

麦田环境 2.4 GHz 无线信道路径损耗建模方法分析*

张海辉 张家明

(西北农林科技大学机械与工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 针对麦田环境无线传感器网络(WSN)应用需求,开展了4种无线信道路径损耗建模方法研究及适用性分析。首先利用WSN节点进行2.4 GHz无线信号的麦田实地测试,得到不同传播距离上的路径损耗变化趋势;然后分析了自由空间模型、双射线模型理论计算路径损耗与实测路径损耗差异,同时提出改进的双折线对数距离模型,并采用单折线和改进后的双折线对数距离模型对实测路径损耗运用最小二乘法进行回归分析建模。结果表明:自由空间模型和双射线模型所计算路径损耗与实测路径损耗存在较大差异,无法直接用于麦田环境路径损耗建模;单折线和改进后的双折线对数距离模型的回归分析拟合度分别为0.879和0.943,回归剩余标准差分别为3.242和2.229,均适用于麦田无线信道路径损耗建模,且改进后的双折线对数距离模型较单折线对数距离模型建模精度更高。

关键词: 麦田环境 无线传感器网络 2.4 GHz 无线信道 路径损耗 对数距离模型

中图分类号: S126; TN919.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)09-0291-06

引言

无线传感器网络(Wireless sensor networks, WSN)作为物联网核心技术之一,采用短程近地无线信道进行信息交互,可实现大规模区域密集、实时、动态信息获取和处理,近年来在包括农田生境感知在内的多个领域已有大量研究与应用^[1-4]。无线信道作为WSN中信号发射端与接收端之间无线信号的传输通路,容易受到地理条件、气象条件等环境因素的影响^[5],其路径损耗变化规律的研究作为WSN通信协议与自组网技术的基础,对网络连通性覆盖研究和传输路径优化研究起着指导性作用,同时影响WSN网络规划和应用部署^[4]。

近年来,无线信道路径损耗特性研究已成为WSN在农业应用中的研究热点^[6-8],国内外学者已经针对农田、温室、果园等多种农业生产环境进行了信道路径损耗测试及建模分析^[6-12],相关研究多采用单折线对数距离模型对路径损耗进行建模,在模型适用性和性能评价方面研究较少,文献[13-16]证实特定应用背景下不同传播损耗模型的差异性显著。

为了研究不同传播损耗模型在农业环境适用性,提高该环境下无线信道路径损耗建模精度,本文以麦田环境为背景,构建2.4 GHz无线信道路径损

耗试验,分别采用自由空间模型和双射线模型2种理论模型对该应用场景进行路径损耗建模;同时提出改进的双折线对数距离模型,并分别运用单折线对数距离模型和改进后的双折线对数距离模型采用最小二乘法对实测损耗数据进行拟合回归建模,得到相应的模型参数及性能指标,进而开展4种建模方法的性能分析与评价。

1 材料与方 法

首先开展麦田环境2.4 GHz无线信号传播试验,测试得到无线信道路径损耗与传播距离的关系,为后续模型研究提供实测数据。

1.1 试验装置及所需材料

试验中采用以TI公司CC2530模块为核心的WSN节点作为2.4 GHz无线信号的发射端和接收端。CC2530模块采用IEEE 802.15.4协议,支持接收信号强度(Received signal strength indication, RSSI)的精确输出,主要无线特性指标为:频率典型值2.44 GHz,调制方式DSSS,波特率250 kb/s,码元速率2 MChip/s,发射功率典型值4.5 dBm,接收灵敏度-97 dBm。为了提高信号收发能力,模块外接垂直极化全向天线,天线功率增益为3 dBi,天线长度为17 cm。

WSN节点通过仿真器连接计算机,采用TI公

收稿日期:2014-04-22 修回日期:2014-05-15

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAH29B04)

