МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЛУЧОМ в сетях 5G NR

Часть 2. Выравнивание лучей при ведении радиосвязи

Г.Фокин, д.т.н., доцент СПбГУТ
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича /grihafokin@gmail.com

УДК 621.396.677, DOI: 10.22184/2070-8963.2022.103.3.62.68

Во второй части исследования, посвященного моделям управления лучом в сетях 5G NR, приводятся результаты имитационного моделирования процедуры выравнивания лучей при ведении радиосвязи. Данная процедура служит для уточнения ориентации лучей из более узкого набора предварительно заданных направлений, полученных на предыдущем этапе начального установления направленного соединения UE с gNB. Анализ средствами имитационного моделирования позволяет выполнить качественную оценку потенциала уточнения ориентации лучей в первом приближении.

Введение

Для качественной характеристики узконаправленных сеансов радиосвязи приемопередающих устройств диапазона миллиметровых волн (ММВ) сверхплотных сетей радиодоступа (UDN, Ultra Dense Networks) пятого поколения 5G NR (New Radio) в последних зарубежных публикациях появился термин Pencil Beamforming [1], что дословно означает "карандашное формирование луча". Данный факт отражает продолжающуюся в последние годы тенденцию сужения ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) по уровню половинной мощности HPBW (Half-Power Beamwidth) до единиц градусов как по азимуту ϕ, так и по углу места θ при трехмерном диаграммообразовании (ДО) [2, 3].

Исследования в области управления узким лучом устройств диапазона ММВ, подтверждающие актуальность вопросов ДО, проводятся как для сетей пятого [4] и последующих – 5,5G [5] и 6G [6] – поколений, так и для беспроводных локальных сетей стандарта IEEE 802.11ay [7–9]. Особый интерес представляют модели и методы ДО на основе позиционирования устройств [10, 11].

Использование устройствами диапазона ММВ адаптивного диаграммообразования на основе позиционирования при работе на передачу и прием в составе сверхплотных сетей радиодоступа пятого и последующих поколений [12–15] позволяет существенно снизить уровень внутрисистемных помех [16, 17], уменьшить допустимый территориальный разнос при работе на одной частоте [18, 19] и, таким образом, повысить пространственное уплотнение одновременных передач [20, 21].

В зарубежной литературе последних лет представлен ряд фундаментальных изданий по антенным решеткам (АР) [22–24], в которых, помимо теоретических основ, содержатся вспомогательные модели Matlab, иллюстрирующие практические сценарии использования алгоритмов пространственной обработки сигналов (ПОС) в многоэлементных АР. Переиздание этих работ также отражает востребованность совершенствования научно-методического аппарата в данной области. Тенденцию подтверждает и богатый инструментарий пакетов расширения 5G Toolbox [25] и Phased Array System Toolbox [26] с описанием примеров по управлению лучом [27] на этапе начального установления соединения [28] и в процессе ведения сеанса радиосвязи [29].

Настоящая статья посвящена моделированию процедуры P-2 [30] выравнивания лучей устройств стандарта NR при ведении радиосвязи пользовательским устройством UE с базовой станцией gNB, является продолжением [31] и имеет своей целью анализ путей повышения точности и оперативности установления и ведения сеансов направленной радиосвязи в сверхплотных сетях 5G с ДО. Анализ работы устройств с ДО проводится средствами имитационного моделирования (ИМ) для режимов выравнивания лучей при начальном установлении соединения [32] и последующем уточнении ориентации лучей при ведении радиосвязи [33].

Материал исследования организован далее следующим образом: приводится формализованное описание процедуры выравнивания лучей при ведении радиосвязи, затем описывается последовательность имитационного моделирования процедуры выравнивания лучей при ведении радиосвязи пользовательским устройством UE с базовой станцией gNB, включая результаты имитационного моделирования с использованием примера NR Downlink Transmit-End Beam Refinement Using CSI-RS [29]. В заключении делаются выводы о путях повышения точности и оперативности выравнивания лучей в сверхплотных сетях радиодоступа 5G с диаграммообразованием.

Выравнивание лучей при ведении радиосвязи

Рассмотрим процедуру выравнивания лучей со стороны передающего устройства базовой станции gNB с использованием опорных сигналов о состоянии канала CSI-RS (Channel State Information Reference Signal) по критерию измеренного значения уровня принятой мощности опорного сигнала RSRP (Reference Signal Received Power). Как и в режиме начального установления соединения [31], результатом выравнивания при ведении радиосвязи является пара лучей gNB-UE, для которой RSRP оказывается максимальным.

