

文章编号:1001-9081(2010)02-0316-03

基于三维射线跟踪的3G网络规划模块

袁正午^{1,2}, 李林^{1,2}, 黎意超^{1,2}, 刘泉^{1,2}

(1. 重庆邮电大学 计算机科学与技术学院, 重庆 400065; 2. 重庆邮电大学 中韩合作 GIS 研究所, 重庆 400065)

(lilincq@gmail.com)

摘要:针对3G网络规划的需求,提出了一种基于射线跟踪技术进行场强预测的方法,设计并建立了基于GIS技术的三维数据库,利用包围盒和八叉树等加速算法进行场强计算,最后对预测结果进行三维可视化显示。仿真结果表明该方法能较好地提供3G网络规划所需的支撑数据,可视化效果好。

关键词:射线跟踪;3G网络规划;三维模型

中图分类号: TN929.5 **文献标志码:** A

Network planning model for 3G network based on 3D ray tracing technology

YUAN Zheng-wu^{1,2}, LI Lin^{1,2}, LI Yi-chao^{1,2}, LIU Quan^{1,2}

(1. College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. Sino-Korea Chongqing GIS Research Center, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: According to the requirements of 3G network planning, based on ray tracing theory, a method for predicting the strength of wave propagating was proposed. In this paper, it designed and built the 3D database based on GIS to provide the data for prediction, and used the bounding box and octree technologies to accelerate the algorithm. Finally, the result was displayed in 3D visualization. The simulation results show that the method can provide support data for 3G network planning sufficiently, and the visualization effect is good.

Key words: ray tracing; 3G network planning; three-dimensional model

0 引言

随着移动通信业务的发展,移动用户不断增多,与之相对应的是网络资源的贫乏。特别是在3G网络环境下,各种数据业务的出现,更是对网络性能和质量提出了高要求。为了解决上述矛盾,需要精确预测无线电波传播路径损耗特性,为合理的微蜂窝无线网络规划、建设提供必要条件。

电波场强预测的主要方法有经验模型、理论模型和介于两者之间的半经验半理论模型三大类。经验模型是对大量的测量结果统计分析后得出的公式。Okumura-Hata模型^[1]是这类方法的代表,它是根据日本东京近郊广泛测试的结果得到的,适用于郊区、平原等大范围内的场强预测。理论模型则是通过对电波的理论分析和研究得到确定的模型。理论模型的代表有时域有限差分法(Finite Difference Time-Domain method, FDTD)、不变性测试方程法(Measured Equation of Invariance, MEI)以及射线跟踪方法等。

通常,为了充分利用无线电频谱,提高系统容量,蜂窝小区的划分越来越小,从而出现了微小区、微微小区等。由于不同小区之间的统计相似性已经不复存在,导致基于统计的经验模型不再适用;而FDTD模型计算量大,MEI模型只能应用在二维场景中,并且这两种方法不能计算小区中两点之间的所有路径,所以应用都较少。本文基于射线跟踪模型,分析了微小区内无线通信网络的物理环境,结合三维电子地图,建立相应的几何模型数据库,研究了射线跟踪算法和加速策略,最后利用GIS三维可视化技术将电波场强覆盖直观地展示出

来,以提供网络规划的数据支持。

1 射线跟踪技术简介

射线追踪的基本思想是,将从源点辐射出的电磁波看作一束射线,能量在各自独立的射线管内传播;对一条射线的传播进行追踪,直到射线到达目标点或射线能量低于需要考虑限度为止。在求得所有到达场点的射线后,采用矢量叠加的方法得出辐射源的覆盖范围和场强分布。射线传播的机制主要有直射、反射、透射和绕射。

1) 直射。就是指两点之间的直线传播。基于一致性绕射理论,若已知 Q_i 点电波场强,则另一点 Q_s 的电波场强值为:

$$\bar{E}(Q_s) = \bar{E}(Q_i) \cdot A(s) \cdot e^{-jks} \quad (1)$$

其中 s 为场点和源点之间的距离, $A(s)$ 为电波传播的衰减因子。

2) 反射。是指射线在传播过程中与阻挡物发生反射,其一般遵循反射定律,即反射角等于入射角。对这种情况,一般将折射路径分段处理,即反射点作为射线下一次传播的发射点,然后按照直射的情况计算场强。