作者简介:张海辉,副教授,博士生导师,主要从事精准农业、服务计算和无线传感器网络研究,E-mail:zhanghh@nwsuaf.edu.cn

司的 SmartRF Studio 软件实现发射端参数控制以及接收端 RSSI 值提取与记录。

1.2 试验环境

在麦田环境中,无线信号传播会受到空气温度和湿度等天气因素、地形地貌、小麦高度和密度,以及节点天线部署高度等影响。为了减小地形、天气对试验结果的干扰,选择连续晴天在平整农田进行试验。

本文以冬小麦作为试验对象,2013年5月中下旬在杨凌示范区揉谷乡西北农林科技大学冬小麦试验基地开展试验,试验时空气温度范围 20~25℃,空气湿度范围 51%~71%,冬小麦处于灌浆和乳熟阶段,长势均匀,植株平均高度 75~80 cm,其茎长度、叶片面积和植株体积基本已达最大,麦穗逐渐饱满。

1.3 试验方法

发射端和接收端固定在距离地面 2 m 的同一高度,且天线竖直放置,以减少天线极性造成的测量误差。发射端放置在固定位置,以发射端为起点沿直线方向每隔 5 m 设置 1 个 RSSI 测试点,共计 34 个测试点,试验方案示意图如图 1 所示。

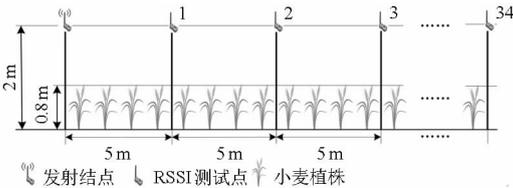


图 1 麦田 2.4 GHz 无线信号传播损耗试验方案示意图

Fig. 1 Experiment methods of 2.4 GHz radio propagation path loss in wheat fields

通过 SmartRF Studio 软件配置发射端无线信号参数并实现发送控制,原始发射功率为 4.5 dBm,经天线增益后达到 7.5 dBm,载波频率为 2.44 GHz。接收端在每个测试点上接收发射端发送的 100 个数据包,记录其 RSSI 平均值,每个测试点重复测试 3 次。

1.4 数据预处理

信道路径损耗 $P_L(d)$ 可由 RSSI 值计算生成,计算公式为

$$P_L(d) = P_t + G_t + G_r - P_r(d) \quad (1)$$

式中 d ——收发节点间的距离, m

$P_L(d)$ ——距离 d 上的信道路径损耗, dB

P_t ——未经天线增益的无线信号发射功率, dBm

G_t ——发射天线增益, dB

G_r ——接收天线增益, dB

$P_r(d)$ ——距离 d 上的接收信号功率, dBm

根据试验装置参数, P_t 取 4.5 dBm, G_t 和 G_r 均为 3 dBi。

将得到的 3 组 RSSI 平均值分别代入式(1)进行数据预处理,得到各测试点所对应的 3 组路径损耗值,从而通过 3 次测量取平均值的方法得到其平均路径损耗,以此作为模型分析的输入数据集。

2 路径损耗建模与分析

基于上述试验,首先分析无线信道路径损耗的变化趋势,然后针对自由空间模型、双射线模型的理论计算值和实测损耗值的差异,分析其产生的原因;并分别应用单折线对数距离模型和改进后的双折线对数距离模型对实测值采用最小二乘法进行拟合回归建模,并对模型拟合精度进行对比分析。

2.1 信道路径损耗变化趋势分析

不同传播距离所对应的信道路径损耗误差棒图如图 2 所示。图中,随着传播距离的增加,信道路径损耗整体呈上升趋势,距离小于 30 m 时,损耗值随着距离增加而急剧增加;距离大于 30 m 后,损耗值增加的速度趋缓。部分测试点上路径损耗出现较大波动,在 30~65 m 之间波动幅度最大。波动可能与无线信号受地表和麦层反射波的影响造成合成波的衰落有关,同时受空气湿度、小麦植株密度等因素影响。

