

«Исследование особенностей распространения терагерцовых волн внутри помещений для построения усредненной и трехмерной кластерной моделей каналов связи 6G»

Шураков А.С.

В то время, как выпуск спецификации для технологии доступа 3GPP New Radio уже завершен, текущие исследования продолжают изучать проблемы, связанные с расширением возможностей сетей нового поколения на фоне начинающегося процесса стандартизации сетей связи шестого поколения (6G). Сети 6G будут работать на несущих частотах терагерцового (ТГц) диапазона, что способно обеспечить повышение скоростей передачи данных по беспроводному интерфейсу в 20-50 раз по сравнению с сетями связи пятого поколения (5G). Для снижения потерь на распространение, связанных с ярко выраженным поглощением ТГц излучения земной атмосферой, системы беспроводной связи 6G должны обладать сверхузкими диаграммами направленности. Однако, это приводит к потенциальной уязвимости стабильности беспроводного соединения к микромобильности пользователя и динамической блокировке линии передачи. Данную особенность необходимо учитывать на этапе проектирования сети.

Динамика распространения волн для каналов беспроводной связи ТГц диапазона в реальных условиях может оцениваться с помощью натуральных измерений и/или моделирования методом трассировки лучей. Для разработки механизмов физического и канального уровней (например, поиск луча) требуются точные модели распространения, которые, в том числе, учитывают AoA/ZoA, задержки компонент на приемнике - так называемые кластерные модели. В рамках одного кластера описываются лучи между передатчиком и приемником, которые испытывают похожие нарушения при распространении с точки зрения задержки, затухания мощности и геометрии отправления и прихода. Модели данного класса в явном виде фиксируют многолучевое распространение и случайность, связанную с каждой из приходящих компонент. На сегодняшний день не существует моделей данного класса для каналов ТГц связи.

Для оценки производительности сетей 6G на системном уровне требуются также простые усредненные модели, которые могут быть использованы в математических моделях таких сетей. В моделях данного класса для простоты используется так называемый одиночный кластер, в котором особенности среды распространения усредняются для получения средних потерь при распространении на определенном расстоянии разнесения передатчика и

приемника. На сегодняшний день в разработке моделей данного класса для каналов ТГц связи сделаны только первые шаги [1-3].

Наше исследование направлено на проработку вопросов создания усредненной и трехмерной кластерной моделей распространения внутри помещения (InH), соответствующих требованиям ITU-R и 3GPP для несущей частоты 140 ГГц, для сетей связи 6G. Оно предполагает проведение серии натуральных экспериментов по измерению распределения интенсивности ТГц излучения в зависимости от положения передающего модуля в помещении офисного типа, как пустом, так и при его типовом наполнении мебелью и людьми (в статике и движении).

На первом этапе работы мы сосредоточились на измерениях и статистическом анализе процесса динамической блокировки передачи ТГц сигнала человеком для случаев прямой видимости приемника и при передаче в отраженном свете, а также разработке алгоритмов детектирования момента наступления блокировки. Особое внимание было уделено разработке измерительных стендов для изучения микромобильности пользовательского устройства в части поляризационной чувствительности и антенным решениям для приемопередающих систем, способным обеспечить выигрыш во времени устойчивой связи. Данные работы были затем расширены и включили в себя случай отсутствия прямой видимости, детализацию микромобильности пользовательского устройства, а также построение модели распространения радиосигнала, учитывающей оптические свойства конструктивных элементов помещения.

Исследовательская работа была основана на последовательной разработке:

- стендов для получения экспериментальных данных по распределению интенсивности ТГц излучения в зависимости от положения передающего модуля в пустом помещении офисного типа и при его типовом наполнении мебелью и людьми;
- методов статистического анализа измеряемых амплитудно-временных и амплитудно-частотных характеристик принимаемого ТГц сигнала;
- моделей распространения с учетом отражения от конструктивных элементов помещения, микромобильности абонентского устройства и динамической блокировки передаваемого ТГц сигнала.

