DOI: 10.17117/na.2016.07.01.384

<http://ucom.ru/doc/na.2016.07.01.384.pdf>

Поступила (Received): 21.07.2016

Звездина М.Ю., Кутукова В.Д., Позднякова А.В., Шокова Ю.А. Модели распространения электромагнитных волн внутри помещения

Zvezdina M.Yu., Kutukova V.D., Pozdnyakova A.V., Shokova Yu.A.
Models of indoors wave propagation

Приведен обзор известных моделей распространения электромагнитных волн внутри помещений. Показано, что более точными являются лучевые модели, позволяющие учесть эффекты отражений от стен, мебели и людей. Наиболее эффективными моделями являются комбинированные, объединяющие лучевые и волноводные модели с моделью, где поле находится методом конечных разностей во временной области. Получаемые при этом модели позволяют учесть эффекты отражений в помещении при минимальных вычислительных затратах

Ключевые слова: распространение волн, моделирование, внутренняя обстановка

A review of available models of indoors wave propagation is given. Ray methods are more precise for they consider reflection effects. Cogeneration models combine ray and wave models and the one, where the field is evaluated with finite-difference method in time domain, so they are the most effective. These models allow considering indoors reflection effects at minimum computational cost

Key words: wave propagation, simulation, indoor environment

Звездина Марина Юрьевна

Доктор физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой

Донской государственный технический университет

г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Zvezdina Marina Yurievna

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of Department

Don state technical university

Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1

Кутукова Валерия Дмитриевна

Студент

Донской государственный технический университет

г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Kutukova Valeria Dmitrievna

Student

Don state technical university

Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1

Позднякова Александра Владимировна

Студент

Донской государственный технический университет

г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Pozdnyakova Aleksandra Vladimirovna

Student

Don state technical university

Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1

Шокова Юлия Александровна

Кандидат физико-математических наук, доцент
Донской государственный технический университет

г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Shokova Yuliya Aleksandrovna

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Don state technical university

Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1

Одной из тенденций мирового технологического развития является широкое применение радиотехнических устройств, например, систем сотовой связи, размещаемых в местах проживания людей [1, с.45]. При этом различают две возникающие проблемы, связанные между собой: обеспечение надежной радиосвязи пользователям независимо от их положения относительно базовой станции и обеспечение безопасного уровня излучения данных систем связи при эксплуатации. В обоих случаях в качестве оценочного показателя используется, как показано в [1, с.53], плотность потока энергии, создаваемого антенной. При этом в первом случае наряду с излучением антенны базовой станции в помещении существуют электромагнитные поля также ряда вспомогательных устройств, например, систем беспроводной связи, устройств систем «Умного дома» и т.д. Одним из наиболее наглядных оценочных средств уровней электромагнитных полей в пространстве является их визуализация с помощью графических средств. При этом структура поля в пространстве рассчитывается на основе использования моделей распространения электромагнитных волн от источника излучения. Вблизи антенн систем сотовой связи вопросы визуализации электромагнитной обстановки были уже рассмотрены авторами, например, в работах [1, с.44; 2]. В данной работе остановимся более подробно на моделировании физических процессов, связанных с распространением электромагнитных волн внутри помещений. В отличие от распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, где могут наблюдаться многократные отражения от зданий, при распространении внутри ограниченных пространств внутри помещений данные отражения имеют место всегда. Кроме того, в структуру электромагнитного поля в помещениях вносят свой вклад явления дифракции, поглощения и рассеяния радиоволн на элементах мебели и других объектах, в том числе на людях, находящихся и перемещающихся в помещениях [3-12]. Сказанное выше свидетельствует о том, что моделирование электромагнитной обстановки внутри помещений является сложной задачей.

Классификация существующих в настоящее время моделей распространения электромагнитных волн внутри помещений, предложенная в работе [3, с.18], в виде четырех групп: статистических, эмпирических, лучевых и численных моделей, с учетом дальнейшего развития электродинамической теории может быть изменена к виду, показанному на рис.1.

