

TH-PPM-UWB系统在时变信道环境中的性能分析

张 博, 庄奕琪

(西安电子科技大学宽禁带半导体材料与器件教育部重点实验室 西安 710071)

【摘要】分析了时变信道环境条件下TH-PPM-UWB系统的性能,并通过计算机仿真研究了室内信道环境中,散射体移动对不同参数条件下系统性能的影响。仿真结果表明在系统输入信噪比较小,散射体的移动对系统性能的影响较小;随着输入信噪比的增加,散射体移动对系统性能的影响明显加剧。总体上,散射体移动对系统性能造成的影响相对与其他干扰来说并不明显,并且在视距及非视距环境中得到的结论基本相同。

关键词 性能分析; 跳时-脉冲位置调制; 时变信道; 超宽带
中图分类号 TN914.4 **文献标识码** A

Performance Analysis of TH-PPM-UWB System in Time-Varying Channels

ZHANG Bo and ZHUANG Yi-qi

(Key Laboratory of Ministry of Education for Wide Band-Gap Semiconductor Materials and Devices, Xidian University Xi'an 710071)

Abstract This paper presents a theoretical analysis of time-hopping pulse position modulation ultra-wideband (TH-PPM-UWB) communication system under time-varying channel condition. The effect of scatters movement is analyzed under indoor channel condition with different channel parameters by simulation. Results show that the scatters movement has a slight effect on the performance of system when the input SNR is small and the effect is increasing rapidly when the SNR is increasing. On the whole, the effect of scatters movement is not greater than that of other interferences. This conclusion is similar to those from either under LOS or NLOS condition.

Key words performance analysis; TH-PPM; time-varying channel; UWB

超宽带(UWB)技术是目前无线通信领域的热点技术之一,其凭借高速率、高性能、低功耗、低成本、抗多径、易数字化等诸多优势,不仅在无线通信领域,而且在传感器网络、控制网络、定位测距等方面也具有广泛的应用前景^[1-2]。

跳时-脉冲位置调制(time-hopping pulse position modulation, TH-PPM)是最早被提出的也是常用的UWB技术方案之一,由于其能够较好地适应超宽带冲激窄脉冲的特点,有效地降低了多个用户之间的碰撞几率,一直以来都是人们研究与分析的重点对象^[3-4]。

在超宽带无线通信系统中,信道不仅呈现出频率选择性衰落,还具有时间选择性衰落的特性,传输的信号受到多径衰落和时变衰落的双重影响。目前,对UWB系统的性能分析大多数是在时不变多径信道中进行的。文献[5]在分析多径信道中DS-UWB系统性能的基础上,论证了空时分集性对系统性能

的影响。文献[6]以时不变对数正态衰落信道模型为基础,分析了多带UWB系统的性能。但是,在这些文献中均没有考虑UWB信道时变特性对系统性能的影响。

本文针对时变信道的特性,分析了TH-PPM-UWB系统在时变多径信道环境下的性能,并通过计算机仿真进行了模拟与验证。

1 TH-PPM-UWB系统模型

发射超宽带信号最常用的方法是发射时域上很短的脉冲,该传输技术被称为“脉冲无线电”(impulse radio)。

针对UWB系统,在多种调制方式中,脉冲位置调制(PPM)是一种常用的调制方式。为了形成所需的UWB信号,除了要对脉冲进行调制外,还要用伪随机码对数据符号进行编码,以使数据符号引起脉冲在时间轴上的偏移,即跳时超宽带(time-hopping

