

The Impact Analysis of Wireless Sensor Network in Low-Level Channel*

KONG Xiangshan, ZHAO Deguang, WANG Daihua, ZHANG Zhijie*

(Key Laboratory of Instrument Science and Dynamic Measurement, Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The wireless communication system's performance is greatly constrained by the wireless channel characteristics. With the rapid development of communication technology, the exploration of wave's propagation characteristics of wireless communication systems has become one of the important issues at the Near-Earth environment. In this paper, the characteristics of wireless signal propagation on 2.4 GHz band were experimentally measured and researched outdoors with the antenna set up in low-altitude environment, and the data were analyzed by least-squares. The results show that there's a big difference between the surface of wireless channel and the traditional cellular radio channel, but can still use the log distance path loss model to characterize. The outcome gained can help study the propagation of Near-Earth wireless communication and provide the evidence of design for the wireless sensor networks.

Key words: wireless sensor networks; surface wireless communication; wireless link loss model; least-squares fitting

EEACC: 5210; 6150p; 6210c

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2011.01.022

低空信道对无线传感器网络的影响分析*

孔祥善, 赵德光, 王代华, 张志杰*

(中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051)

摘要: 无线通信系统的性能很大程度上受到无线信道特性的影响。随着通信技术的发展, 近地环境中电波传播特性的研究已成为研究无线通信系统的重要课题之一。本文在室外开阔地、天线低空架设的环境下, 针对 2.4GHz 频段的无线信号传播特性进行了实测研究, 并利用最小二乘法对数据进行了拟合分析。研究表明, 地表无线信道同传统微蜂窝无线信道存在较大差别, 但仍可采用对数距离路径损耗模型进行表征。所得结果有助于研究近地无线信道的传播规律并为地表无线传感器网络的设计提供依据。

关键词: 无线传感器网络; 地表无线传播; 无线链路损耗建模; 最小二乘法拟合

中图分类号: TN011; TN911.23

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2011)01-0106-05

近年来, 传感器技术与无线射频技术的融合, 以及同互联网的连接, 使得无线传感器网络作为新型的综合信息系统在测试测量中得到了广泛的应用。为了实现对布设环境中物理信号的监测, 很多时候都需将无线传感器节点置于地表或低空环境中。然而, 对于特殊的测试环境, 即使没有复杂的地形地势, 两点间的无线电波性能也会受到很大的影响^[1]。目前, 国内外对无线传感器网络信道传播特性与建模的研究已越来越关注, 但现阶段的工作主要集中在水下和地下无线传感器网络等方面, 对于地表无线传感器网络电波的传播特性还未给出明确的定义和具体的分析模型^[2]。

那么针对地表无线传感器网络的信道特性还能否利用传统微蜂窝无线信道模型进行建模呢? 本文基于此, 对地表低空收发天线的路径损耗进行了现

场实测, 并对测试结果进行了线性拟合分析。最终得出了一些有助于研究低空无线传感网络中信号的传播特性和规律。

1 无线传播分析和对数损耗模型介绍

1.1 无线传播特性分析

无线电波主要通过直射波, 反射波, 绕射波, 散射波和地表面波等方式传播。在分析空旷地无线传播时主要考虑直射波和反射波的影响^[3]。通常我们将无线信号的衰减分为路径损耗、阴影衰落和多径衰落三类。路径损耗与传播距离成正比; 在传播的过程中无线电波遇到障碍物阻挡时, 会产生服从对数正态分布的阴影衰落(慢衰落); 信号在传播的过程中还会产生服从瑞利分布的多径衰落(快衰落)^[4-5]。

项目来源: 山西省自然科学基金资助(2009011023)