3) 绕射。根据几何绕射理论(Geometrical Theory of Diffraction, GTD),当入射射线遇到散射体边界的边缘(棱或劈)、拐角、顶点或凸曲面时,会产生一组新的射线,称之为绕射射线。一般地,由于绕射在绕射发生点的能量损耗较大,最多只考虑两次绕射,不考虑尖顶绕射和表面绕射情况^[2]。

一般地,在进行射线跟踪场强预测时,不考虑透射,因此本文不讨论。

射线跟踪分为正向射线跟踪和反向射线跟踪。正向射线

收稿日期:2009-08-07。 基金项目:重庆市科委自然科学基金资助项目(CSTC2007BB2446)。

作者简介:袁正午(1968-),男,湖南益阳人,教授,博士,主要研究方向:移动位置服务、移动定位、射线跟踪、GIS系统集成; 李林(1985-),男(苗族),广西桂林人,硕士研究生,主要研究方向:GIS系统集成、移动定位。

跟踪是从源点出发,向周围空间发出大量的射线,然后分别跟踪每条射线的路径。其流程大致可描述为划分射线、射线跟踪、射线接受3个阶段;反向射线跟踪则是从场点出发,跟踪每一条能从源点到达场点的路径。反向射线跟踪的计算复杂,首先要寻找源点可见的面表和劈表,场点可见的面表和劈表,以及源点和场点共同可见的面表和劈表,同时在跟踪射线时要考虑计算阶数。从上面的概念可以看出,正向跟踪只需要一次计算就可以得到小区内所有点的场强,算法简单,效率高;但是正向跟踪方法在精度上不如反向跟踪,特别是在微小小区内,只有反向跟踪方法才能达到场强预测的精度要求,因此,本文选择反向跟踪算法进行场强预测。

2 小区场强预测数据库

与传统的经验模型不同,利用射线跟踪技术对小区电波场强预测需要小区地理环境数据库的支持,这里的地理环境包括小区的地理环境模型和形态模型。地理环境包括地面上的建筑物、道路、草坪、树木、路灯等基础设施和表达地面起伏的地形数据。建筑物等设施作为散射体,影响电波在小区内的传播路径。然而,现实世界的环境复杂,若不进行必要的简化,势必影响模型的计算,并且即使是对小区进行真实建模,在增加数据库数据量和算法计算量的同时,对计算结果没有明显改善,因此,进行小区基础设施建模时,进行一定的简化,重点考察建筑物、草坪和道路模型。对于地形数据,在考虑小区或微小区的范围大小内,一般认为是平坦的,当然,特殊的复杂地形,可以利用数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)进行模拟。形态模型则是指小区内散射体表面材质的电磁特性。不同物体表面材质的反射率、吸收率直接影响电波的反射、绕射的能量损耗。建筑物、道路和草坪的表面电磁特性可以通过测量得到,也可以从相关材料^[3]的电特性和表面粗糙程度计算出来。

对建筑物、道路和草坪等几何模型,采用3DMax或CAD等建模工具建模^[4],以文件方式存储,同时设计相应的数据库模型,用来存储对应的电磁特性和几何参数。为简化几何建模过程,将建筑物利用包围盒技术进行简化,这也为后面的算法提高了速度。所谓包围盒技术,就是对考察对象,在一定的坐标系下,用一个可以覆盖其全部面积的矩形来表示。以二维图形举例如图1所示,同样的方法很容易推广到三维情况。

