

УДК 621.396

Т.В.Глотова, Х.И.Бешер

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИОСВЯЗИ

Воронежский институт высоких технологий

В данной работе рассматриваются особенности методов, которые применяются для оценки характеристик распространения радиоволн в современных системах радиосвязи. Указаны параметры, влияющие на точность и время расчёта распространения радиосигнала на определённой местности. Отмечается, возможность предварительной оценки характеристик, поскольку возникает большая погрешность в вычислениях, использование статистических подходов. Более приемлемые с точки зрения практического использования дают лучевые методы, различные варианты которых приведены. Отмечается целесообразность комбинации нескольких методов, например, добавление в основную модель подходов, базирующихся на искусственном интеллекте.

Ключевые слова: радиосвязь, распространение радиоволн, математическое обеспечение, метод, проектирование.

При проектировании современных систем радиосвязи во многих случаях используемый математический аппарат является настолько сложным, что требуется использовать специализированное программное обеспечение для его реализации [1].

Многие достижения в теории и практике проектирования находят свое применение и в сфере проектирования радиосистем. Эти подходы дают возможности для уменьшения размеров, стоимости, сложности, а также для улучшения производства с использованием цифровых компонентов для замены ненадежных аналоговых компонентов.

Современные средства автоматизированного проектирования (САПР) мобильных комплексов позволяют проводить анализ на основе теоретических моделей.

САПР мобильных систем связи применяются на этапе моделирования и расчёта основных параметров системы, таких как дальность действия станции, уровень излучаемой мощности для обеспечения радиосвязи, наиболее благоприятное местоположение радиостанции и т.д.

Расчёт приведённых параметров возможен на основе использования соответствующего математического обеспечения, которое позволяет проводить расчёт уровня сигнала в зависимости от условий распространения.

Одним из основных источников информации о характере местности служат электронные карты местности, которые могут создаваться и храниться в географических информационных системах (ГИС). Среди различных параметров, влияющих на точность и время расчёта

распространения радиосигнала на определённой местности, можно выделить наиболее значительные:

- точность описания электронной карты;
- шаг изменения местоположения мобильной радиостанции;
- возможности используемой математической модели.

Когда проводится моделирование, то весьма критичным параметром является число точек (координат), в которых проводится анализ.

При оценке распространения радиоволн в средствах связи могут быть использованы различные методы, основанные на статистическом и детерминированном анализе характера распространения сигнала.

Среди статистических методов можно выделить следующие:

1. Модель Окамуры [2].
2. Модель Хата [3].
3. Модель Juul–Nyholm [4].
4. Модели Бардина-Дымовича и Трифонова [5].
5. Модель Олсбрука – Парсонса [6].
6. Модель Уолша-Икегами [5].

Одними из первых были эмпирические графические зависимости, которые были получены Окамурой и позволяли определить медианное значение сигналов для условий статистически однородного населенного пункта.

Достаточно подробной является аналитическая модель, полученная М. Хатой [6], как результат прямой аппроксимации кривых Окамуры.

Основываясь на ряде предположений о зависимости характеристик электромагнитных волн от длины волны и соотношений средних уровней высоты застроенной местности с уровнями расположения передающей и приемной антенн Н.И. Бардиным и Н.Д. Дымовичем [5], с учетом экспериментальных данных, были рассмотрены и обоснованы эмпирические формулы по расчету величины напряженности поля УКВ, которые учитывали длину, ширину улиц и то, как они располагаются относительно передающих станций.

При этом достаточно интересным с практической точки зрения являлся вариант плотной застройки, что дает наилучшие условия распространения электромагнитных волн.

В рассматриваемой модели исследователи предполагают, что стены зданий будут абсолютно поглощающими, что позволяет сказать, что они не оказывают влияния на напряженность поля в точке приема.

Исходя из вышесказанного, задача по определению напряженности поля сводится к задаче по определению дифракционных полей на

широких щелях, прорезанных в плоских экранах, образованными крышами домов.

Использование в статистических методах эмпирических формул позволяет довольно быстро проводить расчёты, но при этом наблюдается большая погрешность в вычислениях (достигающая до 10-12 дБ), связанная с тем, информация об отражении сигнала от различных объектов больших электрических размеров (строений, земной поверхности и др.). Кроме того, существует рассеивание радиосигнала, вызванного наличием на анализируемой местности большого количества тел, с размерами меньше, чем длина радиоволн (например, лиственные деревья) - учитывается усреднено, на основе статистической информации, которая определяется только с учетом конкретной местности и условий распространения.

