

# Технологията SCP-RPSC в милиметровите системи с кохерентен отговор за IoT комуникации

Веселин ДЕМИРЕВ

Технически Университет София, Факултет по Телекомуникации, София 1000, България,  
бул. „Кл. Охридски“ 8, бл. 1, e-mail: demirev\_v@tu-sofia.bg

---

*Резюме:* 5G генерация мобилни мрежи представляват предложение за бъдещо развитие на мобилните комуникации. Изследователската и развойна дейност на 5G включват също така и развитие на т.н. „комуникации машина – машина“, известни още като „Internet of Things“, чрез използване на милиметровите честотни диапазони. Преместването към тези изключително високи честотни обхвати, както и поставените нови изисквания към параметрите на 5G изискват прилагането на нови технически решения. Едно от тях представлява използването на микровълнови системи с кохерентен отговор, използвани до сега като Радиочестотни системи за идентификация - RFID. Пространствено-корелационната обработка – Кодирание със случайно фазово разнасяне SCP-RPSC представлява нова технология в областта на теорията на микровълновите лъчеформиращи антени системи, развита от автора преди около едно десетилетие. Приложението на тази технология в милиметровите системи с кохерентен отговор е предмет на настоящия доклад, като специално внимание се обръща на системните предимства на новото предложение във връзка с използването му в мрежите от поколение 5G.

**SCP-RPSC technology in the millimeter wave coherent transponding systems for IoT communications (Veselin Demirev)** 5G generation mobile networks are the proposed next telecommunications standards. 5G research and development also aims at improved support of machine to machine communication, also known as the Internet of Things, at millimeter waves. The move to these extremely high frequency bands, as well as the new requirements to the 5G network parameters, need new approach for the future technical systems solutions. One of those is the use of microwave Coherent Transponding Systems, known until now as Radio Frequency Identification systems. Spatial Correlation Processing – Random Phase Spread Coding is a new technology in the field of microwave beam forming antenna theory, developed by the author one decade before. Its application in millimeter wave coherent transponding systems is proposed in this report. The system advantages are considered in details too.

---

## Въведение

5-тата генерация мобилни мрежи, известни още като 5G, представляват за момента предложение за бъдещо развитие на мобилните комуникации [1, 2]. По-висока скорост на Internet, по-голям трафичен капацитет от настоящите 4G мрежи, едновременна работа на по-голям брой широколентови мобилни терминали на единица площ, както и пренос на неограничени по количество данни са новите предизвикателства към 5G. Това ще позволи голяма част от

мобилните терминали да предават със своите мобилни устройства медийна информация с висока разрешаваща способност за неограничен период от време. Свързаната с 5G изследователска и развойна дейност има за цел и развитие на комуникациите от типа „машина – машина“, известни още като Internet of Things (IoT), в насока намаляване стойността на преноса, консумацията на батериите и времезакъснението в сравнение с 4G. Дефинираните от Next Generation Mobile Networks Alliance изисквания към параметрите на 5G мрежите включват:

- Скорост на пренос на данни от десетки мегабити в секунда за десетки хиляди потребители;
- Скорост на пренос на данни от 100 мегабита в секунда за градските райони;
- Скорости от порядъка на 1 Gbit/s едновременно към потребителите от етаж на даден офис;
- Няколко стотин или хиляди едновременни връзки за големи сензорни мрежи;
- Значително подобрена спектрална ефективност в сравнение с мрежите 4G;
- Подобрено радиопокрытие;
- Повишена сигнална ефективност;
- Закъснения от порядъка на 1ms;

