

文章编号:1000-5641(2008)03-0103-06

基于虚拟源树的射线跟踪算法的研究

廖斌^{1,2}, 赵昵丽², 朱守正²

1. 华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062;
2. 华东师范大学 电子科学技术系, 上海 200062)

摘要: 提出了一种有效的室内电波传播预测算法:基于虚拟源树的射线跟踪法. 采用 Delphi 语言的多叉树结构存储发射源、反射源和绕射源以及接收点数据,并判断虚拟源树节点是否有效,从而使整个射线跟踪过程更便捷和高效. 该算法的预测结果与 FDTD(Finite Difference Time Domain)仿真结果基本吻合,实地测试也证明该算法的有效性.

关键词: 虚拟源树; 射线跟踪; Delphi 语言; FDTD

中图分类号: TN99 **文献标识码:** A

Ray tracing method based on a virtual source tree

LIAO Bin^{1,2}, ZHAO Ni-li², ZHU Shou-zheng²

1. Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China;
2. Department of Electronic Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: An effective ray tracing method based on a virtual source tree for prediction of indoor radio propagation was presented in this paper. The data of transmitting source, reflection source, diffraction source and receiving point were stored with a many-fork tree in Delphi, and the validity of the nodes of the tree was estimated, to make the ray tracing course more simple and efficient. It was found that the predicted results with the method are in good agreement with the simulated results in FDTD, and the validity of the method is also verified by the experimental test.

Key words: virtual source tree; ray tracing; Delphi language; FDTD

0 前 言

随着信息时代的到来,无线通信的应用逐渐由室外环境向室内扩展和延伸,家庭和办公室成为人们工作和生活的主要场所. 据不完全统计,移动用户平均 60%的话务量是在室内

收稿日期:2007-07

基金项目:地理信息科学教育部重点实验室开放研究基金资助项目(LGISEM 0604);973 子课题(2001CB610401)

第一作者:廖斌,男,副教授,研究方向为小功率微波等离子体源及应用、天线、电波传播预测和电磁兼容等. E-mail:bliao@ee.ecnu.edu.cn

完成的. 室内的电波传播不受气候因素的影响, 但受建筑的结构和房间布局的影响, 尤其是建筑材料的影响. 电波在室内的传播要比室外具有更多的路径, 因而更为复杂^[1,2]. 随着无线局域网和无线移动通信网等在室内环境下的广泛应用, 矩量法、射线跟踪法、几何绕射法和时域有限差分法等成为研究微小区环境电波传播特性的有效方法^[3]. 其中射线跟踪是一种射线轨迹搜索以及射线场强计算的方法^[4,5]. 由于电波传播环境的复杂性, 通常意义上的射线跟踪计算量极大^[6,7]. 因此需要建立合适的射线跟踪算法. 这对于研究室内电波传播的多径现象, 掌握其传播特性对室内无线通信系统的规划设计及无线电管理 GIS 系统的建设具有重要意义. 本文提出一种有效的基于虚拟源树的射线跟踪算法, 采用 Delphi 语言的多叉树结构存储发射源、反射源和绕射源以及接收点数据, 并判断虚拟源树节点是否有效, 从而使整个射线跟踪过程更便捷和高效.

1 理论基础

射线跟踪过程包括射线轨迹的搜索以及射线场强的计算. 对于虚拟源树的射线跟踪算法, 首先定义三类源: 发射源、反射源和绕射源, 而建立虚拟源树结构以及求出每个源的有效性是该算法的关键.

1.1 基于虚拟源树的射线轨迹

射线从源点出发, 经过反射面或绕射边缘作用后, 最终到达场点. 在这过程中, 射线经过的反射面(绕射边缘)可以用树结构图来记录. 图 1(a)是一种模拟示意图, 由 2 个建筑物及源点(T_x)和场点(R_x)构成, 每个建筑物有 4 个面和 4 个角点, 分别标号为 1~8 和 a~h. 该环境的反射面-绕射边缘树结构如图 1(b)所示. 而在室内电波传播中, 反射波除四面墙的反反射外, 还包括地板和天花板的反射, 如图 2 所示.