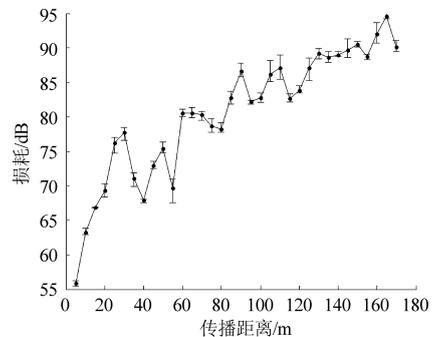


图 2 不同传播距离对应的信道路径损耗误差棒图

Fig. 2 Error bar of path loss on different propagation distances

2.2 基于自由空间模型的路径损耗分析

自由空间传播是指天线周围为无限大真空时,无线信号传播能量既不会被障碍物所吸收,也不会产生反射或散射,当无线信号经过一段路径传播之后,由辐射能量的扩散将导致信号衰减,其路径损耗因子 $n = 2$ ^[17-18]。实际应用中,只要地面上空大气层是各向同性的均匀媒质,无线信号可视作自由空间传播。

自由空间中距发射端 d 处的接收信号功率计算公式^[18]为

$$P_r(d) = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2)$$

路径损耗 $P_L(d)$ 计算公式为

$$P_L(d) = 10 \lg \left(\frac{P_t}{P_r(d)} \right) \quad (3)$$

将式(2)代入式(3)得自由空间路径损耗计算公式为

$$P_L(d) = 20 \lg(4\pi) + 20 \lg d - 20 \lg \lambda - 10 \lg G_t - 10 \lg G_r \quad (4)$$

式中 λ ——无线信号的波长, m

由自由空间模型得到的路径损耗与实测损耗对比结果如图3所示。由图3可见,不同传播距离上模型理论计算值均比实测损耗值小,各距离点上两者差值为 4.246 ~ 19.603 dB。其原因为自由空间模型是一种理论模型,该模型建立在路径损耗只与无线信号频率和传播距离有关的理想条件下,因此该模型不能直接用于麦田无线信号路径损耗分析。

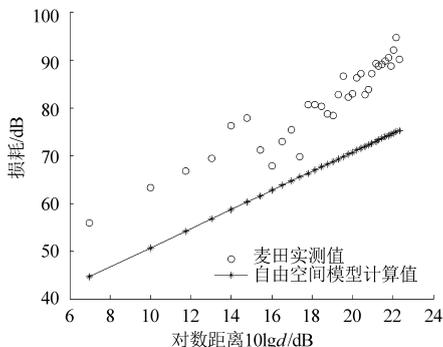


图3 基于自由空间模型的路径损耗理论计算值与实测值对比

Fig. 3 Comparisons of path loss measured by experiments and predicted by the free space model

2.3 基于双射线模型的路径损耗分析

双射线模型考虑直射波和地面反射波对信号传播的影响,无线信号分别经过直射和地面反射到达接收点,由于两者存在路径差,从而产生附加相移,造成合成波的衰减。当传播距离 $d \gg \sqrt{h_t h_r}$, 且反射系数为 -1 时,双射线模型接收功率计算公式^[19]为

$$P_r(d) = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (5)$$

式中 h_t ——发射天线距地面的高度, m

h_r ——接收天线距地面的高度, m

将式(5)代入式(3)得到对应 dB 形式路径损耗计算公式为

$$P_L(d) = 40 \lg d - 20 \lg h_t - 20 \lg h_r - 10 \lg G_t - 10 \lg G_r \quad (6)$$

由双射线模型得到的路径损耗与实测损耗对比结果如图4所示。由图4可知,模型理论计算的路

径损耗值远小于实测值,两者差值为 21.669 ~ 49.558 dB,随着传播距离的增加,理论计算值与实测值之间的差值逐渐减小。虽然双射线模型考虑了地面反射波对信号传播的影响,但在麦田环境下该模型性能尚不如自由空间损耗模型,原因是地面起伏与麦层形成不规则反射,且作物吸收、散射进一步加大反射路径上信号衰减,导致麦田环境不满足模型中反射系数为 -1 的前提条件。

