

Една идея за многолъчева антена за мобилни комуникации от пета генерация

Петър Апостолов*, Алексей Стефанов*

* Технически факултет, ЮЗУ „Св. Неофит Рилски“, Благоевград, ул. Иван Михайлов, 66, България, 2700, e-mail: p_apostolov@abv.bg ; astef@abv.bg

Резюме. В статията е предложена антена за мобилни комуникации от пето поколение. Разгледани са съществуващи до момента антени от този вид. Дефинирани са изискванията към антените. Предложено е техническо решение с диелектрична леща на Луненберг. Изложена е теория за определяне параметрите на антената. Демонстрирана е симулация на 31-лъчева антена с високо резолюция на лъчите, подобна на филтрови банки в пространството. Дискутирани са предимствата на антената и нейната приложимост за комуникации от пето поколение.

An idea for a fifth-generation mobile communications antenna (Peter Apostolov p_apostolov@abv.bg, Alexey Stefanov, astef@abv.bg). A fifth-generation mobile communications antenna has been proposed in the article. Existing antennas of this type have been examined. Antenna requirements have been defined. A technical solution with Luneburg dielectric lens was proposed. The theory of antenna parameters is presented. Simulation of a 31-beam high-resolution ray antenna similar to filter banks in space is demonstrated. The advantages of the antenna and its applicability for fifth-generation communications are discussed.

Състояние на проблема

Развитието на мобилните комуникации е свързано с експлозивно нарастване на изискванията по отношение на скоростта на предаване на информацията. Както е известно, при зададено отношение сигнал/шум, скоростта на предаване е пропорционална на широчината на честотната лента. Използваните честоти в трета и четвърта генерация (3G и 4G) на комуникациите не позволяват скорости по-високи от 1000 Мbps. Логично решение е преминаване на по-високи честоти в милиметровия обхват и използване на нови технически решения.

Милиметровите вълни се разпространяват единствено в зона на пряка видимост и имат голямо затихване в атмосферата. Аналитично една комуникационна връзка в този обхват се описва от формулата на Фрийс

$$(1) \quad P_R = \frac{P_T A_{er} G_t}{4\pi r^2} \cos^2 \alpha,$$

където P_R и P_T са приетата и излъчената мощности, r е разстоянието между антените на приемника и предавателя, A_{er} е ефективната апертура на приемната антена, а множителят $\cos^2 \alpha$ отразява загубите от промяната на поляризацията на вълната при разпространение по трасето. Параметърът

$$(2) \quad G_T = kD = k \frac{4\pi S}{\lambda^2}$$

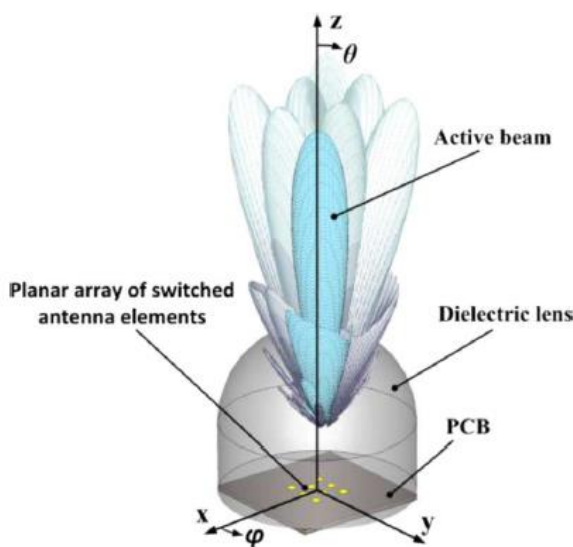
изразява усилването на предавателната антена, k е коефициент на използване на апертурата, λ – дължина на вълната, S – площ на апертурата.

В сравнение с други технически методи на комуникационната техника в бъдещите 5G безжични комуникационни мрежи, например Massive MIMO, CoMP и SU MIMO, милиметровият обхват има голямо предимство в капацитета, поради значително по-големите налични ресурси от радиочестотния спектър [1], а малката дължина на вълната предполага голямо усилване на антените.

Основните изисквания към 5G антените са:

- висока селективност (голямо усилване),
- ниско ниво на страничните излъчвания,
- компактност,
- електронно сканиране.

В литературата се предлагат планарни еквилистантни антенни решетки с правоъгълна, кръгла, осмоъгълна, спираловидна и др. форми, като сканирането се осъществява с фазови регулатори [2, 3]. В много случаи за повишаване на усилването се използват диелектрични лещи. На фигура 1 е показано едно типично решение: диелектрична леща, която е интегрирана с планарна правоъгълна антенна решетка [4].



Фиг.1. Диелектрична леща с интегрирана антенна решетка, заимствана от [4]

Ъгълът на сканиране е от порядъка на $\pm 30^\circ$ във всички посоки и се осъществява чрез превключване на сегменти от планарната решетка. Тази антена има максимално усилване по оста z . Сканирането води до намаляване на усилването, което авторите определят като по-голямо от 16 dB.