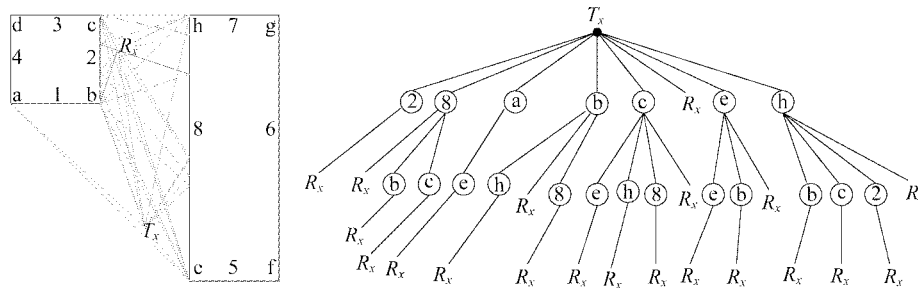


图 1 一个简单的建筑物环境及其对应的树结构

Fig. 1 A simple building environment and its tree structure

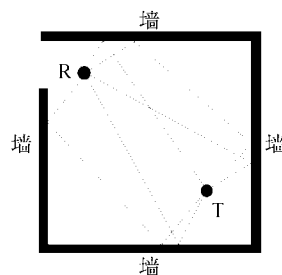


图 2 室内墙反射的二维示意图

Fig. 2 Wall reflections in an indoor environment

虚拟源树结构建立之后,就可以得到射线路径:从树结构的最末端(也就是场点)出发,找出所有能到达场点的树结构的枝,得到射线传播路径上所有的反射面和绕射边缘.由几何运算,可以求出射线与路径上反射面和绕射边缘的交点,从而求得传播路径.本文采用 Delphi 的多叉树结构来存储三类源和接收点数据,除了根节点为真实源之外,其他的为虚拟源.

作为一棵完整的树结构,在每个节点中至少记录如下信息:虚拟源的位置、虚拟源的类型(发射源、反射源、绕射源或是接收点)、产生虚拟源的墙面索引、产生虚拟源需要透射的墙面的镜像列表、该节点的子树的指针、该节点的父节点(产生该节点的源)和注明是第几层等.

图 3 是建立虚拟源树的程序流程图.从流程图中可以看出在树结构的建立过程中,把接收点一并考虑进去,这样可以找到从发射源出发到包含有接收点的所有虚拟源序列.每个虚拟源序列代表一条电波传播路径,根据每个节点的虚拟源的类型属性区分并且计算出反射点、绕射点和接收点,这样从发射点到接收点的所有电波传播路径都可以找到了.为了增加接收的效率,在实际预测时可将接收点设为一个小球,通过调节小球的半径来控制接收到的射线总数.