Если изменить эти условия, то необходимо заново собирать всю статистическую информацию.

С другой стороны, детерминированные методы дают более высокую точность расчета характеристик рассеяния электромагнитных волн по сравнению со статистическими, и при использовании их в САПР современной радиосвязи являются наиболее эффективными.

Однако они требуют более детального описания процессов распространения радиоволн. Среди таких методов можно выделить методы геометрической оптики, физической и геометрической теорий дифракции, метод параболического уравнения, а также численные методы электродинамики [6-9].

Несколько различных методов могут использоваться для того, чтобы создать антенны с минимальным излучением в заданных направлениях, они имеют соответствующие достоинства и недостатки и выбор между ними может зависеть от конкретной постановки задачи.

1. Применение простых всенаправленных антенн.
2. Использование антенн на основе небольших массивов из простых излучающих элементов.
3. Применение методов вычитания.

В [10, 11] рассмотрены и апробированы квазидетерминированная трёхмерная модель распространения волн в городской застройке и алгоритм расчёта.

Когда используется данный подход, то основным недостатком будет большой объём вычислений, так как необходимо проводить расчёты в каждой точке пространства, где будет распространяться электромагнитная волна.

В [12] рассмотрена волноводная модель, которая основана на представлении городской среды распространения сигнала в виде волновода, однако при этом не учитывается высота зданий, а также деревья.

Одним из перспективных подходов среди детерминированных методов является метод трассировки лучей [13], который наиболее точно описывает явление распространения электромагнитных волн в пространстве.

Этот метод универсален и точен, но при его практическом использовании требуется большой объём вычислений, поскольку при расчёте данным методом, вычисления производятся в каждой точке пространства, что является его недостатком.

В связи с этим, при использовании в САПР данный подход обычно упрощают, сводя к определенной расчетной формуле, где не учитываются некоторые эффекты дифракции и переотражений сигнала.

Использование детерминированных методов расчёта распространения электромагнитных волн в сложных условиях распространения, например, в условиях плотной застройки, повышает точность расчёта, но недостатком является большой объём вычислений, что соответственно влияет на время расчёта.

Отметим некоторые особенности метода трассировки лучей, который относится к группе детерминированных методов. Он был предложен Уиттедом в компьютерной графике для визуализации реалистичных изображений [14-16].

Данный метод основан на разложении электромагнитного поля на лучи и поиске лучей, которые соединяют две радиостанции, с учетом неоднородного расположения зданий в городе. В зависимости от используемого алгоритма, учитываются те лучи, которые при достижении радиостанции отражаются зеркально или диффузно от стен зданий и дифрагируют на углах зданий [17,18].

В [19] приведена лучевая модель, которая учитывает только диффузное рассеяние, поскольку стены строительных сооружений являются шероховатыми и размер неровностей настолько велик, что падающий луч рассеивается равномерно во все стороны.

Одним из недостатков данной модели является то, что не учитываются такие явления как зеркальное отражение (имеющее место на гладких поверхностях, например, стекло, металлические поверхности и т.п.), дифракционные составляющие (на углах зданий), преломление и прохождение сигнала внутрь здания.

В [20] приведена модель предсказания распространения электромагнитных волн в помещении. Алгоритм основан на определении доминирующих путей распространения радиосигнала в помещениях. Проводится расчет дерева отношений между помещениями в здании, а ветви дерева используются для определения доминирующих путей.

Также проведено исследование применения в данном алгоритме нейронных сетей.

В [21] приведен анализ возможностей разработанного алгоритма для оценки характеристик радиосвязи в городских условиях. Рассматриваемый алгоритм по используемым вычислительным возможностям более медленный, чем прямая трассировка лучей, однако точность используемой модели в условиях сложной застройки намного выше по сравнению с другими детерминированными методами.

Модель параллельного вычисления, основанная на трёхмерной трассировке лучей для беспроводных каналов связи представлена в [22]. Данная модель предполагает распределение вычислительной нагрузки между рабочими станциями участвующих в процессе расчёта, и процесс вычислений разделяется на три этапа: предварительная обработка, обработка лучей и постобработка.