Рис. 1. Классификация моделей распространения электромагнитных волн внутри помещений

В предлагаемой классификации, как и в ранее существующей, наиболее простыми в реализации являются статистические и эмпирические модели. Первые, как показано в [3], позволяют оценить только потери, обусловленные расстоянием между передающей и приёмной антеннами, а особенности конструкции зданий учитываются вводимым коэффициентом затухания, зависящим только от типа здания – больницы, офиса, жилого здания. Эмпирические модели, как показано, например, в работах [5-6], получаются путем обобщения большого объема результатов инструментальных измерений мощности принимаемого сигнала. Несложно заметить, что для моделей первого типа точность получаемых результатов является достаточно низкой и не позволяет оценить особенности внутренней структуры помещений. Для моделей второй типа наряду с большим объемом измерений основным недостатком является невозможность физической трактовки получаемых результатов.

Лучевые и волноводные модели обеспечивают получение более точных результатов по сравнению с описанными выше статистическими и эмпирическими моделями. В качестве основных достоинств лучевого метода, как показывает анализ работ [3, 7-9], является возможность максимально полного учета информации о планировке здания, а также электрических параметрах различных участков стен. Суммарная величина результирующего сигнала в каждой точке пространства помещения определяется с учетом амплитуд и фаз электромагнитных волн, прошедших путь различной длины от передатчика до рассматриваемой точки пространства за счет однократных отражений от стен, потолка, пола и местных предметов. При этом потери мощности сигнала рассчитываются на основе геометрической теории дифракции, а электрические свойства поверхности учитываются коэффициентами отражения Френеля. Несложно заметить, что учет большого количества факторов приводит к существенному росту вычислительных затрат. В связи с этим, как показано в [3, с.19; 7], большинство известных лучевых моделей ограничено построением не более шести лучей, включая два препятствия. Кроме того, в качестве недостатка лучевых моделей можно отметить зависимость точности получаемых результатов от точности задания исходных данных - геометрии помещений и электрических свойств отражающих поверхностей. Волноводные модели исключают данную зависимость, поскольку помещения и коридоры зданий рассматриваются, как показано в [10], в виде соединенных между собой объемных прямоугольных резонаторов и волноводов. Кроме того, достоинством данных моделей является возможность более полного учета перераспределения потоков энергии внутри помещений при минимальных вычислительных затратах. Среди основных недостатков известных волноводных моделей, отмеченных в [10, с.422], можно выделить отказ от учета различий материалов покрытий стен и предметов обстановки, размещенных на них, поскольку полагается, что электрические свойства материала распространяются на всю стену.

Еще одним вариантом построения модели распространения радиоволн в помещениях является комбинированная модель, предложенная в работе [11].

Модель предполагает разделение внутреннего пространства на три области: неоднородную, однородную и переходную. Пример разбиения из работы [12] показан на рис.2.

Рис. 2. Разбиение пространства помещения на области: А – неоднородная область; В – однородная область; С – переходная область

Для каждой из перечисленных выше областей распространение электромагнитных волн описывается своей моделью. Так, в однородной области В для нахождения структуры электромагнитного поля применяются лучевые методы. В неоднородных областях А задача нахождения распределения плотности потока энергии решается методом конечных разностей во временной области. В переходной области С структура поля рассчитывается с использованием волноводного метода путем определения матрицы рассеяния. Таким образом, предлагаемый в работах [11, 12] подход обеспечивает возможность учёта неоднородных электрических свойств поверхности стен помещений при уменьшении вычислительных затратах за счет применения волноводного метода. В качестве недостатков можно отметить основные недостатки лучевых методов, а также необходимость проведения теоретических исследований при разбиении неоднородного пространства на участки.

