

АНТЕННИ СИСТЕМИ С ЦИФРОВА ОБРАБОТКА НА СИГНАЛА ЗА SC-CDMA МОБИЛНИ КОМУНИКАЦИИ

Доц. д-р Веселин Борисов Демирев
Технически университет - София

Ст.н.с. Цанко Илиев Цанев
ЦЕНТС при БТК

Решаването на проблемите, свързани с развитието на мобилните комуникации, изисква нови и нетрадиционни решения от страна на системните специалисти. Особено добре тази тенденция се наблюдава в развитието на радиointерфейсите на новите системи, по-специално в областта на многотерминалния достъп до базовите станции. В лит.1 е предложен принципно нов метод за достъп, наречен от създателя му пространствено корелиран /Space Correlated - SC/ CDMA. Същността на метода се състои в захранване на мобилните станции /MS/ и базовите станции /BS/ с псевдослучайни кодове от няколко пространствено разнесени източници на опорни радиосигнали, като същевременно се осигурява корелация на информационните и опорните сигнали в областта на MS и BS. По този начин се получава възможност за синтезиране на уникални кодове /U-PN/, зависещи от пространственото положение на MS и BS.

В лит. 2 е предложена конфигурация на комбинирана /спътниково и наземно базирана/ система за мобилни комуникации, осигуряваща въздушния интерфейс за универсални системи от типа на IMT-2000-UMTS и използваща метода SC-CDMA. Системата е наречена EMI A&B /Enhanced Mobile Information A&B - Радиointерфейс за мобилни комуникации с повишени информационни възможности - варианти А и В/.

На фиг. 1 е показана структурна схема на EMI A & B. Системата се състои от наземен и спътников сегмент, както следва:

1. Наземен сегмент, включващ:

- потребителски мобилни терминали /MS/,
- наземни базови станции /BS/,
- входно-изходни земни станции /GWS/.

2. Спътников сегмент, включващ:

- нискоорбитални спътникови базови станции /BS-LEO,s/,
- спътникови източници на PN-сигнали /GPS/.

На фиг. 1 също така са показани възможните за използване честотни диапазони, както и нови, но известни радиокомуникационни технологии:

-2 Ghz - up-link IMT-2000-UMTS, SC-CDMA.

-2,2 Ghz - down-link IMT-2000-UMTS, SC-CDMA.

-1,6 Ghz -Cn - GPS.

-12 Ghz down-link, 14 Ghz up-link NGSO-FSS технология, използвана като фидерна линия за хранване на изолирани BS без достъп до наземната фиксирана мрежа.

-18 Ghz up-link, 11 Ghz down-link, NGSO-FSS технология, използвана като фидерна линия за LEO,s.

Разстоянията между елементите на системата EMI A&B са съществени за осигуряване на метода SC-CDMA. За целта те са означени на фиг. 1 както следва:

-R - разстояние между мобилна станция и базова станция,

-R_i bs - разстояние от наземна базова станция до i-ия спътник от системата GPS,

R_i bs leo,s - разстояние от спътникова базова станция до i-ия спътник от системата GPS,

R_i ms - разстояние от мобилната станция до i-ия спътник GPS.

Началното синхронизиране на U-PN кодовете в гореописаната система се осъществява чрез регулиране на времевите закъснения Δt в BS и MS на базата на пространствени зависимости на изброените по-горе разстояния. Следенето на кодовете в динамичен режим се осъществява чрез класически CDMA похвати. В предложеното в лит. 2 решение обаче не са дискутирани възможностите за използване на остронасочени антени в наземните и нискоорбиталните BS. Използването на такива антени би довело до рязко подобряване на енергетичния потенциал на системата, както и на възможностите за пространствено разделяне на MS /т.н. метод SD - CDMA/.

Един от възможните варианти за използване на остронасочени антени в BS е многолъчевият [лит.3]. При него с помощта на диаграмообразуващи устройства се реализират многолъчеви антенни решетки. Всеки лъч оформя на земната повърхност отделна клетка. Като недостатък на тази концепция може да се посочи необходимостта от извършване на чести handover процедури, свързани с въртеливото и постъпателното движение на носителя - нискоорбитален спътник, както и сравнително сложният RF хардуер. Друг възможен вариант представляват адаптивните антенни решетки /лит.4 и 5/. Този подход изисква използването на сложни изчислителни адаптивни алгоритми и е ефективен при брой на интерфериращите MS, съизмерим с броя на елементите на антенната решетка. При използване на CDMA достъп до трафичните ресурси на BS, на практика всяка активна MS е интерферираща за останалите в известна степен, при което се елиминират предимствата на адаптивния подход.