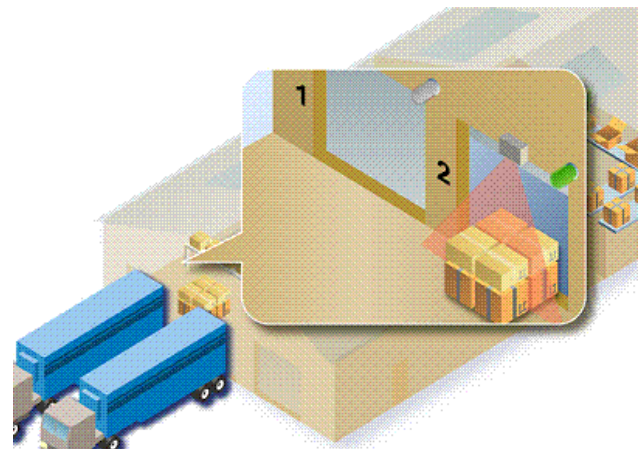
Предвижда се мрежите от генерация 5G да стартират работата си от 2020 година не само за мобилни потребители, а и за услуги като Internet of Things (Internet connected devices), радиоразпръскващи услуги, животоспасяващи комуникации по време на природни бедствия и др.

Американската комисия по далекосъобщения (Federal Communications Commission - FCC) одобри честотни ленти за бъдещите 5G мрежи, включващи 28 GHz, 37 GHz и 39 GHz (в долния край на милиметровия честотен диапазон) на 14 юли 2016 година. Усвояването на тези високи честотни обхвати, както и поставените нови изисквания към параметрите на 5G мрежите, изискват прилагането на нови технически решения.

Едно от тези решения представляват микровълновите системи с кохерентен отговор (Coherent Transponding Systems - CTSs) [3,4,5,6,7]. До сега те са използвани основно като Радиочестотни системи за идентификация (Radio Frequency Identification - RFID) в по-ниските честотни диапазони (Фиг.1). Системите се състоят от запитващи устройства (INterrogators – INTs) и отговарящи устройства (Transponders - TAGs), работещи в микровълновите индустриални (Industrial, Scientific, Medicine – ISM) честотни ленти. TAGs не генерират енергия в микровълновите диапазони, но използват приеманата такава за изпращане на информация с помощта на фазова модулация на отразения в обратна посока сигнал. Използването на насочени антени в подобни системи, работещи в милиметровия честотен диапазон, би подобрило значително параметрите на бъдещите CTSs и

създадо условия за преизползване на радиочестотния им ресурс.

По принцип основната цел на мобилните комуникационни системи е да осигуряват голям брой потребители с мобилни услуги на ниски цени при високо качество на връзката. Това се постига с помощта на различни методи за осъществяване на многостанционен достъп до ресурсите на базовите станции [2], като Достъп с честотно разделяне (FDMA); Достъп с времево разделяне (TDMA); Достъп с кодово разделяне (CDMA) и Достъп Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA).



Фиг. 1. Приложение на RFID системи при транспортиране на контейнери

В бъдеще нарастването на броя на мобилните терминали и на скоростта на пренасяната информация ще изисква допълнително увеличение на трафичните капацитети на системите за мобилни комуникации. Това може да стане с помощта на т.н. Достъп с разделяне чрез антенните лъчи (Beam Division Multiple Access – BDMA). При него базовата станция насочва към всеки мобилен терминал ортогонален антенен лъч, увеличавайки коефициента на честотно преизползване, а оттам и трафичния капацитет на системата.

SCP-RPSC (Spatial Correlation Processing – Random Phase Spread Coding) представлява нов подход в теорията на микровълновите лъчемоформиращи антени системи. Технологията е разработена от автора преди повече от десетилетие, първоначално за следящите по ъгли координати сканиращи антени системи за мобилни спътникови комуникации. В настоящия доклад се предлага приложението на технологията

SCP-RPSC в милиметровите RFID комуникации, използващи принципите на CTSs и пространственото разделяне BDMA. С помощта на подходящ теоретичен апарат, използващ уравнението на връзка на цифрова радиолиния, са показани системните предимства на предлаганите решения.