Рекомендация 3GPP TR 38.802 [30] определяет три процедуры выравнивания лучей.

Процедура P-1 начального установления направленного соединения использует блоки сигналов синхронизации SSB (Synchronization Signal Blocks), число которых однозначно определяет количество предварительно заданных дискретных направлений по азимуту и углу места. При начальном установлении соединения сканирование лучом осуществляется как при работе на передачу, так и при работе на прием. Результирующая ориентация пары лучей gNB-UE с широкой ДНА обычно получается достаточно грубой с точки зрения взаимной ориентации по азимуту и углу места.

Процедура P-2 служит для уточнения ориентации луча передающего устройства при фиксированном луче приемного устройства, полученной на предыдущем этапе. Сканирование лучом на данном этапе с целью уточнения ориентации осуществляется исключительно при работе на передачу; при работе на прием луч сохраняет ориентацию по азимуту и углу места, полученную на предыдущем этапе. В процедуре P-2 уточнения ориентации лучей на передачу используются сигналы CSI-RS ненулевой мощности (NZP-CSI-RS, Non-Zero-Power CSI-RS) в канале "вниз" и опорные зондирующие сигналы SRS (Sounding Reference Signal) в канале "вверх".

Вследствие того, что после начального установления направленного соединения по сигналам SSB пара лучей gNB-UE характеризуется широкой ДНА, в режиме ведения направленной радиосвязи пара лучей gNB-UE требует дальнейшего уточнения ориентации. Для этого используется набор ресурсов опорных сигналов CSI-RS, которые излучаются в пределах заданного диапазона направлений по азимуту и углу места, полученного на этапе начального установления направленного соединения. Луч приемного устройства фиксирован, а луч передающего устройства производит сканирование в диапазоне направлений, ограниченном широкой ДНА. Результирующая пара лучей gNB-UE с узкой ДНА на передаче выбирается по критерию максимального RSRP на приеме.

Процедура P-3 служит для уточнения ориентации луча приемного устройства при фиксированном луче передающего, полученного на предыдущем этапе. Сканирование лучом на данном этапе с целью уточнения ориентации осуществляется исключительно при работе на прием; при работе на передачу луч сохраняет ориентацию по азимуту и углу места, полученную на предыдущем этапе. В процедуре P-3 уточнения ориентации лучей на прием для передачи также используются сигналы NZP-CSI-RS в канале "вниз" и зондирующие сигналы SRS в канале "вверх". Прием опорных сигналов осуществляется сканированием лучом в пределах заданного диапазона направлений по азимуту и углу места, полученного на предыдущем этапе. Результирующая пара лучей gNB-UE с узкой ДНА на прием выбирается по критерию максимального RSRP на приеме.

Рассмотрим процедуру выравнивания лучей при ведении радиосвязи с использованием сценария

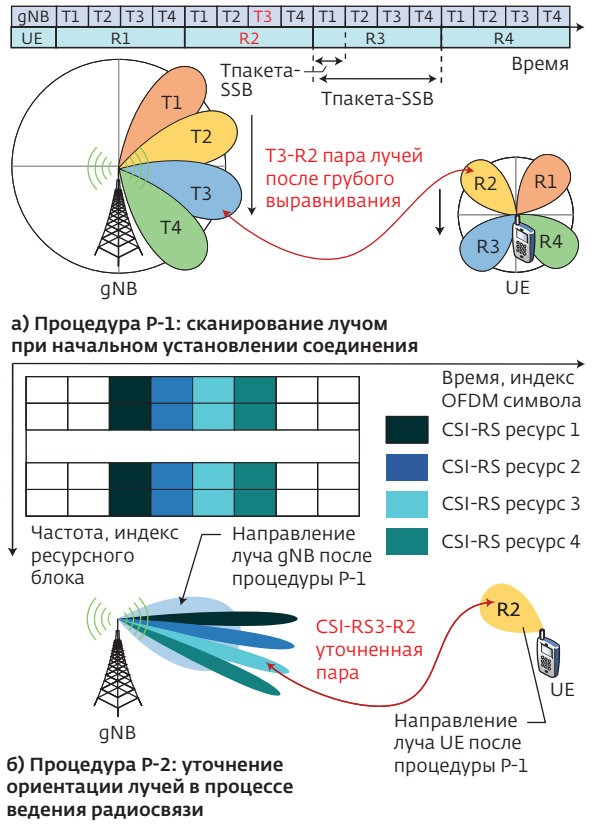

Рис.1. Выравнивание лучей при ведении радиосвязи: а – сканирование лучом при установлении соединения; б – уточнение ориентации лучей при ведении радиосвязи

начального установления соединения, рассмотренного в [31], показанную на рис.1.