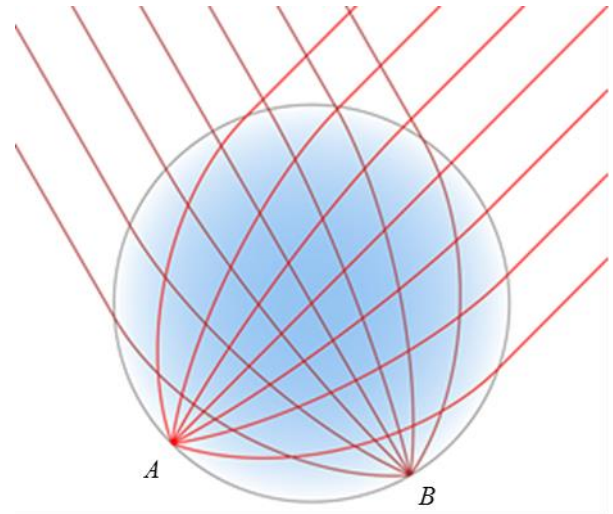
В настоящата статия се предлага антена, която има по-добри параметри и може намери приложение в 5G комуникациите.

5G антена с диелектрична леща на Люнеберг

Диелектричната леща на Люнеберг е сфера с K на брой слоя, които имат променлив градиент на коефициент на пречупване

$$(3) \quad n_i = \sqrt{\varepsilon_{ri}} = \sqrt{2 - (r_i/R)^2}, \quad i = 1 \div K.$$

В (3) n_i , r_i и ε_{ri} са коефициент на пречупване, радиус и относителна диелектрична проницаемост на i -тия слой, а R е външният радиус на лещата.



Фиг. 2. Диелектрична леща на Люнеберг

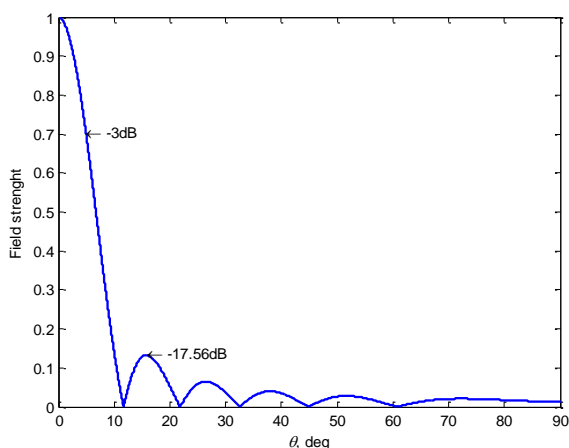
Лещата има свойството да фокусира плоски електромагнитни вълни от всички направления на азимуталния ъгъл $\theta \in [-90^\circ, 90^\circ]$ в точки, които образуват полуокръжност в нейния диаметрално-противоположен край. Например на фигура 2 точката A е фокус на плоска електромагнитна вълна, която идва от ъгъл $\theta = 45^\circ$, а точка B $\theta = -30^\circ$. Лещата на Люнеберг е изотропна сфера, т.е. тя има еднакви усилващи свойства във всички посоки. Тогава, ако на долната фокусна полуокръжност се разположат равномерно N излъчвателя, то в далечната зона ще има N на брой еднакви лъча - диаграми на насоченост. Важно е да се уточни, че информацията в съседните лъчи трябва да е некорелирана.

Параметри на антената

Диаграмата на насоченост на леща на Люнеберг може да се определи от формулата за определяне на излъчване от кръгова апертура [5]

$$(4) \quad F(\theta) = 2 \frac{J_1(2\pi u)}{2\pi u}; \quad u = \frac{R}{\lambda} \sin \theta,$$

където J_1 е Беселова функция от първи род. На фигура 3 е показана диаграма на излъчване на кръгова апертура при $R = 3\lambda$.



Фиг. 3. Диаграма на излъчване на кръгова апертура,
 $R = 3\lambda$

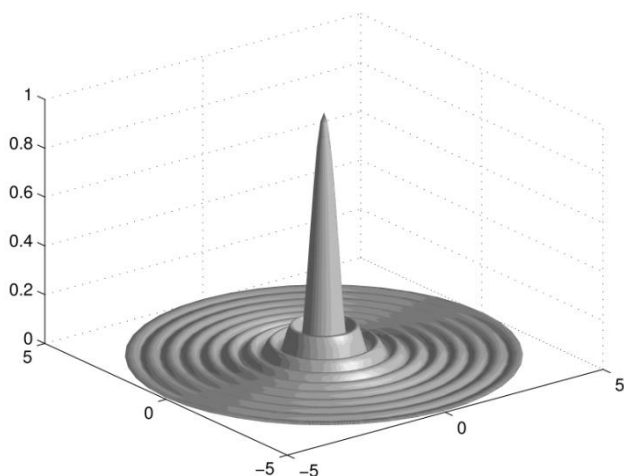
Нивото на страничните излъчвания е минус 17.56 dB. Широчината на главния лист на ниво половин мощност (-3dB) се определя от зависимостта

$$(5) \quad \Delta\theta_{3dB}^0 = 29.47^0 \frac{\lambda}{R},$$

а усиляването

$$(6) \quad G = 10 \lg \frac{34293}{(\Delta\theta_{3dB}^0)^2}, \text{ dBi.}$$

На фигура 4 е показана двумерна диаграма на излъчване от кръгова апертура при $R = 5\lambda$.



