

Rosen A. Bogdanov, Nikolay Zh. Kulev, Miroslav G. Nedelchev,

ESTIMATION OF DIRECTIONS OF ARRIVAL, APPLIED TO FIFTH GENERATION NETWORKS

Rosen A. Bogdanov, Nikolay Zh. Kulev, Miroslav G. Nedelchev

Communication Networks and Systems Department, Artillery, Air Defense Communication and Information Systems Faculty, National Military University „V. Levski”, Shumen, Bulgaria

rab61@abv.bg, nz_kulev@abv.bg nedel4ew@abv.bg

МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА ЪГЛИТЕ НА ПОСТЪПВАНЕ НА СИГНАЛИТЕ, КОИТО СЕ ПРИЛАГАТ В МРЕЖИТЕ ОТ ПЕТО ПОКОЛЕНИЕ

Росен А. Богданов, Николай Ж. Кулев, Мирослав Г. Неделчев

Катедра „Комуникационни мрежи и системи“, Факултет „Артилерия, протововъздушна отбрана, комуникационни и информационни системи“, гр. Шумен, България

rab61@abv.bg, nz_kulev@abv.bg nedel4ew@abv.bg

Abstract: *This paper presents an overview of estimation methods and techniques of narrowband direction of arrival and effective beamforming which represent spatial diversity, and mitigate spectrum use. There are numerous algorithms for generating different diagrams and beamforming, which used massive MIMO antennas and can be represented in fifth generation wireless cellular communication systems.*

Keywords: *5G, massive MIMO, beamforming, DOA estimation, MUSIC*

I. УВОД

В настоящия доклад са представени някои от методите за оценка на ъгъла на постъпване при детектиране на сигнали в условията на усложнена електромагнитна среда.

С развитието на безжичните комуникации, очакванията към системите от следващо поколение са за скорост от порядъка на 1 Gb/s в DL и 500 в Mb/s UL и изискванията към ъгловата разделителна способност, при оценка ъглите на постъпване в мрежите от пето поколение са завишени в сравнение с предходните стандарти. 3GPP дефинира следните изисквания [4]:

- за подвижно потребителско оборудване със скорост до 0,5 m/s – 5°
- за подвижно потребителско оборудване със скорост до 10 km/h – 10°
- за неподвижно потребителско оборудване – 30°

В 4G мрежите такива изисквания не са предвидени и това налага напълно нови решения на проблема с определяне на ъгъла на постъпване и адаптивна промяна на излъчвания от антените лъч. Възможно решение предоставят многомерните (massive) MIMO антени, които значително повишават съотношението С/Ш, осигурява възможността за подобряване и ефективно използване на спектралните ресурси и са предпоставка за успешна борба с многолъчевостта [2].

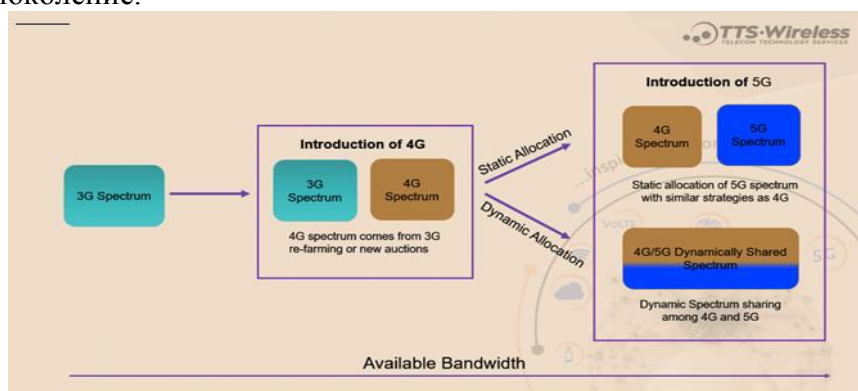
Определянето на ъгъла на постъпване по същество представлява техника за обработка на сигнала, която извършва оценка на местоположението на постъпващите от кореспондента елект-

ромагнитни вълни, докато адаптивната промяна на широчината и формата на ДНД е техника за сформирание и управление на излъчването, така че да се максимизира енергията в желаната посока и подтиснат страничните листи или излъчванията в нежелана посока [3].

Чрез комбиниране на двете техники се осигурява пространственото разнасяне, което е едно от основните предимства на massive MIMO технологията и има за цел да подобри надеждността на системата, като изпраща данни с минимална интерференция по различни пътища в пространството, което осигурява пространствено мултиплексиране.

Усложняването на процеса по определяне на местоположението при динамично уплътняване на честотния спектър, използван от когнитивни потребители и мрежите от пето поколение е вследствие на непрекъснатото движение на мобилния потребител и промените в заобикалящата среда, потребителското оборудване и мрежата изискват по-разширени възможности за непрекъснато координиране на връзката и управление на предаването на данни, с което да се постигне подобрена производителност [1].

