

Сценарий развертывания городской макросоты

Е.А. КУЧЕРЯВЫЙ, профессор МИЭМ НИУ ВШЭ доктор технических наук, Д.В. ОСИПОВ, генеральный директор ООО “ЮБИТЕЛ”, В.А. ПРОСВИРОВ, эксперт-исследователь, научный сотрудник МИЭМ НИУ ВШЭ, Э.М. ХАЙРОВ, эксперт-исследователь, научный сотрудник МИЭМ НИУ ВШЭ

Введение

Развитие беспроводных сетей, включая разработку технологий для сетей 4G LTE, а также для будущих сетей 5G NR, требует тщательного моделирования сетевого радиопокрытия. Базовыми сценариями, определенными в 3GPP 38.901 для моделирования развертывания беспроводной сети, состоящей из нескольких базовых станций, являются городская макросота (Urban Macro), пригородная макросота (Suburban Macro) и сельская макросота (Rural Macro). Такие эталонные сценарии обеспечивают достаточное разнообразие условий, с которыми сталкиваются операторы связи.

Моделирование помогает определить оптимальные параметры развертывания оборудования в сети и существенно повышает эффективность процесса разработки алгоритмически сложных программ модулей, например планировщиков управления радиоресурсами базовой станции.

В каждом из вышеперечисленных сценариев важно учитывать реальные параметры, такие как плотность пользователей на соту, скорость распространения сигнала, интерференция, уровень шума и требования к качеству обслуживания (QoS).

В статье рассматривается один из наиболее типичных сценариев развертывания — городская макросота, а также представлены примеры, полученные с помощью отечественной платформы имитационного моделирования и прототипирования ЮБИСИМ, разработанной компанией ООО “ЮБИТЕЛ”.

Моделирование городской макросоты

Для сценария городской макросоты (UMa, Urban Macro) характерны плотные условия застройки, где базовые станции (BS) расположены на высоте, превышающей большинство окружающих зданий. Обычно BS устанавливаются на крышах высотных зданий, чтобы обеспечить максимальный охват и минимизировать зону теней между сооружениями.

Основные особенности условий распространения сигнала в городской макросоте:

наличие дифракции и отражений. Поскольку прямая видимость от базовой станции к большинству пользовательских устройств (UE) отсутствует, сигнал часто распространяется через дифракцию на углах зданий и множественные отражения от фасадов, окон и других поверхно-

стей. Это приводит к сложным моделям многолучевого распространения, что может влиять на интерференцию и устойчивость сигнала;

эффект каньонов. Улицы, окруженные высокими зданиями, создают так называемый эффект городского каньона, который направляет сигнал вдоль оси улиц и может как усиливать его за счет отражений, так и блокировать при поворотах. Это делает моделирование маршрутов распространения особенно важным для таких условий;

высокая плотность пользовательских устройств. В городских условиях плотность пользователей значительно выше, что требует повышения емкости сети и усложняет задачу управления интерференцией. Часто применяются технологии многоканальной антенны (MIMO) и узкие лучи (Beamforming) для увеличения пропускной способности;

модели движения пользователей. Важным фактором является разнообразие движения — от пешеходов до высокоскоростного транспорта. Пешеходные устройства могут перемещаться как вдоль улиц, так и по пешеходным зонам и даже внутри зданий. Для высокоскоростного транспорта (например, автомобилей) применяются особые модели скорости и угловых положений относительно базовой станции, чтобы учесть возможные изменения интерференции и уровня сигнала на высоких скоростях;

типовая плотность размещения базовых станций. Для поддержания покрытия и качества связи в условиях высокой плотности зданий и пользователей в типичной городской макросоте требуется большое количество базовых станций, обычно установленных на крыше каждого второго или третьего здания. Такая плотность помогает эффективно обслуживать значительное количество пользователей и повышает устойчивость сети к нагрузкам;

плотность и материал застройки. Здания из бетона, стекла, металла и других материалов по-разному отражают и поглощают сигнал. Особенно важно учитывать стеклянные фасады, которые могут вызывать сильные отражения, и бетонные стены, которые значительно ослабляют сигнал;

однородность застройки. В большинстве городских макросот здания имеют однородную высоту, что упрощает прогнозирование и моделирование распространения сигнала. Однако возможны участки с резко изменяющейся высотой, где плотные многоэтажные дома соседствуют с низкими постройками, создавая дополнительные зоны теней и вариации интерференции. Высота и

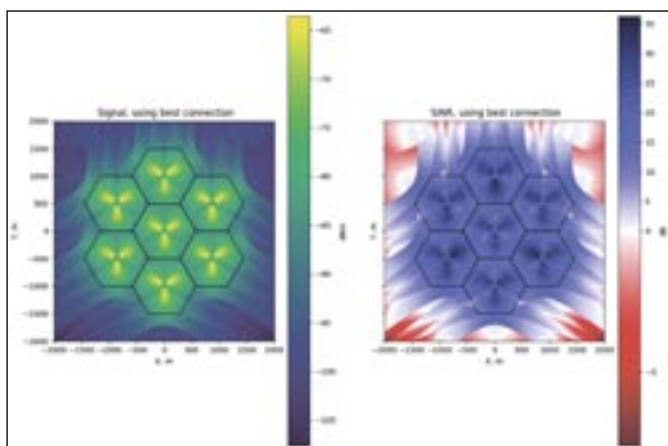


Рис. 1. Карта покрытия в сценарии городской макросоты

плотность застройки в типичной городской макроячейке в основном имеют однородный характер.

