

典型微区环境下信道特性的仿真结果¹

孙继先 魏庆新 龚克 唐昇

(清华大学电子工程系微波与数字通信国家重点实验室 北京 100084)

摘要 多径效应产生的扩散效应一直是无线信道研究的主要问题。作者利用自行开发的无线信道仿真软件对微区环境下的主要信道特性进行了大量的仿真,得到了典型微区环境下的传播损耗、时延扩展和角度扩散等主要信道特性的描述。

关键词 传播损耗, 时延扩展, 角度扩散, 上行角度扩散, 下行角度扩散

中图分类号 TN911.22

1 引言

随着无线通信技术与业务的飞速发展,第三代移动通信系统即将推出。它要求在提高系统容量的同时,为每一个用户提供 128k 至 2Mbps 的传输速率^[1],因而使得如何有效的利用频谱、克服多用户干扰等一系列问题变得更为突出。为此,以智能天线(Smart antenna)为代表的空间滤波技术成为新的发展方向。智能天线技术的有效应用可以使通信系统的性能有很大的提高。但是,在不同的方位角扩散的条件下,为了达到接收信号的最大比合成,天线的波瓣宽度,接收臂的数目都会不同^[2]。因此,对于无线信道在角度扩散特性方面的研究变得十分迫切。

此外,为了系统扩容的需要,蜂窝小区的半径将可能进一步缩小到 200m 以内,并且基站天线高度低于周围建筑物的房顶^[3]。在这样的微区传播环境中,不同小区之间的地形地物的特性相差很远,传统的传播模型将无法使用,需要而且可能建立特定环境下(Site-specific)的信道模型和信道仿真工具^[4]。

本文利用自行开发的射线跟踪算法传播预测软件^[5,6],对典型微区环境下无线信道的主要特性进行了大量的仿真研究。首先,根据不同的功率衰减情况,将微区进一步划分为直达路径区域、轻度阻挡区域(无直达波,损耗在 90~120dB 之间)和严重阻挡区域(无直达波,损耗在 120dB~140dB)。进而对前两种情况下的路径损耗特性、时延扩展和角度扩散特性进行了细致的仿真。对于角度扩散还进一步分为上行角度扩散(ULAS)和下行角度扩散(DLAS),它们分别代表基站处的角度扩散(即针对给定接收点的有效波束的出发角的分布)和移动台处的角度扩散。通过大量的仿真研究,得到了典型微区环境下的主要信道特性的描述。它将对移动通信的系统设计和网络规划起到重要的作用。

2 信道扩散特性的描述和仿真环境的介绍

路径损耗指数(n)和阴影效应(X_σ)是描述大尺度功率衰落的主要参数。其公式表述是^[7]

$$PL(d)(dB) = \overline{PL}(d) + X_\sigma = PL_0 + 10n \log(d) + X_\sigma \quad (1)$$

式中 PL 为路径损耗, d 为传播距离。上式说明,路径损耗可以通过一个与传播距离有关的局部均值和一个损耗起伏项叠加得到。

研究表明 X_σ (dB) 服从均值为零的对数正态分布。不同环境下的路径损耗指数如表 1 所示:

¹ 2000-11-14 收到, 2001-06-29 定稿
国家自然科学基金(69972022)资助课题

常用的用于描述时延扩展特性的参数有扩散的加权均值和方差 [7]; 对于角度扩散, 目前国际上还没有统一的标准, 作者采用与时域描述类似的形式来描述角度扩散, 所有的角度都是相对于收发连线方向定义的. 它们的主要参数,

表 1 不同环境下的路径损耗指数 [7]

环境类型	路径损耗指数 (n)
自由空间	2
城市蜂窝地区	2.7~3.5
阴影下的城市蜂窝地区	3~5
室内存在直达波环境	1.6~1.8
有阻挡物的室内环境	4~6
有阻挡物的工厂环境	2~3

即时延加权均值 $\bar{\tau}$, 时延方差 σ_{τ} , 出(入)角度加权均值 $\bar{\theta}$, 角度扩散 σ_{θ} 分别定义如下:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k p(\tau_k) \cdot \tau_k}{\sum_k p(\tau_k)}, \quad \sigma_{\tau} = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2}. \quad \text{其中 } \tau^2 = \frac{\sum_k p(\tau_k) \cdot \tau_k^2}{\sum_k p(\tau_k)}, \quad \tau_0 = 0.$$

$$\bar{\theta} = \frac{\sum_k p(\theta_k) \cdot \theta_k}{\sum_k p(\theta_k)}, \quad \sigma_{\theta} = \sqrt{\theta^2 - (\bar{\theta})^2}. \quad \text{其中 } \theta^2 = \frac{\sum_k p(\theta_k) \cdot \theta_k^2}{\sum_k p(\theta_k)}.$$

