

МЕТОДЫ АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

Воронежский институт высоких технологий

Рассматриваются вопросы, связанные с анализом распространения электромагнитных волн в беспроводных системах связи. Проведен анализ методов дифракции и рассеяния электромагнитных волн.

Ключевые слова: дифракция, рассеяние, электромагнитная волна.

Введение

В настоящее время идет бурное развитие беспроводных сетей связи. Происходит смена старых стандартов мобильной связи 2G (GSM, CDMA), которые дают весьма низкие требования к пропускной способности канала (до 384 Кбит/с), на новые технологии - 3G и 4G (UMTS, HSDPA, Wi-Fi, WiMAX). При этом возникает возможность заметно повысить требования к пропускной способности канала до 1 Гбит/с, а также улучшить качество покрытия. Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что возникают новые задачи по повышению качества проектирования беспроводных сетей.

Качество передачи зависит от множества факторов. В канале связи передачи можно выделить сложные процессы дифракции и рассеяния радиоволн.

Целью данной работы является анализ методов и особенностей анализа распространения радиоволн в беспроводных системах связи.

Для достижения цели необходимо было решить ряд задач:

-описать основные характеристики методов рассеяния и дифракции радиоволн,

-выделить некоторые преимущества рассматриваемых методов.

При распространении электромагнитных волн от передатчика к приемнику в системах беспроводной связи, на их пути может не быть препятствий (случай прямой видимости), а могут быть участки, где они есть. дома, деревьями и т.д. Существует определенное отличие от проводной связи, обусловленное случайным характером параметров в беспроводной связи.

Механизм распространения радиоволн в системах связи может быть разным, но в большинстве случаев он сводится к отражению, дифракции и рассеянию.

Весьма большое число беспроводных систем функционируют в населенных пунктах, где трудно создать прямую видимость антенн, а высокие дома дают заметные дифракционные потери.

Методы анализа дифракции и распространения радиоволн в беспроводных системах связи условно могут быть разделены на несколько групп:

1. Аналитические,
2. Экспериментальные,
3. Численные (интегро-дифференциальные уравнения),
4. Лучевые,
5. Статистические,
6. Прогнозирования.

Аналитические методы.

Модель распространения волн в свободном пространстве применяется для оценки характеристик сигнала, принимаемого передатчиком, тогда, когда передатчик и приемник находятся на одной незатененной прямой [1, 2]. В этом случае записываются достаточно простые аналитические выражения для распространяющихся волн, позволяющие провести анализ.

При дифракции электромагнитные волны имеют возможность распространяться вокруг земной поверхности (которая представляет собой сферу) за горизонт, а также за различные препятствия. Уровень сигнала уменьшается, но прием возможен.

Когда рассматривается дифракция электромагнитных волн на объекте со сложной формой, то может быть применен итерационный алгоритм [3]. Для каждой итерации записываются не очень сложные аналитические выражения.

Теория, развитая в [4], может быть использована при конструировании микроволновых антенн и при исследовании характеристик рассеяния различных объектов, представляющих практический интерес. В комбинации с численными методами она находит применение для разработки эффективных гибридных схем для решения сложных задач излучения и рассеяния электромагнитных волн. В основе теории лежит метод краевых волн. С использованием аналитических выражений возможен расчет характеристик рассеяния широкого класса дифракционных структур.

В некоторых секторах углов поведение характеристик рассеяния электромагнитных волн не является очень сложным и эти характеристики могут быть аппроксимированы с применением полиномов, имеющих небольшую степень [5].

Даже для сложных дифракционных структур – антенных решеток возможно использование аналитических методов. В статье [6] рассмотрено формирование двумерных интерференционных картин поверхностных электромагнитных волн. Моделирование в рамках электромагнитной теории показывает возможность формирования контрастных интерференционных картин с периодом, в 2,5–3,5 раза меньшим длины волны. В работе [7] дано аналитическое решение задачи об определении параметров амплитудной решетки (профиля дифракционной решетки) при дифракции на которой монохроматической р-поляризованной волны энергия распределялась бы между дифрагированными волнами заранее заданным образом.