Рисунок иллюстрирует сценарий выравнивания лучей по азимуту при ведении радиосвязи, когда передачу ведет базовая станция gNB, а прием – пользовательское устройство UE: рис.1а показывает особенности процедуры P-1 сканирования лучом на передачу и прием в режиме начального установления соединения с использованием четырех блоков сигналов синхронизации SSB; рис.1б – особенности процедуры P-2 сканирования лучом при работе на передачу в режиме ведения радиосвязи с использованием четырех ресурсов опорных сигналов CSI-RS. Так, в результате сканирования лучом на передачу и прием при начальном установлении соединения получается пара лучей T3-R2 с широкой ДНА у gNB (T3) и UE (R2); данная пара лучей характеризуется достаточно грубой взаимной ориентацией. Из результатов имитационного моделирования [31] известно, что можно получить гораздо более высокую точность взаимной ориентации в паре лучей gNB-UE уже на этапе начального установления соединения при использовании 64 блоков SSB, однако это существенно замедляет саму процедуру.

На рис.1б показано уточнение ориентации лучей базовой станции при работе на передачу: луч R2 пользовательского устройства UE сохраняет ориентацию, полученную на этапе P-1, а базовая станция gNB осуществляет сканирование в пределах луча T3 с широкой ДНА по четырем равномерно распределенным по азимуту дискретным направлениям, определяемым четырьмя ресурсами CSI-RS. После уточнения ориентации по критерию максимального RSRP на приеме выбирается узконаправленный передающий луч CSI-RS3.

Далее рассмотрим особенности имитационного моделирования процедуры выравнивания лучей при ведении радиосвязи между UE и gNB.

Имитационная модель процедуры выравнивания лучей при ведении радиосвязи

На рис.2 проиллюстрирована последовательность процедур передачи, приема и обработки опорных сигналов CSI-RS при выравнивании лучей в паре gNB-UE на этапе уточнения ориентации лучей при ведении радиосвязи.

Параметры имитационной модели для процедуры выравнивания лучей при ведении радиосвязи приведены в табл.1.

Формирование опорных сигналов CSI-RS осуществляется встроенной в 5G Toolbox [25] функцией nrCarrierConfig с рядом параметров, включая число ресурсов NZP-CSI-RS, количество ресурсных блоков и разнос поднесущих. Затем опорные сигналы упаковываются в OFDM символы с использованием встроенной функции nrCSIRS; индексы символов CSI-RS задаются встроенной функцией nrCSIRSIndices.

Сканирование лучом на передаче осуществляется следующим образом. Сначала создается системный объект txArrayStv вектора ДО на передачу с использованием встроенной в Phased Array System Toolbox [26] функции phased.SteeringVector. Затем вычисляется расположение рассеивателя в пространстве по азимуту и углу места относительно фазового центра передающей АР; для параметров в табл.1 получаем следующие значения: $\varphi_{tx_scat} \approx 9{,}4°$, $\theta_{tx_scat} \approx 1{,}38°$. Ширина диапазона сканирования лучом на передачу по азимуту и углу места после процедуры P-1 конфигурируется

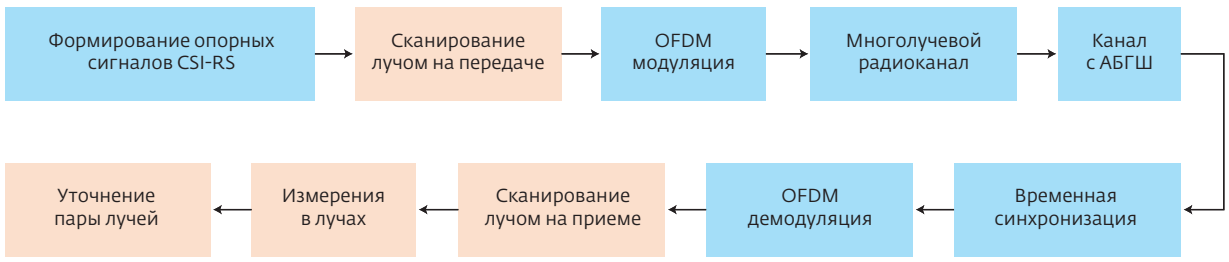

Рис.2. ИМ передачи, приема и обработки сигналов SSB при выравнивании лучей gNB-UE