为了对所研究环境的地形地物进行比较准确地描述, 我们采用了目前比较流行的地理信息系统 (Geographic Information System) 软件 - Mapinfo 来生成微区中建筑物的几何外形参数, 其相应的电磁特性参数主要来源于已发表的测试报告和文献 [7,8]. 该环境是仿照清华大学西南小区的样式构造的, 环境中包含了常见的居民楼, 高 15m(五层左右), 宽 60m, 纵深为 12m. 这类建筑在我国大城市中是比较普遍的. 基站发射天线放置在街道交汇的地方, 天线高度分别为 3.75m、10m, 均低于周围建筑物的高度, 发射频率为 2GHz, 天线类型为全向垂直极化天线. 仿真中设定了两种不同的预测情况, 一是观察整个微区内 (700×750m²) 的覆盖特性 (Coverage Prediction), 相邻接收点间隔为 8m; 另一种是观察特定路线上的传播特性. 路线的设定参照了文献 [3] 的测试路径, 分为平行和垂直两种. 图 1 为仿真环境的示意图.

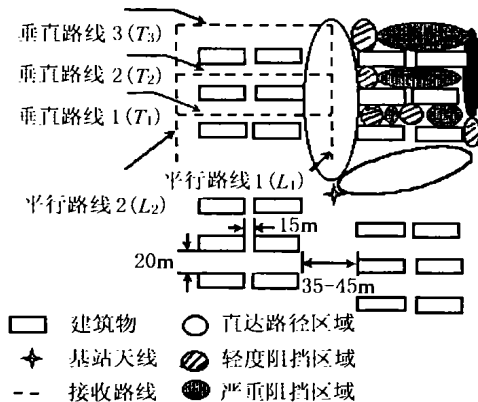


图 1 仿真环境示意图

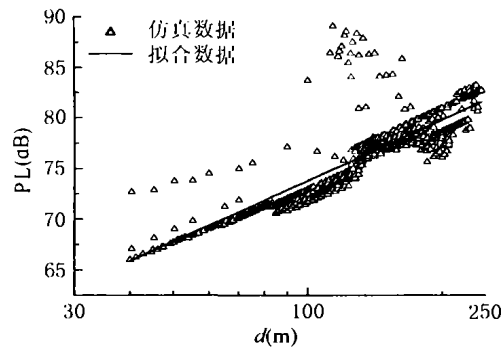


图 2 有直达波情况下路径损耗的仿真结果和线性拟合结果

3 仿真结果

3.1 路径损耗

3.1.1 有直达路径区域 (图 2)

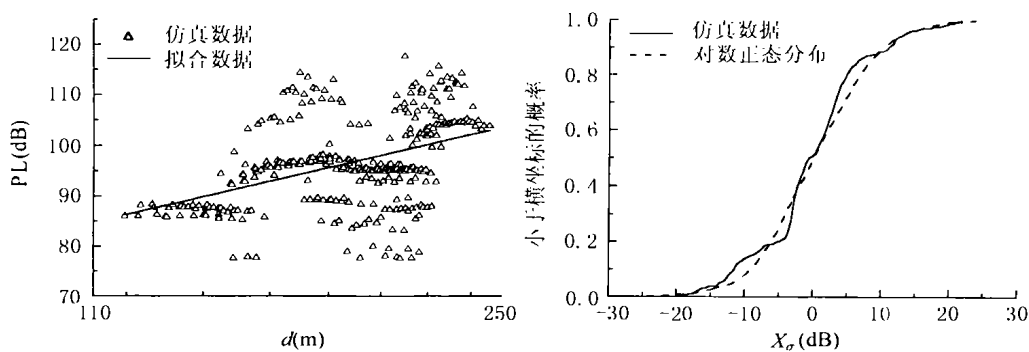
从回归计算得到信号功率随距离的损耗指数为 1.94, 接近于自由空间传播的情形, 说明直达信号起着决定的作用, 而反射、散射造成信号的起伏不甚严重, ($\sigma=2.21\text{dB}$)。

3.1.2 轻度阻挡区域 (图 3)

图 3(a) 中轻度阻挡情况下, 回归得到的路径损耗指数为 5.24, 基本上与表 1 中阴影下的城市蜂窝地区的结果相符。仿真数据和线性拟合之间差值的统计分布如图 3(b) 所示。