收稿日期: 2010-06-18 修改日期: 2010-09-25

1.2 对数距离路径损耗模型介绍

大量的实测数据分析表明, 平均路径损耗是距离的对数函数, 也即可以用对数距离路径损耗模型来描述信号的变化^[5-6]。通常, 对数距离路径损耗模型可分为单折线和双折线两种情况。

$$\text{单折线: } L(d) = L(d_0) + 10n \lg(d/d_0)$$

$$\text{双折线: } L(d) = L(d_0) + 10n_1 \lg(d/d_0) \quad d \leq d_b$$

$$L(d) = L(d_0) + 10n_2 \lg(d/d_0) \quad d > d_b$$

模型中 $L(d)$ 表示传播路径损耗; $L(d_0)$ 表示参考点处的传播路径损耗, 一般取 d_0 为 1 m; n_1 、 n_2 、 n 表示路径损耗指数; d_b 表示突变点距离^[6], 双射线模型中认为 d_b 为第一菲涅耳区被阻挡的距离^[7]。在双折线模型中, 突变点将传播路径分成两个截然不同的区域。突变点前的近场, 由于地面反射波的影响, 接收信号电平斜率衰减较缓慢但变化剧烈; 突变点后的远场, 无线电信号电平变化缓慢但斜率衰减增大^[6]。

由于阴影衰落的影响, 还需在模型后加 $X\sigma$ 修正。 $X\sigma$ 表示由阴影衰落引起的样本标准差, 它符合零均值的高斯分布^[8]。

2 低空无线信道的建模与仿真

2.1 测试方法的建立

为了提高测试的精度和方便记录数据, 在路径损耗测试中采用可以稳定输出 RF 信号的无线网卡

和自动接收并记录信号电平的专用测试软件来完成。测试硬件选用 Dell wireless 1390 WLAN Mini-Card 无线网卡^[9]。测试中将其配置为 IEEE802.11b 标准 (DSSS), 额定输出功率 19 dBm, 11 信道输出, 中心频率 2 462 MHz。无线网络监测软件选用 WirelessMon3.1 Professional。

测试时将发射端固定, 无线网卡设置成软 AP, 建立点对点无线局域网。接收端用配有无线网卡和无线接收软件的笔记本电脑对某处的平均接收功率值测试。根据衰落变化规律, 信号随机变化的统计服从对数正态分布。因此在测试中假设收发节点均处于静止状态, 并且周围没有大量运动物体, 从而使测量更能在平均意义上反映路径损耗的特征^[10]。实验中, 根据传感器网络在室外的典型应用, 发射端天线分别选取了 3 cm、50 cm 和 1 m 三种不同的高度。为了保证信号的稳定性, 采样时, 每个样点的容量约 50 ~ 100 个。测试时, 尽可能地保持了测试环境和测试手段的一致。

2.2 地表无线信道的实测、建模与仿真

本文选取具有代表性的室外平坦开阔地进行实测, 开阔地长宽约为 80 m。测试时将发射端分别固定在不同高度处, 接收端保持 50 cm 的恒定高度。下表所示为同一环境下不同天线高度时测得的接收电平值随距离的变化情况, 表中 h_t 为发射端天线高度, D (m) 为接收端距离, LSL 为该点处接收功率的平均值。

表 1 $h_t = 1$ m 时测得的接收功率

D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm
1	-32.63	10	-53	19	-58.13	28	-61.71	37	-62.89	46	-64.16
2	-39.69	11	-53.92	20	-59.51	29	-60.33	38	-60.79	47	-66.24
3	-45.47	12	-57.6	21	-57.33	30	-59.19	39	-63.12	48	-67.96
4	-45.77	13	-63.25	22	-57.23	31	-61.35	40	-64.29	49	-65.67
5	-42	14	-63.53	23	-58.03	32	-59.86	41	-62.91	50	-67.11
6	-52.21	15	-63.81	24	-58.15	33	-60.33	42	-63.53		
7	-54.57	16	-60.64	25	-59.32	34	-62.71	43	-65.5		
8	-51.79	17	-59.52	26	-59.44	35	-61.61	44	-64.21		
9	-50.26	18	-57	27	-60.29	36	-61.11	45	-64.23		