При отражении от нескольких зданий волна распространяется сложным образом, но могут быть выделены общие закономерности. Работа [8] посвящена тому, что в ней на основе метода Гюйгенса-Кирхгофа разработана математическая модель для анализа пространственного распределения электромагнитного поля в городских условиях при произвольных характеристиках рельефа подстилающей поверхности и городской застройки. На основе разработанной модели предложена аппроксимационная зависимость для расчета ослабления поля в городских условиях.

В [9] в рамках метода плавных возмущений предложен аналитический способ построения функции рассеяния поля в случайно-неоднородной среде с однородным фоном, в основе которого лежит физически корректное представление функции рассеяния поля в среде с флуктуациями как преобразование Фурье от функции корреляции поля по разностному времени, разностной координате и разностной частоте.

На сигнал в беспроводной среде может оказывать негативное влияние множество факторов, начиная с помех и низких уровней сигнала и заканчивая коллизиями (нарушениями приема/передачи) кадров данных, в результате чего резко увеличивается количество попыток приема/передачи каждого кадра данных, что существенно влияет на пропускную способность сети. Статья [10] рассматривает вопросы, связанные с возможностью построения аналитическая модель, которая позволяет рассчитывать фактическую пропускную способность сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11. Похожие задачи решались в [11].

В некоторых случаях существует возможность оценки характеристик рассеяния дифракционной структуры, у которой параметры немного отличаются от тех, к которым применяется известная модель. В [12] рассмотрен пример решения такой задачи.

Таким образом, аналитические методы позволяют значительно сократить время анализа дифракционных структур, но необходимо сохранять приемлемую точность вычислений.

Экспериментальные методы.

Экспериментальные методы [13] позволяют определить качество беспроводного оборудования. Во многих случаях экспериментальные данные в дальнейшем могут быть аппроксимированы (например, с использованием метода наименьших квадратов) и на их основе строится аналитическая модель.

Численные методы.

Метод интегрального уравнения играет центральную роль в изучении краевых задач, связанных с дифракцией волн на телах с конечными размерами. Это обусловлено тем, что математическая постановка задач приводит к уравнениям в неограниченных областях, а переформулировка их в виде граничных интегральных уравнений не только уменьшает раз-

мерность задачи, но и позволяет свести ее к задаче на ограниченной поверхности тела [14].

Численные методы, в отличие от остальных методов, предусматривают минимальную аналитическую обработку задач, которая осуществляется, как правило, на основе таких методов, как метод автономных блоков, конечных разностей, конечных элементов, моментов и метод сингулярных интегральных уравнений для электромагнитного поля для каждой кусочно-однородной области структуры [14].

Интегральные уравнения для широкого класса структур рассматриваются в [15].

Если рассеиватели содержат на поверхности металла материалы, то в интегральных уравнениях учитываются характеристики этих материалов (диэлектрическая и магнитная проницаемость) [16].

В [17] показано преимущество перед методом интегральных уравнений использование комбинированной методики, основанной на модальном методе и методе физической оптики на примере рассеивателя – идеально проводящей полый структуры.

Если объект, на котором происходит рассеяние электромагнитной волны, является симметричным, то размерность задачи может быть уменьшена [18].

В [19] проводится разработка численного алгоритма для моделирования распространения радиоволн над нерегулярной поверхностью Земли на основе решения параболического волнового уравнения в широкоугольной форме для кусочно-линейного представления поверхности а также разработка методики моделирования распространения радиоволн в зданиях с использованием геоинформационных технологий и метода конечных интегралов.

Численные методы значительно повышают точность вычислений, но время расчетов для конкретной ЭВМ может оказаться значительным, и даже трудно реализуемым на практике.

Лучевые методы.

Математическая модель является удобным и эффективным инструментом анализа характеристик исследуемого объекта. Хорошая модель, адекватно описывающая объект, позволяет изучить его поведение как в типовых, так и в критических ситуациях, что сделать физически часто бывает невозможно из-за опасности разрушения объекта [20].