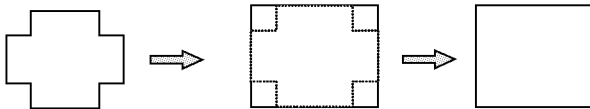


图1 二维图形的最小包围盒

以3DMax为例建立的建筑物模型如图2所示。

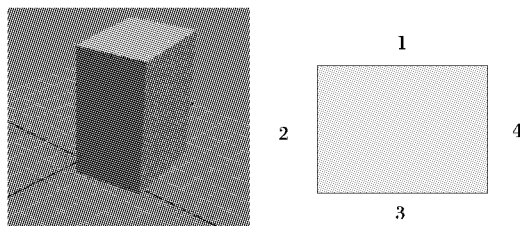


图2 三维建筑物模型及其面顺序规定

以俯视视角为观测方向,为三维模型各个面设定顺序,以视线上方为第一个面,逆时针方向开始计数,分别为2、3、4,立方体上方的面为5,与地面接触的面为6。

根据以上分析,建立表1和表2所示的数据库表和数据结

构。

表1 三维模型属性表

字段名	说明
模型ID	标识三维模型的唯一值
模型名称	描述三维模型的名称,如百货大楼
面ID	标识面的唯一值
材质	描述面的表面材质
电介常数	描述面材质的电介常数
电导率	描述面的电导率
磁导率	描述面的磁导率
衰减因子	描述面对电磁传播的衰减系数

表2 面属性结构

字段名	说明
面ID	标识面的唯一值
面顺序	描述面的顺序值,约定俯视图上方的顺序为1,以此按逆时针计数为2,3,4,...
点1	点的坐标值(x_1, y_1, z_1)
点2	点的坐标值(x_2, y_2, z_2)
点3	点的坐标值(x_3, y_3, z_3)
点4	点的坐标值(x_4, y_4, z_4)

对3DMax建模后的文件进行读取,获得各个模型的集合信息存入数据库中,供射线跟踪算法计算场强使用。

3 射线跟踪加速技术及其计算

3.1 场强计算流程

考虑到场的衰减特性,可以忽略那些相对而言到达时幅度很小的和对定位精度影响很小的传播路径。对于微小区的场强预测而言,可以不考虑透射射线,只考虑直射、反射和绕射。本文采用的射线跟踪算法只关注直射、一次反射、两次反射、一次绕射、一次反射加一次绕射、一次绕射加一次反射及两次绕射等传播路径的反向射线跟踪算法。

反向算法的流程如图3。

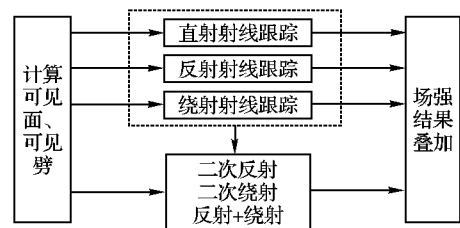


图3 场强计算流程

首先需要建立关于源点可见的面(注意,这里“面”的概念与多面体面既有区别又有联系,一个可见面可能包含一个多面体面的一部分面片或者全部或者两个或两个以上多面体面)表和劈表,关于场点可见的面表和劈表,以及关于源点和场点共同可见的面表和劈表^[4]。

直射射线的追踪,只需要检查场点和源点之间的连线,判断是否有平面、尖劈等阻挡物,如果没有相交的情况发生,则存在直射,反之不存在直射。

对于反射,首先读出关于场点、源点共同可见的平面的数据,依次对这些平面进行判断。判断的步骤如下:

- 1)求反射点。求出源点对应该平面上的镜像点,连接镜像点与场点之间的直线,求出它与平面的交点便得到反射点。
- 2)判断反射点是否有效。有效反射点必须满足两个条

件:反射点要位于镜像点与场点之间;反射点要在对应的反射面片之内。

前一个条件,只要求判断反射点的坐标值是否位于场点和源点的坐标值之间。对后一个条件,设反射面片为凸多边形(因为任意的多边形都可以分割为一定数量的凸多边形的组合,所以这种假设对结果并无影响),表示为 $F(x, y, z) = 0$, 在三维空间中,经过凸多边形的一条边并且垂直于凸多边形的平面 $Ax + By + Cz + D = 0$ 而言,凸多边形内的点必定完全位于该平面的一侧,即凸多边形内的点都满足 $Ax + By + Cz + D > 0$ 或 $Ax + By + Cz + D < 0$ 。依次对经过凸多边形的一边并且垂直于凸多边形的平面进行判断,便可以得到一组不等式:

