от край-до-край при D2D комуникациите и за намаляване на препълването на сигналите, когато е налична DUE мобилност.



Фиг. 2. D2D контрол и комуникации преди и след обикновения клетъчен хендвър

D2D-задействащо хендвър решение

Това решение предлага на D2D потребителите да се формират няколко групи, в рамките на минимален брой клетки или базови станции, за да се намали преплъването от сигнали, което се поражда от вътрешно-клетъчните информационни съобщения. Решението е предназначено за сценарии, където D2D групите се формират динамично от две и повече мобилни устройства (фиг. 3). Решението може да бъде приложено, когато мобилните устройства, участващи в дадена D2D група варират във времето, например заради мобилността им. [8]



Фиг. 3. D2D контрол и комуникации по време на DUE мобилност между съседни клетки

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА КОНТРОЛ НА МОЩНОСТТА, БАЗИРАНИ НА LTE МЕХАНИЗМИ

Стратегиите за контрол на мощността (PC) при D2D комуникациите се базират на LTE мрежата [9] и механизмите за контрол на мощността във възходящия канал при LTE стандарта. По този начин се използват широко разпространени схеми, като също така се добавя възможността за развиване на вътрешно-оперативни решения между различните устройства и мрежово оборудване.

LTE схемите за контрол на мощността могат да бъдат разгледани като „средство“, от които могат да се изберат различни стратегии, в зависимост от сценария на изграждане на мрежата и предпочитанията на мобилния оператор [10]. Използва се комбинация за контрол от отворен цикъл (OL) и затворен цикъл (CL), за да се зададе мощност на предаване на потребителското устройство (максимално ниво $P_{MAX} = 24 \text{ dBm}$), както следва:

$$P^{UE} = P_0 - \alpha G + \Delta_{TF} + f(\Delta_{TPC}) + 10 \log_{10} M, \quad (1)$$

където $P_0 - \alpha G$ е работна точка при отворен цикъл, която позволява компенсация на загубите при разпространение и динамичен офсет ($\Delta_{TF} + f(\Delta_{TPC})$), който може да настрои мощността на разпространение, като се вземе предвид модулационната и кодираща схема (MCS). Факторът за ширина на честотната лента ($10 \log_{10} M$) взема предвид броя планирани ресурсни блокове. Работната точка за отворения цикъл P_0 е основно ниво на мощност, което се използва за необходимото ниво на отношението сигнал/шум и се изчислява посредством израза [11]:

$$P_0 = \alpha(\gamma^{tgt} + P_{IN}) + (1 - \alpha) \cdot (P_{MAX} - 10 \log_{10} M), \quad (2)$$

където α е компенсационния фактор при затворен цикъл, G е усилването между потребителското устройство и базовата станция и P_{IN} е определената мощност на шума и интерференцията. При наличие на динамичен офсет, Δ_{TF} е динамичния компонент за модулационната и кодираща схема, а $f(\Delta_{TPC})$ представляват командите за контрол на предаваната мощност. При LTE схемата за контрол на мощността може да се направи при затворен цикъл. В този случай, променливата Δ се представя като:

$$P = \min\{P_{max}, P_0 + 10 \log_{10} M + \alpha L + \Delta\}, \quad (3)$$

където Δ представлява настройващата стъпка, която може да бъде фиксирана или динамична.

Контрол на мощността с максимизиране на производителността

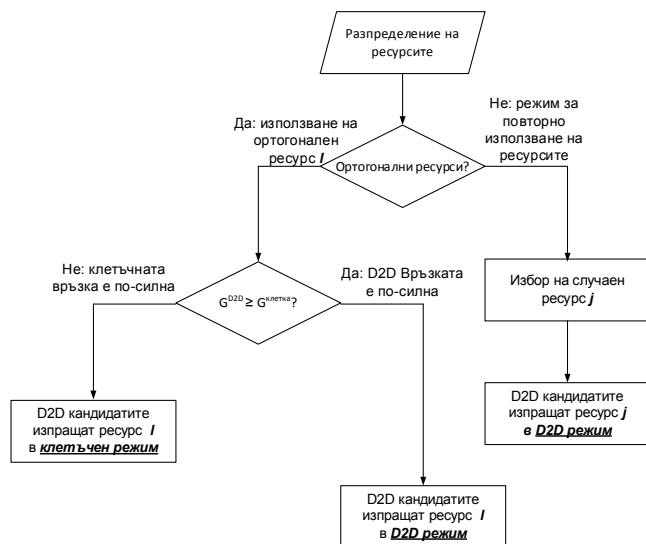
При тази схема е възможно да се увеличи цялостната производителност на системата, като същевременно се намалява цялата предадена мощност. Производителността е логаритмично пропорционална на степента на предаване на $link-l$, дефинирана като $u_l(x) = \ln(x), \forall l$. Математическият израз при този подход може да се представи с математическия израз:

$$\begin{aligned} & \sum_l u_l(s_l) - \omega \sum_l P_l \\ & s_l \leq c_l(p), \quad \forall l \\ & p, s > 0 \end{aligned} \quad (4)$$

където p и s представляват респективно излъчената мощност и скоростта на предаване на потребителското устройство, ω е параметър при проектирането, с който може да се настройва спектралната ефективност или ефективността на мощността – при малки стойности на ω се получава по-добра спектрална ефективност в замяна на по-висока мощност на предаване. Този проблем е решен чрез итеративен подход с помощта на вложени цикли [10], като т. нар. вътрешни цикли изчисляват оптималната предадена мощност за даден SINR, докато външните цикли обновяват стойността на SINR, на база на локалните измервания от приемниците.

