

超宽带室内多径传播成簇特性

杨牛扣¹ 周杰²

摘要

分析了超宽带室内信号的传播规律,即多径分量成簇到达.在实测数据的基础上,研究了信道模型参数的一般规律:簇的到达率 Λ 应该远小于径的到达率 λ ,簇的衰减系数 Γ 应该大于径的衰减系数 γ ,并修正了 IEEE 802.15.3a 信道模型 CM2 环境下的模型参数.仿真结果表明:修正参数后的 CM2 信道模型优于原模型,更能体现出多径分量成簇到达特性,与实测数据相比较,能更好地拟合实测数据.

关键词

传播特性;信道测量;模型参数;信道模型

中图分类号 TN911

文献标志码 A

收稿日期 2011-05-03

作者简介

杨牛扣,男,硕士生,研究方向为超宽带无线通信技术. niukou_yang@sohu.com

周杰(通信作者),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为气象通信技术及 UWB 超宽带通信技术. zhoujie45@hotmail.com

1 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京,210044

2 南京信息工程大学 电子信息与工程学院,南京,210044

0 引言

超宽带(UWB)技术是目前无线通信领域的研究热点之一^[1-2].一般将 UWB 信号定义为带宽超过 500 MHz,或相对带宽(即带宽除以中心频率)大于 0.2 的信号.因为信号频谱极宽,UWB 系统可以在较低信噪比条件下,实现高达 1 Gbps 的无线传输速率.超宽带无线通信技术具有系统结构简单、传输速率高、功耗低、抗干扰能力强以及共享频谱等优点,已经成为短距离高速无线通信主要备选方案之一^[3].同时,UWB 系统可采用与其他通信系统共享方式使用频谱,无需独占特定频段.通过采用极低发射功率,UWB 系统可以有效地避免对其他通信系统造成的干扰.

无线信道是无线通信系统的重要组成部分,由于其非线性、时变性等复杂特性,长期以来一直是无线通信领域的研究热点.在通信技术发展到超宽带通信系统以后,无线传播出现了许多与以往窄带或宽带系统不同的特点,因而研究 UWB 信道特性,建立信道模型,对于 UWB 通信技术至关重要.

本文首先分析了 UWB 脉冲信号的传播规律,其次分析了具有簇特性的室内信道模型,研究了信道模型参数的一般规律,最后修正了 IEEE 802.15.3a 信道模型 CM2 环境下的模型参数.该修正后的信道模型优于原模型,更能体现出多径分量成簇到达特性.

1 UWB 脉冲传播特性

UWB 无线通信系统使用时域持续时间极短的脉冲传送数据,其频域可以横跨几个 GHz,脉冲经过不同的路径到达接收端.UWB 室内信道传播的主要特点是:由于发射机和接收机之间存在多条传播路径,发射信号传播之后会产生多个经过时延和衰减的信号.如果发送的脉冲为 $p(t)$,则接收信号 $r(t)$ 可以表示为

$$r(t) \approx \sum_n a_n p(t - \tau_n), \quad (1)$$

其中 a_n 和 τ_n 分别是多径的幅度和时延.这是一种简单的模型,没有考虑到实际环境的复杂性.当发送信号 $p(t)$ 经过不同的路径到达接收端时,其经历的波形失真是不一样的,有的是经过物体多次反射,有的信号则是经过穿透一些障碍物到达接收端,所以 $p(t)$ 经过信道传输,以不同的路径到达接收端,其接收信号 $r(t)$ 应为

$$r(t) \approx \sum_n a_n p_n(t - \tau_n), \quad (2)$$

其中 a_n 和 τ_n 分别是多径的幅度和时延, p_n 则是不同路径的衰减. 这样的模型更能体现实际的信道特性.