表 2 $h_t = 50$ cm 时测得的接收功率

D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm
1	-36.81	10	-59.68	19	-65.62	28	-66.2	37	-67.88	46	-72.1
2	-39.31	11	-58.53	20	-64.27	29	-66.46	38	-68	47	-72
3	-41.79	12	-60.5	21	-64.98	30	-66.46	39	-67.58	48	-74.05
4	-47.59	13	-59.22	22	-66.51	31	-68.45	40	-70.79	49	-72.18
5	-49.12	14	-62.08	23	-65.92	32	-67	41	-70.07	50	-72
6	-56.83	15	-60.32	24	-63.88	33	-68	42	-71		
7	-53.26	16	-62.6	25	-65.54	34	-68.13	43	-72.2		
8	-58.3	17	-64.16	26	-64.26	35	-67	44	-74.18		
9	-60.65	18	-63.42	27	-64.67	36	-67.92	45	-72.05		

表3 $h_t=3$ cm 时测得的接收功率

D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm	D/m	LSL/dBm
1	-38.48	10	-59.45	19	-65.619	28	-74.89	37	-78.58	46	-77.72
2	-49.25	11	-59.39	20	-68.46	29	-74.61	38	-75.56	47	-78.375
3	-46	12	-60.59	21	-67.61	30	-75.3	39	-76.7	48	-77
4	-47.71	13	-61.22	22	-69.17	31	-75.8	40	-76	49	-78
5	-49.11	14	-61.97	23	-70.38	32	-75.28	41	-78.54	50	-77.94
6	-52.97	15	-63.7	24	-73.86	33	-72.86	42	-77		
7	-55.32	16	-65.03	25	-72.89	34	-73.06	43	-78.36		
8	-55.26	17	-65.88	26	-72.15	35	-75.48	44	-77.69		
9	-57.55	18	-65.3	27	-73.85	36	-76.97	45	-77.69		

在对数距离路径损耗模型的基础上,利用最小二乘法拟合得到不同天线高度下的路径损耗曲线如图1所示。

图1表示接收功率与距离间的关系,曲线为不同天线高度时采样点的拟合。图2中的曲线为对数距离同路径损耗的关系,从图中可以直接获得拟合后的对数距离路径损耗参数。曲线的波动主要是由测试环境中的阴影衰落引起的^[11]。

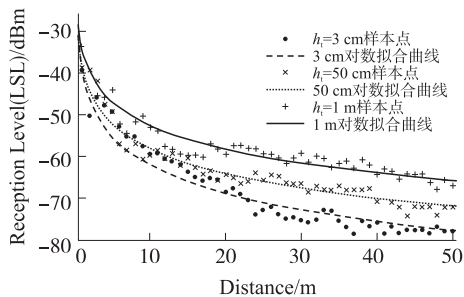


图1 不同天线高度下接收功率同距离的关系

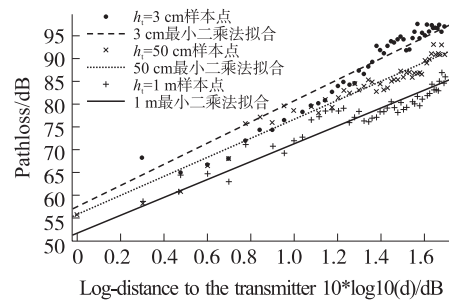


图2 不同天线高度下对数距离路径损耗曲线

通过对实测数据拟合得到该环境下不同天线高度时的参数如表4所示。

表4 曲线拟合结果

H_t/m	$L(d_0)/dB$	d_b/m	n_1	n_2	n	R^2	σ/dB
1 m	51.63	5 m	1.966	2.063	1.967	0.908	2.12
50 cm	55.81	3 m	0.982	2.093	2.089	0.952	1.843
3 cm	57.48	1 m	null	2.328	2.328	0.947	2.405

分析表明,地表低空信道中,由于极低的天线高度及沿地表传播,导致了突变点以及前后路径损耗指数极大的变化。完全贴近地表的传播模型因采用单折线模型;存在LOS径,相对较高的低空传播模型因采用双折线模型。利用实验结果拟合得到如下的模型。