В [23] приведена гибридная модель, основанная на геометрической оптике и рассеянии, с использованием модели зеркального отражения и формул Френеля, а также диффузного отражения, в котором для оценки светорассеивающих характеристик вводится коэффициент диффузного отражения, который определяется как отношение светового потока, отражённого от данной поверхности, к потоку, отражённому идеальным рассеивателем [24-27].

Модель рассеяния радиоволн выражается в виде двулучевой функции распределения света (BRDF - Bidirectional Reflectance Distribution Function) - это наиболее общий способ представления отражающих свойств поверхности материала (без учета внутреннего рассеивания).

BRDF для каждой точки поверхности объекта дает коэффициент переноса энергии между любой парой направлений (падения и отражения) в этой точке.

В общем случае она зависит от свойств материала, длины волны (то есть, цвета) падающей электромагнитной волны, его поляризации и других характеристик.

Выводы. В данной работе проведен сравнительный анализ различных подходов, позволяющих проводить оценку характеристик распространения электромагнитных волн в современных системах радиосвязи. Эффективным является использование комбинации

нескольких методов, для того, чтобы были учтены достоинства каждого из них.

ЛИТЕРАТУРА

1. rodnik.ru
2. Okumura Y. et all. Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service // Rev. Inst. Elec. Eng. – 1968. – V.16. – N9, 10.
3. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE Trans. Vehicular Technology. – 1980. - V.29. – №3.
4. Lempiäinen J., Manninen M. Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS // 2002. – 293 с.
5. Бардин Н.И., Дымович Н.Д. Распространение УКВ-волн в условиях крупного города / Н.И. Бардин, Н.Д. Дымович // Электросвязь – 1964. - №7. - С.15-18.
6. Часовской А. А. Оценка перспектив внедрения облачных вычислений на предприятиях и в государственном секторе на примере ФРГ / А. А. Часовской, Е. В. Алференко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 16. С. 94-97.
7. Лавлинская О. Ю. Технологии облачных вычислений и их применение в решении практических задач / О. Ю. Лавлинская, Т. М. Янкис // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 16. С. 33-36.
8. Максимова А. А. Методы исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектами / А. А. Максимова, А. Г. Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 16. С. 53-56.
9. Канавин С.В. Перспективы применения систем мобильного широкополосного доступа в сетях подвижной радиосвязи на основе стандартов MOBILE WIMAX и LTE / С.В.Канавин, А.С.Лукиянов // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 16. С. 79-82.
10. Лаврентьев Ю.В. Квазидетерминированная трехмерная модель многолучевого канала распространения миллиметровых радиоволн в городской застройке / Ю.В. Лаврентьев // Журнал радиоэлектроники – 2000 - № 5.
11. Лаврентьев Ю.В. Экспериментальное исследование отражения и рассеяния миллиметровых волн от шероховатых поверхностей / Ю.В. Лаврентьев, А.В. Соколов // Радиотехника и электроника – 1990. - №3. - т.35. - С.650.
12. Гуреев А.В. Волноводная модель каналов связи в плотной городской застройке / А.В. Гуреев // Изв. вузов. Электроника. - 2003. - №3. -С.50-53.

13. Шикин Е. В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения / Е.В. Шишкин, А.В. Боресков - М.: ДИАЛОГ МИФИ. - 1996. – 288 с.
14. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов / Ф. Хилл - СПб.: Питер. - 2002. – 1088 с.
15. Шишкин Е.В. Компьютерная графика. Полигональные модели. / Е.В. Шишкин, А.В. Боресков - М.: ДИАЛОГ-МИФИ. – 2001. – 464 с.
16. Порев В.Н. Компьютерная графика / В.Н. Порев - СПб.: БХВ-Петербург. – 2002. – 432 с.
17. Подильчук Ю.Н. Лучевые методы в теории распространения и рассеяния радиоволн / Ю. Н. Подильчук, Ю.К. Рубцов - М.: Связь. - 1988. – 248 с.
18. Боровиков В.А. Некоторые вопросы асимптотической теории дифракции / В.А. Боровиков, Б.Е. Кинбер // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. – 1974. - т.62. - №11. – С.6-29.
19. Kim-Fung Tsang, Wing-Shing Chan Radiosity Method: A new Propagation Model for Microcellular Communication, Antennas and Propagation Society International Symposium IEEE, 1998, Volume: 4, P. 2228-2231.
20. G. Wolfle and F.M. Landstorfer: Dominant Paths for the Field Strength Prediction, 48th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) 1998, Ottawa, Ontario, Canada, May 1998, pp 552-556.
21. Wahl R., Wolfle G., Wertz P., Wildbolz P., Landstorfer F.: Dominant path prediction model for urban scenarios / 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Dresden (Germany) 2005.
22. Mendes Cavalcante, A. de Sousa, M.J. Weyl Albuquerque Costa, J.C. Lisboa Frances, C.R. Protasio dos Santos Cavalcante, G. Fed. Univ. of Para, Belem A new computational parallel model applied in 3D ray-tracing techniques for radio-propagation prediction / Microwave Conference, 2006. APMC 2006. Asia-Pacific / Yokohama.
23. <http://ursi-test.intec.ugent.be/files/URSIGA08/papers/B02p2.pdf>.
24. Lvovich I. The development of cad of information systems and software for diffractive structures / I. Lvovich, A. Preobrazhensky, O. Choporov // Information Technology Applications. - 2016. - № 1. - С. 107-116.
25. Lvovich Ya. Modeling of scattering of electromagnetic waves on the base of multialternative optimization / Ya. Lvovich, A. Preobrazhensky, O. Choporov / Information Technology Applications. - 2016. - № 1. - С. 117-125.
26. Преображенский А.П. Моделирование рассеяния волн на полой структуре с поглощающим материалом / А.П. Преображенский, О.Н.