$$F(x, y, z) = 0 \quad (2)$$

$$Ax + By + Cz + D < 0 \quad (3)$$

满足上述不等式的反射点就是有效的反射点,否则就是无效的反射点。

3) 相交判断。对有效的反射点,分别追踪它与场点和源点的射线,若都无相交情况发生,则存在这么一条反射线,否则不存在这条反射线。

两次反射的射线求迹可分别读出关于场点可见的面表和关于源点可见的面表。先求出场点关于其可见平面的镜像点,再求出源点关于其可见平面的镜像点;然后求出两镜像点的连线与两个平面的交点,得出两个反射点;接着对这两个反射点的有效性进行判断:在两个反射点都有效的情况下,分别对场点与其对应的可见平面上反射点之间的连线、源点与其对应的可见平面上反射点之间的连线以及两个反射点之间的连线进行相交判断,若都不相交,则存在这条射线,否则就不存在。

对于一次绕射射线追踪,首先读出关于源点与场点共同可见的劈表,然后依次对每个劈求解。绕射点也需要进行有效性判断,即判断它是否位于有限长的直边缘内。对有效的绕射点,再进行连线及相交判断。

对于两次反射和两次绕射,可以将第一次的反射点或绕射点当作第二次跟踪的原点,这样就将两次反射和绕射分解为两个一次反射和绕射,对应的算法可以直接用前面的结果。绕射加反射的情况也可以同样处理。

3.2 加速技术

从射线跟踪算法的分析可以看出,无论哪种算法都面临着计算量大的问题。这其中主要的计算都花费在射线与面和劈的相交判断上,当建筑物数量较多的时候,射线与面和劈的相交判断可能占总计算量的90%以上,而真正的场强跟踪计算只用不到10%的时间^[5]。因此,目前的射线跟踪加速技术主要集中在减少相交判断次数上。目前主要从两个方面来考虑:一是利用空间分区技术,直接减少面和劈的数量来达到减少相交判断的目的;另一个方法就是利用镜像等方法提高反射和绕射路径的跟踪速度,从而间接地减少相交判断的次数。

本文利用空间分区技术对场强计算进行加速计算,主要采用了包围盒技术和八叉树分区^[6]技术。包围盒技术的基本思想是用较简单的图形代替复杂图形,如图1。应用在射线跟踪算法中,就是当求交的射线与阻挡物进行相交测试时,先与阻挡物的包围盒进行测试,若相交,则再与阻挡物进行相交测试,否则可以判断与阻挡物无交点。这利用了包围盒形状简单的特点,射线做相交测试时速度更快。八叉树分区则是将空间均匀地进行网格划分,在XYZ 3个方向上将考察空间分为8个子立方体,形成一棵八叉树。在划分的过程中,预先设置一个阈值,当八叉树的叶子节点所包含的阻挡物少

于这个阈值时停止划分。假设八叉树的高度为 N ,那么对其任一叶子节点进行编码,都可以表示为: L_1, L_2, \dots, L_N , 其中, $L_n \in \{0, 1, 2, \dots, 7\}, n = 1, 2, 3, \dots, N$ 。