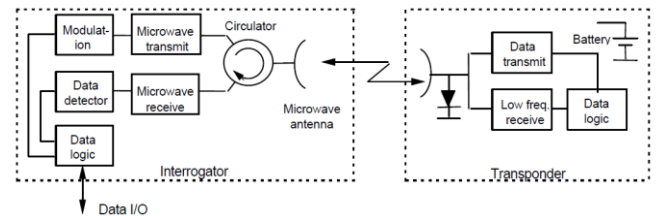
**Микровълнови системи с кохерентен отговор**

CTSs се състоят от един или няколко стационарно разположени INTs, изпълняващи функциите на базови станции при класическите мобилни системи. TAGs са разположени върху мобилните потребители по начин, осигуряващ директна радиовидимост по време на комуникационния контакт. Обикновено за целта се използват стандартните ISM честотни ленти. INT съдържа микровълнов приемно-предавател, използващ амплитудна модулация (ASK - Amplitude Shift Keying) в режим на излъчване и фазова (PSK - Phase Shift Keying) в режим на приемане. TAG в най-простия си вид се състои от приемник в основна честотна лента (base band - BB), логическо устройство, предавател (модулятор) в BB, батерия, микровълнова антена и модулаторен диод (фиг.2) [6]. Излъчваният от INT сигнал е ASK модулиран, като в TAG той се демодулира, усилюва в BB и обработва от логическото устройство. По време на излъчване на немодулиран сигнал TAG е в състояние да отговори чрез PSK и обратно преизлъчване на приемания сигнал. Тъй като TAG няма изразена честотна селективност, то той може да бъде запитван от INT в широка честотна лента. За предотвратяване на нежелани запитвания и отговори, TAG може да бъде конструиран така, че да реагира само на определен протокол за достъп при специфични приложения или на определени нива на входния сигнал. По време на комуникационен контакт TAG следи автоматично честотата на сигнала от INT в определена честотна лента, позволявайки реализирането на многоканални системи за достъп или такива с разширен спектър.

С помощта на формули, дадени в [6,8,9], е възможно да бъде изведено уравнението на връзката на една CTS система:

$$(1) E_b / N_0 = EIRP - 2L + G_r / T_s + 2G_{tag} + CL_{tag} + 228,6 - 10 \lg R_b \text{ (dB)};$$

Където:  $E_b / N_0$  (dB) е отношението на енергията на приемания от INT сигнал за един бит към спектралната плътност на топлинния шум на приемника му;  $G_r / T_s = G_{rInt} - 10 \lg T_{sInt}$  (dBi/K) представлява коефициентът на качество на приемника на INT,  $G_{rInt}$  е коефициентът на усилюване на приемната му антена, а  $T_{sInt}$  представлява системната му шумова температура;  $EIRP = 10 \lg P_{tInt} + G_{tInt}$  (dBW) представлява еквивалентната изотропно излъчвана мощност (Equivalent Isotropically Radiated Power – EIRP) на INT,  $P_{tInt}$  е мощността на излъчвания от INT сигнал и  $G_{tInt}$  представлява коефициентът на усилюване на излъчващата антена;  $L = 20 \lg R + 20 \lg f + 92,45$  (dB) представляват еднопосочните загуби от свободно разпространение, като R е разстоянието между INT и TAG в km и f е честотата в GHz;  $G_{tag}$  (dB) е коефициентът на усилюване на антената на TAG;  $CL_{tag}$  (dB) е коефициентът на преобразуване на TAG;  $R_b$  (bit/s) представлява скоростта на пренасяната информация.



Фиг. 2. Блокова схема на CTS INT и TAG

На базата на уравнението на връзка са определени по три работни разстояния R между INT и TAG [5] при  $R_b = 10 \text{ kbit/s}$ ;  $100 \text{ kbit/s}$  и  $1 \text{ Mbit/s}$  в честотния обхват 2,45 GHz, както следва:

- Клас I: EIRP - 10 mW - 11 m, 6 m и 3 m;
- Клас IIa2: EIRP - 100 mW - 18 m, 10 m и 6 m;
- Клас IIb2: EIRP - 500 mW - 27 m, 15 m и 9 m.