согласно параметрам табл.1: $\Delta\varphi_{tx}=30°$, $\Delta\theta_{tx} = 30°$. Грубая ориентация луча на передачу по азимуту и углу места в направлении рассеивателя с учетом ширины диапазона сканирования получается равной $\varphi_{tx} = 15°$, $\theta_{tx} = 15°$.

Затем для уточнения ориентации на этапе ведения радиосвязи в заданном процедурой P-1 диапазоне производится сканирование лучом на передачу согласно процедуре P-2. Диапазон сканирования по азимуту определяется параметрами φ_{tx_scat} и $\Delta\varphi_{tx}$ и для рассматриваемого сценария он находится в пределах от 0 до 30°. Диапазон сканирования по углу места определяется параметрами θ_{tx_scat} и $\Delta\theta_{tx}$ и для рассматриваемого сценария также находится в пределах от 0 до 30°. После установления диапазона сканирования вычисляются равномерно распределенные дискретные направления, по которым производится уточняющее сканирование.

Число дискретных направлений определяется числом ресурсов CSI-RS, ширина ДНА дискретных лучей – размерностью АР и вычисляется встроенной в Phased Array System Toolbox [26] функцией beamwidth. Для передающей прямоугольной АР размерностью 8×8 получаем ширину ДНА по азимуту и углу места $HPBW\phi_{tx} = HPBW\theta_{tx} = 12{,}8°$. Вектор φ_{sweep_tx}; θ_{sweep_tx} равномерно распределенных уточняющих дискретных направлений сканирования в пространстве определяется совокупностью параметров num NZPRes, $\Delta\varphi_{tx}$, $\Delta\theta_{tx}$, $HPBW\phi_{tx}$, $HPBW\theta_{tx}$ и для параметров, представленных в табл.1, равен:

$$[\varphi_{sweep_tx}; \theta_{sweep_tx}] = [10; 7{,}5], [20; 7{,}5], [30; 7{,}5], [10; 15], [20; 15], [30; 15], [10; 22{,}5], [20; 22{,}5], [30; 22{,}5], [10; 30], [20; 30], [30; 30].$$

Таблица 1. Параметры ИМ выравнивания лучей при ведении радиосвязи

Параметр	Значение
Диапазон частот (Frequency Range)	FR1
Центральная частота f, Гц	$3{,}5\cdot10^9$
Число ресурсов NZP-CSI-RS, numNZPRes	12
Число ресурсных блоков, NumRB	25
Разнос поднесущих, SubcarrierSpacing, кГц	
Размерность передающей прямоугольной АР gNB, (строк × столбцов)	8×8
Размерность приемной прямоугольной АР UE, (строк × столбцов)	2×2
Местоположение передатчика gNB, [x; y; z], м	[0; 0; 0]
Местоположение приемника UE, [x; y; z], м	[100; 50; 0]
Местоположение одного рассеивателя, [x; y; z], м	[60; 10; 15]
Ширина диапазона сканирования на передачу по азимуту после P-1, $\Delta\varphi_{tx}$, °	30
Ширина диапазона сканирования на передачу по углу места после P-1, $\Delta\theta_{tx}$, °	30
Ширина диапазона сканирования на прием по азимуту после P-1, $\Delta\varphi_{rx}$, °	30
Ширина диапазона сканирования на прием по углу места после P-1, $\Delta\theta_{rx}$, °	30
Отношение "сигнал – шум", SNR, дБ	20

Для каждого дискретного направления в (1) формируется вектор комплексных коэффициентов ДО на передаче. Затем по дискретным направлениям осуществляется модуляция OFDM-символов. Переданные OFDM-символы в ИМ проходят через многолучевой канал, который конфигурируется в имитационной модели с учетом пространственных параметров в табл.1, а также через канал с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) с заданным отношением "сигнал – шум" SNR (Signal to Noise Ratio). После временной синхронизации на приеме осуществляется демодуляция OFDM-символов.