收稿日期: 2008-03-24; 修回日期: 2008-09-10

基金项目: 国家自然科学基金(60276028); 部级预研基金

作者简介: 张 博(1983-),男,博士生,主要从事短距离无线通信、射频集成电路分析与设计方面的研究。

UWB, TH-UWB)。如图1所示为结合了二进制PPM的TH-UWB系统中, UWB信号的产生过程^[8]。

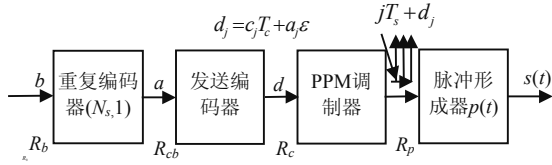


图1 TH-PPM-UWB信号产生模型

在图1中, 给定待发射的二进制序列 $b = (\dots, b_0, b_1, \dots, b_k, b_{k+1}, \dots)$, 其速率为 $R_b = 1/T_b$ (bit/s), 第一个模块使每个比特重复 N_s 次, 产生一个二进制序列:

$$(\dots, b_0, b_0, \dots, b_0, b_1, b_1, \dots, b_1, \dots, b_k, b_k, \dots, b_k, b_{k+1}, b_{k+1}, \dots, b_{k+1}, \dots) = a$$

新的比特速率 $R_{cb} = N_s/T_b = 1/T_s$ (bit/s)。这个模块的实质是一个 $(N_s, 1)$ 分组编码器, 它的作用是为了引入足够的冗余。

第二个模块是传输编码器, 其作用是应用整数值码序列和二进制序列 $a = (\dots, a_0, a_1, \dots, a_j, a_{j+1}, \dots)$, 产生一个新序列 d , 序列 d 的一般元素表达式为: $d_j = c_j T_c + a_j \varepsilon$, 式中, T_c 和 ε 是常量, 对所有的 c_j 满足条件: $c_j T_c + \varepsilon < T_s$ 。

第三个模块是PPM调制模块, 实数值序列 d 输入到该模块后, 生成一个速率为 $R_p = N_s/T_b = 1/T_s$ (脉冲/s) 的单位脉冲序列。这些脉冲在时间轴上的位置为 $jT_s + d_j$, 因此脉冲位置在 jT_s 基础上偏移了 d_j , 脉冲的发生时间也可表示为 $(jT_s + c_j T_c + a_j \varepsilon)$ 。

最后一个模块是脉冲形成滤波器, 其冲激响应为 $p(t)$ 。 $p(t)$ 必须保证脉冲形成滤波器输出的脉冲序列不能有任何的重叠。

图1中所有模块级联后的系统输出信号 $s(t)$ 可表示为:

$$s(t) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} p(t - jT_s - c_j T_c - a_j \varepsilon) \quad (1)$$

2 时变信道模型

UWB信道环境中存在的许多散射体会产生多径效应, 此外, 收发信机或散射体的移动又会造成

$$\begin{aligned} Z &= \int_{\tau}^{\tau+T_s} r(t)m(t-\tau)dt = \\ &= \int_{\tau}^{\tau+T_s} \left\{ \int_0^{\infty} s(t-\tau)h(\tau,t)d\tau + n(t) \right\} m(t-\tau)dt = \\ &= \int_{\tau}^{\tau+T_s} \left\{ \int_0^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} p(t-jT_s - c_j T_c - a_j \varepsilon) h(\tau,t)d\tau + n(t) \right\} m(t-\tau)dt \end{aligned} \quad (8)$$

信道的时变衰落, 因此UWB信道是一个多径、时变信道。结合文献[7-9]中的论述并进行相应的修改后, 可以构成如下所示的时变多径UWB信道的模型:

$$h(\tau, t) = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^{N_m} \alpha_{n,m} g_{n,m}(t) \delta(\tau - T_m - \tau_{n,m}) \quad (2)$$

式中 M 为观察到的簇的数目; N_m 为第 m 个簇内接收到的多径数目; T_m 以及 $\tau_{n,m}$ 分别为第 m 个簇的到达时间和第 m 个簇内第 n 个多径分量的到达时间, 它们分别服从泊松分布:

$$p(T_m | T_{m-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_m - T_{m-1})] \quad m > 0 \quad (3)$$

$$p(\tau_{n,m} | \tau_{n-1,m}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_{n,m} - \tau_{n-1,m})] \quad n > 0 \quad (4)$$