Разглеждаме уравнение (1) за случая, когато работната честота се променя от  $f_1$  до  $f_2$ , като системните параметри остават постоянни (което не е абсолютно вярно по отношение на системната шумова температура и загуби):

$$(2) E_b / N_0(f_1) = E_b / N_0(f_2);$$

Което от своя страна довежда до уравнение (3), където индексите (1) и (2) съответстват на честотите  $f_1$  и  $f_2$ :

$$(3) G_{t_{im1}} - 40 \lg f_1 + G_{r_{im1}} + 2G_{tag1} = G_{t_{im2}} - 40 \lg f_2 + G_{r_{im2}} + 2G_{tag2}$$

От уравнение (3) може да се направи изводът, че повишаването на работната честота, съответно и на загубите от свободно разпространение, може да бъде компенсирано успешно с увеличаване на коефициента на усилване на антената. Известно е от теорията, че антените с голямо усилване имат остронасочени диаграми, т.е. създават тесни лъчи. Това довежда до необходимостта от използване на сканиращи антенни лъчи при мобилно използване. Използването на насочени антени ще подобри функционалните параметри на CTSs, както и условията за честотно преизползване на алокирания радиочестотен ресурс. Възможно е също така и използването на различни методи за многостанционен достъп от типа на BDMA с оглед увеличаване на комуникационния трафичен капацитет на системата „един INT – няколко TAGs” [7].

### Въведение в технологията SCP-RPSC

Пространствено корелационна обработка-Кодиране със случайно фазово разнасяне (Spatial Correlation Processing – Random Phase Spread Coding - SCP-RPSC) представлява напълно нов принцип в теорията на микровълновите лъчеформиращи антенни системи, предложен, изследван и патентован от автора преди повече от десетилетие. Целта на изследователския проект е решаване на проблемите на следящите по ъглови координати антенни системи за спътникови комуникации. Първоначално е проучен приемният режим (SCP) [10, 11], където най-важните характеристики на предложението са:

- Приемане на един или няколко сигнала от един или няколко пространствено разнесени източника (спътника), осигурявайки същевременно голям коефициент на усилване на антенната система при фиксирани или мобилни терминали, оборудвани със SCP сигнално обработващи системи;
- Осигуряване на достатъчно висока пространствена селективност с оглед

елиминиране на смущенията, приемани от различни пространствени направления, при използване на конвенционален едноканален приемник и нов принцип на сигнална обработка.

Основните предимства на технологията SCP включват:

- Използване на проста и евтина пасивна процепна антена на радиална линия (Radial Line Slot Antenna - RLSA), подходяща за масово производство в Ку и Ка честотни обхвати;
- Едноканален микровълнов приемник с проста сигнална обработка;
- Слабонасочена за кооперирания спътник антена система, но в същото време с висок коефициент на качество G/T на приемната система;
- Избиране на различни спътници и поляризации с помощта на псевдослучайни PN-кодове;
- Възможности за реализиране на софтверен хенд-овер между различни спътници, както и на многолъчеви диаграми на насоченост;
- Приемна система, но с възможни приложения в предавателни такива;
- Приложение в съществуващи цифрови разпръсквателни спътникови системи (Digital Video Broadcasting – Satellite DVB-S) системи с малки изменения на използваните сигнали, съвместима със съществуващите спътникови транспондери.

В предавателен режим технологията RPSC [12,13] използва излъчване на широколентови микровълнови сигнали в околното пространство с помощта на многоелементни случайно фазиращи антенни решетки. Сумата на сигналите, излъчени от отделните елементи на решетките, в дадена точка на пространството има Гаусово вероятно разпределение и шумоподобни свойства. Тези суми в различни направления на пространството не са корелирани една на друга. По този начин предлаганият принцип решава едновременно разширяването на спектъра и лъчеформирането на бъдещите микровълнови наземни и спътникови комуникационни системи с фиксирано и мобилно приложение.

