

UWB在室内高速无线传输中的应用研究

李会勇^{*1} 高昕艳² 徐政五¹

(1. 电子科技大学电子工程学院; 2. 电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】针对室内高速无线传输环境,介绍了超宽带传输新技术。研究了UWB应用于室内无线传输时信号波形设计、调制方式、多址技术、信道特性与系统构成等方面的特点及存在的问题。通过分析比较:采用高斯信号波形,进行脉冲位置调制方式及跳时技术,UWB能够在误码率、系统实现等方面取得较好的性能。

关键词 超宽带; 通信; 无线; 传输; 脉冲

中图分类号 TN914 文献标识码 A

Research on UWB for High Speed Wireless Transmission in Indoor Environment

Li Huiyong¹ Gao Xinyan² Xu Zhengwu¹

(1. School of Electronic Engineering, UEST of China; 2. School of Physical Electronics UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, UWB technology for high speed wireless transmission in indoor environment is introduced, and then the performance is analyzed and compared when it is applied to high-speed wireless transmission in indoor environments, including shape of impulse, modulation methods, multi-access technology, characterization of UWB channel in indoor environments, and structure of UWB communication system for time-hopping pulse position modulation (TH-PPM) method. at last, it concludes that the performance is good and realization is easy for UWB with pulse position modulation, gauss waveform and TH technology.

Key words ultra wideband; communication; wireless; transmission; impulse

随着无线通信技术飞速发展,给人们日常生活带来极大的便利,同时,人们对无线通信也提出了更高的要求,要求其能够提供更高的传输速率和传输质量。特别是近年来无线因特网、无线局域网、无线个人区域网等概念的提出,要求能够在室内环境下无线数据传输速率达到100 Mbps,以构建个人化的信息网络系统。在室内环境下实现如此高的无线传输速率,超宽带(Ultra WideBand, UWB)技术是一个非常具有竞争力的方式。它起源于20世纪60年代,原来主要应用于雷达、定位等系统。由于其独有的特性,特别是室内短距离无线多址通信方面,超宽带通信技术近年来受到学术界和产业界的广泛研究和关注。尤其是美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC)在2002年2月开放了3.1~10.6 GHz频段进行UWB短距离通信之后,加快了UWB技术在室内高速无线通信的研究和应用。UWB具有频谱宽、功耗低、成本低、传输速率高等特点,被列为未来通信的十大技术之一^[1]。

2003年6月4日收稿

* 男 28岁 在职博士生 主要从事通信中信号处理方面的研究

1 UWB技术

1.1 UWB技术的优点

UWB传输技术,也称脉冲传输技术,通过对非常窄(往往小于1 ns)的脉冲信号进行调制获得非常宽的带宽来传输数据。FCC关于UWB的定义为^[2]

$$\frac{(f_H - f_L)}{f_c} > 20\% \quad (\text{或者总带宽} > 500 \text{ MHz})$$

式中 f_H, f_L 分别为功率较峰值功率下降10 dB时对应的高端频率和低端频率,而不是通常所定义的3 dB带宽, f_c 为载波频率或中心频率。

根据Shannon信道容限公式

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P}{BN_0} \right) \quad (1)$$

式中 B 为信道带宽, N_0 为高斯白噪声功率谱密度, P 为信号功率。由式(1)得知,一是通过增加信号功率 P 的方式,增加信道容量,另一是通过增大传输带宽来实现。UWB技术就是通过后者来获得非常高的传输速率。另外,采用UWB技术进行无线传输,具有如下优点:1) 低功耗。由于传输带宽很宽,所以即使发射功率很低,也能够做到高速传输;2) 保密性好。由于能量分布在非常宽的频带上,功率低,使其具有低截获概率;3) 抗多径衰落。由于UWB通信采用窄脉冲信号,通常多径信号在时间上可分辨,不会出现多径信号之间相互抵消中的情况,另外还可以采用Rake接收等方式合并多个路径信号,来提高信号输出质量;4) 较低的系统复杂性和成本。通常采用无载波传输,UWB系统几乎可以做成全数字化;5) 对现有窄带通信系统有很低的干扰。不过,UWB通信系统由于带宽很宽,如果在室外无线环境中传输,信道条件复杂,另外随着传输距离的增大,就会要求增大发射功率,这样也会对现有通信系统(包括现有的全球定位系统GPS)产生一定的干扰^[3],所以UWB通信主要用于室内无线传输。