$\alpha_{n,m}$ 是信道第 m 个簇中第 n 个多径的归一化系数, $\alpha_{n,m} = p_{n,m} \zeta_m \beta_{n,m}$ 。其中, $p_{n,m}$ 是一个极性符号, 反映了由于信道反射造成信号脉冲极性变化的情况, 并等概地取 ± 1 ; ζ_m 为第 m 个簇的衰落变量; $\beta_{n,m}$ 为第 m 个簇中第 n 个路径分量的衰落分量, 它们相互统计独立并且服从正态分布:

$$20 \lg_{10}(\xi_1 \beta_{n,m}) \propto N(\mu_{n,m}, \sigma_1^2 + \sigma_2^2) \quad (5)$$

$$\mu_{n,m} = \frac{10 \ln(\Omega_0) - 10 T_m / \Gamma - 10 \tau_{n,m} / \gamma - (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \ln(10)}{20} \quad (6)$$

式中 Γ 为簇功率衰减因子; γ 为多径功率衰减因子。 $g_{n,m}(t)$ 表示信道第 m 个簇中第 n 个多径的归一化时变增益系数。对于不同物体的移动, $g_{n,m}(t)$ 具有不同的变化规律。对于收发信机的移动, 可以建模为一个宽平稳不相关散射过程, 而对于散射体的移动, 则可以建模为一个均值为零、带宽为 $B_{n,m}$ 的高斯过程, 带宽 $B_{n,m}$ 与系统的最大多普勒频率 f_d 、多径到达时间 $\tau_{n,m}$ 有关^[7, 10-11]。

3 系统性能分析

在系统接收端, 接收到的信号可以表示为:

$$r(t) = \int_0^{\infty} s(t-\tau)h(\tau,t)d\tau + n(t) \quad (7)$$

式中 $n(t)$ 为加性高斯白噪声。

基于相关接收的二进制正交TH-PPM-UWB系统在周期 T_s 内考察接收信号的问题, 假设收发机两端是完全同步的, 接收端的信号可以表示为:

式中 $m(t)$ 为相关掩膜(correlation-mask), $m(t) = p_0(t - \tau - c_j T_c) - p_0(t - \tau - c_j T_c - \varepsilon)$; $p_0(t)$ 为发送端发送信号波形。

因此, 相关接收的输出信号为:

$$Z = \int_{\tau}^{\tau+T_s} \int_0^{\infty} s_m h(\tau, t) d\tau dt + n_0 - n_1 \quad (9)$$

式中 $s_m = \begin{cases} s_0 = +\sqrt{E_{TX}} & b=0 \\ s_1 = -\sqrt{E_{TX}} & b=1 \end{cases}$, E_{TX} 为每个脉冲携带的能量, b 为发送端发送比特数。当发送的比特相互独立且概率相等时, 相关接收机的平均错误概率为:

$$\begin{aligned} \Pr_b &= \frac{1}{2} \text{Prob}(Z > 0 | b=1) + \frac{1}{2} \text{Prob}(Z < 0 | b=0) = \\ & \text{Prob}(Z < 0 | b=0) = \\ & \text{Prob}\left(\int_{\tau}^{\tau+T_s} \int_0^{\infty} \sqrt{E_{TX}} h(\tau, t) d\tau dt + n_0 - n_1 < 0\right) = \\ & \text{Prob}(\sqrt{E_{RX}} + n_0 - n_1 < 0) \end{aligned} \quad (10)$$

式中 E_{RX} 为接收机单个脉冲获取的能量, 它根据信道环境不同而改变。假设时不变信道情况下的接收机单个脉冲获取的能量为 E_{RX0} , 则 $E_{RX} = E_{RX0} \xi$, 其中 ξ 是根据 $g_{n,m}(t)$ 而变化的时变因子。由于 n_0 和 n_1 是两个独立同分布的高斯随机变量, 因此式(10)可改写为:

$$\Pr_b = \text{Prob}(x > \sqrt{E_{RX}}) \quad (11)$$

式中 $x = n_1 - n_0$ 是高斯随机变量, 均值为0, 方差为 N_0 。因此, \Pr_b 可以表示为:

$$\Pr_b = \frac{1}{2} \text{erfc} \left[\frac{\sqrt{E_{RX}}}{\sqrt{2N_0}} \right] = \frac{1}{2} \text{erfc} \left[\frac{\sqrt{E_{RX0} \xi}}{\sqrt{2N_0}} \right]$$