Таким образом, выполненный в работе обзор моделей распространения электромагнитных волн внутри помещений показал, что наиболее точными являются лучевые модели. Однако в качестве их основных недостатков выделены большой объем вычислений и зависимость точности получаемых результатов от исходных данных. Оптимальными с точки зрения вычислительных затрат и точности получаемых результатов являются комбинированные методы, объединяющие лучевые, волноводные методы и численные методы конечных разностей во временной области.

Список используемых источников:

1. Звездина М.Ю., Шокова Ю.А., Шоков А.В. Социально ориентированный электромагнитный мониторинг окружающей среды // Применение инноваций при разработке радиотехнических систем. М.: Академия Естествознания, 2015. С. 44-69.
2. Electromagnetic situation visual representation near mobile base station antenna / M.Yu. Zvezdina [et all.] // Theoretical & Applied Science. 2015. № 3(23). С.10-17. Doi: <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2015.03.23.3>

3. Катин С.В., Шорохова Е.А., Яшнов В.А. Математическая модель электромагнитной обстановки внутри ограниченного пространства // Труды Нижегородского технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2013. №1 (98). С. 18-27.
4. Yarkoni N., Blaunstein N. Prediction of Propagation Characteristics in Indoor Radio Communication Environments // PIER. 2006.V.59. P.151-174.
URL: <http://www.jpier.org/PIER/pier59/09.0509081.Yarkoni.B.pdf>
Doi: 10.2528/PIER05090801
5. Дядюнов А.Н., Кадырбаева А.Р. Особенности моделей каналов связи беспроводной локальной сети // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн.. 2016. №2 (24).
URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2967>
6. Elechi P., Otasowie P.O. Comparison of Empirical Path Loss Propagation Models with Building Penetration Path Loss Model // Int. Journal on Commun. Antenna and Propag. (IRECAP). 2016. V.6. №2.
URL: [http://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=irecap&page=article&op=view&path\[\]=18282](http://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=irecap&page=article&op=view&path[]=18282)
Doi: <http://dx.doi.org/10.15866/irecap.v6i2.8013>
7. Лин Ч.Ч.Н., Пронин А.А. Исследование пятилучевой модели распространения радиоволн в помещениях при низкорасположенных антеннах // Естественные и технические науки. 2010. № 6(50). С. 426-428.
8. Якимов А.Н., Андреев П.Г., Князева В.В. Моделирование распространения электромагнитных волн в помещении с учетом влияния местных предметов // Журнал радиоэлектроники. 2015. №2.
URL: <http://jre.cplire.ru/mac/feb15/14/text.html>
9. Андреев П.Г., Наумова И.Ю., Москвитина О.В. Определение комплексного коэффициента отражения электромагнитных волн внутри помещений // Надежность и качество. 2013. №2.
URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-kompleksnogo-koeffitsienta-otrazheniya-elektromagnitnyh-voln-vnutri-pomescheniy-2.pdf>
10. Гуреев А.В. Энергетические характеристики распространения электромагнитных волн внутри зданий // Известия вузов. Электроника. 2015. Т.30. № 4. С.421-430.
11. Singh H.L., Rangachar M.J.S. Modeling and Simulation of Electromagnetic Wave Propagation Using a Hybrid of Ray-Tracing and FV/FDTD Method in Indoor Environment // International Journal of Science and Research. 2014. V.3. №4. P.218-222.
URL: <https://www.ijsr.net/archive/v3i4/MDIwMTMxNDQz.pdf>
12. Львович И.В., Чопоров О.Н. Построение комбинированного алгоритма оценки характеристик распространения волн в помещениях // Решение. 2015. №2. С.231-233.

© 2016, Звездина М.Ю., Кутукова В.Д., Позднякова А.В., Шокова Ю.А.
Модели распространения электромагнитных волн внутри помещения

© 2016, Zvezdina M.Yu., Kutukova V.D., Pozdnyakova A.V., Shokova Yu.A.
Models of indoors wave propagation