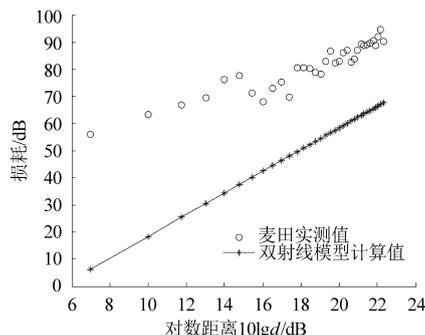


图4 双射线模型路径损耗与实测损耗对比

Fig. 4 Comparisons of path loss measured by experiments and predicted by the two-ray model

2.4 基于单折线对数距离模型的路径损耗回归分析

对数距离路径损耗模型是通过大量试验数据总结得到的一种经验模型,通常可分为单折线和双折线两种类型^[4-5, 14-15]。

基于单折线对数距离模型的路径损耗计算公式^[4-6, 20]为

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10n \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (7)$$

式中 d_0 ——参考传播距离, m

$P_L(d_0)$ ——参考传播距离 d_0 处路径损耗, dB

n ——路径损耗因子

X_σ ——由阴影衰落引起的均值为 0、标准差为 σ 的高斯随机变量, dB

$P_L(d_0)$ 和 n 均与具体应用环境有关,常通过试验数据分析测得。一般参考距离 d_0 取 1 m, 用 P_{L0} 表示参考距离 1 m 时的初始损耗,式(7)简化为

$$P_L(d) = P_{L0} + 10n \lg d + X_\sigma \quad (8)$$

运用最小二乘法对实测损耗进行回归分析,得到基于单折线对数距离模型的路径损耗拟合曲线如图5所示,初始损耗 P_{L0} 、决定系数 R^2 和剩余标准差 σ , 分别为 38.490 dB、0.879、3.242。

由图5可知,麦田路径损耗与传播距离的对数 $10 \lg d$ 基本呈线性关系,决定系数达 0.879,拟合损耗值与实测值差值为 0.054 ~ 8.781 dB,其差值较自由空间模型和双射线模型显著减小;同时,拟合得到损耗因子 ($n = 2.298$) 高于自由空间损耗因子 ($n = 2$),反映了麦田环境多种影响因素导致传播损耗的

增大,与实际相符,进一步表明本模型对麦田复杂环境具有较好的适用性。但从图5可明显发现在14~18 dB范围内偏差较大,其与2.1节中讨论的30~65 m波动较大区域相一致,在该区域应用本模型时路径损耗误差较大。

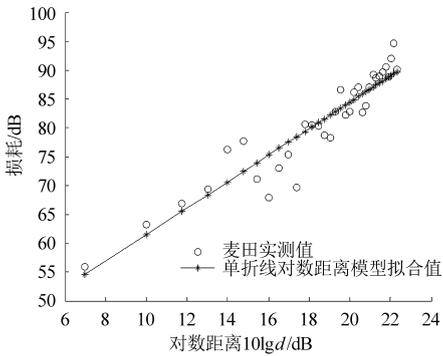


图5 基于单折线对数距离模型的路径损耗回归分析结果

Fig. 5 Regression results based on the one-slope log-distance path loss model and the measured path loss

2.5 基于双折线对数距离模型的路径损耗回归分析

相关研究提出采用带有突变点的连续双折线表示无线电波路径损耗变化规律^[21],突变点之前,信号随距离衰减缓慢,突变点之后,信号随距离快速衰减^[13-16]。为了改善该方法的建模性能,本文采用两条间断的双折线对无线信道路径损耗进行建模。改进后的双折线对数距离模型的路径损耗计算公式为

$$P_L(d) = \begin{cases} P_{L1} + 10n_1 \lg d + X_{\sigma_1} & (d \leq d_b) \\ P_{L2} + 10n_2 \lg d + X_{\sigma_2} & (d > d_b) \end{cases} \quad (9)$$