Избор на режим и разпределение на ресурсите

Избора на режим и разпределението на ресурсите (RA) са взаимно свързани, тъй като достъпността на ортогоналните ресурси зависи от това, какъв режим е избран – клетъчен или D2D режим. Това се дължи на фундаменталното изискване за поддържане на ортогоналността на потребителските устройства, докато се осъществява повторно използване на ресурсите между клетъчните и D2D слоевете.



Фиг. 4. Избор на режим и случайно разпределение на ресурсите

Ресурсния режим и схемите за разпределение са предложени, за да облекчат нуждата базовата станция да разполага с цялата матрица на усилването и евентуалното влошаване на производителността (фиг. 4). Този алгоритъм изисква достъпност на информацията за състоянието на канала (CSI) между D2D кандидатите и между базовата станция и всички (клетъчни и D2D) предаватели. Този набор от CSI доклади е наличен в клетъчните базови станции, за да поддържат възможността за мобилност (хендовъра). Тази информация е необходима за мобилните станции, където ресурсите са разпределени измежду случайно избрани достъпни ресурсни блокове. Основната причина за това разпределение на ресурсите за D2D слой е, че се свързва с базовата станция на практика и се очаква да оперира на много по-груба времева скала (около 500 ms), от тази, която се използва за физическите ресурсни блокове в LTE системите [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологичните компоненти за управление на интерференцията, разпределението на ресурсите, управлението на мобилността и други техники на системно ниво позволяват ефективни D2D операции. Предложена е схема за управление на мощността, при която потребителското устройство използва вече наличната в LTE технологията схема за управление на мощността, докато при D2D устройствата има избор, дали да използват наличната схема или да използват оптимизираната-оптимална схема, която притежава някои допълнителни ограничения: ограничаващ праг на мощността и/или мален брой итерации.

Голямото количество изследвания, които трябва да се направят, за да се съобразят с желаните резултати, все още не е извършено. Могат да се представят само някои от резултатите за схемите за контрол на мощността при D2D комуникациите. Като бъдещи задачи може да се разгледат различни мобилни сценарии в клетъчната радио мрежа, като например комуникациите между превозни средства.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Iliev T., Gr. Mihaylov, 3GPP LTE system model analysis and simulation of video transmission, Proceedings in Advanced Research in Scientific Areas, Slovak Republic, pp. 2016-2021 [2012]
- [2] Mihaylov Gr., T. Iliev, G. Hristov, Analysis of the Physical Layer in IEEE 802.16(e) Standard, ICEST 2010 Proceedings of Papers volume 2, Bitola, Macedonia, pp. 505-508 [2010]
- [3] Roche d. I. G., Glazunov A. A., Allen B., LTE – advanced and next generation wireless networks: channel modelling and propagation, John Wiley & Sons Ltd., [2013]
- [4] Jämsä T., P. Kyösti, H. Taoka, V. Nurmela, V. Hovinen, J. Medbo, METIS Propagation Scenarios, European Cooperation in Science and Technology Cooperative Radio Communications for Green Smart Environments (COST IC1004) [2013]
- [5] Fodor G., Sorrentino S., Sultana S., Smart Device to Smart Device Communication, Springer [2014]
- [6] Monserrat J. F., H. Droste, Ö. Bulakci, J. Eichinger, O. Queseth, M. Stamatiatos, H. Tullberg, V. Venkatkumar, G. Zimmermann, U. Dötsch, A. Osseiran, Rethinking the Mobile and Wireless Network Architecture: The METIS Research into 5G, European Conference on Networks and Communications (EuCNC) [2014]
- [7] Botsov M., M. Klugel, W. Kellerer, P. Fertl, Location Dependent Resource Allocation for Mobile Device-to-Device Communications, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 1679 – 1684 [2014]
- [8] Venkatasubramanian V., Moya F. S., Pawlak K., Centralized and Decentralized Multi-cell D2D Resource Allocation using Flexible UL/DL TDD, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) [2015]
- [9] Sun W., E. G. Strom, F. Brannstrom, Y. Sui, K. C. Sou, D2D-based V2V Communications with Latency and Reliability Constraints, IEEE Global Communications Conference, Exhibition and Industry Forum (GLOBECOM) [2014]
- [10] Pradini A., Fodor G., Miao G., Belleschi M., Near-Optimal Practical Power Control Schemes for D2D Communications in Cellular Networks, European Conference on Networks and Communications (EuCNC) [2014]
- [11] Ternon E., Agyapong P., Hu L., Dekorsy A., Energy Savings in Heterogeneous Networks with Clustered Small Cell Deployments, 11th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS) [2014]