- Чопоров, К.В. Кайдакова // В мире научных открытий. - 2015. - № 8.1 (68). - С. 523-526.
27. Преображенский А.П. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на несимметричном объекте / А.П. Преображенский, О.Н. Чопоров, К.В. Кайдакова // В мире научных открытий. - 2015. - № 8.1 (68). - С. 526-531.
28. Преображенский А.П. Исследование характеристик рассеяния электромагнитных волн для поллой структуры в объекте / А.П. Преображенский, О.Н. Чопоров, К.В. Кайдакова // В мире научных открытий. - 2015. - № 4.1 (64). - С. 548-553.

T.V. Glotova, H.I.Besher

CHARACTERISTICS OF MATHEMATICAL SOFTWARE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS DESIGN

Voronezh Institute of high technologies

This paper discusses the features of the methods used to assess the propagation characteristics of radio waves in modern radio systems. Parameters affecting the accuracy and the computation time of radio signal propagation in certain areas. It is noted, as a preliminary evaluation of the characteristics as there is a large error in calculations, the use of statistical approaches. More acceptable from the point of view of practical use give radiation methods, different variants of which is given. It is noted the feasibility of a combination of several methods, such as adding to the main model approaches based on artificial intelligence.

Keywords: radio communications, wave propagation, mathematical software, method, design.

REFERENCES

1. rodnik.ru
2. Okumura Y. et all. Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service // Rev. Inst. Elec. Eng. – 1968. – Vol.16. – N9, 10.
3. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE Trans. Vehicular Technology. – 1980. Vol.29. – №3.
4. Lempiäinen J., Manninen M. Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS // 2002. – 293 p.
5. Bardin N.I., Dymovich N.D. Rasprostranenie UKV-voln v usloviyakh krupnogo goroda / N.I. Bardin, N.D. Dymovich // Elektrosvyaz' – 1964. №7. pp.15-18.
6. Chasovskoy A. A. Otsenka perspektiv vnedreniya oblachnykh vychisleniy na predpriyatiyakh i v gosudarstvennom sektore na primere FRG / A. A. Chasovskoy, E. V. Alferenko // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No.16. pp. 94-97.