Сканирование лучом на приеме осуществляется следующим образом. Сначала создается системный объект rx Array Stv вектора ДО на прием с использованием встроенной в Phased Array System Toolbox [26] функции phased.SteeringVector. Затем вычисляется расположение рассеивателя в пространстве по азимуту и углу места относительно фазового центра приемной АР; для параметров в табл.1 получаем следующие значения: φ_{rx_scat} = –135°; θ_{rx_scat} = 14,8°. Ширина диапазона сканирования лучом на прием по азимуту и углу места после процедуры P-1 конфигурируется согласно параметрам табл.1: $\Delta\varphi_{rx}$ = 30°, $\Delta\theta_{rx}$= 30°. Грубая ориентация луча на прием по азимуту и углу места в направлении рассеивателя с учетом ширины диапазона сканирования получается равной: φ_{rx} = –135°, θ_{rx}= 15°. Для заданного парой [φ_{rx}, θ_{rx}] направления формируется вектор комплексных коэффициентов ДО на приеме.

Измерения в лучах для рассматриваемого сценария представляются вектором RSRP в дБм из числа элементов, равного числу ресурсов numNZPRes:

RSRP = [40,1295], [31,0069], [27,0175], [42,9217], [34,8967], [29,1918], [37,7610], [31,3060], [22,3103], [15,5805], [11,0016], [–4,0946].

Результатом уточнения пары лучей на этапе ведения радиосвязи по критерию максимума RSRP, согласно выражению (2), является четвертый луч с $RSRP_{max}$ = 42,9217 дБм. Из выражения (1) следует, что четвертому лучу соответствует дискретное направление с азимутом φ_{tx} = 10° и углом места θ_{tx} = 15°. С учетом вектора комплексных коэффициентов ДО на передаче в направлении [φ_{tx}, θ_{tx}] = [10; 15] результирующая ширина уточненного луча по азимуту и углу места равна, соответственно, $HPBW_{\phi_{tx}}$ = 12,98°, $HPBW_{\theta_{tx}}$ = 13,25°, что сопоставимо с шириной ДНА, определяемой размерностью АР, и в несколько раз уже изначальной ширины диапазона сканирования $\Delta\phi_{tx} = \Delta\theta_{tx}$ = 30°.

На рис.3 проиллюстрирован пространственный сценарий выравнивания лучей при ведении радиосвязи со сканированием на передаче для параметров в табл.1.

Заключение

Несмотря на все преимущества узконаправленных сеансов передачи и приема, их установление и поддержание является нетривиальной задачей для подвижных устройств при работе по критерию уровня принимаемого сигнала. С одной стороны, для более точного выравнивания лучей следует увеличивать число элементов антенной решетки базовой станции и пользовательского устройства с целью сужения ширины диаграммы направленности антенны, а также увеличивать количество блоков сигналов, определяющих число дискретных направлений последовательного сканирования лучом. С другой стороны, при фиксированном периоде повторения блока сигналов, который определяет полный цикл перебора дискретных направлений последовательного сканирования лучом на передачу, увеличение числа этих периодов для последовательного сканирования лучом на прием приводит к задержкам, что может не отвечать условиям функционирования высокоподвижных пользовательских устройств.

Проведенное имитационное моделирование процедуры выравнивания лучей при ведении радиосвязи в сетях 5G NR позволяет сделать ряд качественных выводов. Потенциал уточнения ориентации лучей в первом приближении определяется следующими факторами.

Во-первых, шириной диапазона сканирования на передачу по азимуту и углу места, полученной по результатам грубой ориентации на этапе начального установления направленного соединения. Во-вторых, шириной диаграммы направленности антенной решетки, определяемой непосредственно ее размерностью. В-третьих, числом опорных сигналов, задающих количество дискретных направлений для уточнения ориентации. В-четвертых, пространственным сценарием многолучевого радиоканала, задающим вектор комплексных коэффициентов диаграммообразования.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-29-00528). https://rscf.ru/project/22-29-00528.

