

文章编号: 1672-2892(2012)01-0027-05

基于空间分集的 TH-UWB 系统性能分析

杨银霞, 颜彪

(扬州大学 信息工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 为了提高 UWB 系统在低信噪比下的性能, 利用 IEEE 802.15.3a 工作组建议的标准 UWB 室内信道模型, 采用多个接收天线分析了二进制 TH-PPM 超宽带系统性能的改善。在理想功率控制下, 分别采用不同数目的接收天线和不同 SRake 接收机选择路径数, 对 2PPM-TH-UWB 系统性能进行了分析和仿真。仿真结果表明, 随着天线数和选择路径数的增加, 系统性能均明显提高, 并且空间分集比路径分集对系统性能有更好的改善。

关键词: 空间分集; 多径信道; Rake 接收机; TH-PPM UWB 系统
中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A

Performance analysis of the TH-UWB system based on spatial diversity

YANG Yin-xia, YAN biao

(School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu 225009, China)

Abstract: In order to improve the performance of the Ultra-Wideband(UWB) under the situation of low signal and noise ratio, by using the UWB indoor channel model proposed by IEEE 802.15.3a study group, the performance improvement of the binary pulse position modulation Time Hopping Ultra-Wideband (2PPM-TH UWB) systems is analyzed in the case of employing multiple receive antennas. Under ideal power control, the diversity performance of 2PPM-TH-UWB systems is evaluated for different numbers of antenna elements and selected multipaths. The simulation results indicate that the system property becomes better as the number of antenna elements and Rake fingers increases, and the effects of the spatial diversity upon improving system performance are better than that of the temporal diversity.

Key words: spatial diversity; multipath channel scenarios; Rake receiver; TH-PPM Ultrawide Band

超宽带通信作为一种新的短距离高速无线通信技术, 以其频带极宽、功率谱密度极低、传输速率高、截获概率低、多径分辨力好、频谱共用等特点, 在无线通信领域必将发挥重要作用^[1]。2002年4月, 美国联邦通信委员会(FCC)发布了民用UWB设备使用频谱和功率的初步规定。FCC对超宽带技术的新定义和频谱分配, 使得UWB观念发生变化, 并成为国内外在UWB民用实用性研究方面的热点。国内对UWB技术的研究和国际接轨, 并得到了国家“863”计划的支持。2001年9月发布的“十一五”863计划通信技术主题研究项目中, 把超宽带无线通信关键技术及其共存与兼容技术, 作为无线通信共性技术与创新技术的研究内容, 鼓励国内学者加强这方面的研发工作。文献[2]中研究了TH和DS(Direct Sequence)超宽带系统在理想信道下的性能。如果考虑发射机和接收机之间的多径, 特别是在室内传输情况下, 此时传播受到许多干扰物体的影响, 多径的存在会严重影响接收机的性能。在文献[3]和文献[4]中研究了多径信道下采用单个接收天线时的系统性能。当采用多个接收天线时, 系统性能将明显优于单个接收天线。并且文献[5]中还研究了Rake接收机对系统性能的改善。使用SRake接收机可以减少分径数^[6-8], 但仍需跟踪所有的多径分量以便选择。本文主要研究在密集多径信道下, 采用多个接收天线和SRake接收机时, 二进制TH-PPM超宽带系统的性能。

1 TH-PPM 超宽带系统模型

二进制 TH-PPM 超宽带发射信号可以表示为:

$$x_{\text{tx}}(t) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sqrt{E_{\text{txp}}} q(t - jT_s - c_j T_c - a_j \varepsilon) \quad (1)$$

$$q(t) = (1 - 4\pi \frac{t^2}{\alpha^2}) e^{-\frac{2\pi^2 t^2}{\alpha^2}} \quad (2)$$

