

文章编号:1671-9352(2008)11-0044-04

# 基于室内办公环境的 WSN 信道衰落模型的分析

张先毅<sup>1,2</sup>, 王英龙<sup>1,2</sup>, 郭强<sup>2</sup>, 赵洪磊<sup>3</sup>

(1. 山东师范大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250014; 2. 山东省计算中心, 山东 济南 250014;  
3. 山东轻工业学院信息科学与技术学院, 山东 济南 250353)

**摘要:**针对室内环境下无线传感器网络信道衰落的不确定性,提出一个基于室内环境的信道衰落模型。根据无线信道衰落模型的理论研究和无线传感器网络信道衰落测试系统在室、内外实验数据的分析,得到信道衰落模型的各个参数,确定无线传感器网络室内信道衰落模型。实验证明此衰落模型在实际网络的节点部署和节点定位中的作用优于其他无线信道衰落模型。

**关键词:**无线传感器网络;信道衰落模型;接收信号强度;室内外测试

**中图分类号:**TP393 **文献标志码:**A

## Research on the indoors channel fading model in WSN

ZHANG Xian-yi<sup>1,2</sup>, WANG Ying-long<sup>1,2</sup>, GUO Qiang<sup>2</sup>, ZHAO Hong-lei<sup>3</sup>

(1. Department of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, Shandong, China;  
2. Shandong Computing Science Center, Jinan 250014, Shandong, China;  
3. Department of Information Science and Technology, Shandong Institute of Light Industry, Jinan 250353, Shandong, China)

**Abstract:** For the uncertainty of wireless sensor networks in an indoor physical environment, a model about channel fading was proposed. According to the theoretical approach in the wireless channel fading model and the analysis of the indoors and outdoors experimental data in the channel fading model coming from the testing system in wireless sensor networks, the various parameters of the channel fading model, were obtained and the indoor channel fading model in wireless sensor networks was confirmed. A practical experiment shows that this model is better than the rest of the wireless channel fading models in node location and deployment.

**Key words:** wireless sensor networks; channel fading model; the received signal strength indication (RSSI); the indoor testing

## 0 引言

无线传感器网络<sup>[1]</sup>是一种具有广泛应用前景的全新的技术,现在大部分研究集中在传感器网络的路由层和 MAC 层,而忽略其物理信道特征<sup>[2]</sup>。因此关注其物理信道特性,特别是信道衰落模型对增强网络的连通性、增加网络生存周期有指导意义。理

论上对各种无线网络(GPS、UWB 和蓝牙)物理信道的研究都是从无线信道模型<sup>[3]</sup>进行的,无线传感器网络的物理信道模型的研究也是由此开始的。目前较为典型的无线网络室内信号衰落模型有:Devasirvatham 模型<sup>[4]</sup>、马特内-马恩纳(Keenan-Motley)模型<sup>[5]</sup>等。一方面这些模型不适合无线传感器网络节点覆盖范围小、数据随周围环境变化明显和电量不充足的物理特性,另一方面这些模型在无线传感器

收稿日期:2008-09-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60802030);山东省科技攻关资助项目(2007GG2QT01007、2005GG4201017);山东省博士基金资助项目(2007BS01003)

作者简介:张先毅(1981-),男,硕士研究生,主要研究方向为无线通信及嵌入式系统工程。Email: zhangxianyi@keylab.net

王英龙(1965-),男,研究员,博士生导师,主要研究领域为计算机网络,信息安全。Email: wangyl@keylab.net

郭强(1975-),男,副研究员,博士后,主要从事移动通信、下一代网络、无线通信及嵌入式系统工程研究。Email: guoq@keylab.net

赵洪磊(1981-),男,硕士研究生,主要研究方向为无线通信及嵌入式系统工程。Email: zhaohl@keylab.net

网络实际环境的节点部署和节点定位中偏差明显,网络覆盖率低,达不到工程应用的实际需要。因此本文采用自行研发的无线传感器网络测试系统结合无线传感器网络在室内、外环境下物理信道的特性,选择适当的场景对衰落参数进行实际测算,最终确定室内办公环境下无线传感器网络的衰落模型。

## 1 无线网络信道模型及无线传感器网络室内信道模型的分析

通过无线信道传输的信号波形会受到多种物理信号的影响,从而使无线接收端接收的信号出现失真,最终导致整个网络数据出错,影响通信。因此分析无线网络信道模型,特别是无线传感器网络的信道模型对于提高无线传感器网络的通信质量,保证网络中数据传输畅通具有重要的意义。Friis 自由空间方程<sup>[3]</sup>

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} = P_r(d_0) \cdot (d_0/d)^2 \quad (1)$$