Литература

1. **Chiaraviglio L., Rossetti S., Saida S., Bartoletti S., Blefari-Melazzi N.** Pencil Beamforming Increases

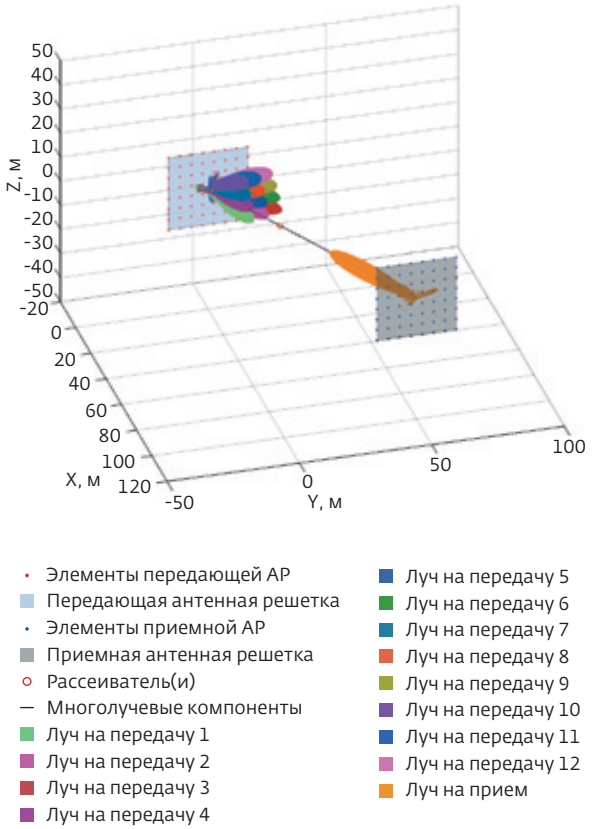

Рис.3. Выравнивание лучей при ведении радиосвязи со сканированием на передаче

Human Exposure to ElectroMagnetic Fields: True or False? // IEEE Access. 2021. Vol. 9. PP. 25158–25171.

2. **Razavizadeh S.M., Ahn M., Lee I.** Three-Dimensional Beamforming: A new enabling technology for 5G wireless networks // IEEE Signal Processing Magazine. 2014. Vol. 31. No. 6. PP. 94–101.
3. **Zhang Y., Ren P., Sun L., Du Q., Wang Y.** Antenna Tilt Assignment for Three-Dimensional Beamforming in Multiuser Systems // 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). 2015. PP. 1–6.
4. **Nadeem Q., Kammoun A., Alouini M.** Elevation Beamforming With Full Dimension MIMO Architectures in 5G Systems: A Tutorial // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. Vol. 21. No. 4. PP. 3238–3273.
5. **Heng Y.** et al. Six Key Challenges for Beam Management in 5.5G and 6G Systems // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59. No. 7. PP. 74–79.
6. **Jeon J.** et al. MIMO Evolution toward 6G: Modular Massive MIMO in Low-Frequency Bands // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59. No. 11. PP. 52–58.
7. **Ghasempour Y., Da Silva C.R.C.M., Cordeiro C., Knightly E.W.** IEEE 802.11ay: Next-Generation 60 GHz Communication for 100 Gb/s Wi-Fi // IEEE Communications Magazine. 2017. Vol. 55. No. 12. PP. 186–192.
8. **Da Silva C.R.C.M., Kosloff J., Chen C., Lomayev A., Cordeiro C.** Beamforming Training for IEEE 802.11 ay Millimeter Wave Systems // 2018 Information Theory and Applications Workshop (ITA). 2018. PP. 1–9.
9. **Zhou P.** et al. IEEE 802.11ay-Based mmWave WLANs: Design Challenges and Solutions // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2018. Vol. 20. No. 3. PP. 1654–1681.
10. **Talvitie J., Levanen T., Koivisto M., Ihalainen T., Pajukoski K., Valkama M.** Beamformed Radio Link Capacity Under Positioning Uncertainty // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2020. Vol. 69. No. 12. PP. 16235–16240.
11. **Фокин Г.А.** Диаграммообразование на основе позиционирования в сверхплотных сетях радиодоступа миллиметрового диапазона // Карточка проекта, поддержанного РНФ. [Электронный ресурс]. URL:https://rscf.ru/project/22-29-00528/ (дата обращения 22.04.2022)
12. **Фокин Г.А.** Процедуры позиционирования в сетях 5G // Вестник связи. 2021. № 11. С. 2–8.
13. **Фокин Г.А., Кучерявый А.Е.** Сетевое позиционирование в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 9. С. 51–58.
14. **Фокин Г.А.** Использование методов сетевого позиционирования в экосистеме 5G // Электросвязь. 2020. № 11. С. 29–37.
15. **Фокин Г.А.** Моделирование сверхплотных сетей радиодоступа 5G с диаграммообразованием // T-Comm-Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 5. С. 4–21.
16. **Фокин Г.** Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2021. № 3(95). С. 66–73.
17. **Фокин Г.А.** Программный модуль для оценки помех в гексагональной модели сети радиодоступа с диаграммообразованием. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662346, 27.07.2021. Правообладатель СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661508 от 19.07.2021.