$H_t=1$ m 时

$$L(d) = 51.63 + 10 * 1.966 * \log_{10}(d) + 2.21 \quad d \leq d_b$$

$$L(d) = 51.63 + 10 * 2.063 * \log_{10}(d) + 2.12 \quad d > d_b$$

$H_t=50$ cm 时

$$L(d) = 55.81 + 10 * 0.982 * \log_{10}(d) + 0.38 \quad d \leq d_b$$

$$L(d) = 55.81 + 10 * 2.093 * \log_{10}(d) + 1.843 \quad d > d_b$$

$H_t=3$ cm 时

$$L(d) = 57.48 + 10 * 2.328 * \log_{10}(d) + 2.405$$

根据所拟模型可知,参考点处的路径损耗随天线高度下降而增加;突变点的位置随天线高度下降而减小;随着天线高度的降低,路径损耗指数 n 不断增加,这表明传输环境逐渐恶劣。通过分析相关系

数可以看出,对数高斯阴影分布的分析模型仍适用于地表低空信道中。利用拟合的模型可以预测距发射端不同距离处的接收功率值^[12]。

2.3 拟合模型与现有模型的对比分析

最后将拟合后的对数模型带入到 MATLAB 中

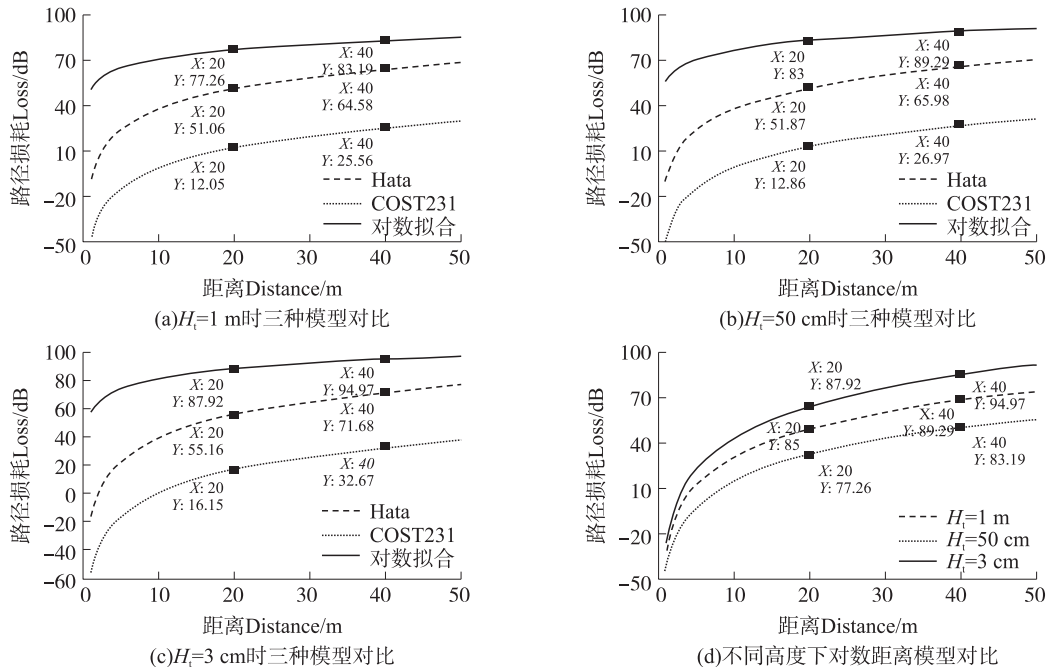


图 3 不同天线高度下拟合模型与现有模型的对比分析图

通过对比分析得出,在同一位置时(例如 $h_t = 1$ m, $d = 40$ m 处: COST231 模型预测 Loss 为 26.97 dB, Hata 模型为 65.98 dB, 拟合所得对数模型为 89.29 dB, 而实测得到的为 89.79 dB。)对数拟合模型预测的路径损耗同实测得到的路径损耗最为接近,且越靠近地面,路径损耗差值和损耗值越大。因此,在近地环境下直接套用现有模型是无法准确预测无线传感器网络覆盖范围的。

3 结论

本文在 MATLAB 中利用最小二乘法对实测数据进行了拟合处理,得出了低空架设天线时的路径损耗模型。测试和拟合结果表明,地表无线信道与传统蜂窝无线信道存在较大差别,因此不能直接套用现有模型对低空信道环境进行电波预测,但其传播特性仍可采用对数距离损耗模型进行表征。

根据实测得到的路径损耗模型,可以预测特定环境下任意点处的接收功率,从而得到无线传感器网络的覆盖范围,为无线传感器节点的部署提供依据。

参考文献:

[1] 沈杰,姚道远,黄河清,等.野外地表无线传感网信道传播模型的测定与分析[J].光学精密工程,2008(1):141-149.