表示接收节点距发射节点距离  $d \geq d_0$  处天线的接收功率,其中  $P_r(d)$ 、 $P_t$  为收发功率,是收发节点之间的函数; $G_t$ 、 $G_r$  为收发天线的增益; $d$  为收发节点之间的距离; $d_0$  称为远场距离;系统损耗  $L$  为与传播无关的系统损耗因子( $L \geq 1$ ), $L = 1$  表示系统硬件中无损耗。无线传感器网络室内信道模型与传统的无线通信信道模型是不同的,在建筑物内无线传感器网络的通信传播受到一些特定因素(如:建筑布局、建筑材料、建筑类型等)的严重影响,因此不能将自由空间信道模型简单的应用于无线传感器网络中,根据公式(1),对于非自由空间这一模型<sup>[6]</sup>具有一般性:

$$P_r(d) = P_r(d_0) \cdot (d_0/d)^\gamma, \quad (2)$$

式中, $\gamma$  是信道衰落参数,其取值范围为 2.0~5.0。2.0 对应自由空间信道损失,5.0 对应建筑物阻挡的传播阴影区。经研究表明,室内的无线传感器网络信道模型服从距离功率定理<sup>[7]</sup>,即:

$$P_r(d) = P_r(d_0) + 10\gamma \log_{10}(d/d_0) + X_\sigma, \quad (3)$$

$X_\sigma$  表示零均值,标准方差为  $\sigma^2$  的高斯正态随机变量,单位是 dB。将收发天线增益、发射功率、远场距离、系统损耗因子等条件代入公式(3)中可得

$$P_r(d) = 32.44 + 20\log_{10}^f + 10\gamma \log_{10}^d + X_\sigma. \quad (4)$$

自无线传感器网络出现后许多研究人员都致力于无线传感器网络的室内环境信道模型的分析研究, $\gamma$ 、 $X_\sigma$  2 个参数的研究一直是科研人员研究的重

点,它们也是本文研究的重点。

## 2 无线传感器网络室内环境的信道模型和参数的分析

### 2.1 无线传感器网络室内信道模型的测试实验

实验使用的是自行研发的无线传感器网络的测试系统,具有监视发射节点和接收节点运行状况、测试节点接收信号强度、抓取数据包信息、数字智能信息化处理等功能。测试工具包括上位机、通信连接设备及与上位机之间进行通信的无线传感器网络节点(在此使用的是 CC2430 收发芯片)<sup>[8]</sup>等。在测试过程中通过上位机运行无线传感器网络测试系统,收集接收节点与发射节点之间的接收信号强度(RSSI)<sup>[9]</sup>。测试过程中采集的数据包信息如图 1 所示。

Packet	Time (ms)	Length	Frame control field	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	RSSI (dBm)	FCS
12	+139709	10	Type: Sec Pnd Acr cck Intra FAN	0x04	0x1347	0x7FFF	-77	OK
13	+1398397	10	Type: Sec Pnd Acr cck Intra FAN	0x05	0x1347	0x7FFF	-76	OK
14	+1399671	10	Type: Sec Pnd Acr cck Intra FAN	0x05	0x1347	0x7FFF	-76	OK
15	+1399709	10	Type: Sec Pnd Acr cck Intra FAN	0x04	0x1347	0x7FFF	-76	OK
16	+13998397	10	Type: Sec Pnd Acr cck Intra FAN	0x05	0x1347	0x7FFF	-76	OK

图 1 无线传感器网络测试系统在某处接收的数据包信息

Fig.1 The information of data packet in the wireless sensor networks testing system

### 2.2 信道衰落参数 $\gamma$ 的确定

选择适当的室外环境,按照系统要求设置参数,调试无线传感器网络测试系统,同时将传感器芯片 CC2430 的发射功率调整为 2 450 MHz,利用 100 个节点做连续的测试,从数据包中提取数据(RSSI),再将得到的数据利用公式

$$RSSI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RSSI_i \quad (5)$$

进行优化。这里给出整理后的部分数据如表 1 所示。将所得信道衰落数据经 Matlab<sup>[10]</sup>处理后得到图像如图 2 所示。由图 2 分析可知:无线传感器网络的信道衰落数据是从 -10~-20 dB 的区间开始的;在 0~8 m 的区域内,数据集中在 -10~-65 dB 范围内;在 8~35 m 的范围内,数据在 -65~-75 dB 的区域内上下波动;自 35~70 m 的范围里,数据基本集中在 -75~-85 dB 的范围内变化。根据公式(4)进行参数的设置: $\gamma = (2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0)$ 取不同情况下的值,在频率  $f = 2.45$  GHz、室外环境的零均值  $X_\sigma = 0$ ,用 matlab 处理得到其图像如图 3 所示。

