УДК 004.4

Использование программного комплекса MATLAB для трассировки сред распространения радиоволн миллиметрового и терагерцового диапазонов частот

А. Али*, В. А. Просвиров*

* *Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», ул. Мясницкая, д.20, Москва, Россия, 101000*

Email: amjadali@hse.ru, vprosvirov@hse.ru

Трассировка лучей является эффективном методом анализа прогнозирования распространения в микроэлементах окружающей среды. Моделирование среды распространения методов трассировки лучей требуется для получения детализированных моделей канала связи с учетом эффектов окружающей среды. Для этой цели платформа MATLAB предоставляет эффективные функции и модели, которые поддерживают наружную и внутреннюю среду. Встроенные модели подходят для высоких частот, обеспечивающие точное моделирование траектории распространения, что является важным для сетей 5G и 6G, работающих в миллиметровом и терагерцевом диапазонах частот. Цель работы состоит в иллюстрации использования программного обеспечения трассировки лучей в пакете Matlab и в представлении важность модели трассировки лучей при моделировании среды распространения. Рассматривается сценарий развертывания системы связи вне помещений, подробно приводится процедура моделирования, на примерах описываются особенности, функционал и параметризация модели трассировки лучей. Описаны показатели (угол вылета, угол прибытия), полученные на основе модели трассировки лучей, и приведены их приложения. Представленное имитационное моделирование полезно исследователям для анализа и оценки каналов связи и зон покрытия в беспроводных сетях 5G и 6G.

Ключевые слова: трассировка лучей, MATLAB, Моделирование, сигналы распространения, SBR.

1. Введение

Трассировка лучей является эффективным методом изучения характеристик распространения электромагнитных сигналов. Трассировка лучей может вычислять несколько путей распространения.и выведите характеристики прогнозируемого пути [1] [2]. Экспериментальные тесты позволяют с предельной точностью исследовать производительность сети в реальных средах. Однако непомерно высокая стоимость и ограниченная гибкость этих платформ делают такой подход непрактичным для большей части исследовательского сообщества. Таким образом, теоретический анализ и компьютерное моделирование стали важным инструментом оценки производительности новых решений перед внедрением. Для этой цели коммуникационный инструментарий платформы MATLAB предоставляет встроенную модель трассировки лучей с высокой функциональностью. Модели работают в диапазоне от 100 МГц до 100 ГГц, вычисляют множество путей распространения и поддерживают трехмерную наружную и внутреннюю среду [3]. Эти особенности модели трассировки лучей делают ее эффективным инструментом для моделирования путей распространения в среде микро ячеек. Статья демонстрируется пример моделирования пути распространения в сценарии вне помещений. Пример подробно обсуждает функциональность и особенности модели трассировки лучей, а также способы параметризации модели. Пример дает лучшее понимание модели трассировки лучей, как использовать модели при моделировании траектории распространения. Затем мы представляем второй пример для моделирования путей распространения между несколькими базовыми станциями и пользователем, перемещающимся по траектории в городской среде. Мы заканчиваем применением полученных характеристик прогнозируемого пути и заключением.

2. Моделирование канала связи в наружной среде

2.1. Моделирование распространения лучей между одним приемником и одним передатчиком

В представленном примере, файл карты улиц импортируется с сайта [4], который предоставляет доступ к картографическим данным по всему миру. Информация о зданиях, содержащаяся в файле StreetMap, можно визуализировать с помощью Site Viewer (рис. 1). Затем определяется передатчика. Передатчик моделирует сценарий небольшой ячейки в плотной городской среде (рис. 2). Передатчик представляет собой базовую станцию обслуживающем окружающую территорию. Параметры передатчика (высота антенны, мощность передатчика и частота передатчика) настраиваются. Передатчик сконфигурирован для использования изотропной антенны и работает на несущей частоте 28 ГГц с уровнем мощности 5 Вт (Полный исходный код приведен в приложении А). После этого создается модель распро-