18. **Фокин Г.А.** Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2021. № 4(96). С. 66–73.
19. **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, 22.07.2021. Правообладатель СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича. Заявка № 2021661209 от 14.07.2021.
20. **Фокин Г.А.** Технологии сетевого позиционирования. СПб: СПбГУТ, 2020. 558 с.
21. **Фокин Г.А.** Технологии сетевого позиционирования 5G. М.: Горячая Линия – Телеком, 2021. 456 с.
22. **Balanis C.A.** Antenna theory: analysis and desig, 4th Edition. John Wiley & Sons, 2016. 1104 p.
23. **Mailloux R.J.** Phased Array Antenna Handbook. 3rd Edition. Artech House, 2017. 691 p.
24. **Gross F.** Smart Antennas for Wireless Communications: With MATLAB. 2nd Edition. McGraw-Hill Professional, 2015. 400 p.
25. 5G Toolbox. MathWorks, Inc. [Электронныйресурс]. URL: https://www.mathworks.com/products/5g.html (дата обращения 22.04.2022)
26. Phased Array System Toolbox. MathWorks, Inc. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/products/phased-array.html (дата обращения 22 04.2022)
27. Understanding 5G Beam Management. MathWorks, Inc. [Электронный ресурс]. URL:https://www.mathworks.com/campaigns/offers/next/understanding-5g-beam-management.html (дата 22.04.2022)
28. NR SSB Beam Sweeping. MathWorks, Inc. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/help/5g/ug/nr-ssb-beam-sweeping.html (Дата обращения 22.04.2022)
29. NR Downlink Transmit-End Beam Refinement Using CSI-RS. MathWorks, Inc. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/help/5g/ug/nr-downlink-transmit-end-beam-refinement-using-csi-rs.html (дата обращения 22.04.2022)
30. 3GPP TR 38.802. Study on New Radio access technology physical layer aspects. Rel. 14, v. 14.2.0, sep. 2017.
31. **Фокин Г.** Модели управления лучом в сетях 5G NR. Часть 1. Выравнивание лучей при установлении соединения // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2022. № 1(101). С. 42–49.
32. **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, 07.12.2021. Правообладатель СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669194 от 26.11.2021.
33. **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, 07.12.2021. Правообладатель СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича. Заявка № 2021669201 от 26.11.2021.

МИЭТ с партнерами разработают оборудование для производства чипов 28 нм

НИР по изучению возможности разработки установки безмасочной рентгеновской нанолитографии на базе синхротронного либо плазменного источника выполняют ученые Центра коллективного пользования "Микросистемная техника и электронная компонентная база" МИЭТ.

В случае успеха в России появится уникальное оборудование для производства микросхем топологического уровня 28 нм и меньше. В 2021 году МИЭТ получил грант Минобрнауки РФ на реализацию проекта в области синхротронных исследований. Основная задача исследователей – проверка технологических решений в области безмасочной рентгеновской нанолитографии. На основе полученных результатов будет разработан технический облик будущей литографической установки, выработаны параметры ее ключевых узлов. Создание технологии на базе действующих и запускаемых в стране синхротронов, а также на базе отечественных плазменных источников позволит обрабатывать полупроводниковые пластины с проектными нормами 28 нм, 16 нм и ниже.

В команде проекта около 50 сотрудников МИЭТа и ЦКП "МСТ и ЭКБ". В кооперации с университетом над проектом работают завод "Микрон" и Зеленоградский нанотехнологический центр – их производственные возможности будут использованы для изготовления образцов МЭМС динамической маски. В Институте физики микроструктур (филиал Института прикладной физики РАН, Н. Новгород) и зеленоградском АО "НПП "ЭСТО" конструируют оптическую вакуумную систему с зеркальной оптикой и элементы системы позиционирования.

Проект реализуется по заказу Минпромторга РФ в рамках госпрограммы "Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности".

По информации НИУ "МИЭТ"

13–16 СЕНТЯБРЯ 2022

GF

XI ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ

ГАЗОВЫЙ ФОРУМ

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

+7 (812) 240 40 40 (ДОБ. 2168, 2122)
GF@EXPOFORUM.RU

18+

GAS-FORUM.RU