由于 n_0 和 n_1 与接收到的数据信号之间是相互统计独立的, 因此相关接收的输出信号噪声干扰比(SNIR)可定义为:

$$\text{SNIR} = \frac{E_{RX}}{E[n_0^2] + E[n_1^2]} = \frac{E_{RX0} \xi}{E[n_0^2] + E[n_1^2]} \quad (12)$$

4 仿真分析

本文基于Matlab7.1软件平台, 采用式(2)所描述的时变信道模型, 分别对TH-PPM-UWB系统的性能进行仿真研究。采用了0~4 m视距信道(CM1)和0~4 m非视距信道(CM2)的两种信道环境。接收端采用理想的Rake接收机, 散射体的移动速度取0~5 m/s。信道的主要参数如表1所示。

表1中, A 为簇平均到达率; λ 为脉冲平均到达速率; G 为簇的功率衰减因子; g 为簇内脉冲功率衰减因子; σ_{ξ} 为簇的信道系数标准偏差; σ_c 为簇内脉

冲的信道系数标准偏差; σ_g 为信道幅度增益的标准偏差。

表1 仿真信道的主要参数

信道	A	λ	G	g	σ_{ξ}	σ_c	σ_g
CM1	0.023 3	2.5	7.1	4.3	3.394 1	3.394 1	3
CM2	0.400 0	0.5	5.5	6.7	3.394 1	3.394 1	3

仿真结果如图2、图3所示, 从图中可以看出, 在输入信噪比较小小时, 系统的性能主要受输入信噪比的限制, 散射体的移动对误比特率的影响不大。而随着输入信噪比的增加, 系统的性能主要受散射体的影响, 随着散射体移动速度的增加系统的性能迅速恶化。这是因为在输入信噪比较小小时, 系统性能受其他干扰的影响较大, 散射体移动对系统性能造成的干扰就不明显, 而在输入信噪比较大时, 系统性能受其他干扰的影响较小, 散射体移动对系统性能的影响较明显。在视距信道(CM1)和非视距信道(CM2)情况下可以得到相似的结论。

