

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харкевич А.А. Спектры и анализ. – М.: Физматгиз, 1962. – 236 с.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
3. Дмитриев Е.В. Гармонические спектры и аппроксимация коротких сигналов. – Воронеж: ВГУ, 2006. – 73 с.
4. Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 304 с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
6. Чернов В. Процессоры цифровой обработки сигналов компании Texas Instruments // Компоненты и Технологии. – 2005. – № 6. – С. 128-133.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Е. Панич.

Бозиев Малик Шутаевич – Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»; e-mail: zori@kita.dgtu.edu.ua; 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, Украина; тел.: +380623045571; +380623010942; старший научный сотрудник; доцент.

Зори Анатолий Анатольевич – кафедра электронной техники; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Мокрый Георгий Васильевич – старший научный сотрудник; доцент.

Boziev Malik Shutaevich – State Higher Education Establishment “Donetsk National Technical University”; e-mail: zori@kita.dgtu.edu.ua; 58, Artyom street, Donetsk, 83001, Ukraine; phone: +380623045571; +380623010942; the senior scientific employee; associate professor.

Zori Anatolii Anatolievich – the department of electronic engineering; head the department; professor.

Mokryy Georgiy Vasilievich – the senior scientific employee; associate professor.

УДК 621.396.98

А.И. Панычев, И.В. Дубинская

СИНТЕЗ ЛУЧЕВОЙ ТРАЕКТОРИИ ПРОНИКНОВЕНИЯ СИГНАЛОВ WLAN В СМЕЖНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Формирование зоны обслуживания локальной беспроводной сети связи внутри здания является результатом совместного действия нескольких основных механизмов многолучевого распространения радиоволн: отражения, преломления, дифракции, диффузии. С целью анализа направления распространения сигналов WLAN в помещениях, смежных с местом расположения точки доступа, выполнено моделирование прохождения лучей сквозь стены и перекрытия здания. Поверхности элементов конструкций здания аппроксимированы плоскостями. Преломление лучей рассмотрено в приближении геометрической оптики. Разработан алгоритм построения траектории луча двукратного преломления в случае предопределённого положения точки доступа и клиента сети связи. Процедура построения трехмерной трассы основана на расчете координат точек пересечения луча с первой и второй преломляющими поверхностями, для чего решается система нелинейных алгебраических уравнений в векторной форме. Приведены примеры лучевых траекторий и оценены размеры областей, содержащих точки преломления, в типичных для внутренних помещений случаях.

WLAN; метод геометрической оптики; преломление лучей; алгоритм; лучевая трассировка.

A.I. Panychev, I.V. Dubinskaya

**SYNTHESIS OF RAY TRAJECTORY PENETRATION WLAN SIGNALS
IN ADJACENT ROOMS**

The formation of the service cell of the wireless local area network inside the building is the result of a joint action of several of the main mechanisms of radio waves multipath propagation: reflection, refraction, diffraction, diffusion. The modeling of the rays passing through walls and floors is carried out with the purpose of the analysis of WLAN signals propagation direction in premises adjacent to the place of the access point location. The surfaces of the building structural elements are approximated by planes. The refraction of rays is considered in the approximation of geometrical optics. The algorithm for constructing the trajectory of the double refraction beam in the case of the predefined positions of the access points and client network are designed. The procedure of constructing three-dimensional route is based on calculation of the ray intersection points coordinates with the first and second refraction surfaces, for which solved by a system of nonlinear algebraic equations in vector form. Examples of ray trajectories and the estimated dimensions of areas that contain the point of refraction, in the typical for the interior cases are given.

WLAN; geometrical optics method; rays refraction; algorithm; rays tracing.

Распределение интенсивности сигналов локальной беспроводной сети связи внутри здания представляет собой сложную интерференционную картину, которая формируется в результате совместного действия нескольких основных механизмов многолучевого распространения радиоволн: отражения, преломления, дифракции, диффузии.

Строгих методов расчета электромагнитного поля в столь сложной обстановке, какой является внутреннее пространство зданий и отдельных помещений, не разработано. Известны различной степени универсальности и точности приближенные статистические и детерминистские методы. На их основе создан ряд специализированных программ расчета распространения радиоволн внутри и вне зданий [1–3]. Базовым для этих вычислительных программных средств является метод сканирующих лучей, обуславливающий известные ограничения их применения [4]. Некоторыми авторами, например [5–7], развивается подход, предполагающий выделение компоненты электромагнитной волны с преобладающим механизмом распространения в конкретной обстановке. Недостатками этих разработок являются слабая приспособленность к анализу объемного распределения напряженности поля и очевидная привязанность к типовым топологиям планировки здания.