7. Lavlinskaya O. Yu. Tekhnologii oblachnykh vychisleniy i ikh primeneniye v reshenii prakticheskikh zadach / O. Yu. Lavlinskaya, T. M. Yankis // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No.16. pp. 33-36.
8. Maksimova A. A. Metody issledovaniya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln ob"ektami / A. A. Maksimova, A. G. Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No.16. pp. 53-56.
9. Kanavin S.V. Perspektivy primeneniya sistem mobil'nogo shirokopolosnogo dostupa v setyakh podvizhnoy radiosvyazi na osnove standartov MOBILE WIMAX i LTE / S.V.Kanavin, A.S.Luk'yanov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No.16. pp. 79-82.
10. Lavrent'ev Yu.V. Kvazideterminirovannaya trekhmernaya model' mnogoluchevogo kanala rasprostraneniya millimetrovykh radiovoln v gorodskoy zastroyke / Yu.V. Lavrent'ev // Zhurnal radioelektroniki – 2000 No.5.
11. Lavren'ev Yu.V. Eksperimental'nye issledovanie otrazheniya i rasseyaniya millimetrovykh voln ot sherokhovatykh poverkhnostey / Yu.V. Lavren'ev, A.V. Sokolov // Radiotekhnika i elektronika – 1990. №3. Vol.35. pp.650.
12. Gureev A.V. Volnovodnaya model' kanalov svyazi v plotnoy gorodskoy zastroyke / A.V. Gureev // Izv. vuzov. Elektronika. 2003. No.3. pp.50-53.
13. Shikin E. V. Komp'yuternaya grafika. Dinamika, realisticheskie izobrazheniya / E.V. Shishkin, A.V. Boreskov M.: DIALOG MIFI. 1996. – 288 p.
14. Khill F. OpenGL. Programmirovaniye komp'yuternoy grafiki. Dlya professionalov / F. Khill SPb.: Piter. 2002. – 1088 p.
15. Shishkin E.V. Komp'yuternaya grafika. Poligonal'nye modeli. / E.V. Shishkin, A.V. Boreskov M.: DIALOG-MIFI. – 2001. – 464 p.
16. Porev V.N. Komp'yuternaya grafika / V.N. Porev SPb.: BKhV-Peterburg. – 2002. – 432 p.
17. Podil'chuk Yu.N. Luchevye metody v teorii rasprostraneniya i rasseyaniya radiovoln / Yu. N. Podil'chuk, Yu.K. Rubtsov M.: Svyaz'. 1988. – 248 p.
18. Borovikov V.A. Nekotorye voprosy asimptoticheskoy teorii difraktsii / V.A. Borovikov, B.E. Kinber // Trudy instituta inzhenerov po elektrotekhnike i radioelektronike. – 1974. Vol.62. №11. – pp.6-29.
19. Kim-Fung Tsang, Wing-Shing Chan Radiosity Method: A new Propagation Model for Microcellular Communication, Antennas and

- Propagation Society International Symposium IEEE, 1998, Vol.4, pp. 2228-2231.
20. G. Wolfle and F.M. Landstorfer: Dominant Paths for the Field Strength Prediction, 48th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC) 1998, Ottawa, Ontario, Canada, May 1998, pp.552-556.
 21. Wahl R., Wolfle G., Wertz P., Wildbolz P., Landstorfer F.: Dominant path prediction model for urban scenarios / 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Dresden (Germany) 2005.
 22. Mendes Cavalcante, A. de Sousa, M.J. Weyl Albuquerque Costa, J.C. Lisboa Frances, C.R. Protasio dos Santos Cavalcante, G. Fed. Univ. of Para, Belem A new computational parallel model applied in 3D ray-tracing techniques for radio-propagation prediction / Microwave Conference, 2006. APMC 2006. Asia-Pacific / Yokohama.
 23. <http://ursi-test.intec.ugent.be/files/URSIGA08/papers/B02p2.pdf>.
 24. Lvovich I. The development of cad of information systems and software for diffractive structures / I. Lvovich, A. Preobrazhenskiy, O. Choporov // Information Technology Applications. - 2016. - No.1. - pp. 107-116.
 25. Lvovich Ya. Modeling of scattering of electromagnetic waves on the base of multialternative optimization / Ya. Lvovich, A. Preobrazhenskiy, O. Choporov / Information Technology Applications. - 2016. - No.1. - pp. 117-125.
 26. Preobrazhenskiy A.P. Modelirovanie rasseyaniya voln na poloy strukture s pogloshchayushchim materialom / A.P. Preobrazhenskiy, O.N. Choporov, K.V. Kaydakova // V mire nauchnykh otkrytiy. - 2015. - No.8.1 (68). - pp. 523-526.
 27. Preobrazhenskiy A.P. Modelirovanie rasseyaniya elektromagnitnykh voln na nesimmetrichnom ob"ekte / A.P. Preobrazhenskiy, O.N. Choporov, K.V. Kaydakova // V mire nauchnykh otkrytiy. - 2015. - No.8.1 (68). - pp. 526-531.
 28. Preobrazhenskiy A.P. Issledovanie kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln dlya poloy struktury v ob"ekte / A.P. Preobrazhenskiy, O.N. Choporov, K.V. Kaydakova // V mire nauchnykh otkrytiy. - 2015. - No.4.1 (64). - pp. 548-553.