式中: E_{txp} 代表每个脉冲的发射能量; $q(t)$ 是能量归一化的脉冲波形, 采用高斯二阶导函数; α 为脉冲成形因子; T_s 为脉冲重复周期; TH 码是一串伪随机序列, 其周期为 N_p , $c_j T_c$ 是由于 TH 码引起的时移, c_j 是 TH 码第 j 个元素, 且 $c_j \in \{0, 1, \dots, N_h - 1\}$, T_c 是码片时间; $a_j \varepsilon$ 是由于 PPM(Pulse-Position Modulation) 调制引起的时移, a_j 是第 j 个脉冲发射的数据, ε 是 PPM 时移。

2 信道模型

如果考虑发射机和接收机之间的多径, 那么信道模型和接收机结构都会变得复杂。多径的存在会严重影响接收机的性能。但是如果已知接收机多径信道的详细特性, 就可以减小其影响。本文采用 IEEE802.15.3a 工作组推荐的基于簇方式的模型, 该模型是在经典的宽带室内信道 Saleh 和 Valenzuela(S-V)模型的基础上作了少量修改而得到的。

该模型保留了 S-V 模型中多径成簇出现以及能量服从于双指数分布的特点, 但根据实际的测量数据对多径的幅度作了修正, IEEE 模型的信道冲激响应可以表示为^[9]:

$$h(t) = \sum_{n=0}^{N_r-1} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{K-1} X_n \alpha_{k,m,n} \delta(t - \tau_n - \tau_m - \tau_{k,m}) = \sum_{n=0}^{N_r-1} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{K-1} X_n \alpha_{k,m,n} \delta(t - \tau_{k,m,n}) = \sum_{n=0}^{N_r-1} \sum_{l=0}^{L_{\text{TOT}}-1} X_n \alpha_{l,n} \delta(t - \tau_{l,n}) \quad (3)$$

式中: X_n 是对数正态随机变量, 代表第 n 个天线单元处的信道幅度增益; τ_m 代表第 m 簇的时延; $\tau_{k,m}$ 代表第 m 簇第 k 条路径的时延; τ_n 代表第 n 个天线单元处的时延; $\alpha_{k,m,n}$ 代表第 n 个天线单元、第 m 个簇、第 k 个多径的系数; $\tau_{k,m,n}$ 代表第 n 个天线单元、第 m 个簇、第 k 个多径的时延; 用 l 表示第 n 个天线单元处的接收路径数, 且 $l \in \{0, \dots, MK - 1\}$, 总的多径数可以表示为 $L_{\text{TOT}} = M \times K$ 。式(3)中 $\alpha_{l,n}$ 和 $\tau_{l,n}$ 分别是第 n 个天线单元处的信道增益和延时。

信道系数 $\alpha_{k,m,n}$ 可以表示为:

$$\alpha_{k,m,n} = \rho_{k,m,n} \beta_{k,m,n} \quad (4)$$

$$20 \lg(\beta_{k,m,n}) \propto \text{Normal}(\mu_{k,m,n}, \sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\zeta}^2) \quad (5)$$

式中: $\rho_{k,m,n}$ 为以等概率取+1和-1的离散随机变量; $\beta_{k,m,n}$ 是第 n 个天线单元、第 m 个簇、第 k 条路径的服从对数正态分布的信道系数。式(5)中, ξ_n 和 ζ_n 为2个高斯变量, 分别表示每簇和每个分量的信道系数变化, 分别用 σ_{ξ}^2 和 σ_{ζ}^2 表示 ξ_n 和 ζ_n 的方差。另外利用簇幅度和簇内每个多径分量的幅度都服从指数衰减的特点, 可以得到 $\mu_{k,m,n}$ 的值:

$$\mu_{k,m,n} = \frac{10 \ln(\langle |\beta_{0,0,n}| \rangle) - 10 \frac{\tau_k}{\Gamma} - 10 \frac{\tau_{k,m}}{\Upsilon} - (\sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\zeta}^2) \ln 10}{\ln 10 - 20} \quad (6)$$