图 3(b) 中虚线代表的是均值为 0, 方差 σ 为 8.40dB 的对数正态分布 (8.40dB 是仿真数据的统计方差)。它和仿真结果的相关系数为 0.994。

从图 3 可以看出, 仿真结果与 (1) 式所描述的路径损耗特性基本相符。相应的参数为 $PL_0 = 34.7\text{dB}$, $n = 5.24$ 。 $X_\sigma(\text{dB})$ 是参数为 (0, 8.4) 的对数正态分布。



(a) 轻度阻挡下路径损耗的仿真结果和线性拟合结果 (b) 路径损耗直线拟合误差的统计分布

图 3 轻度阻挡下的路径损耗

3.1.3 严重阻挡区域

从仿真数据上看, 严重阻挡下的路径损耗很大, 其范围都在 120dB 至 140dB 之间。因此不作为我们研究的重点。

3.1.4 整个小区内的传播损耗分布

表 2 显示了传播损耗的覆盖情况。按照图 1 所示放置基站天线的条件下, 主干道上的覆盖情况较好, 而楼群深处的覆盖情况较差。

表 2 传播损耗覆盖面积的百分比

传播损耗 (dB)	<90	<110	<120	<130	<140
覆盖百分比 (%)	27.5	45.0	57.5	84.0	100

3.2 角度扩散

3.2.1 有直达路径区域

从表 3 中可以看出, 在有直达波的情况下, 上下行的角度扩散都不严重。相比之下, 上行角度扩散小于下行。

表 3 直达路径情况下的上下行 σ_θ 的累积分布对比

$\sigma_\theta(\circ)$	<5	<10	<20	<30	<40
累积概率 (上行)	0.56	0.75	0.97	0.99	1.0
累积概率 (下行)	0.52	0.60	0.74	0.86	0.98

3.2.2 轻度阻挡区域

从表 4 中可以看出, 上行和下行的角度扩散情况有明显的区别, 下行角度扩散明显增大。

表 4 轻度阻挡情况下的上下行 σ_θ 的累积分布

$\sigma_\theta(\circ)$	<10	<20	<30	<60	<80
累积概率(上行)	0.55	0.83	0.98	1.0	1.0
累积概率(下行)	0.15	0.25	0.31	0.96	1.0

3.2.3 严重阻挡区域

在严重阻挡的条件下, 只有一两路微弱的信号到达接收点, 所以, 虽然这时的角度扩散和时延扩展的均方差值都会很小, 但这并没有实际的意义。

3.3 时延扩展

时延扩展特性是影响无线信号传送速率的一个重要因素。表 5 所示的是有直达路径区域和轻度阻挡区域中接收点的 σ_τ 的累积分布。从结果中可以看出, 非直达路径情况下的时延扩展明显大于直达路径情况。轻度阻挡情况下 90% 的接收位置的典型相关带宽约为 700kHz。

表 5 时延扩展 σ_τ 的累积分布对比

$\sigma_\tau(\mu s)$	0.05	0.1	0.2	0.5	0.9
直达路径区域	0.70	0.92	0.99	1.0	1.0
轻度阻挡区域	0.44	0.68	0.85	0.95	1.0

表 6 时延扩展 σ_τ 的覆盖百分比

$\sigma_\tau(\text{ns})$	<100	<200	<300	<400
覆盖百分比 (%)	66.5	92.5	98.3	99.5

3.4 特定接收路径的结果

参照图 1 可以看出, 平行路线 1 的接收点都有直达路径。因此在整条路线上角度扩散结果都较小, 并且上下行的 σ_θ 基本上重合在一起。这说明在有直达路径情况下, 当基站天线高度较

低时, 环境对基站和移动台的影响是相似的。垂直路线经过了有直达路径区域, 轻度阻挡区和严重阻挡区。我们选取垂直路线 1 中从轻度阻挡区到直达路径区的过渡区域作为研究对象。从图 4 中可以看出原先绝对值较大的 $\bar{\theta}$ 在进入直达波区域后迅速收缩。反之, 如果接收点是从直达路径区域进入阻挡区的话, 角度扩散 $\bar{\theta}$ 会有明显的跳变。