Результат многолучевого распространения сигнала часто оказывается отрицательным, поскольку один из сигналов может прийти с обратной фазой и подавить основной сигнал.

Высокоскоростная передача данных по многолучевому беспроводному каналу часто требует, чтобы в приемнике был известен отклик сигнала. Для этой цели широко используются методы, основанные на обучении, при которых канал испытывается по времени, частоте и пространству с

помощью известных сигналов или с помощью восстановления отклика по выходным сигналам. Традиционно для широкого класса многолучевых каналов оптимальными считаются методы оценки канала на основе обучения, которые обычно используют линейное восстановление [21].

В [22] предложена квазидетерминированная трехмерная модель многолучевого канала распространения миллиметровых волн в условиях городской среды. Модель основана на применении геометрической оптики и геометрической теории дифракции и предусматривает детерминированное описание городской застройки, которая представляется в виде трехмерного массива зданий. Отражение волн от стен зданий с периодически неоднородной поверхностью рассматривается как отражение от плоской поверхности с некоторым эффективным коэффициентом отражения, отличие которого от френелевского определяется степенью неоднородности и шероховатости поверхности. Предложенная модель и разработанные на ее основе программные средства позволяют для конкретной планировки городского района определить ключевые параметры канала.

В работах [23-26] развита методика, основанная на лучевом подходе, оценки характеристик распространения электромагнитных волн в сотовой системе связи, использующая методы оптимизации.

Лучевые методы позволяют получить наглядную картину распространения электромагнитных волн. Время расчетов во многих случаях не очень большое.

Статистические методы.

Для решения проблемы минимизации помех в беспроводной сети и повышения ее производительности необходимо стремиться к равномерному распределению нагрузки между базовыми станциями. Поскольку условия распространения сигнала могут различаться в разных частях сети, а места размещения базовых станций зафиксированы – средством выравнивания нагрузки остается регулирование мощности базовых станций, определяющие радиусы ячеек R и приходящуюся на них нагрузку D [27].

Количественное описание временных и географических изменений уровня атмосферных помех производится статистическими методами, основанными на результатах обработки данных многолетних измерений. Для каждого сезона года и для шести часовых интервалов времени суток составляют карты с изолиниями медианных значений напряженности поля атмосферных помех на частоте 1 МГц. Составляются также данные о статистическом распределении мгновенных значений напряженности поля атмосферных помех, по которым определяется вероятность появления выбросов помех большого уровня [28].

При определении зоны уверенного приема передач в беспроводной системе связи следует в ряде случаев использовать статистический метод, поскольку в этом случае требуется обеспечить требуемый уровень сигнала

в заданном проценте пунктов приема. Но при этом могут быть пункты, где уровень сигнала может оказаться недостаточным [29].

Статистические методы во многих случаях зависят от структуры рассматриваемого объекта, на котором происходит дифракция радиоволн.

Методы прогнозирования.

При рассеянии электромагнитных волн отдельный класс задач – прогнозирование значений электромагнитного поля. В работах [30-39] предложено несколько методических подходов, дающих возможность исследования как идеально проводящих объектов, так и объектов, содержащих на своих поверхностях материалы, поглощающие электромагнитное излучение.

Использование САПР.

При реализации методов рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах целесообразно использовать САПР [40].

В САПР предусмотрена совокупность модулей для определения характеристик рассеяния разных объектов [41-44]. САПР беспроводных систем должна быть связана с ГИС [45]. При построении САПР важно ориентироваться на общие принципы [46]. Каждый из анализируемых объектов может быть рассчитан на основе определенного метода [47].

Выводы по работе:

Таким образом, использование комплекса математических моделей и методов позволяет проводить эффективный анализ распространения электромагнитных волн в беспроводных системах связи.