Рис. 1. Карта улиц

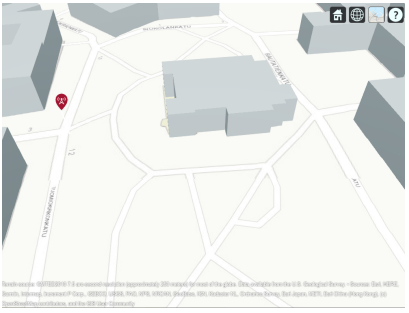

Рис. 2. Передатчик

странения трассировки лучей. Методом модели может быть "SBR (способ съемки и отражения лучей)"(по умолчанию) или image [5] [6]. Максимальное количество отражений настраивается равным 0, чтобы ограничить первоначальный анализ только траекториями распространения в пределах прямой видимости. Также типы материалов здания и рельефа настраиваются таким образом, чтобы моделировать идеальное отражение. Карта покрытия настраивается для просмотра максимального расстояния в 250 метров от базовой станции. Диапазон уровня сигнала составляет [-120:-5 дбм]. Карта покрытия (рис. 3) показывает принимаемую мощность для приемника в каждом местоположении. Затем определяется приемник на карты. Приемник моделирует мобильный получателя в преграждённом месте. Траектория прямой видимости наносится, чтобы показать заблокированный путь от передатчика к приемнику (рис. 4). Модель распространения трассировки лучей настраивается таким образом, чтобы включать однократные отраженные лучи. Предсказанные лучи показаны на рисунке (рис. 5). Результат показывает распространение сигнала по траектории однократного отражения. На рисунке показаны соответствующие характеристики распространения, которые включают принимаемую мощность, изменение фазы, расстояние и углы отправления и прибытия. Далее анализ расширяется таком образом, чтобы включить включать двукратные отраженные лучи (рис. 6). Визуализация на рисунке показывает два кластера пути распространения. Общая принимаемая мощность для лучи однократного отражения аналогична общей принимаемой мощности для лучи однократного отражения.

Рис. 3. Карта покрытия для распространения в прямой видимости

Рис. 4. Место расположения приемника вне прямой видимости

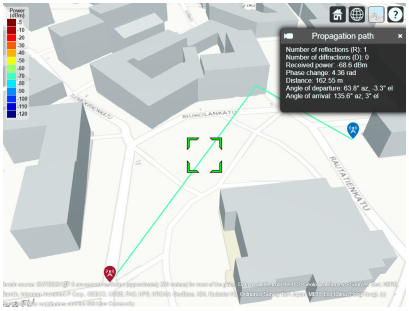

Рис. 5. Путь распространения, включающий одно отражение

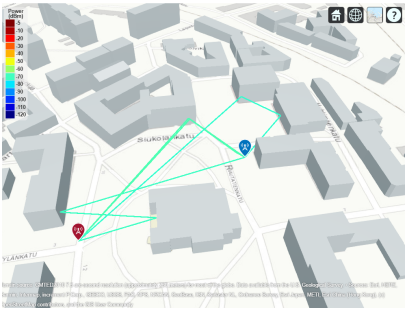

Рис. 6. Путь распространения, включающий два отражения

2.2. Моделирование распространения лучей, полученных от пользователя, перемещается по траектории от нескольких базовых станций

Чтобы моделировать траектории по которой будет двигаться пользователь, на карты выбирается первая и конечная точки траектории (рис. 7). Положение пользователя на траектории представлено новым приемником на карте. Расстояние между двумя последовательными приемниками конфигуряется и имеет значение по умолчанию 1 м. Координаты базовых станций выбираются на карте (рис. 8). Базовая станция представлена передатчиком на карте. Базовые станции настраиваются таким образом, чтобы иметь одинаковую несущую частоту и уровень мощности. Модель распространения трассировки лучей настраивается таким образом, чтобы модель включала пути с тремя отражениями. На рисунке показаны распространяющиеся лучи от базовых станций к пользователю. Модель трассировки лучей выводит углы выхода из точки расположения передатчика и углы прихода в точку расположения приемника. Характеристики, полученные на основе прогнозируемых траекторий, могут быть использованы в таких приложениях, как отслеживание формирования луча, моделирование каналов связи [7] [8], системы определения