式中 P_{L1} ——初始路径损耗(突变点前,参考传播距离取1 m), dB

P_{L2} ——初始路径损耗(突变点后,参考传播距离取1 m), dB

n_1 ——突变点前的路径损耗因子

n_2 ——突变点后的路径损耗因子

X_{σ_1} ——突变点前由阴影衰落引起的均值为0、标准差为 σ_1 的高斯随机变量, dB

X_{σ_2} ——突变点后由阴影衰落引起的均值为0、标准差为 σ_2 的高斯随机变量, dB

d_b ——突变点的位置, m

基于式(9)运用最小二乘法对实测损耗进行回归分析的主要思想是通过遍历第2~33个传播距离点,找出使两段折线回归剩余标准差之和最小的距离点,即为两段折线的间断点,进而建立双折线对数距离模型。基于该模型得到的路径损耗拟合曲线如图6所示,相应的回归参数如表1所示。

由图6和表1可知,拟合曲线在30 m前后分为两段,传播距离在0~30 m时,路径损耗因子较小

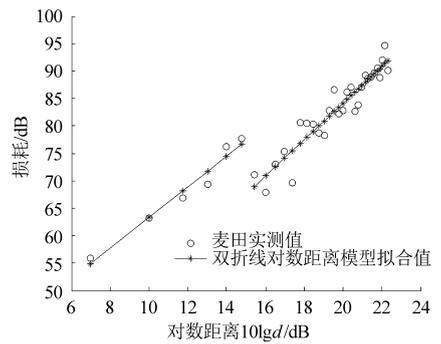


图6 基于双折线对数距离模型的路径损耗回归分析结果

Fig. 6 Regression results based on the two-slope log-distance path loss model and the measured path loss

表1 基于双折线对数距离模型的路径损耗回归参数
Tab. 1 Regression parameters based on the two-slope log-distance path loss model

P_{L1}/dB	P_{L2}/dB	n_1	n_2	d_b/m	R^2	σ_s
35.514	17.612	2.783	3.328	30~35	0.943	2.229

($n_1 = 2.783$), 30 m之后路径损耗因子变大($n_2 = 3.328$),且两段拟合曲线得到的损耗因子均大于自由空间损耗因子($n = 2$);双折线对数距离模型中两段折线的初始损耗均大于单折线对数距离模型的初始损耗,且突变点之后折线的初始损耗比突变点之前小。该模型的拟合损耗值与实测值差值为0.025~5.823 dB;回归决定系数为0.943,高于单折线对数距离模型的0.879;且整体回归剩余标准差为2.229,小于单折线对数距离模型的3.242。双折线对数距离模型中突变点出现的可能原因是:菲涅尔区半径随着传播距离的增加而增大,达到一定传播距离(即突变点位置)后,被麦层或地面遮挡的菲涅尔区面积增大到影响通信质量的临界值,无线信号衰减速率增大,表现为路径损耗因子增大。

3 结论

通过试验得到了麦田环境2 m高度、2.4 GHz无线信号在不同距离下的传播路径损耗,分析了路径损耗变化趋势,并采用了4种建模方法对试验数据进行建模与分析,以此对比4种建模方法在麦田环境下的适用性。

(1)麦田环境中,无线信道损耗随着传播距离的增加呈上升趋势,在30 m以内损耗急剧增加,超过30 m后,损耗增加速度趋于平缓。

(2)采用自由空间模型和双射线反射模型进行路径损耗建模时,其理论计算损耗值均小于实测值。前者损耗值偏差范围为4.246~19.603 dB,其原因是自由空间模型作为理论模型,未考虑麦田传播环

境下无线信号反射、散射、吸收对传播损耗的影响。后者损耗值偏差范围为 21.669 ~ 49.558 dB, 其原因是地面起伏与麦层形成不规则反射, 且作物吸收、散射进一步加大反射路径上信号衰减, 导致麦田环境不满足模型中反射系数为 -1 的前提条件。因此, 两者均无法直接用于麦田无线信号路径损耗分析。

(3) 采用单折线对数距离模型和改进后的双折线对数距离模型进行路径损耗拟合回归建模, 前者所得损耗拟合值与实测值差值为 0.054 ~ 8.781 dB, 回归决定系数为 0.879, 回归剩余标准差为 3.242; 后者所得损耗拟合值与实测值差值为 0.025 ~