目前普遍认可的 UWB 室内传输特性描述的较好的是基于分簇方式的 S-V 模型^[4]. S-V 模型描述如下:多径信号不是按固定速率均匀到达接收机的,而是以簇的形式到达,簇和簇内多径的到达时间服从泊松随机过程分布;先后到达的多径信号增益统计独立,多径信号的平均功率随簇和簇内多径呈双指数衰减,其幅度呈瑞利分布,相位在 $[0, 2\pi]$ 内均匀分布.

文献[5]在一个具有钢架结构和干墙为主的建筑物内使用时域测量技术测量了室内无线信道. 图 1 是在 NLOS(非视距)环境下接收到的多径分量,可见明显成簇分布,每簇内有大量的多径成分.

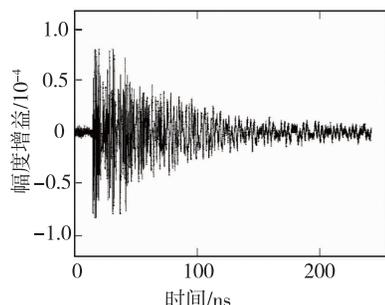


图 1 NLOS 环境实测信道冲击响应
Fig. 1 Measured channel impulse response in NLOS environment

2 UWB 室内信道模型

基于多径分量成簇到达现象,通常,来自同一个脉冲的多径分量以簇的形式到达接收机. 簇的到达时间被模拟为一个速率为 Λ 的泊松到达过程:

$$p(T_n | T_{(n-1)}) = \Lambda e^{-\Lambda(T_n - T_{(n-1)})}, \quad (3)$$

其中 T_n 和 $T_{(n-1)}$ 分别为第 n 簇和 $n-1$ 簇的到达时间,第 1 簇的到达时间设为 0.

在每一簇内,大量相继的多径分量到达时间也服从速率为 λ 的泊松过程:

$$p(\tau_{nk} | \tau_{(n-1)k}) = \lambda e^{-\lambda(\tau_{nk} - \tau_{(n-1)k})}, \quad (4)$$

其中 τ_{nk} 和 $\tau_{(n-1)k}$ 分别为第 k 簇内第 n 和 $n-1$ 个多径分量的到达时间,每簇第 1 个多径分量的到达时间设为 0.

一个簇内应该有大量的多径分量,即簇的到达率 Λ 应该远小于径的到达率 λ . 文献[4,6-7]在不同的环境下实验,分别给出了 $1/\Lambda$ 和 $1/\lambda$ 的实测数据,如表 1 所示. 以上文献中给出的数值 $1/\Lambda$ 和 $1/\lambda$ 有很大的差别,可能有几个主要原因:建筑物的结构和材料各不相同;所用的设备,脉冲等不同;处理实验数据时所用的算法不一样. 但是有一个共同的特点, $1/\Lambda$ 远大于 $1/\lambda$, 即簇到达率 Λ 远小于径到达率 λ .

基于多径分量成簇到达现象,多径的功率服从双指数衰减规律:

$$\overline{\beta_{kl}^2} = \overline{\beta^2(0,0)} e^{-T_n/\Gamma} e^{-\tau_{nk}/\gamma}, \quad (5)$$

其中 $\overline{\beta^2(0,0)}$ 是第 1 簇第 1 条路径的平均能量, T_n 是第 n 簇的到达时间, τ_{nk} 是相对于第 n 簇的第 k 条多径的到达时间, Γ 和 γ 分别为簇和多径的衰减系数. 文献[4,6-7]分别给出了实测数值.

表 1 实测信道模型参数

Table 1 Values of channel model parameters

方法	Γ	γ	$\frac{1}{\Lambda}/\text{ns}$	$\frac{1}{\lambda}/\text{ns}$
文献[4]	27.9	84.1	45.5	2.3
文献[6]	33.6	28.6	16.8	5.1
文献[6]	78.0	82.2	17.3	6.6
文献[7]	60	20	300	5.0

因为每个簇内包含大量的多径,所以理论上簇的衰减应该比径的衰减缓慢,即簇的衰减系数 Γ 应该大于径的衰减系数 γ .