Литература

1. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1975. 280 с.
2. Черенкова Е.Л., Чернышев О.В. Распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 1984. 272 с.
3. Пастернак Ю.Г., Преображенский А.П. Применение итерационного алгоритма для оценки характеристик рассеяния объектов / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 1. С. 63-65.
4. Уфимцев П. Я. Теория дифракционных краевых волн в электродинамике. Введение в физическую теорию дифракции / М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.-372 с.
5. Преображенский А., Хухрянский Ю.П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 15-16.
6. Безус Е.А., Досколович Л.Л. Расчет и моделирование дифракционных структур для формирования двумерных интерференционных картин

поверхностных электромагнитных волн / Компьютерная оптика, том 33, №1, с. 10-16.

7. Тимченко М. А., Спевак И. С., Кац А. В. Аналитический подход к конструированию дифракционных решёток с заданными свойствами / Вісник ХНУ, № 914, серія «Фізика», вип. 13, 2010, с. 14 – 18.

8. Дымов А. В. Моделирование распространения УКВ радиоволн в условиях города с учётом рельефа подстилающей поверхности / диссертация ... кандидата физико-математических наук, Ярослав. гос. ун-т им. П.Г. Демидова - Ярославль, 2010, 138 с.

9. Битюков А.А. Аналитическое исследование частотно-временных характеристик высокочастотного флуктуационного канала распространения электромагнитных волн : диссертация ... кандидата физико-математических наук : / С.-Петерб. гос. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2008. - 179 с.

10. Нестеренко С.А., Иванова Л.В. Аналитическая модель сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11 / Праці Одеського політехнічного університету. 2011. Вип. 1(35), с. 146-150.

11. Баранов А. В. Разработка аналитических методов оценки производительности беспроводных локальных сетей на базе протокола IEEE 802.11 / Дис. ... канд. техн. наук, Москва, 2005 101 с.

12. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритм расчета радиолокационных характеристик полостей с использованием приближенной модели / Системы управления и информационные технологии. 2005. № 4 (21). С. 17-19.

13. Астраханцева М.А. Методика сравнительного анализа оборудования беспроводных сетей (<http://www.ict.edu.ru/vconf/files/12209.pdf>)

14. Саутбеков С. С. Дифракция электромагнитных волн на конечных структурах / Диссертация ... доктора физико-математических наук, Алмааты, 2002, 181 с.

15. Смирнов, Ю. Г. Математические методы исследования задач электродинамики / монография, Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2009. – 268 с.

16. Юров Р.П., Преображенский А.П. Исследование рассеивающих свойств отражателя с радиопоглощающими покрытиями / Информационные технологии моделирования и управления. 2006. № 2 (27). С. 218-222.

17. Преображенский А.П. Оценка возможностей комбинированной методики для расчета эпр двумерных идеально проводящих полостей / Телекоммуникации. 2003. № 11. С. 37.

18. Преображенский А.П. Расчет характеристик рассеяния идеально проводящих симметричных тел / Информационные технологии моделирования и управления. 2005. № 2 (20). С. 218-224.

19. Дудов Р. А. Методы моделирования процессов распространения радиоволн в урбанизированной среде / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Москва, 2010, 26 с.
20. Гуреев А.В., Кустов В.А. Компьютерное моделирование беспроводных сетей и проблемы их электромагнитной совместимости / Электронный журнал «Исследовано в России» (<http://zhurnal.aperelearn.ru/articles/2002/134.pdf>)
21. Нейман В.И. Развитие теории беспроводного доступа / Электросвязь, № 7, 2011, с. 12-15.
22. Лаврентьев Ю.В. Квазидетерминированная трехмерная модель многолучевого канала распространения миллиметровых волн в городской застройке / Журнал радиоэлектроники, 2000, № 5, (<http://jre.cplire.ru/jre/may00/2/text.html>).
23. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование методов оптимизации при проектировании систем радиосвязи / Теория и техника радиосвязи. 2011. № 1. С. 5-9.
24. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование метода трассировки лучей при проектировании беспроводных систем связи / Информационные технологии. 2011. № 8. С. 40-42.
25. Головинов С.О., Преображенский А.П., Львович И.Я. Моделирование распространения миллиметровых волн в городской застройке на основе комбинированного алгоритма / Телекоммуникации. 2010. № 7. С. 20-23.
26. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Исследование метода трассировки лучей для проектирования беспроводных систем связи / Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. Т. 17. № 1. С. 32-35.
27. Минаков А.Б. Адаптивные методы повышения производительности мобильных беспроводных сетей Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Москва , 2011, 20 с.
28. <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=40765>
29. Родос Л.Я. Электродинамика и распространение радиоволн (распространение радиоволн): учебно-метод. Комплекс (учебное пособие). – СПб.:СЗТУ, 2007, 90с. (<http://window.edu.ru/resource/560/40560/files/1706.pdf>)
30. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Методика прогнозирования радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах Системы управления и информационные технологии. 2004. № 2 (14). С. 98-101.

31. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов с радиопоглощающими покрытиями в диапазоне длин волн /Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 21.
32. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик объектов в диапазоне длин волн с использованием результатов измерения характеристик рассеяния на дискретных частотах /Телекоммуникации. 2004. № 5. С. 32.
33. Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Алгоритмы прогнозирования радиолокационных характеристик объектов при восстановлении радиолокационных изображений/ Системы управления и информационные технологии. 2004. № 5 (17). С. 85-87.
34. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик идеально проводящей полости в диапазоне длин волн /Телекоммуникации. 2005. № 12. С. 29.
35. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов сложной формы на основе нейросетевых технологий /Антенны. 2007. № 8. С. 59-61.
36. Преображенский А.П., Хухрянский Ю.П. Уточненная модель прогнозирования радиолокационных характеристик неизотропных объектов /Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 89-90.
37. Питолин А.В., Юров Р.П., Преображенский А.П. Прогнозирование характеристик рассеяния объектов на основе нейросетевых технологий /Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 12. С. 211-212.
38. Преображенский А.П. Прогнозирование радиолокационных характеристик для трехмерных тел /Информационные технологии моделирования и управления. 2005. № 5 (23). С. 707-712.
39. Ломов И.С., Преображенский А.П. Применение методов искусственного интеллекта в задачах прикладной электродинамики / Вестник Таджикского технического университета. 2012. Т. 1. № -1. С. 33-36.
40. Преображенский А.П., Юров Р.П. САПР современных радиоэлектронных устройств и систем /Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 3. С. 35-37.
41. Львович И.Я., Преображенский А.П., Юров Р.П., Чопоров О.Н. Программный комплекс для автоматизированного анализа характеристик рассеяния объектов с применением математических моделей / Системы управления и информационные технологии. 2006. № 2 (24). С. 96-98.
42. Преображенский А.П., Юров Р.П. Подсистема расчета характеристик электромагнитных волн элементарных отражателей / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 3. С. 76-77.

43. Львович И.Я., Преображенский А.П. Разработка информационно-го и программного обеспечения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 12. С. 63-68.

44. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П., Головинов С.О. Разработка системы автоматизированного проектирования беспроводных систем связи / Телекоммуникации. 2010. № 11. С. 2-6.

45. Преображенский А.П., Головинов С.О., Ломов И.С. Взаимодействие САПР беспроводных систем связи и географических информационных систем / В мире научных открытий. 2010. № 6-1. С. 54-57.

46. Львович И.Я., Преображенский А.П. Разработка принципов построения САПР дифракционных структур и радиолокационных антенн / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. Т. 2. № 12. С. 125-127.

47. Львович Я.Е., Львович И.Я., Преображенский А.П. Решение задач оценки характеристик рассеяния электромагнитных волн на дифракционных структурах при их проектировании / Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 255-256.

A.V. Baranov

METHODS OF ANALYSIS PROPAGATION AND DIFFRACTION OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN WIRELESS NETWORKS

Voronezh Institute of High Technologies

Problems associated with the analysis of propagation of electromagnetic waves in wireless communications are considered. The analysis of the diffraction and scattering of electromagnetic waves is carried out.

Keywords: diffraction, scattering, electromagnetic wave.