Разработанные в рамках исследования средства измерений и методы анализа данных позволяют восстанавливать картину распределения электромагнитного поля для несущих частот 130-160 ГГц внутри помещения малого размера с учетом переотражений волн от стен и наполняющих помещение объектов. Полученные на текущий момент основные научные результаты включают:

- данные о характерных пиковых ослаблениях и временных параметрах уровней принимаемого сигнала для различных плоскостей среза диаграммы направленности ТГц передатчика при микромобильности пользователя в различных сетевых приложениях [4];
- способ обнаружения характерной диффракционной сигнатуры во временном ряду уровня принимаемого сигнала в момент, предшествующий наступлению блокировки линии ТГц передачи в отражении [5,6];
- модель распространения ТГц сигнала, учитывающая оптические свойства конструктивных элементов помещения [5,7].

Планируется, что разработанные в рамках выполнения исследования модели канала ТГц связи сети 6G в дальнейшем позволят:

- оценивать уровень принимаемого сигнала после процедуры формирования пучка на заданном расстоянии от передатчика для анализа зоны покрытия базовых станций ТГц диапазона частот по уровню надежности приема для заданного набора модуляционно-кодовых схем;
- использовать оценку состояния канала связи в качестве компонента для моделей алгоритмов борьбы с эффектами блокировки и микромобильности, приводящими к потере соединения в течение активной пользовательской сессии, в том числе механизмов резервирования ресурсов и мультисвязности;
- использовать детальную информацию об условиях распространения радиосигнала для разработки механизмов обеспечения устойчивой связи, в частности, механизма управления лучом;
- производить оценку методов обеспечения безопасности на канальном уровне за счет информации о зонах прослушивания радиосигнала;
- разработать модели учитывающие пространственную и временную зависимость в канале связи для оптимального планирования передачи транспортных блоков в сетях 6G.

Список цитируемой литературы:

- [1] Gargari A. A., Polese M., Zorzi M. Full-stack comparison of channel models for networks above 100 GHz in an indoor scenario // in Proceedings of the 5th ACM Workshop on Millimeter-Wave and Terahertz Networks and Sensing Systems. – 2021. – Pp. 43-48.
- [2] Xing Y., Rappaport T. S., Ghosh A. Millimeter wave and sub-THz indoor radio propagation channel measurements, models, and comparisons in an office environment // IEEE Communications Letters. – 2021. – Vol. 25. – No. 10. – Pp. 3151-3155.

- [3] Ju S., Xing Y., Kanhere O., Rappaport T.S. 3-D statistical indoor channel model for millimeter-wave and sub-terahertz bands. // in Proceedings of the GLOBECOM 2020 - 2020 IEEE Global Communications Conference. – 2020. – Pp. 1-7.
- [4] Yaropolov T., Prikhodko A., Rozhkova P., Shurakov A., Goltsman G. Hardware- and User-Induced Micromobility Effects in In-Door Radio Access at 140 GHz // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics. – 2023. – Accepted for publication.
- [5] Prikhodko A., Khakimov A., Mokrov E., Begishev V., Shurakov A., Gol'tsman G. Characterizing Blockage Statistics of Reflected Propagation Paths in sub-THz Indoor Communications // in Proceedings of the 26th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications (DCCN). – 2023. – Accepted for publication.
- [6] Prikhodko A., Khakimov A., Mokrov E., Begishev V., Shurakov A., Gol'tsman G. A New Blockage Detection Approach for 6G THz Systems // in Proceedings of the 23rd International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networks and Systems (NEW2AN). – 2023. – Accepted for publication.
- [7] Shurakov A., Khakimov A., Mokrov E., Rozhkova P., Prikhodko A., Begishev V., Gol'tsman G. Characterization of the Reflected Propagation Paths in the Sub-THz Band for Indoor Communications, IEEE Access. – 2023. – Prepared for publication.