这样的编码方式有利于进行快速分区和坐标换算,八叉树数据结构也能提高查询速度,以提高相交测试的效率。

4 仿真实验

系统采用3DMax作为三维建模工具进行三维建筑物的建模,MS Access作为后台数据库,利用VC++ 6.0和OpenGL实现射线跟踪技术和三维显示。

首先利用3DMax建立三维建筑物模型,其俯视图和侧视图如图4所示。

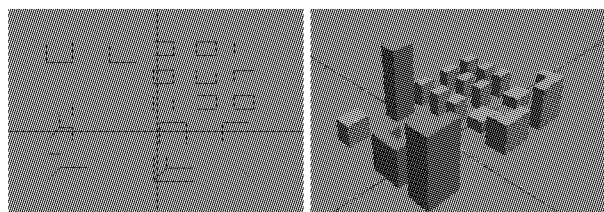


图4 三维建筑物模型俯视图和侧视图

在建立好三维场景之后,输入位置可以模拟基站建设的地点,以得到规划数据。一般地,人们使用手机的高度为1.5 m左右,因此基站高度设置为此高度。如图5所示。

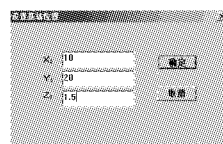
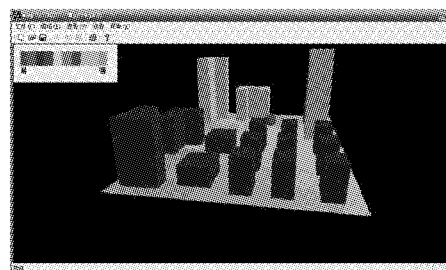
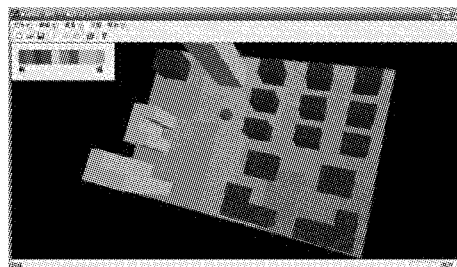


图5 基站位置设置



(a) 侧视图



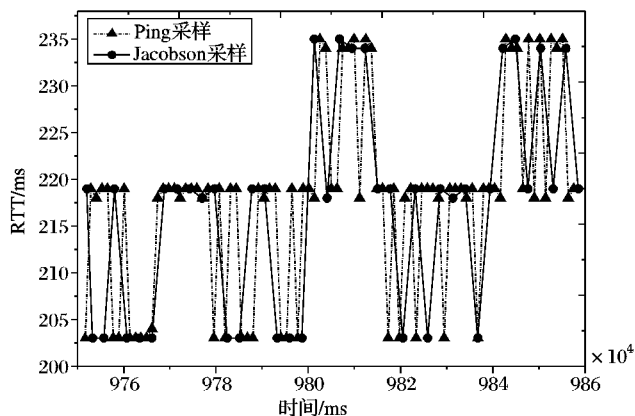
(b) 俯视图

图6 场强分布侧视图和俯视图

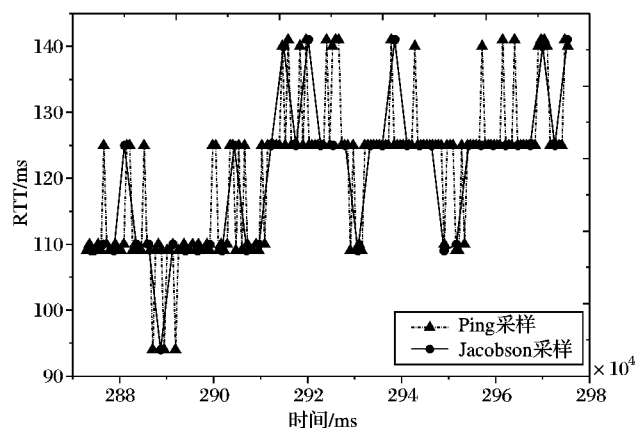
完成基站位置和相关功率等参数之后,进行场强计算。在三维场景中以不同颜色表示场强的强度,如图6的仿真结果所示。图圆点表示基站所在位置,色彩的变化表示场强的强弱。从图中可以看出,基站附近没有建筑物的地方场强分布较强,右下角的部分,一方面由于距离基站距离较远,另一方面从基站到这一片区域之间建筑物较多,存在多次反射和绕射现象,能量衰减较大,因此其场强也较弱。

(下转第322页)

$|D_{t_{n+1}} - D_{t_n}|$ 时,因取均值而变化较小,从而导致计算出来的下一次轮询时间偏大,需进行适当的经验修正。而基于 AR 模型的自适应算法,其模型结构辨识和模型检验的过程比较繁琐,其模型参数的求解难以实现在线递推估计,因此在异常网络时延的条件下,利用该算法预测网络 RTT 变化情况不能达到令人满意的效果。而基于 Jacobson 思想的算法数值计算运算简单、快速,实验也表明该算法在网络处于稳定状态或突发状态都能较好地反映网络延迟变化。