На фигура 1 [5] е представено използването на честотните ресурси в мрежите от трето, четвърто и пето поколение.



Фигура 1. Използване на спектъра за мрежите от трето, четвърто и пето поколение

II. ТЕХНИКИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЪГЛИТЕ НА ПОСТЪПВАНЕ

Важно условие при формирането и управлението на лъч в базовата станция е наличието на система за оценка на ъгъла на постъпване, то се базира на измерване на закъсненията от постъпващите в антенните елементи вълни.

Съществуват различни методи за оценка на посоката приемане, като най - общо се разделят в четири групи [7]:

- Конвенционални техники – основаващи се на класическите техники за формиране на лъчи;
- Пространствени техники – се основават на неоптималното приемане на сигнали с висока резолюция, използващи структурата на матрицата от входни данни.
- Техники базиращи се на максималното правдоподобие - оптимални техники, които се характеризират с висока ефективност при ниски стойности на SNR и подлежат на лесна изчислителна обработка;
- Комбинирани техники - използват обработка на сигнала получен въз основа на възстановяването на постъпилите отразени сигнали и определяне на най- вероятното местоположение, чрез използване на пространствените техники.

Определянето на времезакъснението Δt_k в общия случай се извършва по следния начин:

В многомерна антенна решетка с M на брой елемента приема сигнали от L източници. Разстоянието между елементи от масива е d , а N е броя на отчетите и всички предаватели излъчват в тясна лента.

Фазата на сигнала в основната лента $s(t)$, приет в елемент $M=0$ се приема за нула. За да се измери фазовата разлика в k -тия елемент е необходимо да се измери разликата във времето, в което сигналът $s(t)$ постъпва в нулевият елемент и времето в k -тия елемент.

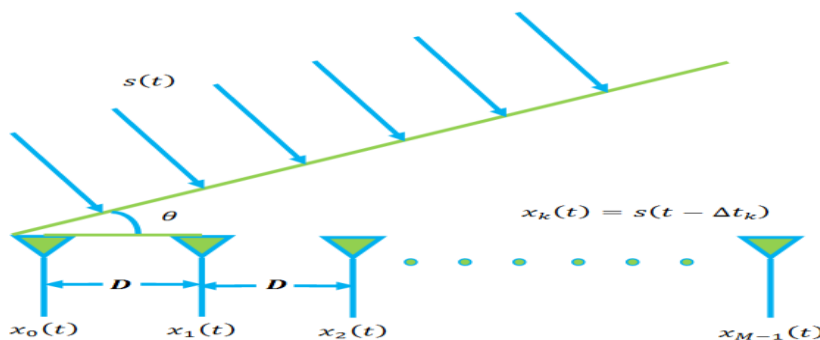
От фигура 1 е показан вариант с линейно разположени елементи и закъснението между 0 -вия и k -тия елемент, което може да се определи чрез тригонометричната зависимост

$$\Delta t_k = \frac{k D \sin \theta}{c} \quad (1)$$

където c е скоростта на светлината.

За реален теснолентов сигнал с период на повторение T и носеща честота f_c , модулирана с $s_1(t)$ може да се запише

$$s(t) = \text{Re } s_1(t) e^{j2\pi f_c t} \quad (2)$$



Фигура 2. Линейно разположени елементи

За приетият в k -тия елемент сигнал може да се запише

$$x_k(t) = \text{Re } s_1(t - \Delta t_k) e^{j2\pi f_c (t - \Delta t_k)} \quad (3)$$

За дискретни сигнали при известна дължина на вълната и разстояния между елементите е в сила [6].

$$x_k(n) \approx s(n) e^{-j\pi k n \sin \theta} = a_k(\theta) s(n) \quad (4)$$

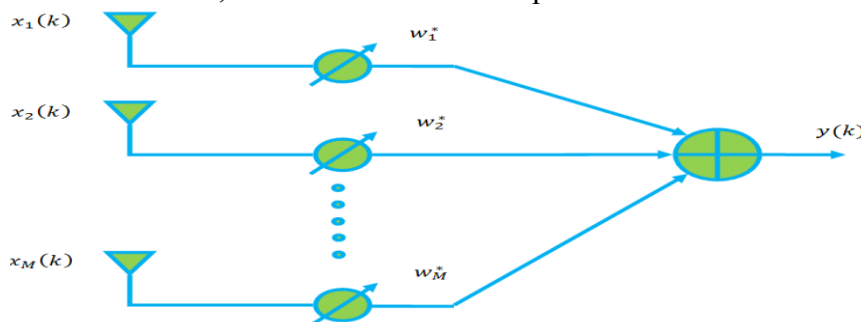
където $a_k(\theta)$ представлява управляващия (насочващ) вектор;

1. Конвенционални техники

Техниките за конвенционална обработка на оценката на ъгъла на приемане се основават по същество на форматирането на лъчи и определяне на техните закъснения и минималното отклонение без изкривяване или сканирането на лъч през пространството, както и измерване на получената от всеки ъгъл мощност. Решението за определяне на местоположението се определя от посоката с най-голяма стойност на мощността.