Основните предимства на технологията RPSC, използвана в up-links на спътниковите комуникации, са:

- Слабонасочени към кооперирания спътник, но с висока еквивалентна (по ВВ) EIRP;
- Избор на различни терминали и поляризации с помощта на PN-кодове;
- Възможности за реализиране на софт хендовер, както и на многолъчеви диаграми на насоченост;
- Кохерентната демодулация с помощта на пилотен сигнал елиминира ефектите на Доплер и на фазовите шумове, въведени от местните осцилатори в спътниковите системи;
- Съвместимост със съществуващите радиопрозрачни спътникови транспондери;
- Възможност за реализиране на напълно дуплексна радиокommunikationна система с една проста и евтина приемо-предавателна антена, използвайки технологията SCP-RPSC в двете направления (особено подходяща за Ku обхват);
- Излъчваните случайно фазиращи сигнали не причиняват значителни смущения към конвенционалните спътници, използващи същите честотни канали;
- RPSC up-links са защитени от радиопротиводействие идващо дори от точки, близко разположени до земните станции и в главния максимум на спътниковата приемна антена;

В настоящия доклад “магическите” свойства на технологията SCP-RPSC, прилагана в бъдещите микровълнови CTSs, ще бъдат детайлно анализирани.

### Приложение на технологията SCP-RPSC в бъдещите CTSs

#### Технологията SCP в INT

Приложението на технологията SCP в CTS INT (SCP-I CTS) довежда до  $G_{int1} = G_{int2}$  и  $G_{tag1} = G_{tag2}$  в уравнение (3), или:

$$(4) \quad G_{rint2} = G_{rint1} + 40 \lg f_2 / f_1$$

Например при  $f_1 = 2,45GHz$  и  $f_2 = 24,125GHz$  (стандартни честотни обхвати за ISM) коефициентът на усилване на приемната INT антена трябва да се увеличи с около 40 dB за високата честота с оглед запазване на стойностите

на основните системни параметри. Една SCP антена с диаметър 30 см има усилване около 36 dBi, така че компенсиранието е добро, но не напълно. Друго положително свойство на варианта SCP-I CTS е възможността за пространствено разделяне на няколко TAGs, разнесени на ъгли, по-големи от ширината на диаграмата на нулево ниво на пространствената крос корелационна функция SCCF (Spatial Cross Correlation Function) [11]. По този начин е възможно реализиране на метода за достъп BDMA. За конкретните примерни стойности този ъгъл е около 3 градуса.

#### Технологията SCP-RPSC в INT

Приложението на технологията SCP-RPSC в CTS INT (SCP-RPSC-I CTS) предполага:  $G_{int1} = G_{rint1} = G_{int}$  и  $G_{tag1} = G_{tag2}$  в уравнение (3), от което следва:

$$(5) \quad G_{int2} = G_{int1} + 20 \lg f_2 / f_1$$

В този случай при  $f_1 = 2,45GHz$  и  $f_2 = 24,125GHz$  е необходимо коефициентът на усилване на приемо-предавателната антена на INT да бъде увеличен с около 20 dB. Една SCP-RPSC антена с диаметър 30 см на честота  $f_2$  има усилване около 36 dBi в едното направление, поради което компенсацията е повече от успешна. Допълнително предимство представлява възможността за разделяне на няколко различни пространствено разнесени TAGs. Ъгловото разрешение е по-добро от предишния случай, но за точното му определяне са необходими допълнителни изследвания.

#### Приложение на технологията SCP-RPSC в TAGs

Приложението на технологията SCP-RPSC в CTS TAGs (SCP-RPSC-T CTS) довежда до  $G_{int1} = G_{int2}$  и  $G_{rint1} = G_{rint2}$  в уравнение (3), от което следва:

$$(6) \quad G_{itag2} = G_{itag1} + 20 \lg f_2 / f_1$$

В този конкретен случай коефициентът на усилване на приемо-предавателната антена на TAG трябва да бъде увеличен с около 20 dB. При използването на антена с диаметър 30 см

компенсацията е повече от отлична. Разделянето на различните TAG може да се извърши с помощта на предложението от автора метод за достъп със случайно фазово разнасяне Random Phase Spread Coding - Multiple Access (RPSC-MA) [12].