В ряде работ предложены алгоритмы трехмерной трассировки прямых лучей и отраженных лучей различной кратности отражения, адаптированные к задачам расчета распространения радиоволн внутри помещений [4, 8, 9]. В дополнение к ним рассмотрим задачу построения траектории лучей, проникающих в анализируемое пространство из смежных помещений.

Общая постановка задачи следующая. Пространство разделено двумя плоскостями, моделирующими поверхности стены или перекрытия здания, на три области (рис. 1). Взаимное расположение плоскостей **1** и **2** – произвольное, но в анализируемом фрагменте пространства они не пересекаются. В общем случае электрофизические параметры всех областей различны. «Верхняя» область с параметрами ε^t, μ^t содержит источник электромагнитного поля в точке p^t , которая удалена от плоскости **1** настолько, что падающее поле является локально плоским. «Внутренняя» область с параметрами ε^p, μ^p моделирует стену здания или иное препятствие. В «нижнем» полупространстве с параметрами ε^r, μ^r расположена точка p^r , в которой анализируется уровень прошедшего сквозь преграду поля.

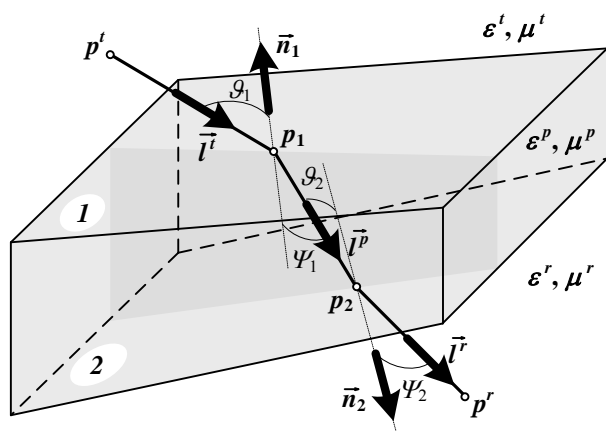


Рис. 1. Постановка задачи

Необходимо определить координаты точек первого p_1 и второго p_2 преломления луча, прошедшего путь от точки передатчика p^t до точки приемника p^r . Таким образом, задача состоит в восстановлении траектории по заданным позициям начала и конца трассы.

В соответствии с постулатами геометрической оптики, направления падающего и преломленного лучей для плоскости 1 связаны законом Снеллиуса [10]:

$$\vec{l}^t - \vec{n}_1(\vec{n}_1, \vec{l}^t) = k^{tp} [\vec{l}^p + \vec{n}_1(-\vec{n}_1, \vec{l}^p)], \quad (1)$$

где \vec{l}^t и \vec{l}^p – орты падающего и преломленного лучей; \vec{n}_1 – внешняя нормаль к плоскости 1 (направлена в «верхнюю» область); $k^{tp} = \sqrt{\frac{\epsilon^p \mu^p}{\epsilon^t \mu^t}} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \Psi_1}$ – отношение показателей преломления «верхней» и «внутренней» сред распространения; θ_1 – угол падения (угол между \vec{n}_1 и $-\vec{l}^t$); Ψ_1 – угол преломления (угол между $-\vec{n}_1$ и \vec{l}^p).

Аналогичное соотношение для плоскости 2 с учетом того, что луч, преломленный первой плоскостью, является падающим на вторую, имеет вид

$$\vec{l}^p + \vec{n}_2(-\vec{n}_2, \vec{l}^p) = k^{pr} [\vec{l}^r - \vec{n}_2(\vec{n}_2, \vec{l}^r)], \quad (2)$$

где \vec{l}^r – орта луча, вышедшего из препятствия; \vec{n}_2 – внешняя нормаль к плоскости 2 (направлена в «нижнюю» область); $k^{pr} = \sqrt{\frac{\epsilon^r \mu^r}{\epsilon^p \mu^p}} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \Psi_2}$ – отношение показателей преломления «внутренней» и «нижней» сред; θ_2 – угол падения (угол между \vec{n}_2 и \vec{l}^p); Ψ_2 – угол преломления (угол между \vec{n}_2 и \vec{l}^r).