式中: $\langle |\beta_{0,0,n}| \rangle$ 表示第 n 个天线单元第1簇第1条路径的平均能量; Γ 和 Υ 分别为簇和多径的功率衰减系数。

3 接收端模型

假设采用一般的具有 N_r 个天线单元的线性天线阵。对每一个天线单元采用 SRake 接收机, 从 L_{TOT} 条路径中选择 L_r 个最好的路径。合并器采用最大比合并的分集方式^[10]。

假定完全知道 SRake 接收机所选择路径的信道系数和时延。采用相关接收机的软判决规则, 下面的分析是在 1 个比特持续时间 T_b 内进行的。接收端信号可以表示为:

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N_r-1} \sum_{l_f=0}^{L_f-1} \sum_{j=0}^{N_s-1} \sqrt{E_{\text{rxp},n}} \alpha_{l_f,n} q(t - jT_s - c_j T_c - a_j \varepsilon - \tau_{l_f,n}) + \underbrace{\sum_{n=0}^{N_r-1} \sum_{l=L_f}^{L_{\text{TOT}}-1} \sum_{j=0}^{N_s-1} \sqrt{E_{\text{rxp},n}} \alpha_{l,n} q(t - jT_s - c_j T_c - a_j \varepsilon - \tau_{l,n})}_{n_{\text{si}}(t)} + \sum_{n=0}^{N_r-1} w_n(t) \quad (7)$$

式中: $E_{\text{rxp},n} = (X_n)^2 E_{\text{xp}}$ 是第 n 个天线单元处 1 个发射脉冲在接收端的总能量; $n_{\text{si}}(t)$ 表示未被选择的时延引起的干扰; $w_n(t)$ 代表第 n 个天线单元处的加性高斯白噪声, 其功率谱密度为 $N_0/2$ 。

利用空间分集, 接收信号与相关掩模在每个天线单元每条分支处进行相关运算。合并器输出端的变量 U 可以表示为:

$$U = \sum_{n=0}^{N_r-1} \sum_{l_f=0}^{L_f-1} \int_0^{T_b} y(t) \alpha_{l_f,n} v(t) dt \quad (8)$$

式中相关掩模 $v(t)$ 可以表示为:

$$\begin{cases} v(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} m(t - jT_s - c_j T_c - \tau_{l_f,n}) \\ m(t) = q(t) - q(t - \varepsilon) \end{cases} \quad (9)$$

式(8)中合并器输出端的变量 U 可以分解成 3 个部分:

$$U = U_d + U_{\text{si}} + U_w \quad (10)$$

式中 U_d 、 U_{si} 和 U_w 分别表示有用信号、干扰信号和热噪声。相关器的输出端的判决规则为:

$$\begin{aligned} Z > 0 &\Rightarrow \hat{b} = 0 \\ Z < 0 &\Rightarrow \hat{b} = 1 \end{aligned} \quad (11)$$

式中 \hat{b} 表示估计得到的比特。

4 仿真结果及分析

对 TH-PPM 超宽带系统在多径信道下采用多个接收天线和 SRake 接收机选择最好的多径分量时的系统性能, 其中采样频率 $f_c = 50 \text{ GHz}$, 脉冲宽度 $T_p = 0.5 \text{ ns}$, 脉冲成形因子 $\alpha = 0.2 \text{ ns}$, 由 PPM 调制引起的时移 $\varepsilon = 0.5 \text{ ns}$, 第 n 个天线处的脉冲能量 $E_{\text{rxp},n} = 1, n = 0, 1, \dots, N_r - 1$, 比特速率 $R_b = 16.67 \times 10^6 \text{ bit/s}$, 常数 $\gamma_R = 1$, 表示 1 个比特周期中的一小部分时间, 这部分时间被发射脉冲占用, 总多径数 $L_{\text{TOT}} = 20$ 。假设采用 CM1 和 CM3 信道。