В рекомендации 3GPP TR 38.901 определена модель канала для данного сценария на основе большого количества измерений с учетом вышеизложенных факторов, которая является основой моделирования таких систем:

$$PL_{nLoS} = \begin{cases} PL_1 & 10m \leq d_{3D} \leq d'_{bp} \\ PL_2 & d'_{bp} \leq d_{3D} \leq 5km \end{cases}$$

$$PL_1(d) = 22.0 \log_{10}(d) + 28.0 + 20.0 \log_{10}(f_c)$$

$$PL_{nLoS}(d) = 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) + 7.5 \log_{10}(h) - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2 \log_{10}(h_{BS})) + (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d) - 3) + 20 \log_{10}(f_c) - (3.2(\log_{10}(11.75 h_{UT}))^2 - 4.97),$$

где

h_{BS} — высота базовой станции,

h_{UT} — высота пользователя,

$h'_{BS} = h_{BS} - 1.0$ — эффективная высота антенны базовой станции,

$h'_{UT} = h_{UT} - 1.0$ — эффективная высота пользовательской антенны,

f_c — несущая частота,

$W = 20 \text{ м}$ — средняя длина улицы,

$h = 20 \text{ м}$ — средняя высота здания,

d_{bp} — расстояние до точки, где один режим распространения меняется на другой (Break Point Distance), которое рассчитывается по формуле:

$$d_{bp} = 4.0 \cdot h'_{BS} \cdot h'_{UT} \cdot \frac{f_c}{3.0 \cdot 10^8}$$

Программа имитационного моделирования и прототипирования ЮБИСИМ позволяет строить карту покрытия с использованием различных моделей распространения сигнала, включая модель городской макросоты.

На рис. 1 представлена карта покрытия для типичного сценария 4G LTE, состоящего из семи базовых станций, каждая из которых имеет по три направленные антенны. Ширина полосы пропускания равна 20 МГц,

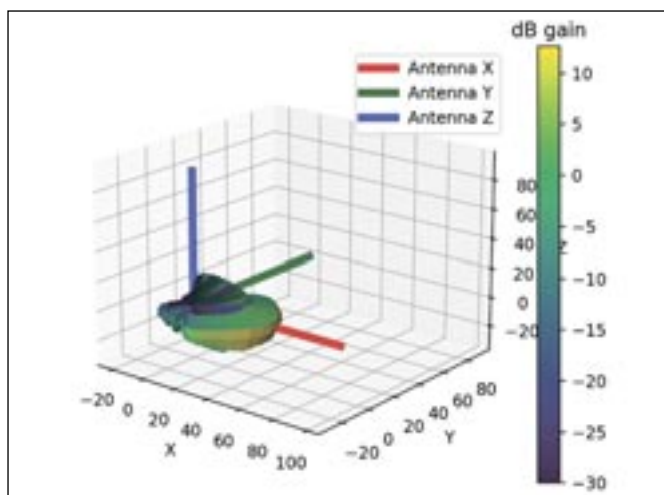


Рис. 2. Диаграмма направленности антенны

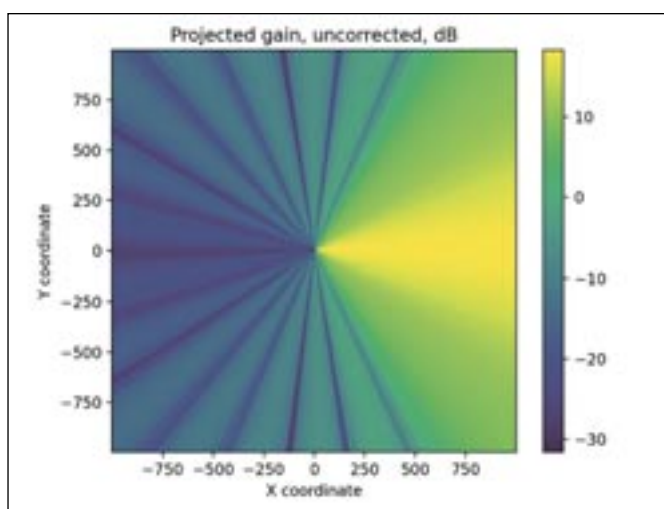


Рис. 3. Покрытие одной направленной антенны

несущая частота — 2 ГГц, радиус одной соты около 577 м, высота базовой $h_{BS} = 25 \text{ м}$. В левой части представлена карта покрытия и уровень индикатора мощности получаемого сигнала. Также важно учитывать межсайтовую интерференцию, т. е. интерференцию от передач в соседних сотах и соотношение полезного сигнала и интерференции (SINR), что представлено в правой части рисунка.

ЮБИСИМ предоставляет возможность рассмотреть смоделированную антенну для базовой станции и отдельно ее покрытие, что позволяет детальнее провести все настройки. На рис. 2 показана трехмерная диаграмма направленности антенны, которая использовалась для построения покрытия на рис. 1, а на рис. 3 представлено покрытие одной направленной антенны.

Заключение

Моделирование различных сценариев развертывания оборудования беспроводных сетей играет ключевую роль в разработке эффективных и надежных сетевых решений. Понимание особенностей каждого сценария и учет всех ключевых параметров позволяют обеспечить оптимальное развертывание и конфигурацию элементов сети.