В настоящата работа се предлага използването на остронасочени електронно сканиращи антени решетки в BS с наземно и нискоорбитално спътниково базиране на системи от типа EMI A&B. Насочването на лъчите се извършва по нов метод, наречен от авторите MST /Mobile Station Tracking - Следене на мобилната станция/. За целта в резултат на взаимното обменяне на информация между MS и BS за пространствените си координати в ECEF /Earth Centered - Earth Fixed - Земно центрирана и фиксирана/ координатна система, освен необходимите за синхронизацията на метода SC-CDMA разстояния се изчисляват и ъгловите координати на MS в инерциална координатна система, свързана с BS. По тези ъглови координати се извършва съответното фазиране на сигналите в отделните канали на предавателната и приемната антени решетки на BS, без използване на сложни адаптивни алгоритми и необходимите за целта пилотни сигнали. При една MST EMI A&B система процедурата по начално синхронизиране на U-PN кодовете и насочването на диаграмата на насоченост на антената на BS би изглеждала така:

- чрез класически радиоинтерфейс BS излъчва информация за пространствените си координати X_{bs} , Y_{bs} , Z_{bs} в ECEF координатна система, използвана от системата GPS. За целта може да се използва BCCH /Broadcast Control Channel/, който съгл. Препоръка M 1035 на ITU-R за IMT-2000-UMTS е предназначен основно за излъчване на информация за системата и клетката.
- чрез класически радиоинтерфейс при активиране MS излъчва данни за идентифициране и за пространствените си координати X_{ms} , Y_{ms} , Z_{ms} в ECEF координатна система.
- процесорът в MS определя разстоянието R по формула /5, лит.2/, след което изчислява Δt_{ms} по формула /3, лит.2/.
- процесорът в BS определя R_{ibs} , R_{ims} по класическите алгоритми, характерни за системата GPS, определя разстоянието R по формула /5, лит.2/, след което изчислява Δt_{ibs} по /2, лит.2/, ъгловите координати на MS в ECEF и инерциална координатни системи.
- изчислените Δt_{ms} и Δt_{ibs} служат за начално синхронизиране на U-PN кодовете. Следенето на кодовете в динамични условия се извършва по класически "early-late" CDMA метод. По изчислените инерциални координати се извършва фазиране на нов антенен лъч в режими на приемане и предаване.

Методиките, по които се извършва изчисляването на ъгловите координати на MS в инерциална за BS координатна система се разработват в момента и ще бъдат публикувани допълнително. Най-подходящата конфигурация за антена на наземна BS представлява кръгова антенна решетка, сканираща в азимуталната равнина /лит.6, стр. 204/. За

нискоорбитална BS е подходяща плоска /кръгова или многоъгълна/ антенна решетка с електронно сканиране по азимут и елевация с нееквидистантно разпределение на елементите /лит.6, стр. 81/.

Блокова схема на приемо-предавателния тракт на BS, реализиращ метода MST, е представена на фиг. 2. С RAE 1,2...j...N са представени отделните приемни елементи /Receiving Antenna Elements/ на приемната активна антенна решетка. Съответно с TAE 1,2...j...N са означени излъчващите антенни елементи /Transmitting Antenna Elements/. С RAE-OD /TAE-OD/ са означени приемните /предавателните/ антенни елементи с ненасочени диаграми и невключени в състава на антенните решетки с електронно сканиране. С RCH /TCH/ 1,2...i...M са означени приемните /предавателните/ канали. Действието на системата е следното:

С помощта на TAE-OD и RAE-OD съгласно описаната по-горе процедура BS и MS изграждат радиовръзка, като обменят данни за координатите си и за идентификация. Системата за управление и контрол на BS изчислява необходимите за SC-CDMA закъснения Δt_b , изработва необходимите U-PN кодове за корелация и разширяване на спектъра, изчислява пространствените координати на MS в инерциалната координатна система на BS и на тази основа определя необходимите дефазирания на сигналите в отделните приемни Φ_j и предавателни Ψ_j канали.