相对于传统的无线信道模型,UWB 的信道产生新的特征. 在每个可分辨的延迟时间内,只有极少的多径成分重叠,因此中心极限定理不再适用,幅度衰落统计不再表现为瑞利衰落特征. 因此 IEEE 802. 15. 3a 工作组建议的信道模型利用 Log-normal 分布而不是瑞利分布来描述多径增益幅度,相位是等概率的取 0 或 π .

IEEE 802. 15. 3a 信道模型^[5]的离散时间信道冲击响应:

$$h_i(t) = X_i \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l}^i \delta(t - T_l^i - \tau_{k,l}^i), \quad (6)$$

其中, $\alpha_{k,l}^i$ 是多径增益系数, T_l^i 是第 l 簇的延迟时间, $\tau_{k,l}^i$ 是第 k 条多径分量相对于第 l 簇到达时间的延迟, X_i 表示阴影效应的对数正态分布, i 指第 i 次实现.

表 2 IEEE 802. 15. 3a 信道模型参数

Table 2 IEEE 802. 15. 3a channel model parameters

模型参数	$\Lambda/(\text{ns}^{-1})$	$\lambda/(\text{ns}^{-1})$	Γ	γ
CM1	0.0233	2.5	7.1	4.3
CM2	0.4	0.5	5.5	6.7
CM3	0.0667	2.1	14.00	7.9
CM4	0.0667	2.1	24.00	12.0

基于发射机和接收机的平均距离和是否 LOS (视距)环境,IEEE 802. 15. 3a 给出了 4 种不同的实测信道:CM1,LOS(0~4 m);CM2,NLOS(0~4 m);CM3,NLOS(4~10 m);CM4,NLOS(4~10 m). CM4 代表了极端的 NLOS 多径信道环境.

3 修正 CM2 信道模型参数

以上 4 种信道模型中,CM1,CM3 和 CM4 的信道参数都能很好地符合理论研究,CM2 模型信道参数则不能符合实验数据,也与理论不符. 具体地说就是多径成簇到达的现象,理论上要求簇的到达率 Λ 应该远小于径的到达率 λ ,簇的衰减系数 Γ 应该大于径的衰减系数 γ . 表 1 中的实验数据很好地验证了这一特点. 根据文献[4-7],CM2 信道模型参数如表 3 所示

表 3 CM2 信道模型参数与修正

Table 3 Original and modified channel model parameter values

模型参数	$\Lambda/(\text{ns}^{-1})$	$\lambda/(\text{ns}^{-1})$	Γ	γ
CM2	0.4	0.5	5.5	6.7
修正 CM2	0.03	2.3	9.9	5.6

图 2 是原参数与修正后参数概率密度函数分布. 其中实线是原来 CM2 信道参数簇到达率 Λ (0.4) 和径到达率 λ (0.5) 的概率密度分布,在相同的时间内,一个簇内只会有一到两个多径的到达,与前面所述的一个簇内有大量的多径到达显然不符合;虚线是修正后的 CM2 信道参数簇到达率 Λ (0.03) 和径到达率 λ (2.3) 的概率密度分布,可以看出在相同的时间内,一个簇内将会有大量的多径到达.

4 仿真分析

图 3—6 是在 Matlab R2008a 环境下的仿真结果. 图 3 是 CM2 信道冲击响应,图 4 是修正参数后 CM2 信道冲击响应,图 5 是 CM2 信道 PDP,图 6 是