(a) 初始采样间隔1000ms



(b) 初始采样间隔500ms

图5 基于 Jacobson 的自适应算法与 Ping 的比较

表1 采样次数分析

方法	实验一	实验二
Ping 采样	88	166
简单自适应采样	54	111
AR 自适应采样	39	41
Jacobson 自适应采样	40	41

4 结语

本文研究了网络时延变化规律和周期性采样算法的弊端,提出了基于时延变化率的 RTT 自适应采样算法,通过实验数据证明了算法的正确性,即:自适应算法获得了与周期性采样算法几乎一致的 RTT 值分布情况,又有效地减小了采样次数。特别是基于 Jacobson 思想的自适应采样算法数值计算简单,具有更大的适用范围。探索该算法对其他网络性能参数测量的适用性,是我们下一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 黎文伟,王俊峰,谢高岗,等. 基于包对采样的 IP 网络时延变化测量方法[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(8): 1354-1360.
- [2] ISHIBASHI K, AIDA M, KURIBAYASHI S. Estimating packet loss rate by using delay information and combined with change of measure framework[C]// IEEE GLOBECOM 2003. San Francisco: IEEE, 2003: 3878-3882.
- [3] 谢高岗,李忠诚,张大方,等. 链路带宽测量方法改进[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(1): 68-74.
- [4] DOWNEY A B. Using Pathchar to estimate Internet link characteristics [C]// The ACM SIGCOMM 1999. New York: ACM, 1999: 241-25.
- [5] HANDLEY KM, ROHRS C. Congestion control for high bandwidth-delay product networks [C]// The ACM SIGCOMM 2002. New York: ACM, 2002: 89-102.
- [6] 朱利,周俊辉,郑守淇,等. 基于 RTT 的自适应拥塞控制研究[J]. 计算机学报, 2000, 23(7): 705-710.
- [7] ITU-T Recommendation G 1010, End-user multimedia QoS categories[S]. ITU-T, 2001.
- [8] ALMES G, KALIDINDI S, ZEKAUSKAS M. RFC2681, A round-trip delay metric for IPPM[S]. 1999.
- [9] 王亚沙,王光兴. 网络性能管理中一种数据采集算法的研究[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(9): 8-14.
- [10] FLOYD S, JACOBSON V. The Synchronization of periodic routing messages[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2(2): 122-136.
- [11] 黎文伟,端到端互联网性能监测技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [12] VERN P. End-to-end routing behavior in the Internet[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997, 5(5): 601-615.
- [13] 张树京,齐立心. 时间序列分析简明教程[M]. 北京: 北方交通大学出版社, 2003.
- [14] JACOBSON V, KARELS M J. Congestion avoidance and control[C]// The ACM SIGCOMM 1988. New York: ACM, 1988: 314-329.
- [15] POSTEL J. RFC793, Transmission control protocol specification [S]. 1981.

(上接第318页)

5 结语

本文在分析了各种传播模型的基础上,选用反向射线跟踪技术对场强进行计算,提出一种“三维场景建模,建设场强预测数据库,进行射线跟踪计算场强分布,三维可视化”的思路,完成了一个基于三维射线跟踪技术的网络优化模块,为3G网络在微小区,微微小区的规划和优化提供直观,形象的数据支持。

参考文献:

- [1] 袁正午. 移动通信系统终端射线跟踪定位理论与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.

- [2] 汪茂光. 几何绕射理论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1985.
- [3] HARRINGTON R F. Time-harmonic Electromagnetic Fields [M]. New York: McGraw-Hill, 1961.
- [4] 黄心渊. 3DS MAX 8 标准教程[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2006.
- [5] 孙家广, 胡事民. 计算机图形学基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [6] 吴志忠. 移动通信无线电波传播[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.
- [7] 周力, 柴舜连, 毛均杰. 基于三维射线跟踪八叉树算法的城市微区电波传播预测算法模型[J]. 电子学报, 2002, 30(12): 1776-1778.