图 1、图 2 中对 TH-PPM 超宽带系统在 CM1 和 CM3 信道下, 采用 SRake 接收机, 选择的路径 $L_f = 3$, 接收端采用天线数 $N_r = 1, 2, 3$ 时的性能进行了比较。图 3、图 4 中分别表示在 CM1 和 CM3 信道下, 不同的选择路径数对 TH-PPM 超宽带系统的性能影响, 其中天线数 $N_r = 3$, 选择的路径数 $L_f = 1, 2, 3, 4$ 。

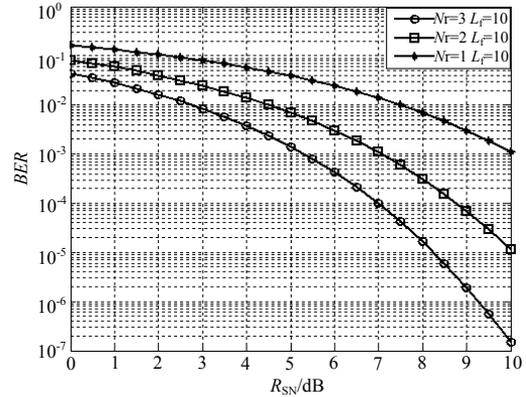


Fig.1 Performance of TH-PPM with different numbers of antennas in CM1
图 1 CM1 信道下采用不同接收天线时的性能

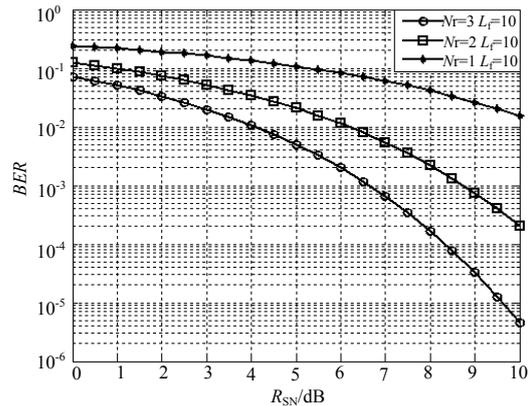


Fig.2 Performance of TH-PPM with different numbers of antennas in CM3
图 2 CM3 信道下采用不同接收天线时的性能

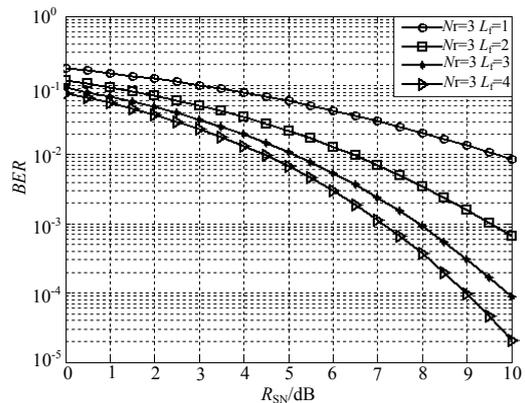


Fig.3 Performance of TH-PPM with different numbers of selected paths in CM1
图 3 CM1 信道下采用不同选择路径数时的性能

从图 1、图 2 中可以看出,随着天线数的增加,系统性能明显改善,这是因为采用了多个接收天线,有效地应用了空间分集。从图 3、图 4 中可以看出,随着 SRake 接收机选择的的路径数的增加,系统性能也明显改善,这是因为选择路径越多,接收机捕获的能量越多。

图 5、图 6 中分别给出了 CM1 和 CM3 信道下折中采用天线和选择路径时的系统性能,可以看到,天线数越多,系统性能越好,从而可以看出空间分集带来的性能改善比路径分集要好。