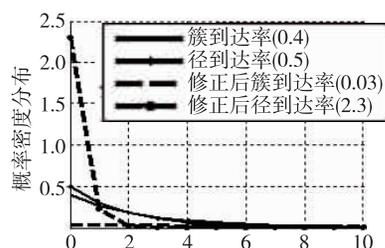


图 2 原参数与修正后参数概率密度函数分布

Fig. 2 Probability density distribution of original and modified parameters

修正参数后 CM2 信道 PDP. 图 3、图 4 与实测图 1 相比,修改参数后的信道冲击响应更加接近实测数据. 由图 5 可以看出,明显地分为 3 簇,第 1 簇的第 1 径的功率最大. 图 6 则分为多簇,簇与簇之间不再明显区分,前面先到达的多径不是最强的径,后面到达的才是最强的多径,文献[4-5,7]信道测量实验中,也有过相关描述. 在 CM2 环境下,最先到达的多径不是最强的,后面到达的才是最强的多径,故图 6 比图 5 更符合实测数据和理论分析.

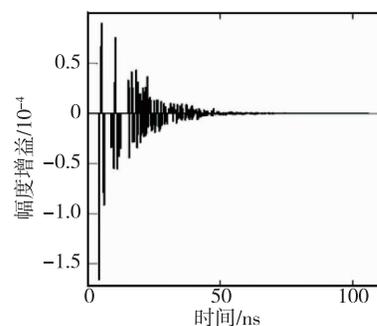


图 3 原参数 CM2 信道冲击响应

Fig. 3 CM2 channel impulse response with original parameters

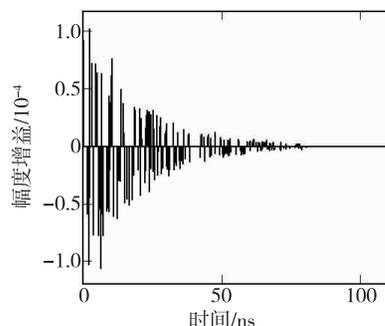


图 4 修正参数 CM2 信道冲击响应

Fig. 4 CM2 channel impulse response with modified parameters

平均附加时延 τ_m 是信道冲击响应功率延迟分

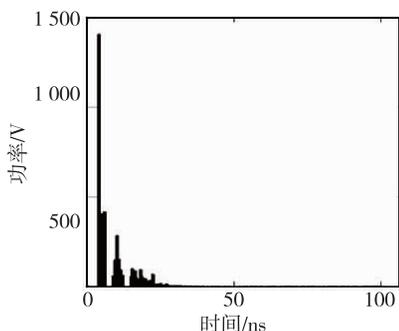


图5 原参数CM2功率延迟分布

Fig.5 CM2 power delay distribution with original parameters

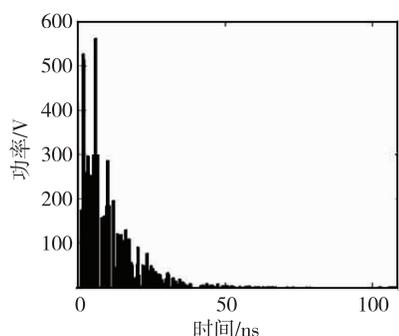


图6 修正参数CM2功率延迟分布

Fig.6 CM2 power delay distribution with modified parameters

布的一阶矩,它描述了多径信号的离散程度. RMS (Root Mean Square, 均方平均时延扩展) τ_{rms} 是信道冲击响应功率延迟分布的二阶矩,它描述了附加时延的标准差. 这两个参数是多径测量的重要参数,对于 UWB 系统设计中数据传输速率和接收机设计具有重大意义. 表 4 给出了原模型、修正模型与实测数据的比较,可以发现,修改参数后的 CM2 模型与原信道模型相比, τ_m 增加了 0.3 ns,更加接近于实测数据. τ_{rms} 增加了 0.85 ns,这个数据拟合得没有原模型好. $NP_{10\text{ dB}}$ 多径数目比原模型更加接近实测数据.

