

КОНЦЕПЦИЯ ДИАГРАММООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СЕТЯХ 5G  
CONCEPT OF LOCATION AWARE BEAMFORMING IN 5G NETWORKS

УДК 621.396.677

ФОКИН Григорий Алексеевич (доктор технических наук)  
(СПбГУТ)

Стремительный рост числа одновременно работающих приемопередатчиков в развертываемых сетях радиодоступа пятого и последующих поколений приводит к проблеме неприемлемо высокого уровня внутрисистемных помех при условии их уплотнения до одного устройства на один квадратный метр.

Адаптивное диаграммообразование может потенциально компенсировать высокий уровень помех за счет формирования максимума диаграммы направленности антенны на источник/приемник полезного сигнала и минимума диаграммы направленности антенны на источник/приемник мешающего сигнала. Широкому распространению диаграммообразования в сетях радиодоступа 5G способствует переход радиointерфейса в диапазон миллиметровых волн и развитие многоантенных систем. Актуальным направлением в области управления диаграммой направленности является так называемое диаграммообразование на основе местоположения LAB (Location Aware Beamforming).

В настоящей работе представлена концепция диаграммообразования на основе позиционирования, в рамках которой формулируются соответствующие задачи исследования применительно к сверхплотным сетям радиодоступа пятого и последующих поколений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-29-00528).

*The rapid growth in the number of simultaneously operating transceivers in deployed radio access networks of the fifth and subsequent generations leads to the problem of an unacceptably high level of intra-system interference, provided they are densified to one device per square meter.*

*Adaptive beamforming can potentially compensate for high interference levels by maximizing the antenna pattern to the source/receiver of the desired signal and minimizing the antenna pattern to the source/receiver of the interfering signal. The widespread use of beamforming in 5G radio access networks is facilitated by the transition of the radio interface to the millimeter wave range and the development of multi-antenna systems. The actual direction of investigation in the field of beamforming is the so-called location-aware beamforming LAB.*

*This paper presents the concept of location-aware beamforming, within which the corresponding research problems are formulated in relation to ultra-dense radio access networks of the fifth and subsequent generations.*

*This research is supported by the Russian Science Foundation Grant No. 22-29-00528.*

**Ключевые слова:** сети пятого поколения, стационарные базовые станции, пользовательские устройства, позиционирование, диаграммообразование.

**Keywords:** 5G, gNodeB, user equipment, positioning, beamforming.

#### Литература

1. Гоголь А.А., Никодимов И.Ю. Новый этап развития отрасли связи: зарождение и развитие сотовой связи. — СПб.: Историческая иллюстрация. 2000. 96 с.
2. Бабков В.Ю., Цикин И.А. Сотовые системы мобильной радиосвязи. — СПб.: Издательство Политехнического университета. 2011. 426 с.
3. Рыжков А.Е., Сиверс М.А., Бабкин А.С., Пыленок А.М., Трофимов А.П. Сети стандарта LTE. Развитие технологий радиодоступа. — СПб.: СПбГУТ. 2015. 256 с.
4. Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. Самоорганизующиеся сети. — СПб.: Типография Любавич. 2011. 312 с.
5. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. — М.: Техносфера. 2005. 591 с.
6. Сиверс М.А., Духовницкий О.Г. Позиционирование в объединенных сетях WiMAX/Wi-Fi, LTE/Wi-Fi // Вестник связи. 2013. № 2. С. 23 — 29.
7. Фокин Г.А. Комплекс моделей и методов позиционирования устройств в сетях пятого поколения/ Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. — СПб.: СПбГУТ. 2021. 499 с.
8. Фокин Г.А. Технологии сетевого позиционирования. — СПб.: СПбГУТ. 2020. 558 с.
9. Фокин Г.А. Технологии сетевого позиционирования 5G. — М.: Горячая линия — Телеком. 2021. 456 с.
10. Taranto R.-Di et al. Location-Aware Communications for 5G Networks: How location information can improve scalability, latency, and robustness of 5G// IEEE Signal Processing Magazine. Nov. 2014. V. 31. №. 6. P. 102 — 112.
11. Maiberger R., Ezri D., Erlihson M. Location based beamforming/ Proceedings of the 26th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel./ IEEE. Eliat. 2010. Pp. 184 — 187.
12. Kela P. et al. Location Based Beamforming in 5G Ultra-Dense Networks/ Proceedings of the 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)/ IEEE. Montreal. QC. 2016. Pp. 1 — 7.
13. Xing Z., Wang R., Yuan X., Wu J. Location-aware Beamforming Design for Reconfigurable Intelligent Surface Aided Communication System/ Proceedings of the International Conference on Communications in China (ICCC)/ IEEE/CIC. Xiamen. 2021. Pp. 201 — 206.
14. Kamel M., Hamouda W., Youssef A. Ultra-Dense Networks: A Survey// IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. V. 18. № 4. Pp. 2522 — 2545.
15. Wang X. et al. Millimeter Wave Communication: A Comprehensive Survey// IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2018. V. 20. № 3. Pp. 1616 — 1653.