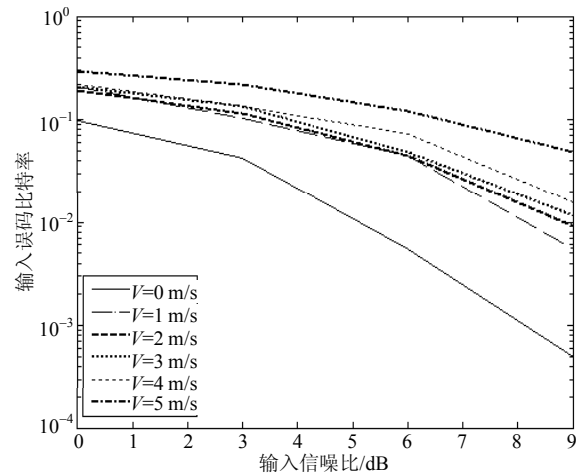


图2 CM1情况下散射体不同移动速度对系统性能的影响

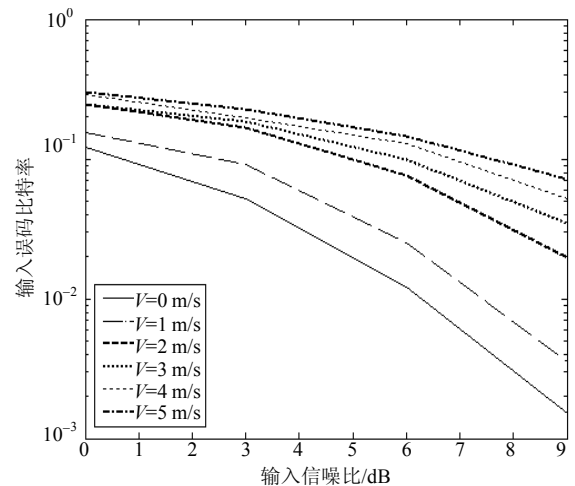


图3 CM2情况下散射体不同移动速度对系统性能的影响

5 结 论

本文通过理论分析和计算机仿真对TH-PPM-UWB系统在时变信道环境中的性能进行了分析。通过分析发现,在系统输入信噪比较小时,散射体的移动对系统性能的影响较小;随着输入信噪比的增加,散射体移动对系统性能的影响明显加剧。总体来说,TH-PPM-UWB系统在室内环境中,散射体移动对系统性能造成的影响相对与其他干扰来说并不明显。不管在视距信道还是非视距信道环境中,散射体移动造成的影响基本相同。由于影响时变信道参数的因素很多,现在并没有一个成熟的时变信道模型,本文所采用的信道模型只是比较浅显地对相应问题进行了研究。关于多重因素共同影响下时变信道的系统特性的研究还有待进一步深入。

参 考 文 献

- [1] MUNOZ M, RUBIO C G. A new model for service and application convergence in B3G/4G networks[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2004, 3(10): 6-12.
- [2] READ J H. An introduction to ultra wide band communication systems[M]. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2005.
- [3] NIRANJAYAN S, NALLANATHAN A, KANNAN B. Exact modeling of multiple access interference and BER derivation for TH-PPM UWB[C]//IEEE Wireless Communications and Networking Conference. New Orleans, LA USA: IEEE Press, 2005: 2801-2806.
- [4] MARIA-GABRIELLA DI BENEDETTO, GUERINO GIANCOLA. Understanding ultra wide band fundamentals[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [5] TAN S S, NALLANATHAN A, KANNAN B. Performance of DS-UWB multiple-access system with diversity reception in dense multi-path environments[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2006, 55(4): 1269-1280.
- [6] ZHAO S, LIU H, MO S. Performance of a multi-band ultra-wide-band system over indoor wireless channel[C]//Proceeding of CC-NC'04. Nevada: IEEE Press, 2004: 700-702.
- [7] MOLISH A F. Time variance for UWB wireless channels[EB/OL]. [2007-9-1]. <http://grouper.ieee.org/groups/802.15/pub/2002>.
- [8] 张士兵, 张力军. 超宽带信道建模与仿真[J]. 南京邮电学院学报, 2005, 25(3): 50-53.
ZHANG Shi-bing, ZHANG Li-jun. The modeling and simulation of UWB channel[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2005, 25(3): 50-53.
- [9] FOERSTER J. Channel modeling sub-committee report final[EB/OL]. [2007-9-1]. <http://grouper.ieee.org/groups/802.15/pub/2003>.
- [10] STEVEN T, VAN DER PERRE L. Modeling the channel time-variance for fixed wireless communications[J]. IEEE Communications Letters, 2002, 6(8): 331-333.
- [11] 包志华, 张士兵. OFDM-UWB系统在时变信道中的性能分析[J]. 南京邮电学院学报, 2007, 27(1): 1-5.
BAO Zhi-hua, ZHANG Shi-bing. Performance of OFDM-UWB System in Time-Varying Channels[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2007, 27(1): 1-5.

编辑 张俊

• 科研成果专利介绍 •

一种二次雷达应答处理的抗干扰方法

二次雷达应答处理的抗干扰方法包括两部分内容: (1) 去幻影, 判定出幻影框架并将它删除; (2) 去干扰。由于去幻影部分采用的标准从严, 有一部分幻影框架没有去除掉, 因此, 在该部分处理中, 标准将适当放宽, 保证能够尽可能地去除干扰。采用该方法能在高密度应答中有效地筛选真实应答, 去除幻影和FRUIT干扰, 即使在高密度询问下和复杂的FRUIT干扰情况下, 重叠情况非常严重时, 对真实应答的检测概率仍然很高, 并且虚警的概率很低。