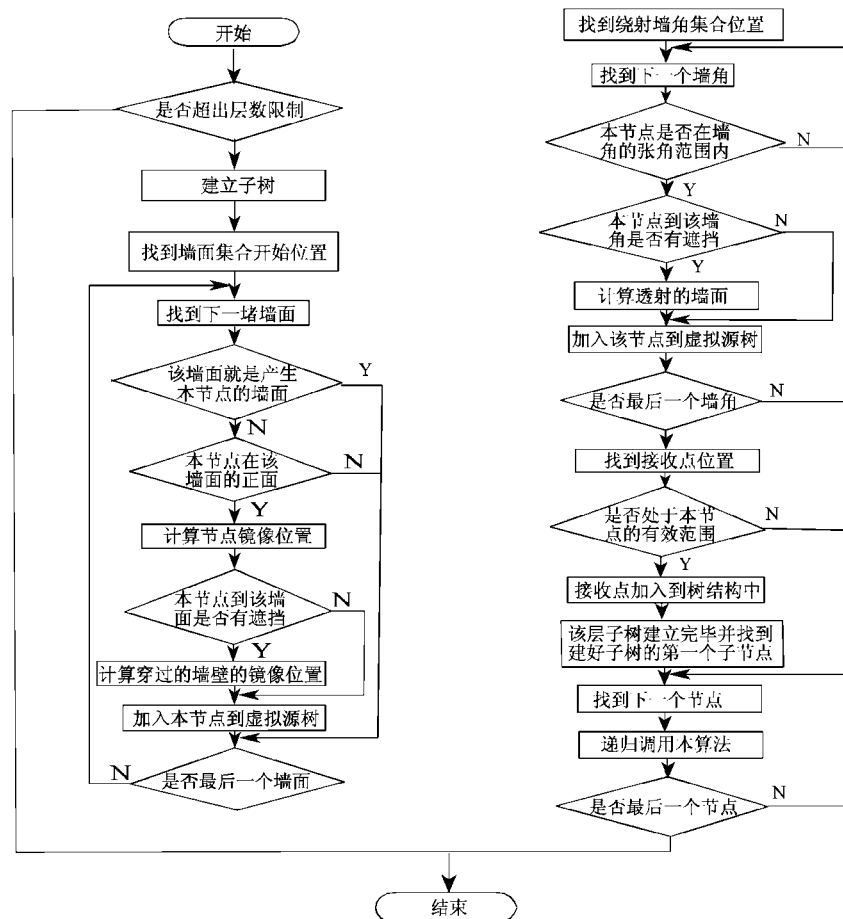


图 3 建立虚拟源树的程序流程图

Fig. 3 Flow chart of building a virtual source tree

将接收点作为虚拟源树的最主要的考虑是对于一个指定的接收点位置,可以通过遍历这个虚拟源树来找到所有有效的路径,而不用将接收点最后再添加到射线路径的末尾.另外也

可以方便对树进行操作,如删除无效的路径即没有接收点的路径,压缩树的存储空间和最终实现树的遍历等.

1.2 有效性检测

对虚拟源树中的任意一个节点(接收点除外),必须判断它的有效性,即是否存在一条有效路径,使得发射源和接收点之间在经过若干次反射、绕射以及透射后能够连通.如图4所示, S 为发射源, E 为接收点, S_1 为 S 在墙 W_1 上反射产生的反射源, S_2 为 S_1 在墙 W_2 上反射产生的反射源.

将 E 与 S_2 的连线所在直线与产生 S_2 的墙 W_2 所在直线求交,得到交点 A ,判断 A 是否在墙面 W_2 上.如果满足这个条件,再把 S_2 的父节点 S_1 与 A 的连线所在直线去和产生 S_1 的墙 W_1 所在直线求交,得到交点 B .再次判断交点 B 是否在墙 W_1 上,如果满足这个条件则按照此逻辑递推,直到得到的父节点是 S ,此时可以判断 S_2 有效.如果递推过程中的任意一步不满足,即其中

任意一次判断得到交点不在相应的墙面上,则 S_2 无效.

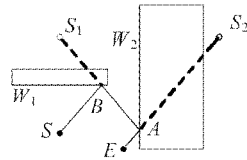


图4 虚拟源有效性的判断

Fig. 4 Estimation of virtual source validity

判断虚拟源树节点是否有效的程序流程图如图5所示,而图6是射线跟踪的程序流程图.