16. Larsson E.-G., Edfors O., Tufvesson F., Marzetta T.-L. Massive MIMO for next generation wireless systems// IEEE Communications Magazine. 2014. V. 52. № 2. Pp. 186 — 195.
17. Sun S., Rappaport T.-S., Heath R.-W., Nix A., Rangan S. Mimo for millimeter-wave wireless communications: beamforming, spatial multiplexing, or both?// IEEE Communications Magazine. 2014. V. 52-№ 12. Pp. 110 — 121.
18. Kutty S., Sen D. Beamforming for Millimeter Wave Communications: an Inclusive Survey// IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. V. 18. № 2. Pp. 949 — 973.
19. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz/ 3GPP. TR 38.901/ Release 17. V17.0.0. March 2022.
20. Rappaport T.-S., Xing Y., MacCartney G.-R., Molisch A.-F., Mellios E., Zhang J. Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless Networks —With a Focus on Propagation Models// IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2017. V. 65. № 12. Pp. 6213 — 6230.
21. Bai L., Li T., Xiao Z., Choi J. Performance Analysis for SDMA mmWave Systems: Using an Approximate Closed-Form Solution of Downlink Sum-Rate// IEEE Access. 2017. V. 5. Ph. 15641 — 15649.
22. Razavizadeh S.-M., Ahn M., Lee I. Three-Dimensional Beam-forming: A new enabling technology for 5G wireless networks// IEEE Signal Processing Magazine. 2014. V. 31. № 6. Pp. 94 — 101.
23. Uwaechia A.-N., Mahyuddin N.-M. A Comprehensive Survey on Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation Wireless Networks: Feasibility and Challenges// IEEE Access. 2020. V. 8. Pp. 62367 — 62414.
24. Balanis C.-A. Antenna theory: analysis and design. — New Jersey: John Wiley & Sons. 2016. 1104 p.
25. Gross F. Smart Antennas with MATLAB. — New York: McGraw-Hill. 2015. 288 p.
26. Mailloux R.-J. Phased Array Antenna Handbook. — London: Artech House. 2017. 506 p.
27. Степанец И.В., Фокин Г.А. Оценка показателей качества разнесенного приема систем Massive MIMO/ Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018). 28.02.2018 — 01.03.2018. — СПб.: СПбГУТ. С. 279 — 284.
28. Степанец И., Фокин Г. Особенности реализации Massive MIMO в сетях 5G// Первая миля. 2018. № 1 (70). С. 46 — 52.
29. Степанец И.В., Фокин Г.А., Мюллер А. Способы оценки пропускной способности систем Massive MIMO// Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 10. С. 64 — 69.
30. Фокин Г. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех// Первая миля. 2021. № 3 (95). С. 66 — 73.
31. Фокин Г.А. Программный модуль для оценки помех в гексагональной модели сети радиодоступа с диаграммообразованием./ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662346 от 27.07.2021 г./ Правообладатель СПбГУТ. [Электронный ресурс].
32. Фокин Г. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств// Первая миля. 2021. № 4 (96). С. 66 — 73.
33. Фокин Г.А., Лазарев В.О. Программный модуль для оценки взаимного влияния радиолиний двух адаптивных антенн при диаграммообразовании./ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662103 от 22.07.2021 г./ Правообладатель СПбГУТ. [Электронный ресурс].
34. Фокин Г.А. Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием// Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 4 — 21.
35. Фокин Г.А. Оценка помех в сверхплотных сетях радиодоступа 5G с диаграммообразованием// Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. № 4 (8). С. 35 — 59.
36. Бабков В.Ю., Фокин Г.А. Оценка вероятности успешного радиоприема в самоорганизующихся пакетных радиосетях на основе радиостанций с направленными антеннами// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 4 (82). С. 77 — 84.
37. Фокин Г.А. Особенности функционирования территориально распределенных самоорганизующихся сетей радиосвязи с адаптивными антенными системами// Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2009. Т. 3. № 1. С. 20 — 22.
38. Фокин Г.А. Управление самоорганизующимися пакетными радиосетями на основе радиостанций с направленными антеннами/ Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — СПб.: СПбГУТ. 2009. 144 с.
39. Фокин Г.А. Процедуры выравнивания лучей устройств 5G NR// Электросвязь. 2022. № 2. С. 26 — 31.
40. Фокин Г.А. Модели управления лучом в сетях 5G NR. Часть 1. Выравнивание лучей при установлении соединения// Первая миля. 2022. № 1(101). С. 42 — 49.
41. Фокин Г.А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме начального установления соединения./ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680125 от 07.12.2021 г./ Правообладатель СПбГУТ. [Электронный ресурс].
42. Фокин Г.А. Модели управления лучом в сетях 5G NR. Часть 2. Выравнивание лучей при ведении радиосвязи// Первая миля. 2022. № 3 (103). С. 62 — 69.
43. Фокин Г.А. Программный модуль выравнивания лучей устройств с диаграммообразованием стандарта 5G NR в режиме ведения радиосвязи./ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021680159 от 07.12.2021 г./ Правообладатель СПбГУТ. [Электронный ресурс].

44. Rastorgueva-Foi E., Koivisto M., Valkama M., Costa M., Leppänen K. Localization and Tracking in mmWave Radio Networks using Beam-Based DoD Measurements/ Proceedings of the 8th International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)/ IEEE. Guimaraes. 2018. Pp. 1 — 6.
45. Behta K., Kelner J.-M., Ziólkowski C., Nowosielski L. Inter-Beam Co-Channel Downlink and Uplink Interference for 5G New Radio in mm-Wave Bands// Sensors. 2021. V. 21. № 3. P. 793.