Приеманите от отделните RAE сигнали се усилват от високочестотни малощумящи усилватели LNA /Low Noise Amplifiers/, преобразуват честотно в междинна честота чрез синфазно захванвани D/C /Down-Converters/, усилват в междинно-честотни усилватели IFA /Intermediate Frequency Amplifiers/ и дигитализират в ADC /Analog to Digital Converters/. Цифровата обработка на сигналите по междинна честота е добре известна /лит.7/ и тук няма да бъде описана подробно. Характерното за предлаганата антенна конфигурация е, че всеки RAE съдържа M корелатора, изпълняващи същевременно функции на кодови филтри, преобразуватели на честота D/C и фазорегулатори. Последната функция се реализира чрез регулиране на радиофазите на хетеродинните U-PN сигнали, с които се корелират приетите SC-CDMA сигнали. По този начин броят на необходимите корелатори е равен на $M \times N$. Изходните сигнали от корелаторите, съответстващи на всеки приемен канал, се сумират, демодулират и канално декодират по класически начин.

Аналогично в предавателните канали TCH в обратен ред се извършва шумоустойчиво кодиране, разширяване на спектъра с U-PN кода на BS, модулиране, разделяне на каналните сигнали към отделните TAE със съответното фазиране, сумиране на сигналите от всеки TCH към всеки TAE, преобразуване на комплексните цифрови сигнали в аналогов вид в

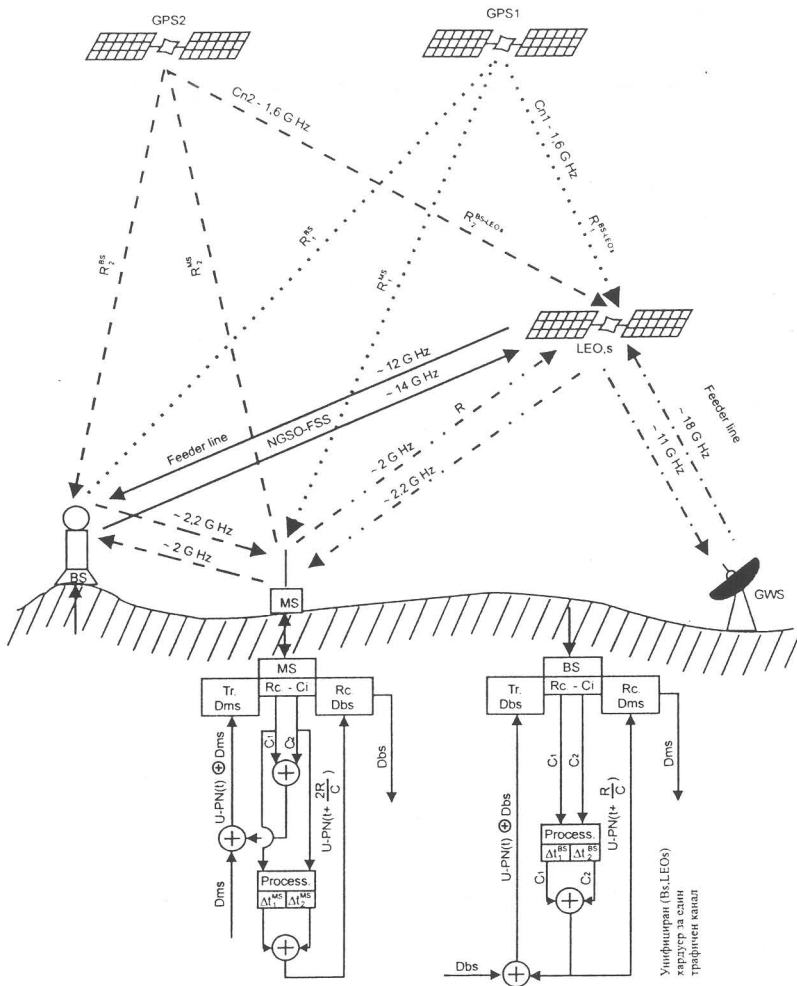
DAC /Digital to Analog Converter/, преобразуване в RF сигнали чрез U/C /Up-Converter/, усилване по мощност в HPA /High Power Amplifier/ и излъчване от антенните елементи с кръгова поляризация.

Цифровата обработка на сигналите в гореописаната система дава възможност за реализация, която не би била възможна в аналогов вид поради сложността и големият брой аналогови елементи. Разделянето на усилването в приемната антенна решетка в отделни канали позволява общо намаляване на шума на приемника поради факта, че полезните сигнали се сумират синфазно на изхода, докато въведените от всеки канал шумовите сигнали се сумират средноквадратично. В предавателните канали е възможно при голям брой активни MS и поради векторното сумиране на сигналите от отделните канали да се получат ниски нива на средните мощности на излъчване. Последното твърдение ще бъде допълнително изследвано. При потвърждение биха се получили значителни облекчения за работата на крайните HPA по отношение на консумираната постояннотокова мощност, което е особено важно при спътниковите системи с ограничени енергийни източници.