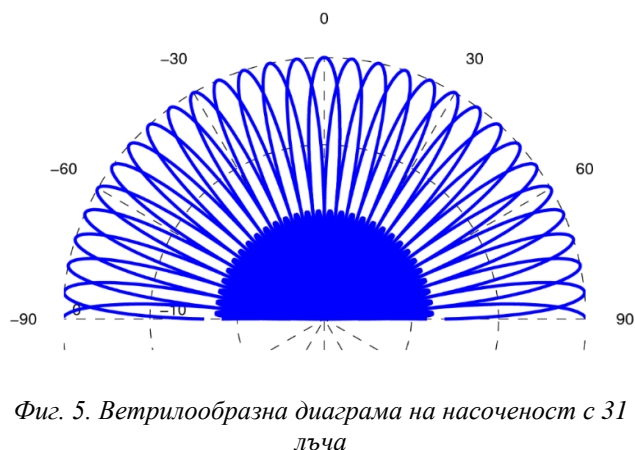
Фиг. 4. Двумерна диаграма на излъчване от кръгова апертура, $R = 5\lambda$

Изотропните свойства на лещата позволяват да се получи ветрило от лъчи с еднакви диаграми на насоченост, които подобно на пространствени

филтрови банки да покриват цялата азимутална полуравнина на ниво минус 3dB. Броят на лъчите се определя от широчината на главния лист на ниво половин мощност

$$(7) \quad N = \frac{180^0}{\Delta\theta_{3dB}^0},$$

като N се закръглява до най-близкото цяло число. Например антена с радиус 5 см., при дължина на вълната 1 см., има 31 лъча с широчина 5.894^0 и усиляване 29.9438 dBi. Ветрилообразната диаграма на насоченост в dB е показана на фигура 5.



Фиг. 5. Ветрилообразна диаграма на насоченост с 31 лъча

Нивото на страничните излъчвания е минус 17.56 dB.

Дискусия

Предложената антена покрива цялата полуравнина по азимут. Поради изотропните свойства на лещата, лъчите имат еднакви диаграми на насоченост. Броят на лъчите и широчината им на ниво половин мощност зависят от отношението на радиуса на лещата към дължината на вълната.

Ако антената се използва в базова станция, за подвижните абонати може да се приложи техниката хендвър, вместо електронно сканиране.

Ако се разположат излъчватели във фокусни полуокръжности, успоредни на азимуталната, се получават серия от ветрила по елевация. Теоретично лещата може да има еднакви лъчи в цялата предна полуобласт.

Важно предимство е, че диаграмата на насоченост на лещата (фигура 4) е симетрична във всички посоки. Това я прави независима от поляризацията на електромагнитната вълна, т.е. множителят $\cos^2 \alpha$ в (1) е равен на единица.

Производителите на лещи на Люнеберг предлагат лещи с фокус извън повърхността на

лещата, или върху нея. Ако приемем, че фокусът се намира върху повърхността, то извън нея фокусната точка се трансформира във фокусен кръг. В него могат да се разположат 4 или повече пач-антени за реализиране на ММО комуникационна връзка.

Заклучение

Предложена е многолъчева антена за 5G комуникационни системи. Антената има лъчи с високи селективни свойства. Описаната антена не е универсално решение. Тя е подходяща за използване в микроклетки с голям брой абонати.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jing Zhang, Xiaohu Ge, Qiang Li, Mohsen Guizani, and Yanxia Zhang, 5G Millimeter-Wave Antenna Array: Design and Challenges, IEEE Wireless Communications, Volume: 24 Issue: 2, 20 October 2016, pp. 106 – 112.
- [2] Huan Yi, Shi-Wei Qu, Kung-Bo Ng, Chi Hou Chan, and Xue Bai, 3-D Printed Millimeter-Wave and Terahertz Lenses with Fixed and Frequency Scanned Beam, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 64, No. 2, February 2016, pp. 442 – 449.
- [3] Aimeric Bisognin et al, Ball Grid Array Module with Integrated Shaped Ball Grid Array Module with Integrated Shaped Lens for 5G Backhaul/Fronthaul Communications in F –band, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume: PP, Issue: 99, September 2017, accepted.
- [4] Alexey Artemenko et al, Experimental Characterization of E-Band Two-Dimensional Electronically Beam-Steerable Integrated Lens Antennas, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, VOL. 12, 2013, pp. 1188-1191.
- [5] Sophocles J. Orfanidis, Electromagnetic Waves and Antennas, Rutgers University, 2014, pp. 813-816.