表 1 无线传感器网络室外信道衰落数据

Table 1 The data of the outdoor channel fading in wireless sensor network

距离/m	按照测试距离均匀分布的衰落数据(为负)									
0~2	11	25	29	35	37	41	36	36	43	54
2~4	52	53	52	53	53	51	53	51	54	55
4~10	54	58	60	62	62	66	66	69	70	72
10~20	66	70	74	68	78	76	76	79	67	78
20~30	70	79	76	75	74	74	73	74	83	83
30~40	72	74	78	72	70	77	84	72	76	80
40~50	76	74	74	82	80	82	78	78	74	76
50~60	87	76	78	72	80	86	78	78	83	83
60~70	82	81	76	87	79	82	81	80	79	78

注:数据均是在常温、干燥、微风条件下得到

表 2 无线传感器网络的室内信道衰落数据

Table 2 The data of the indoor channel fading in wireless sensor network

距离/m	按照测试距离均匀分布的衰落数据(为负)									
0~2	10	23	27	33	37	37	43	39	41	44
2~4	43	45	43	48	45	52	47	51	55	53
4~10	54	51	55	61	69	53	71	66	64	66
10~20	69	64	71	75	64	66	60	68	67	64
20~30	66	66	66	64	62	68	68	75	85	77
30~40	78	68	68	72	66	68	70	75	78	72
40~50	78	79	81	81	82	83	83	83	83	81
50~60	80	81	81	83	85	83	84	83	85	84
60~70	85	84	86	85	85	84	85	84	85	85

注:数据均是在常温、干燥、微风条件下得到

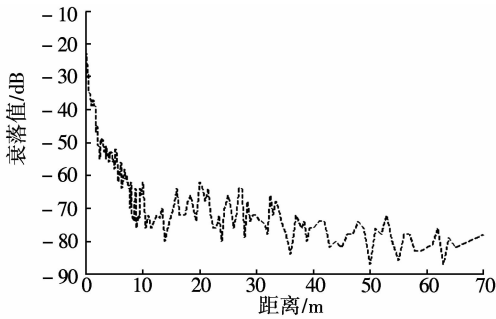


图 2 室外无线传感器网络的衰落图像

Fig.2 The outdoor channel fading image of the wireless sensor networks

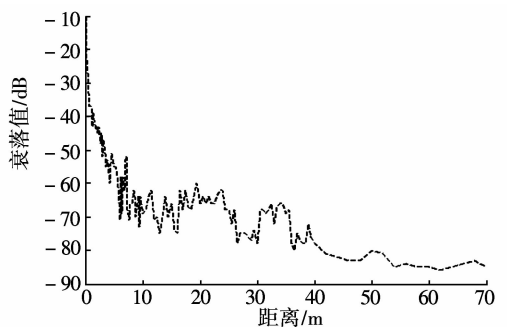


图 4 室内无线传感器网络的衰落图像

Fig.4 The indoor channel fading image of the wireless sensor networks

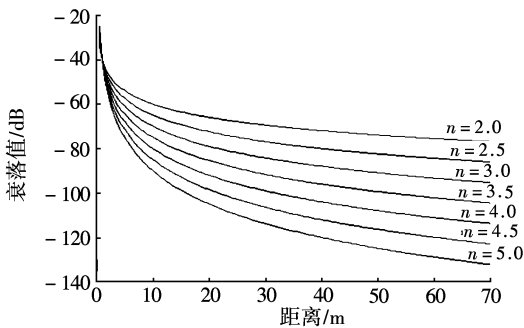


图 3 无线传感器网络信道模型的衰落图像

Fig.3 The channel fading model image of the wireless sensor networks

由图 3 分析可得在从 0~10 m 范围内信道衰落数据变化明显,在 10~70 m 内曲线的数据变化相对缓慢,并且  $\gamma$  值越大,单位距离内的信道衰落数据变化越剧烈。由图 2 和图 3 的比较可以得出在这一条件下,无线传感器网络的信道衰落参数  $\gamma$  是介于 2.5~3.0 间的一个值。取  $\gamma = 2.5 \sim 3.0$  之间的值分别和测试的数据相比较,确定在此环境下  $\gamma = 2.7$ 。

### 2.3 信道衰落零均值 $X_\sigma$ 的确定

在室内条件下,按照同样的要求设置系统参数,进行连续的测试,接收信道衰落数据 RSSI,利用公式(5)对 RSSI 进行优化。在这里本文也给出整理后的部分数据,如表 2 所示。将所得的信道衰落数据经 Matlab 处理后得到图像如图 4 所示。