Система уравнений для определения координат точек первого p_1 и второго p_2 преломления луча получена из выражений (1) и (2) с учетом того, что орты падающего, преломленного и прошедшего лучей выражаются через искомые координаты точек p_1, p_2 и известные координаты передатчика и приемника p^t, p^r связанными соотношениями:

$$\vec{l}^t = \frac{\vec{p}_1 - \vec{p}^t}{|\vec{p}_1 - \vec{p}^t|}; \vec{l}^p = \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{|\vec{p}_2 - \vec{p}_1|}; \vec{l}^r = \frac{\vec{p}^r - \vec{p}_2}{|\vec{p}^r - \vec{p}_2|},$$

где $\vec{p}^t, \vec{p}^r, \vec{p}_1, \vec{p}_2$ – радиус-векторы соответствующих точек.

Составленная система из двух векторных уравнений сводится к системе шести нелинейных алгебраических уравнений относительно координат точек преломления. В качестве начального приближения при численном решении этой системы использованы координаты точек пересечения прямой, соединяющей точки передатчика и приемника, с преломляющими поверхностями. Для выбора корней, соответствующих рассматриваемой задаче, использованы условия: искомая точка находится на преломляющей поверхности; каждая координата искомой точки принадлежит промежутку между соответствующими координатами точек расположения источника и приемника.

В качестве иллюстрации работы разработанного алгоритма лучевой трассировки двойного преломления рассмотрим траектории лучей при параллельном расположении преломляющих поверхностей, что соответствует таким конструкциям здания, как стены и перекрытия.

На рис. 2 представлены результаты моделирования хода луча в случае, когда коэффициенты преломления верхней и нижней областей одинаковы и принимают различные значения. Как и следовало ожидать, при отношении показателей преломления верхней среды и препятствия $k^{tp} = 1$ траектория соответствует ходу прямого луча. Для типичных строительных материалов, таких как кирпич ($k^{tp} = 2,1$) и бетон ($k^{tp} = 2,47$), траектории лучей двукратного преломления отличаются незначительно. Установлено, что траектории практически совпадают, начиная уже со значения $k^{tp} \approx 1,97$. Характерной для случая $k^{pr} = 1/k^{tp}$ является также параллельность падающего и прошедшего лучей.

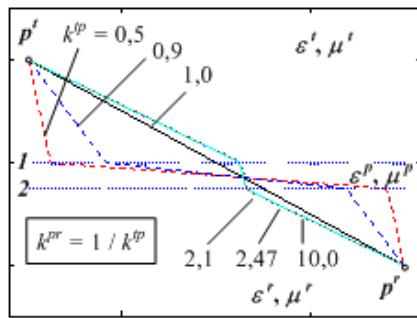


Рис. 2. Траектория лучей при различных коэффициентах преломления препятствия

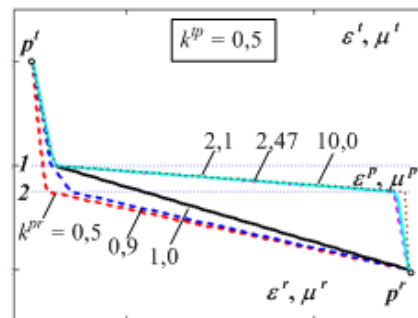


Рис. 3. Траектория лучей при различных коэффициентах преломления нижней среды

Рис. 3 иллюстрирует влияние на ход луча показателя преломления нижней среды. Синтезированные траектории полностью соответствуют постулатам законов геометрической оптики и Снеллиуса. Вновь наблюдается практическое совпадение результатов для кирпича и бетона.

Изменение траектории преломленного луча при увеличении толщины препятствия Δ представлено на рис. 4. Представленное здесь семейство лучей демонстрирует существенное достоинство алгоритма – возможность оценки величины

угла падения при заданном положении точек передатчика и приемника. Это позволяет, в частности, исключить трассировку в пределах препятствия и в нижней области «холостых» лучей, соответствующих углу Брюстера.