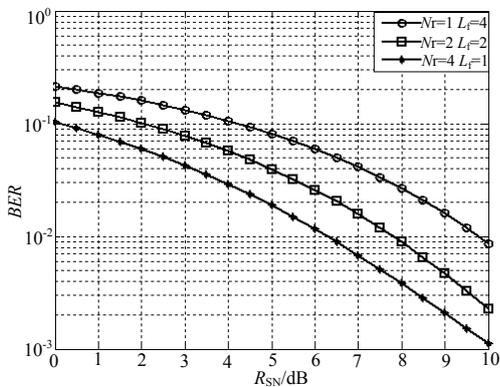


Fig.5 Performance of TH-PPM with the tradeoff between antennas and selected paths in CM1

图 5 CM1 信道下折中采用天线和选择路径时的性能

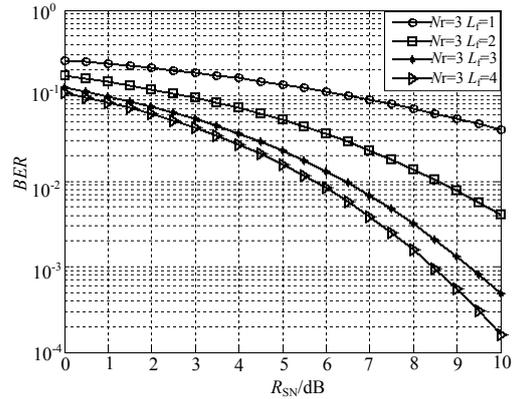


Fig.4 Performance of TH-PPM with different numbers of selected paths in CM3

图 4 CM3 信道下采用不同选择路径数时的性能

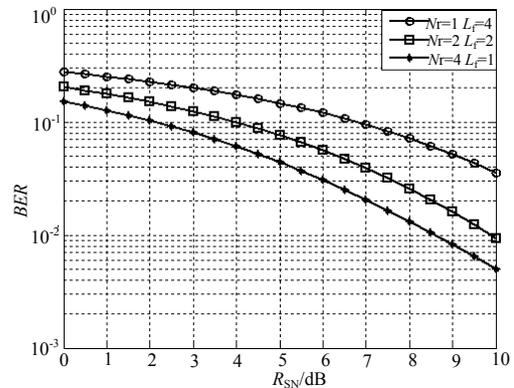


Fig.6 Performance of TH-PPM with the tradeoff between antennas and selected paths in CM3

图 6 CM3 信道下折中采用天线和选择路径时的性能

5 结论

本文研究了密集多径信道下,TH-PPM 超宽带系统采用多个接收天线和 SRake 接收机时的系统性能。采用多个接收天线是利用空间分集,采用 SRake 接收机选择最好的多径分量利用了路径分集。在理想功率控制下,分别采用不同数目的接收天线和不同 SRake 接收机选择路径数,对 2PPM-TH-UWB 系统性能进行了分析和仿真。仿真结果表明,随着天线数和选择路径数的增加,系统性能均明显提高,并且空间分集比路径分集对系统性能有更好的改善。

参考文献:

- [1] Benedetto M D, Giancola G. Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals[M]. New Jersey:Prentice Hall, 2004.
- [2] Win M Z, Scholtz R A. Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications[J]. IEEE Trans. Commun., 2000,48(4):679-691.
- [3] Taha A, Chugg K M. Multipath diversity reception of wireless multiple access time-hopping digital impulse radio[C]// Proc. of IEEE Conf. on UWB system and technology. Southern California:[s.n.], 2002:283-287.
- [4] Win M Z, Scholtz R A. On the energy capture of ultrawide bandwidth signals in dense multipath environments[J]. IEEE Commun. Lett., 1998,2(9):245-247.
- [5] Quek T Q S, Win M Z. Analysis of UWB transmitted reference communication systems in dense multipath channels[J]. IEEE J. Sel. Areas Commun., 2005,23(9):1863-1874.
- [6] Viittala Harri, Hamalainen Matti, Linatti Jar. Comparative Performance Studies of Interfered Low Data Rate Ultra Wideband Systems in Multipath Channel[C]// Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Athens:[s.n.], 2007:1-5.
- [7] Gerrits J F M, Farserotu J R, Long J R. Low-Complexity Ultra-Wide-Band Communications[J]. Circuits and Systems II, 2008, 55(4):329-333.
- [8] Bai Zhiqian, Xu Shaoyi, Kwak, et al. M-ary Code-Selected DS-BPAM UWB System with SRake Receiver over Multipath Channels[C]//

Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications. Orlando:[s.n.], 2007:389–393.