На фигура 2 е представен обобщен класически модел на антенна решетка за формиране на лъч за оценка на ъгъла на постъпване.

Изходният сигнал $y(k)$ се получава чрез линейно сумиране на тегловете коефициенти, получени от изходите на елементите, в които е постъпил отразен сигнал.



Фигура 3. Модел за формиране на лъчи

Така може да се запише [6]

$$y_k = w^H x(k) \quad (5)$$

Мощността излъчвана от конвенционален източник може да се запише, като

$$P = E y_k^2 = E w^H x(k) x^H(k) w = w^H R_{xx} w \quad (6)$$

където R_{xx} е автокорелационната матрица на масива от постъпваща полезна информация. Чрез внимателна оценка на тази матрица е възможно да се определи вектора на отразения лъч.

Отчитайки постъпилия под ъгъл θ_0 в антенната решетка отразен сигнал $s(k)$, отчитайки (6) може да се запише

$$\begin{aligned} P_{\theta_0} &= E y_k^2 = E w^H x(k) x^H(k) w = E w^H (a(\theta_0) s(k) + n(k))^2 \\ &= w^H (a(\theta_0) a^H(\theta_0) (\sigma_s^2 + \sigma_n^2)) \end{aligned} \quad (7)$$

където

$a(\theta_0)$ е вектора за управление на лъча, който се определя от алгоритъма за оценка на ъгъла на постъпване;

$n(k)$ постъпилия на входа на антената шум;

$\sigma_s = E s(k)^2$ и $\sigma_n = E n(k)^2$ представляват мощността на сигнала и шума.

От това се вижда, че мощността се максимизира, когато $w = a(\theta_0)$ и тогава всички теглови коефициенти имат максимална стойност в направление θ_0 . Постъпващите сигнали са симфазни и се получава конструктивно сумиране.

Чрез сканиране на даден регион през определени периоди от време и измерване на получената мощност е възможно да се изчислят отделните теглови коефициенти за различни ъгли θ .

Така уравнение (6) може да се запише в следния вид:

$$P = w^H R_{xx} w = \alpha^H(\theta) R_{xx} a(\theta) \quad (8)$$

Чрез оценка на автокорелационната матрица и известни стойности на управляващия вектор $a(\theta)$ за всички ъгли θ , позволява да се определи пиковата мощност, а от тук и ъгъла на постъпване θ_0 .

Недостатъци на конвенционалния метод са слабата ефективност поради ограниченията в широчината на ДНД на лъча и нивата на страничните листи, при получаване на сигнали от различни ъгли на приемане или голям брой източници на енергия. Така разделителната способност е слаба. Възможно подобряване се постига чрез добавяне на допълнителен брой сензорни елементи, но с това следва да се увеличи необходимата памет и изчислителна мощ.

Усъвършенстван конвенционален метод е предложен от Капон. и се основава на определяне на минималната дисперсия и [8] се прилага в опит за преодоляване на проблема с влошената разделителна способност на конвенционалния метод, чрез използване някои степени на свободата при формиране на лъч в желаната посока и едновременно използвайки останалите степени на свобода за свеждане до нули, посоките на смущаващи сигнали.

Това поддържа постоянно усилване в направлението на главния лъч и минимизира изходната мощност на смущаващото оборудване.

$$\min_w E y_k^2 = \min_w w^H R_{xx} w \quad (9)$$

при условие, че $w^H a(\theta_0) = 1$

За определяне на мощността се използва следния израз [9]:

$$P_{\text{Capon}}(\theta) = \frac{1}{\alpha^H(\theta) R_{xx}^{-1} a(\theta)} \quad (10)$$

където α^H е постъпилния в антенната матрица отразен вектор за ъгъл θ ;

R_{xx} отразява комплексно спрегнатото преобразуване на автокорелационната матрица.

Така метода на Капон с определяне на минималната дисперсия използва за изчисляване комплексно спрегнатата автокорелационна матрица, с което се подобрява разделителната способност, със сравнително малка изчислителна мощ.

2. Пространствени техники

Малката разделителна способност, която се постига с конвенционалния метод за оценка, оказва най-голямо ограничаващо влияние върху широкото му използване при лесната за реализиране изчислителна способност. Това налага да се търсят други техники за оценка на електромагнитната среда. Пространствените техники се базират на оценката на приетия единичен вектор и автокорелационна функция на сигнала и определяне на модел на шума, на базата на които се съставя структурна матрица за генериране на лъчи.