В заключение може да се каже, че методът MST в съчетание с възможностите на SC-CDMA дава нови и неизследвани възможности за специалистите, разработващи нови системи за мобилни комуникации. За целта е необходимо допълнително подробно изследване на всички аспекти на проблема /системни, софтуерни и технологични/ от специалисти в съответните направления.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Демирев, Пространствено корелиран /SC / CDMA - нов подход за ефективно използване на радиочестотния ресурс на системите за мобилни комуникации, Телеком,99, Варна, 1999 г.
2. В. Демирев, Ц. Цанев, ЕМІ А&В - SC-CDMA радиointерфейс за мобилни комуникации, Телеком,99, Варна, 1999 г.
3. F. Dietrich, P. Metzner, P. Monte, The Globalstar Cellular Satellite System, IEEE trans. on Antennas and Propagation, vol. 46, № 6, June, 1998.
4. J. Litva, T. Lo, Digital Beamforming in Wireless Communications, Artech House, London, 1996.
5. L. Godara, Applications of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction of Arrival Considerations, Proceedings of the IEEE, vol. 85, №8, August, 1997.
6. R. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook, Artech House, London, 1994.
7. J. Gunn, K. Barron, W. Ruczzyk, A Low -Power DSP Core-Based Software Radio Architecture, IEEE Journal on selected areas in communications, vol. 17, № 4, April, 1999.



ФИГУРА 1

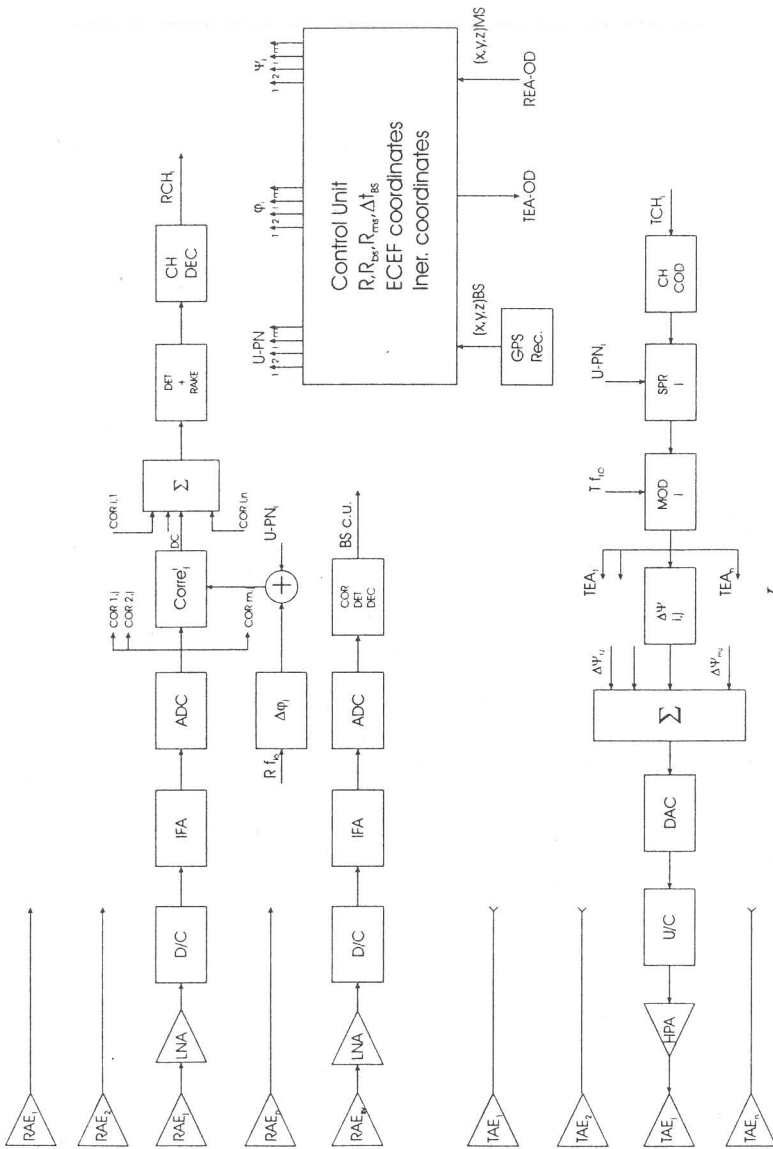


Fig. 2