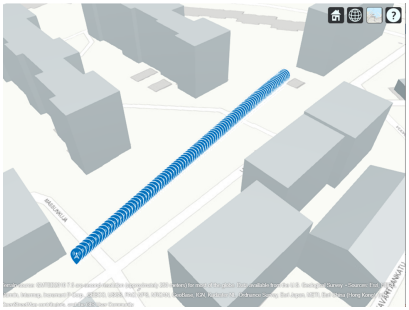

Рис. 7. траектория движения пользователя

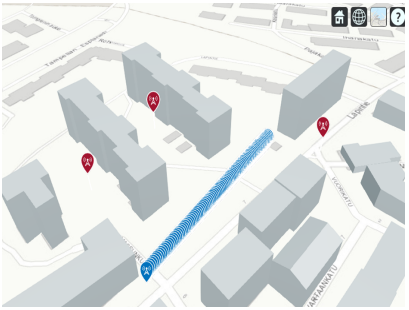

Рис. 8. Базовые станции, с которых пользователь получает сигналы

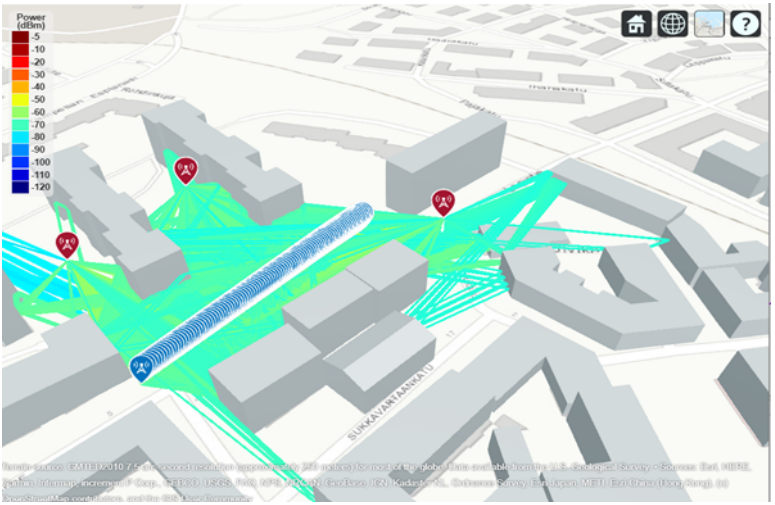

Рис. 9. Прогнозируемые лучи, которые пользователь получает от базовых станций

местоположения в реальном времени (англ. Real-time locating systems RTLS) и системы позиционирования внутри помещений (англ.indoor positioning systems - IPS).

3. Заключение

В работе произведен краткий метода трассировки лучей и особенностей встроенных моделей трассировки лучей в платформе MATLAB. Было представлено использование модели трассировки лучей для прогнозирования распространения для каналов вне прямой видимости, где существуют отраженные пути распространения. Описаны характеристики, которые могут быть получены из прогнозируемого

пути, а также области применения этих характеристик. Представленное моделирование полезно для анализа и оценки каналов связи и зон покрытия в беспроводных сетях 5G и 6G.