表4 原模型、修正模型与实测数据比较

Table 4 Channel parameter comparison between CM2 model, modified CM2 model and measurement data

信道参数	τ_m /ns	τ_{rms} /ns	$NP_{10\text{ dB}}$
实测数据	10.38	8.03	17.5
CM2	9.90	8.00	15.3
修正 CM2	10.28	8.85	16.5

5 结论

本文主要分析了超宽带室内信号的传播规律,

即多径分量成簇到达. 在实测数据的基础上,研究了模型信道参数发现:簇的到达率 Λ 应该远小于径的到达率 λ ,簇的衰减系数 Γ 应该大于径的衰减系数 γ ,因此修正了 IEEE 802. 15. 3a 信道模型 CM2 环境下的模型参数. 仿真结果表明,修正参数后的信道模型比原模型更能体现出多径分量成簇到达特性,并且 τ_m 和 $NP_{10\text{ dB}}$ 等特征参数比原模型更加接近于实测数据.

参考文献

References

- [1] Liu K H, Shen X M, Zhang R N, et al. Performance analysis of distributed reservation protocol for UWB-based WPAN[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(2): 902-913
- [2] Chong C C, Yong S K. UWB direct chaotic communication technology for low rate WPAN applications [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(3): 1527-1536
- [3] Wang Y, Xu H G, Zhang Q Y, et al. UWB channel modeling for indoor line-of-sight environment [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 14(6): 866-870
- [4] Saleh A A M, Valenzuela R. A statistical model for indoor multipath propagation [J]. IEEE JSAC, 1987, 5(2): 128-137
- [5] 樊祥宁. 超宽带无线通信关键技术研究[D]. 南京:东南大学信息科学与工程学院, 2005:17-27
FAN Xiangning. Researchs on key techniques of Ultra Wideband(UWB) wireless communication systems[D]. Nanjing: School of Information Science and Engineering, Southeast University, 2005:17-27
- [6] Spencer Q, Rice M, Jeffs B, et al. A statistical model for the angle-of-arrival in indoor multipath propagation [J]. IEEE 47th Vehicular Technology Conference, 1997, 3: 1415-1419
- [7] Cramer J M, Scholtz R A, Win M Z. Evaluation of an ultra-wideband propagation channel [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(5): 561-570
- [8] Wang Y, Zhang N T, Zhang Q Y, et al. Deterministic simulation of UWB indoor propagation channel [J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2008, 19(3): 447-452
- [9] Wang Y, Zhang N T, Tang X, et al. Characteristics of UWB indoor los multipath propagation channel [J]. Journal of Correspond, 2006, 26(10): 24-28
- [10] 彭丽, 孙彦景, 钱建生, 等. 超宽带室内修正 S-V 信道模型的仿真与分析 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(3): 582-585
PENG Li, SUN Yanjing, QIAN Jiansheng, et al. Simulation and analysis of UWB indoor modified S-V channel model [J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(3): 582-585
- [11] 李波, 张春业, 赵同明. 超宽带室内参考信道模型的研究 [J]. 电气电子教学学报, 2005, 27(4): 447-452

LI Bo,ZHANG Chunye,ZHAO Tongming. The survey of UWB indoor reference channel model[J]. Journal of E-

lectrical & Electronic Engineering Education, 2005, 27 (4):447-452

Clustering characteristics in UWB indoor multipath propagation

YANG Niukou¹ ZHOU Jie²

1 School of Information & Control,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

2 School of Electronic & Information Engineering,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

Abstract The propagation characteristics of Ultra-WideBand(UWB) indoor signals are analyzed,and multi-path components are found to arrive in clusters. The general rule of channel model parameters is studied on the basis of measurement data. Results show that the arrival rate of cluster is far less than that of the diameter,while the attenuation coefficient of cluster is greater than that of the diameter. The parameters of IEEE 802. 15. 3a channel model are modified in the CM2 environment. Simulation results show that the modified CM2 channel model is superior to the original model,which can better reflect the clustering characteristics of multi-path component arrival. The fitting result indicates a good agreement between measurement data and the modified model.

Key words propagation properties;channel measurement;model parameters;channel model