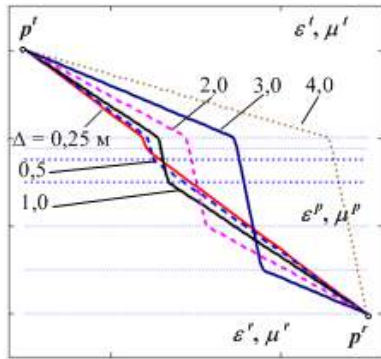


Рис. 4. Траектория лучей при различных значениях толщины препятствия

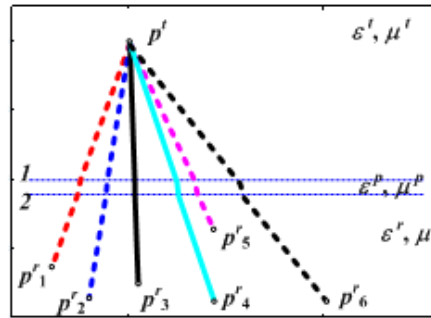


Рис. 5. Траектория лучей при различных положениях точки наблюдения

Результаты лучевой трассировки через препятствие, моделирующее внутреннюю стену здания, для различных случаев взаимного расположения передатчика и приемника представлены на рис. 5. Семейство синтезированных траекторий показывает эффективность предложенного алгоритма при расчете покрытия зоны обслуживания беспроводной локальной сети связи.

На рис. 6 приведены зависимости относительного разброса координат точек первого (кривая 1) и второго (кривая 2) преломления в зависимости от расстояния между приемником и точкой доступа для случаев кирпичной и бетонной стены. Информация о расположении точек преломления имеет существенное значение для анализа интенсивности сигналов WLAN в смежных помещениях, поскольку электрофизические свойства различных участков поверхностей могут быть различными.

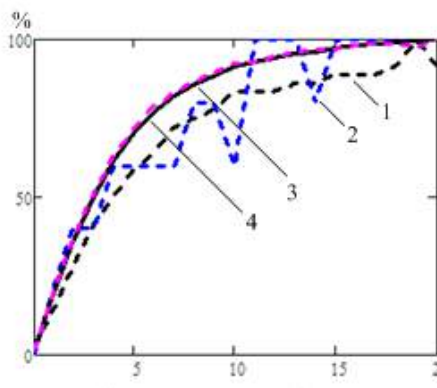


Рис. 6. Зависимость разброса точек преломления от удаленности точки приема от источника

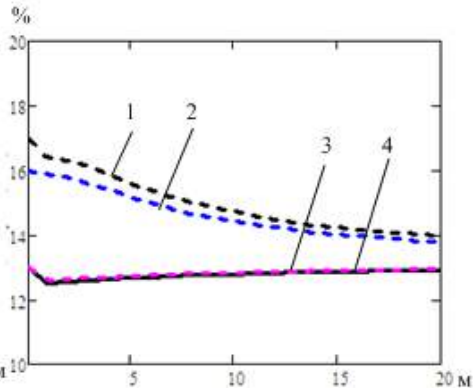


Рис. 7. Зависимость относительного расстояния между точкой преломления и точкой наблюдения от удаленности от источника

Как следует из рис. 6, максимальный разброс между точками преломления при изменении материала препятствия наблюдается при удалении 15 м и более. Начиная с удаления 10 м, можно считать, что изменение положения точки преломления

не превысит 15 %. Практически совпадающие кривые характеризуют разнос между точками преломления луча на первой и второй поверхностях для кирпичной (3) и бетонной (4) стены. Таким образом, наклон луча внутри препятствия, начиная с удаления 13–15 м, можно считать неизменным с 10-процентной погрешностью.

Рис. 7 позволяет проследить «пропорции» траектории луча. Здесь представлены зависимости доли расстояния между точкой первого (кривые 1 и 2) и второго (кривые 3 и 4) преломления и точкой приема по отношению к общей удаленности точки наблюдения от источника. Кривые 1 и 3 соответствуют кирпичу, кривые 2 и 4 – бетону. Видно, что расстояние от точки первого преломления до точки наблюдения составляет 14–17 %, а между точкой второго преломления и точкой наблюдения – около 13 % от всей дистанции между передатчиком и приемником.