Литература

1. Yun Zhengqing and Iskander Magdy F. Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications // IEEE Access 3. — 2015. — P. 1–8.
2. Schaubach K.R. N.J. Davis and Rappaport T.S. A Ray Tracing Method for Predicting Path Loss and Delay Spread in Microcellular Environments. — 1992.
3. Matlab [Электронный ресурс]. официальный сайт. — Режим доступа: `https://es.mathworks.com/` (дата обращения: 08.12.2022).
4. openstreetmap [Электронный ресурс]. официальный сайт. — Режим доступа: `https://www.openstreetmap.org/` (дата обращения: 08.12.2022).
5. Chen S.-H. and Jeng S.-K. SBR image approach for radio wave propagation in tunnels with and without traffic // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 1996. — Vol. 45, no. 3.
6. S. Grubisic W. P. Carpes Jr. and Lima C. B. Ray-Tracing Propagation Model Using Image Theory With a New Accurate Approximation for Transmitted Rays Through Walls // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 2006. — Vol. 42, no. 4.
7. Xiaojing Huang Y. Jay Guo John Bunton. Adaptive AoA Estimation and Beamforming with Hybrid Antenna Arrays. — 2009.
8. Udita Bhattacherjee Chethan Kumar Anjinappa LoyCurtis Smith and Ozturk Ender. Localization with Deep Neural Networks using mmWave Ray Tracing Simulations // IEEE SoutheastCon20201. — 2020.

UDC 004.4

Using the MATLAB software for tracing communication channels in millimeter and terahertz frequency ranges

A. Amjad*, V. A. Prosvirov*

* *National Research University Higher School of Economics, st. Myasnitskaya, 20, Moscow, Russia, 101000*

Email: amjadali@hse.ru, vprosvirov@hse.ru

Ray tracing is an efficient method to analyze the propagation prediction in microcell environment. Simulation of the propagation environment using ray tracing methods is required to obtain detailed modulation of the communication channel taking into account the effects of the environment. For this purpose, the MATLAB platform provides efficient functions and models which support outdoor and indoor environments. The built-in models are suitable for high frequencies, providing accurate modeling of the propagation path, which is important for 5G and 6G networks operating in the mmWave and terahertz frequency ranges. The purpose of this work is to illustrate the use of ray tracing model in the MATLAB software and to introduce the importance of ray tracing model in simulating the propagation environment. The scenario of outdoor communication system deployment is considered, the simulation procedure is presented in detail, the features, functionality and parameterization of the ray tracing model are described using examples. The indicators derived from the ray tracing model (angle of departure, angle of arrival) are described and their applications are provided. The presented simulation is useful for researchers to analyze and evaluate communication channels and coverage areas in 5G and 6G wireless networks.

Key words and phrases: ray tracing, MATLAB, Simulation, propagation signals, SBR.

Приложение А. Код моделирования в MATLAB

```
osm_file_path = "maps/osm/map-1.osm";
viewer = siteviewer("Buildings", ...
                    osm_file_path, ...
                    "Basemap", ...
                    "topographic");
tx = txsite("Name","Small cell transmitter", ...
    "Latitude",61.502331, ...
    "Longitude",23.768823, ...
    "AntennaHeight",10, ...
    "TransmitterPower",5, ...
    "TransmitterFrequency",28e9);
show(tx)
rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method","sbr", ...
    "MaxNumReflections",0, ...
    "BuildingsMaterial","perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial","perfect-reflector");
coverage(tx,rtpm, ...
    "SignalStrengths",-120:-5, ...
    "MaxRange",250, ...
    "Resolution",3, ...
    "Transparency",0.6)

rtpm = propagationModel("raytracing", ...
    "Method","sbr", ...
    "MaxNumReflections",0, ...
    "BuildingsMaterial","perfect-reflector", ...
    "TerrainMaterial","perfect-reflector");
coverage(tx,rtpm, ...
    "SignalStrengths",-120:-5, ...
    "MaxRange",250, ...
    "Resolution",3, ...
    "Transparency",0.6)
rx = rxsite("Name","Small cell receiver", ...
    "Latitude",61.502914, ...
    "Longitude",23.770427, ...
    "AntennaHeight",1);
los(tx,rx)
rtpm.MaxNumReflections = 2;
clearMap(viewer)
raytrace(tx,rx,rtpm)
```