同现有的 Okumura-Hata 模型和 COST231-Hata 模型进行对比分析。图 3 表示不同天线高度下拟合模型与现有模型的对比分析图。图中纵向坐标表示路径损耗 Loss,单位 dB。横向坐标表示接收端距发射端的距离 D ,单位 m。

[2] Lucani D, Medard M, Stojanovic M. Underwater Acoustic Networks: Channel Models and Network Coding Based Lower Bound to Transmission Power for Multicast [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(9): 1708-1719.

[3] 李德钰,高红菊,姜建钊.小麦田中天线高度对 2.4GHz 无线信道传播特性的影响[J].农业工程学报,2009(10):184-189.

[4] Joshi G G, Dietrich C B, Anderson C R, et al. Near-Ground Channel Measurements Over Line-of-Sight and Forested Paths [C]//IEEE Proceedings of Microwave Antennas Propagation, 2005, 152(6): 589-596.

[5] 杨大成.移动传播环境[M].北京:机械工业出版社,2003:115-120.

[6] Henry L Bertoni. Radio Propagation for Modern Wireless Systems [M]. Publishing House of Electronics Industry, 2001: 328-330.

[7] 周莉娟,陈光柱,罗成名.采煤工作面无线传感器网络的无线通信信道建模[J].传感技术学报,2010(5):722-726.

[8] 董齐芬,冯远静,俞立.基于移动信标节点的无线传感器网络定位算法研究[J].传感技术学报,2008,21(5):823-827.

[9] 蒋学勤.移动通信电波路径损耗测试[J].贵州大学学报:自然科学版,2005(2):96-99.

[10] Fort A, Desset C, De Doncker P, et al. An Ultra-Wideband Body Area Propagation Channel Model-From Statistics to Implementation [J]. IEEE Trans Microwave Theory and Tech, 2006, 54(4): 1820-1826.

[11] 谢益溪.无线电波传播[M].北京:人民邮电出版社,2008. 22-25.

[12] 陈一天,余爱民.2.4 GHz 无线局域网在室内外传播的路径损耗分析[J].电讯技术,2005(1):35-39.



孔祥善(1985-),男,汉族,山东曲阜人。中北大学硕士。在读研究生期间参与完成了冲击波存储测试系统、温度存储测试系统和无线数据通信系统的研究工作,主研究方向为无线通信技术与存储测试技术的研究,hailan_392@163.com;



赵德光(1974-),男,汉族,山西原平人。中北大学硕士,主要研究方向为动态测试技术与智能仪器设计,zhaodeguang001@163.com;



王代华(1977-),男,汉族,山东日照人。中北大学博士,讲师。在国内外相关学术刊物上发表论文多篇,主要研究方向为无线通信网络与智能传感器系统研究,wangdaihua@nuc.edu.cn;



张志杰(1965-),男,汉族,山西五台人。北京理工大学博士,现任中北大学教授、博导。主要从事动态测试理论、技术与应用,信号处理理论与技术以及通信与信息系统方面的研究。完成国家自然科学基金一项,省部级、国防基金 5 项,获得国家科技进步三等奖一项、省部级科技进步二等奖三项、山西省高等学校科技进步二等奖两项。曾作为国家公派访问学者在美国依利诺依理工学院从事数字信号处理研究。多次出国参加国际会议与学术交流,在国内刊物及国内外学术会议上发表、交流论文 50 多篇,其中被 EI、ISTP 等检索近 20 篇,zhangzhijie@nuc.edu.cn。