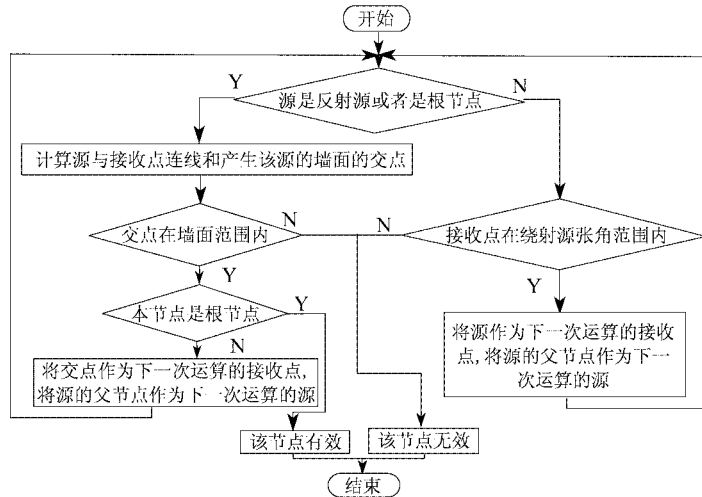


图5 判断虚拟源树节点有效性的程序流程图

Fig. 5 Flow chart of estimating virtual source validity

2 计算结果及比较

根据基于虚拟源树的射线跟踪算法的程序流程图,采用 Delphi 语言编制应用软件,用户操作界面如图7所示.应用软件中包括对建筑材料的位置、尺寸、厚度、方向、介电常数和电导率等参量的设置.当建筑结构建模完成后,设置不同位置的发射源,选择虚拟源树的层数,界面中就自动生成所选择层数的镜像源,设置接收点位置后,应用软件开始计算并显示结果.该应用软件能将设置的结构数据导入导出为文本文档,使操作更方便.

时域有限差分法(FDTD)是一种全波电磁分析方法,通过求解时域的 Maxell 方程计算反射、衍射和散射波所造成的影响.下面给出一个典型的房间结构图(长 8 m,宽 5.4 m),如图 8 所示.工作频率选定为 1.9 GHz.运用 FDTD 方法对图 7 结构的室内电波传播进行建模,仿真结果如图 9 所示.

同时应用 FDTD 计算 EF 路径上的路径损耗,与基于虚拟源树的射线跟踪软件的预测结果比较,如图 10 所示.

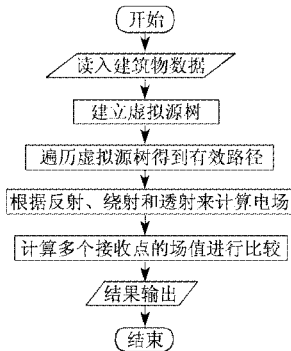


图 6 射线跟踪的程序流程图

Fig. 6 Flow chart of ray tracing

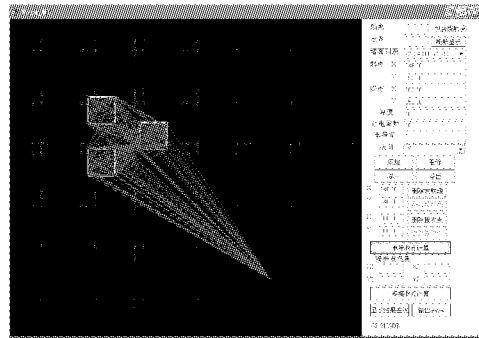


图 7 应用软件操作界面

Fig. 7 Operating panel of the applied software

从图 10 可以看出,基于虚拟源树的射线跟踪法的结果和 FDTD 的结果在功率中值的慢衰落变化上还是比较吻合的.但在数个波长的快衰落上还存在着一些差异,前者表现出的快衰落幅度不如后者明显.这主要是因为射线跟踪法是一种渐进的方法,本文进行了四阶反射和绕射的跟踪,舍弃了后续射线的叠加效应.因此相比于精确的全波分析方法,FDTD 出现了预测结果的差异.

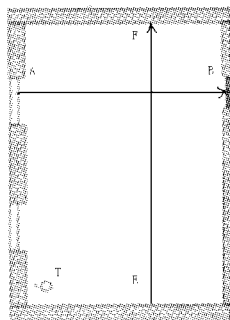


图 8 房间结构二维平面图

Fig. 8 Two-dimensional plan of a house

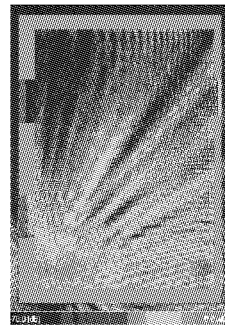


图 9 FDTD 仿真结果

Fig. 9 FDTD simulation

3 实验结果及分析

现对一幢已完成 PHS 室内覆盖工程的大楼的其中一层进行实地测试.该楼层的建筑物结构如图 11 所示,其中分布了三个室内全向吸顶天线,选择 31 个不同位置的测试点进行测试.