Таким образом, предложенный алгоритм синтеза траектории лучей двукратного преломления по заданным координатам точек передатчика и приемника позволяет оптимизировать процесс трехмерной лучевой трассировки за счет исключения характерных для метода пробного пуска непроизводительных затрат на анализ хода «холостых» лучей. Следует отметить, что рассмотренный подход может быть полезным и в других, смежных областях, например, при исследовании частотно-селективных метаструктур [11], когда изучается прохождение радиоволн сквозь слои материалов с различными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет и моделирование распространения радиоволн в городской среде и пересеченной местности с помощью программы Wireless InSite // EDA Express. – 2004. – № 9. – С. 35-39.
2. Madej P. 3D Wireless Networks Simulator – Visualization of Radio Frequency Propagation for WLANs // Dissertation. Univ. of Dublin, Trinity College, 2006.
3. Torres R.P. a.o. CINDOOR: An Engineering Tool for Planning and Design of Wireless System in Enclosed Spaces // Antennas and Propagation Magazine. – 1999. – Vol. 41, №4. – P. 11-21.
4. Панычев А.И. Алгоритм трехмерной трассировки радиоволн локальной беспроводной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 31-41.
5. Dimitriou A.G., Bletsas A., Bessis N., Polycarpou A.C., Sahalos G.N. Theoretical Findings and Measurements on Planning a UHF RFID System Inside a Room // Radioengineering. – June 2011. – Vol. 20, № 2. – P. 387-407.
6. Lay Z., De La Roche G., Bessis N., Kuonen P., Clapworthe G., Zhou D., Zhang G. Statistical Intelligent Ray Launching Algorithm for Indoor Scenarios // Radioengineering. – June 2011. – Vol. 20, № 2. – P. 398-408.
7. Maltsev A., Maslennikov R., Lomayev A., Sevastyanov A., Khoryaev A. Statistical Channel Model for 60 GHz WLAN Systems in Conference Room Environment // Radioengineering. – June 2011. – Vol. 20, № 2. – P. 409-422.
8. Панычев А.И. Алгоритм трассировки лучей внутри зданий // Излучение и рассеяние электромагнитных волн: Труды Междунар. научн. конф. «Излучение и рассеяние электромагнитных волн – ИРЭМВ-2011». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – С. 371-375.
9. Панычев А.И. Трассировка многолучевого распространения радиоволн внутри зданий // Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия «Общие вопросы радиоэлектроники (ОВР)». Научн.-техн. сборник. Вып. 1. – М.,–Таганрог, 2012. – С. 182-187.
10. Боровиков В.А. и Кинбер Б.Е. Геометрическая теория дифракции. – М.: Связь, 1978. – 248 с.
11. Мусаев Максуд Мурад Оглы, Кисель Н.Н. Численное и экспериментальное исследование метаматериалов на основе спиральных элементов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 81-86.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Е. Панич.

Паньчев Андрей Иванович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: ruu2011@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; к.т.н.; доцент.

Дубинская Изабэлла Витальевна – студентка.

Panychev Andrey Ivanovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: ruu2011@mail.ru; GSP-17A, 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; the department of aerials and radio sending devices; cand. of eng. sc.; associate professor.

Dubinckay Izabella Vitalievna – student.

УДК 621.12.23

Е.О. Евдокимова

МОДЕЛЬ СИГНАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДОПЛЕРОВСКОГО СПЕКТРА

Рассмотрены проблемы анализа радиолокационных эхосигналов, характеризующих микро- и макродвижения объектов. Исследована возможность упрощенного представления радиосигналов для повышения эффективности алгоритмов распознавания на основе различий в движении, которые благодаря эффекту Доплера преобразуются в различия спектров эхосигналов. С целью сформировать набор идеализированных функций для аппроксимации компонент реальных микродоплеровских сигналов, в работе предложена новая модель эхосигнала, характеризующего вращательное микродвижение. Предложенная модель учитывает характерные особенности частотно-временного распределения рассматриваемых сигналов. В результате работы сделан вывод об эффективности и широких перспективах применения сформированной модели для представления реальных микродоплеровских сигналов с целью их последующего анализа и выделения информативных признаков для решения задач классификации.

Микродвижение; доплеровский спектр; частотно-временное распределение; распознавание.

Е.О. Evdokimova

SIGNAL MODEL FOR MOVING OBJECT PARAMETERS ESTIMATION BASED ON DOPPLER SPECTRUM ANALYSIS

A few issues of studying micro- and macro-motions by a Doppler radar are reviewed. Ability to simplify multicomponent radar signals is explored. A new model of a rotating scatterer is suggested for forming a dictionary of functions. The model takes to account some particular issues associated with the micro-motions. It is assumed to approximate real micro-Doppler signals for increasing performance of recognition systems based on micro-Doppler radars. New features can be extracted due to the model representation. The main aspects of using the signal representation for moving object detection and recognition are considered.

Micro-motion; Doppler spectrum; time-frequency distribution; recognition.

Введение. Микродоплеровская сигнатура – это уникальная характеристика движения, содержащая закон модуляции доплеровской частоты эхосигнала и представленная в виде распределения в частотно-временной области [1]. Каждому типу движения соответствуют сигнатуры с характерной структурой. При этом