Типичен алгоритъм, който използва пространствени техники е алгоритъма предложен от Шмид през 1979 г. - т. нар. MUSIC (MUltiple SIgnal Classification) алгоритъм [10].

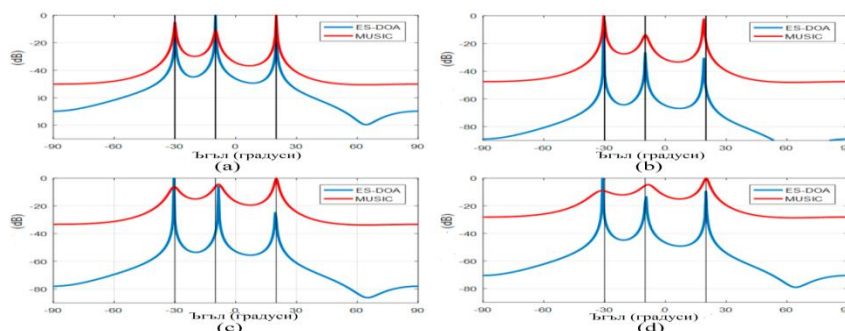
Чрез излъчване на ортогонални сигнали и съставяне на обратна матрица се съставя модел на шума и се определят максималният брой вектори в дадената среда, които са ортогонални на шума. Така при откриване на приет сигнал, кореспондиращ със стойностите на $a(\theta)$ (управляващия вектор), тогава $a(\theta)^H Q_n = 0$, а Q_n задава модела на шума.

Спектъра на сигнала определен, чрез MUSIC алгоритъм се дава с израза [6]:

$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{1}{\alpha^H \theta Q_n^H Q_n a(\theta)}$$

Алгоритъма е широко използван заради изключително добрата разделителна способност. Въпреки това не винаги самостоятелното му използване осигурява добра производителност и ефективност при оценка на некорелирани сигнали.

Друго ограничение налага сложността на изчисленията, породено от изчисляване на пиковите стойности на функцията и разходите за реализирането им. Грешно определяне се получава и при неправилна оценка на броя на източниците, вследствие наличието на други ортогонални на първоначално зададените сигнали [11].



Фигура 4. Ъгли на приемане при: а) C/Ш =20dB; б) C/Ш =10dB в) C/Ш =5dB г) C/Ш =0dB [11]

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад са представени два от методите за оценка на ъгъла на постъпване и формиране на остро насочени лъчи с оглед подобряване на електромагнитната обстановка и начин за постигане на желаните в 5G скорости. Лесната реализация и малката изчислителна обработка са предимствата на метода на Капон, но добра разделителна способност се постига с алгоритъм MUSIC включително и при по – ниски стойности на отношението C/Ш. В [12].е доказано,

че с нарастването на броя на елементите в massive MIMO антенните решетки (напр. до 128 повишава не само точността на формиране на лъча (до 4°), но и разделителната способност, при силно подтискане на интерфериращите лъчи) което отговаря на изискванията на 5G мрежите.

References

1. Д. И. Димитров и Д. К. Хубенов, „Приложение на когнитивното радио при уплътнение на честотния спектър,“ в *Научна сесия, Сборник част 1*, Шумен, 2014
2. J. H. S. Emil Björnson, *Massive MIMO Networks. Spectral, Energy, and Hardware Efficiency*, 2017.
3. M. Shukair, „Qualcomm,“ [Онлайн]. Available: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/06/20/how-5g-massive-mimo-transforms-your-mobile-experiences>.
4. . 3. Т. 2. V16.5.0., „5G; Service requirements for next generation new services and markets,“ 2018.
5. TTSwireless. [Онлайн]. Available: <https://www.ttswireless.com/dynamic-spectrum-sharing-within-5g-era/>.
6. A. I. Ahmad Zeeshan, „Three Decades of Development in DOA Estimation,“ *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 2014.
7. A. I. Ahmad Zeeshan, „Three Decades of Development in DOA Estimation,“ *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, August, 2014.
8. W. R. a. Y. Huang, „Analysis for Capon and MUSIC DOA estimation algorithms,“ в *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium Conference*, 2009.
9. G. P. Chowdary, „Performance Comparison of various DOA Estimation Techniques based on Antenna Parameter,“ *International Journal of Review in Electronics and Communication Engineering*, том Volume 4, April, 2016.
10. „Wikipedia,“ [Онлайн]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/MUSIC_\(algorithm\)](https://en.wikipedia.org/wiki/MUSIC_(algorithm)).
11. B. P. N. Ying Zhang, „MUSIC-Like DOA Estimation without Estimating the Number of Sources,“ *IEEE Transactions*, 2010.
12. G. F. A. M. Irina Stepanets, „Beamforming Techniques Performance Evaluation for 5G massive MIMO Systems,“ *Internet of Things, Networks and Security*, p. 67.