由于发射和接收天线均为全向天线,因此极化方式为垂直极化,这些在预测时已加以考虑.使用 PHS35L/C 场强测试仪对每一个测量点进行多次测量,求算术平均.实测结果和预

测结果如图 12 所示. 从图中可以看到, 预测结果中大部分的点和实测结果符合较好, 但有个别值偏差较大, 可能是由于室内放置的一些办公桌椅未被考虑所造成的. 另外预测时所取的建筑物材料的参数是常规参数, 并非精确测量的数值, 这也是造成结果有偏差的原因.

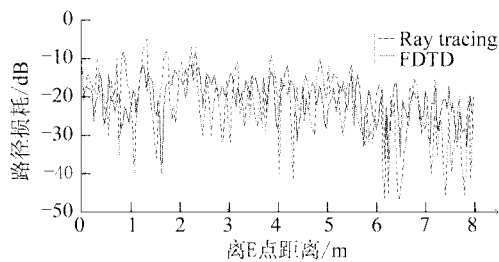


图 10 射线跟踪法与 FDTD 预测结果比较

Fig. 10 Path loss comparison between ray tracing and FDTD

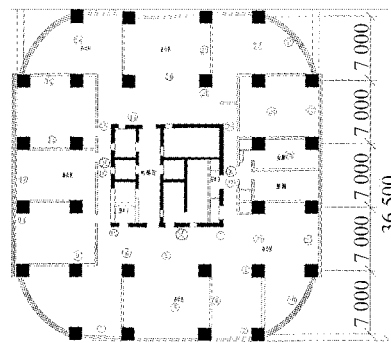


图 11 实测楼层的建筑物结构图

Fig. 11 Architectural structure of the testing floor

4 结 论

基于虚拟源树的射线跟踪法是一种有效的室内电波传播预测方法, 通过采用 Delphi 语言的多叉树结构存储发射源、反射源和绕射源以及接收点数据, 并判断虚拟源树节点是否有效, 从而使整个射线跟踪过程更便捷和高效. 研究表明, 该算法的预测结果与 FDTD 仿真结果基本吻合, 实地测试也证明该算法的有效性. 这对室内无线通信系统的规划设计及无线电管理 GIS 系统的

建设具有重要意义.

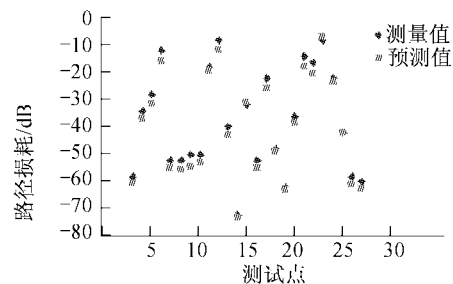


图 12 实测与预测结果的比较

Fig. 12 Predicted results and experimental results

[参 考 文 献]

- [1] ZYGIROU S, KOSMIDOU T T, PROKOPIDIS E P, et al. Numerical modeling of an indoor wireless environment for the performance evaluation of WLAN systems[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2006, 42(4): 839-842.
- [2] 赵呢丽. 室内电波传播预测及其在 PHS 室内覆盖系统中的应用[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
- [3] PADGETT J E, GUNTHER C G, HATTORI T T. Overview of wireless personal communications[J]. IEEE Communication Mag, 1995, 33(1): 48-51.
- [4] 季忠, 黎滨洪, 王豪行, 等. 用射线跟踪法对室内电波传播进行预测[J]. 电波科学学报, 1999, 14(2): 160-165.
- [5] 顾晓龙, 章文勋, 云正清, 等. 利用可见性概念改进基于镜像原理的射线追踪法[J]. 电波科学学报, 2001, 16(4): 464-467.
- [6] KARIM R, JEAN F W, FRED G. Two-dimensional ray-tracing modeling for propagation prediction in microcellular environments[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 1997, 46(2): 508-518.
- [7] HAR D, WASTON A M, CHADNEY A G. Comment on diffraction loss of rooftop-to street in Cost 231-Walfisch-Ikegami model[J]. IEEE Trans on Vehicular Techonology, 1999, 48(5): 1451-1452.