根据公式(4)设置其中的  $\gamma = 2.7$ ,得

$$P_r(d) = 40.22 + 27\log_{10}^d + X_\sigma \quad (6)$$

将不同收发距离的信道衰落数据和按照室内环境下测试信道衰落数据进行比较,衰落数据利用公式

$$X_\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{室内均值} - \text{信道模型值}) \quad (7)$$

进行修正得到  $X_\sigma = -3.64$ 。确定无线传感器网络室内信道模型为:

$$P_r(d) = 40.22 + 27 \times \log_{10}^d - 3.64 \quad (8)$$

### 2.4 无线传感器网络的信道衰落模型的实验验证

选定一个室内环境,进行无线传感器网络信道模型的实测,测试室内办公环境下无线传感器网络信道模型的准确性。在这里选取典型的无线网络室内信号模型作为参照。分别将室内办公环境下无线传感器网络的信道模型、Devasirvatham 模型:

$$(Pl(d, f) = Pl_{\text{IS}}(d, f) + a(a = 0.47) \quad (9)$$

和 Keenan-Motley 模型:

$$(Pl = Lr + F(k) + P \times F(p) + W + Ld \quad (10)$$

的数据和实际环境的测试数据进行比较,结果如图 5 所示。在此设置无线电波穿透楼层数  $k$ 、楼层衰落因子  $F$ 、穿透墙壁数  $P$ 、墙壁衰落因子  $W$  和多径损耗因子  $Ld$  对室内信道衰落产生的影响为 15 dB。

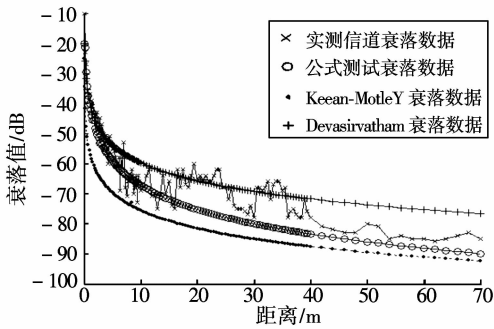


图5 4种情况下信道衰落数据的比较

Fig.5 The comparison of channel fading datum in four situations

在保证网络覆盖率和网络数据传输的情况下,从曲线的形状和单位距离内衰落数据分布情况都表明室内办公环境下无线传感器网络的信道模型和按照实际环境测试的信道衰落模型相比是误差最小的,因此本文做出的室内办公环境下的无线传感器网络信道模型在室内环境是可行的。

### 3 结束语

本文以无线传感器网络信道模型为研究重点,通过无线传感器网络测试系统对室、内外环境下的无线传感器网络的信道模型和参数进行测试,得到一个以办公环境为测试现场的室内无线传感器网络信道模型,并通过多模型比较测试实验对模型进行了验证。

本文的研究过程具有一般性,即可依据类似的方法得出不同类型的无线传感器网络在不同环境下的信道模型,该模型可为无线传感器网络的底层应用提供一定的理论依据,并可为上层协议的分析及设计提供有价值的参考。

### 参考文献:

- [1] POTTIE G J, KAISER W J. Wireless integrated network sensors[J]. Communications of The ACM, 2000, 43(5): 51-58.
- [2] AKKAYA Kemal, YOUNIS Mohamed. A survey on routing protocols for wireless sensor networks[J]. Elsevier Ad Hoc Network Journal, 2005, 3(3):325-349.
- [3] KARL Holger, WILLING Andreas. 无线传感器网络协议和体系结构[M]. 邱天爽,唐洪,李婷,等译.北京:电子工业出版社,2007.
- [4] 侯玉华. PHS和WLAN共用室内覆盖系统实现室内覆盖[J].中兴通讯技术,2008,7(1),2561-2565.
- [5] SAMPATH H, TALWAR S. A fourth-generation MIMO-OFDM broadband wireless system: design, performance, and field trial results[J]. Communications Magazine, IEEE, 2002, 40(9):143-149.
- [6] RAPPAPORT T S. Wireless communications-principles and practice[J]. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002, 40(3):128-176
- [7] THEODORE S Rappaport. Wireless communications: principles and practice[M]. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1996.
- [8] Chipcon Inc. CC2430.2.4GHz IEEE 802.15.4/ZigBee-ready RF transceiver datasheet: USA, 20030158320 [S/OL]. (2003-05-12) [2008-10-21] <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2430.pdf>
- [9] NI L M, LIU Yunhao, LAU Y C, et al. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID[C]//Proceedings of IEEE Press Communication. Piscataway, USA: IEEE, 2004: 701-710.
- [10] HONG Dongchang, GUO Weizhi. Matlab image processing and application[M]. Beijing: Defense Industry Press, 2007.

(编辑:孙培芹)