5.823 dB, 回归决定系数为 0.943, 整体回归剩余标准差为 2.229。因此, 改进后的双折线对数距离模型较单折线对数距离模型具有更好的建模效果。

(4) 针对麦田复杂环境的 2.4 GHz 无线通信, 采用带有间断点的双折线对数距离模型进行路径损耗建模具有良好的适用性。由于地表起伏程度影响反射的规则性, 间接影响特定接收位置的反射信号强度; 且不同作物生长期、作物高度以及作物密度等因素直接影响反射路径上无线信号的传播, 后期可基于现有模型, 综合考虑以上因素影响研究进一步提高模型精度的方法。

参 考 文 献

- 1 Akyildiz I F, Su W L, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on sensor networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(8): 102 - 114.
- 2 Sudha M N, Valarmathi M L, Babu A S. Energy efficient data transmission in automatic irrigation system using wireless sensor networks[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 78(2): 215 - 221.
- 3 乔晓军, 张馨, 王成, 等. 无线传感器网络在农业中的应用[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(增刊2): 232 - 234.
Qiao Xiaojun, Zhang Xin, Wang Cheng, et al. Application of the wireless sensor networks in agriculture[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(Supp. 2): 232 - 234. (in Chinese)
- 4 Padilla P, Camacho J, Macia-Fernandez G, et al. On the influence of the propagation channel in the performance of energy-efficient geographic routing algorithms for wireless sensor networks (WSN) [J]. *Wireless Personal Communications*, 2013, 70(1): 15 - 38.
- 5 Andersen J B, Rappaport T S, Yoshida S. Propagation measurements and models for wireless communications channels[J]. *IEEE, Communications Magazine*, 1995, 33(1): 42 - 49.
- 6 李偲钰, 高红菊, 姜建钊. 小麦田中天线高度对 2.4 GHz 无线信道传播特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(增刊2): 184 - 189.
Li Siyu, Gao Hongju, Jiang Jianzhao. Impact of antenna height on propagation characteristics of 2.4 GHz wireless channel in wheat fields[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(Supp. 2): 184 - 189. (in Chinese)
- 7 岳学军, 王叶夫, 洪添胜, 等. 基于信道测试的橘园 WSN 网络部署试验[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(5): 213 - 218.
Yue Xuejun, Wang Yefu, Hong Tiansheng, et al. WSN layout experiment based on radio frequency propagation tests in citrus orchard[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(5): 213 - 218. (in Chinese)
- 8 Zhang W, He Y, Liu F, et al. Research on WSN channel fading model and experimental analysis in orchard environment[C]// *Computer and Computing Technologies in Agriculture V*. Berlin Heidelberg: Springer, 2012: 326 - 333.
- 9 Li Z, Wang N, Hong T. Radio path-loss modeling for a 2.4 GHz in-field wireless sensor network[J]. *Transactions of the ASABE*, 2010, 53(2): 615 - 624.
- 10 郭秀明, 赵春江, 杨信廷, 等. 苹果园中 2.4 GHz 无线信道在不同高度的传播特性[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 195 - 200.
Guo Xiuming, Zhao Chunjiang, Yang Xinting, et al. Propagation characteristics of 2.4 GHz wireless channel at different heights in apple orchard[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(12): 195 - 200. (in Chinese)
- 11 李小敏, 臧英, 罗锡文, 等. 兰花大棚内无线传感器网络 433 MHz 信道传播特性试验[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(13): 182 - 189.
Li Xiaomin, Zang Ying, Luo Xiwen, et al. Experiment of propagation characteristics based on 433 MHz channel of WSN in orchid greenhouse[J]. *Transactions of the CSAE*, 2013, 29(13): 182 - 189. (in Chinese)
- 12 刘卉, 汪懋华, 孟志军, 等. 农田环境中短程无线电传播性能试验[J]. *江苏大学学报: 自然科学版*, 2010, 31(1): 1 - 5.
Liu Hui, Wang Maohua, Meng Zhijun, et al. Performance assessment of short-range radio propagation in crop fields[J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2010, 31(1): 1 - 5. (in Chinese)
- 13 Yoo J H, Lee J H, Cho S H. A propagation model in 2.4 GHz ISM band using IEEE 802.15.4 systems[C]// *2011 17th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*. IEEE, 2011: 339 - 343.
- 14 Martinez-Sala A, Molina-Garcia-Pardo J M, Egea-Lopez E, et al. An accurate radio channel model for wireless sensor networks simulation[J]. *Journal of Communications and Networks*, 2005, 7(4): 401 - 407.
- 15 王代华, 宋林丽, 孔祥善, 等. 草原环境地表无线信道的路径损耗建模[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(6): 1406 - 1413.
Wang Daihua, Song Linli, Kong Xiangshan, et al. Path loss modeling for near-ground wireless channel in grassland environment