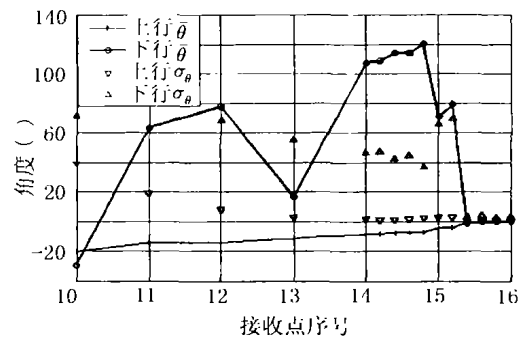


图 4 垂直路线 1 的角度扩散

4 结论

通过在典型微区环境下的仿真研究, 我们得到了典型微区环境下主要信道特性的描述。从中可以得到以下结论:

(1) 在微区环境下, 传播损耗的非环形分布非常明显。传统的依靠传播距离来估算损耗的方法基本失效。

(2) 从表 6 中可以看出在微区中绝大多数的接收点的时延扩展约为 200ns 左右, 相应的相关带宽约为 100kHz。因此在第三代移动通信系统中, 为了达到较高的传输速率, 时域上的均衡处理是必不可少的。

(3) 轻度阻挡区的 σ_θ 明显大于直达波区域, 且在直达波区和轻度阻挡区的过渡区域里, 入射角 $\bar{\theta}$ 有明显的跳变。

通过在典型微区环境下的仿真结果可以看出：建立特定环境下的信道仿真工具可以更加全面细致的进行传播预测工作。尤其是在微区的传播条件下，这样的预测工具更加有效。它对无线通信系统的网络设计和性能优化有更强的辅助作用。当然，本文所采用的信道仿真软件的核心算法采用的是射线跟踪技术，射线跟踪的结果和实测的结果之间还有一定的误差。为了提高预测的精度需要用实测的数据对模型进行必要的修正。修正后的模型的应用价值将会更高，这也是作者所在研究组未来工作的研究方向。

参 考 文 献

- [1] Eero Nikula, Antti Toskala, Erik Dahlmann, Laurent Girard, Anja Klein, Frames multiple access for UMTS and IMT2000, *IEEE Personal Comm. Mag.*, 1998, 5(2), 16-24.
- [2] K. I. Pedersen, P. E. Mogensen, B. H. Fleury, A stochastic model of the temporal and azimuthal dispersion seen at base station in outdoor propagation environments, *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, 2000, 49(2), 437-447.
- [3] Howard H. Xia, H. L. Bertoni, Micro-cellular propagation characteristics for personal communications in urban and suburban, *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, 1994, 43(4), 734-752.
- [4] S. Y. Seidel, T. S. Rappaport, Site-specific propagation prediction for wireless in-building personal communication system design, *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, 1994, 43(4), 879-891.
- [5] K. Gong, R. Xu, Modeling of 3D in-building propagation effects by ray tracing technique, *通信学报*, 1995, 16(4), 19-23.
- [6] Q. X. Wei, K. Gong, B. X. Gao, Ray-tracing models and techniques for coverage prediction in urban environments, *APMC'99, Singapore*, Nov. 30-Dec. 3, 1999, Vol.3, 614-617.
- [7] T. S. Rappaport, *无线通信原理与应用*, 北京, 电子工业出版社, 1998, 8, 第三章, 第四章.
- [8] 王映洲, 李利军, 龚克, 毫米波室内传播特性的研究, *电子学报*, 1999, 27(3), 89-93.

SIMULATION RESULTS OF CHANNEL CHARACTERISTICS IN TYPICAL MICRO-CELL ENVIRONMENT

Sun Jixian Wei Qingxin Gong Ke Tang Ao

(State Key Lab of Microwave and Digital Comm., Tsinghua Univ., Beijing 100084, China)

Abstract The dispersive characteristics of the wireless channel is a major problem in wireless communication. The authors has developed a wireless channel simulator and used it to predict the channel characteristics of the specific micro-cell. The characteristics include delay spread, angular spread and path loss. After the study of simulation, the author got some descriptions of the major characteristics of the wireless channel in micro-cell environment.

Key words Propagation loss, Delay spread, Angular spread, Up link angular spread (ULAS), Down link angular spread (DLAS)

孙继先: 男, 1975年生, 硕士生, 主要研究方向为无线通信和电波传播.

魏庆新: 男, 1974年生, 博士生, 主要研究方向为无线信道特性研究.

龚克: 男, 1955年生, 教授, 微波与数字通信国家重点实验室主任, 主要研究方向无线与个人通信, 智能天线的网络行为特性和微小卫星技术.

唐昇: 男, 1977年生, 硕士生, 主要研究方向为无线信道建模和智能天线技术.