- [9] Sunyoung Baek, Jinyoung An, Sungsin Lee, et al. Error Performance analysis of Multi-User Binary PAM TH UWB Systems with Multiple Receive Antennas[C]// IEEE Future generation communication and networking. Jeju:[s.n.], 2007:492–495.
- [10] Maria-Gabriella Di Benedetto Guerino, Giancola. 超宽带无线电基础[M]. 葛利嘉, 朱林, 袁晓芳, 等译. 北京:电子工业出版社, 2005.

作者简介:



杨银霞(1985-)女, 江苏南通人, 硕士, 研究方向为通信信号处理. email: yangyinxia324324@163.com.

颜彪(1962-), 男, 江苏扬州人, 博士, 教授, 研究方向为移动通信技术.

(上接第 21 页)

参考文献:

- [1] Gallager R G. Low-density parity-check codes[J]. IRE Trans. Inform. Theory, 1962, IT-8(1):21–28.
- [2] Macky D J C. Good error-correcting codes based on very sparse matrices[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 1999, 45(2):399–432.
- [3] 李海军, 王玉萍, 黄耀群. 一种基于 FPGA 节省资源实现 FIR 滤波器的设计方法[J]. 信息与电子工程, 2010, 8(4):455–458. (LI Haijun, WANG Yuping, HUANG Yaoqun. A method of resources saving to realize FIR filter based on FPGA[J]. Information and Electronic Engineering, 2010, 8(4):455–458.)
- [4] ZHANG Huxing, YU Hongyang. Multi-rate QC-LDPC Encoder[C]// IEEE Circuits and Systems International Conference on Testing and Diagnosis. Chengdu:[s.n.], 2009:1–4.
- [5] 林竞力, 敬龙江, 陈涛, 等. CDTTB 标准中 LDPC 码的编码结构设计[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(3):341–344. (LIN Jingli, JING Longjiang, CHEN Tao, et al. Design of Encoder for LDPC Codes Used in CDTTB Standard[J]. Journal of Electronic Science and Technology University, 2009, 38(3):341–344)
- [6] 华力, 雷菁, 于聪梅. DVB-S2 中 LDPC 码编码器的 FPGA 设计与实现[J]. 中国有线电视, 2006(23):2307–2310. (HUA Li, LEI Qing, YU Congmei. FPGA Design and Implementation of LDPC encoder in DVB-S2[J]. China Cable TV, 2006(23):2307–2310.)
- [7] 赵岭, 张晓林, 智刚. 一种多码率 QC-LDPC 码译码结构设计及实现[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(4):435–438. (ZHAO Ling, ZHANG Xiaoling, ZHI Gang. Design and implementation of multi-rate quasi-cyclic low-density parity-check code decoder[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(4):435–438.)
- [8] CCSDS 131.1-O-2. Low Density Parity Check Codes for Use in Near-Earth and Deep Space Applications[S]. 2007.
- [9] LI Z, Chert L, Zeng L, et al. Efficient Encoding of Quasi Cyclic low-Density Parity-Check Codes[J]. IEEE Trans. Communication, 2006, 54(1):71–81.

作者简介:



孙钰林(1985-), 女, 甘肃省武威市人, 在读硕士研究生, 研究方向为信道编码、航天器数据传输与处理. email: ylsun0811@hotmail.com.

吴增印(1958-), 男, 陕西省杨凌市人, 研究员, 主要研究方向为卫星通信、星载高速数据传输与处理.

王菊花(1975-), 女, 山东省潍坊市人, 高级工程师, 主要研究方向为信道编码、信源编码.