- [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(6): 1406–1413. (in Chinese)
- 16 张诚, 罗炬锋, 田文强, 等. 城市环境下无线传感器网络信道测量与分析[J]. 计算机工程, 2013, 39(5): 28–33, 41. Zhang Cheng, Luo Jufeng, Tian Wenqiang, et al. Measurement and analysis of wireless sensor network channel in urban environment[J]. Computer Engineering, 2013, 39(5): 28–33, 41. (in Chinese)
- 17 宋保业, 田国会, 周风余. 智能空间中的环境自适应 RSSI 定位[J]. 高技术通讯, 2012, 22(10): 1083–1089. Song Baoye, Tian Guohui, Zhou Fengyu. Environmental-adaptive RSSI-based localization in intelligent space[J]. Chinese High Technology Letters, 2012, 22(10): 1083–1089. (in Chinese)
- 18 Moravek P, Komosny D, Simek M, et al. Investigation of radio channel uncertainty in distance estimation in wireless sensor networks[J]. Telecommunication Systems, 2013, 52(3): 1549–1558.
- 19 何嘉, 蒋挺. 近水面 2.4 GHz 信号传播损耗模型的校正研究[J]. 无线电工程, 2012, 42(12): 23–25. He Jia, Jiang Ting. Determination of empirical formula for 2.4 GHz signal propagation path loss model in overwater environment [J]. Radio Engineering, 2012, 42(12): 23–25. (in Chinese)
- 20 Chong P K, Kim D. Surface-level path loss modeling for sensor networks in flat and irregular terrain[J]. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2013, 9(2): 1–32.
- 21 盛新文. 移动通信无线电波传播模型研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2008.
- 22 李萍萍, 彭玉礼, 王纪章. 温室青椒中 2.4 GHz 无线电波传播特性研究[J]. 农业机械学报, 2014, 43(2): 251–255. Li Pingping, Peng Yuli, Wang Jizhang. Propagation characteristics of 2.4 GHz radio wave in greenhouse of green peppers[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 43(2): 251–255. (in Chinese)

Path Loss Modeling for 2.4 GHz Wireless Channel in Wheat Fields

Zhang Haihui Zhang Jiaming

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: As path loss modeling for wireless channel is an essential issue for applications of wireless sensor network in wheat fields, 4 kinds of path loss modeling methods were studied and their adaptability was analyzed. Firstly, path loss of 2.4 GHz wireless signals was measured by wireless sensor modules in wheat fields, and the trend of path loss was analyzed. Then the measured data were compared with the path loss predicted by the free space model and the two-ray model respectively. A modified two-slope log-distance model was proposed and then the one-slope log-distance model and the modified two-slope log-distance model were applied to perform regressions for the measured data of path loss based on the least square method respectively. The results show that there were big differences between the path loss predicted by the first two models and the measured data, and thus the first two models could not be used to predict path loss directly in the environment. The R^2 values of the latter two models were 0.879 and 0.943 and the standard error of the estimate were 3.242 and 2.229 respectively, which indicated both of the two models were applicable for path loss modeling in wheat fields and the modified two-slope log-distance model had a better accuracy.

Key words: Wheat fields Wireless sensor network 2.4 GHz wireless channel Path loss model Log-distance model