### **Технологията SCP-RPSC в INTs и TAGs**

Възможното приложение на технологията SCP-RPSC едновременно в CTS INTs и TAGs (SCP-RPSC-IT CTS) се основава само на интуитивен подход. Този случай, който изглежда много перспективен, очевидно се нуждае от допълнително задълбочено теоретично и експериментално изследване.

### **Заклучение**

В доклада е предложено приложението на технологията SCP-RPSC в следващите поколения микровълнови системи с кохерентен отговор, предназначени за 5 G IoT комуникации. До сега подобни системи са използвани в понискочестотни обхвати изключително за RFID приложения. Извършеният анализ показва широката област на приложения на различни SCP-RPSC CTSs, при необходимост от:

- Насочване на тесен лъч в определен ъглов сектор и реализиране на покритие, подобно на това на секторна антена. Целта е реализиране на едновременен BDMA метод на достъп за няколко мобилни TAGs;
- Реализиране на високи коефициенти на усилване на антенните системи на използваните INTs и TAGs за компенсиране на увеличените загуби от свободно разпространение при милиметровите честотни диапазони;
- Стесняване на антенните лъчи с оглед намаляване на многолъчевото разпространение;
- Създаване на комплексни и динамично реконфигурируеми IoT радио мрежи с висока спектрална ефективност;
- Преизползване на честотния и времевия системен ресурс чрез използване на RPSC-MA;
- Използване на метода “multiple spot beams”

от нестабилни или мобилни IoT платформи.

В заключение може да се каже, че практическото приложение на принципите на SCP-RPSC в микровълновите CTSs ще позволи мобилно двупосочно предаване на голям обем от данни за краткото време на комуникационен контакт между INTs и TAGs. С това ще се решат успешно много от съществуващите проблеми на бъдещите 5 G IoT комуникации.

### **Литература**

- [1] Wikipedia – 5G.
- [2] Latha D., D. Reddy, K. Sudha, A. Mubeen, T. Savita. A Study on 5th Generation Mobile Technology - Future Network Service. IJCSIT International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 5 (6) , 2014.
- [3] Demirev V., SCP-RPSC Coherent Transponding Systems for IoT Communications. Industry 4.0, Year II, Issue 1, 2017, pp. 25-28.
- [4] King R. Microwave Homodyne Systems. London, Peter Peregrinus Ltd., 1978.
- [5] Демирев В., М. Гачев. СВЧ системи в промишлеността и бита. София, Техника, 1985.
- [6] Wireless Lans. IEEE P802.11, ERC Report, January 1998.
- [7] Sikander J. Microsoft RFID Technology Overview. Internet, November, 2004.
- [8] Демирев В. Мобилни и персонални спътникови комуникации. София, изд. ТУ-София, 2010.
- [9] Jos R. Beam Forming for 5G Communication Systems. Radio-Electronics.com, 07 Mar 2016.
- [10] Demirev V. Spatial Correlation Processing - the New Approach in the Broadband Satellite Tracking Systems. Journal of Electrical and Control Engineering, V.3, N 5, 2013, pp. 55-64.
- [11] Demirev V. Some Important Parameters of the Spatial Correlation Processing Technology. Journal of Electrical and Control Engineering, V.3, N 5, 2013, pp. 49-54.
- [12] Demirev V. Random Phase Spread Coding - the New Way to Communicate with Noise Signals at Microwaves. Journal of Electrical and Control Engineering, V.4, N 2, 2014, pp. 1-9.
- [13] Demirev, V. Spatial Correlated Radiocommunication Technologies – the Bulgarian Contribution for a Better World. Science, Business, Society, V. 1, 2016, pp.18-21.