1.2 UWB通信系统常用波形及功率要求

在UWB通信系统中,窄脉冲信号的产生非常关键,一般可以用光导开关来完成,另外窄脉冲信号的波形对通信系统性能有重要影响,常用的窄脉冲信号波形有高斯脉冲、一阶高斯微分和二阶高斯微分,其信号波形分别为

$$w(t) = \sqrt{E_p} \frac{2.1245}{\sqrt{t}} e^{-32\left(\frac{t-T_c}{t}\right)^2} \quad (2)$$

$$w(t) = \sqrt{E_p} \frac{24.0360}{\sqrt{t}} \left(\frac{t-T_c}{t}\right) e^{-32\left(\frac{t-T_c}{t}\right)^2} \quad (3)$$

$$w(t) = \sqrt{E_p} \sqrt{\frac{8}{3t}} \times \left\{ 1 - 4\pi \left(\frac{t-T_c}{t}\right)^2 \right\} e^{-2\pi \left(\frac{t-T_c}{t}\right)^2} \quad (4)$$

式中 E_p 为脉冲能量, t 为脉冲宽度, T_c 为时移量。典型波形及其功率频谱如图1、图2所示,图中脉冲能量 E_p 为1,时移量 T_c 为0.5 ns,脉冲宽度 t 为0.2 ns。通过改变脉冲宽度 t 来获得不同带宽的信号。

其他脉冲形状还有正弦脉冲、Manchester脉冲、方波等,二阶高斯微分信号在AWGN信道的误码率性能较好。不过,无论采用何种脉冲信号传递数据信息,其信号的能量辐射必须满足FCC相关规定的要求,在3.1 GHz ~ 10.6 GHz频带的功率谱密度满足-41 dBm/MHz,以减少对现有其他系统的干扰。FCC对室内UWB通信的能量辐射要求如图3所示。

1.3 UWB通信系统调制及多址方式

在现有的UWB系统中,常用的调制方式主要有PPM、双极性信号(如BPSK)、脉冲幅度调制、通断键控、正交调制以及这些调制方式的结合方式^[4]。

对于通断键控调制,尽管实现简单,但由于功率效率低,实际UWB系统较少采用,对于脉冲幅度调制方式,也存在同样的问题。AGWN信道中可以证明对于PPM调制的传输误码率为^[5]

$$P_e^{PPM} = Q\left(\frac{V_t}{s\sqrt{2}}\right) \quad (5)$$

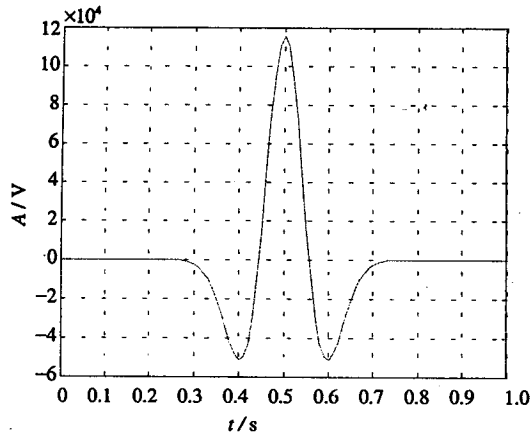


图1 二阶高斯微分信号波形

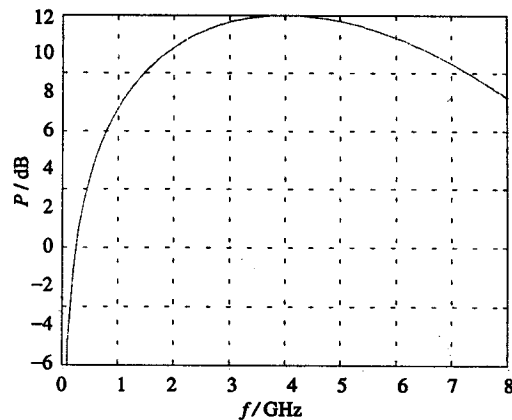


图2 二阶高斯微分信号频谱

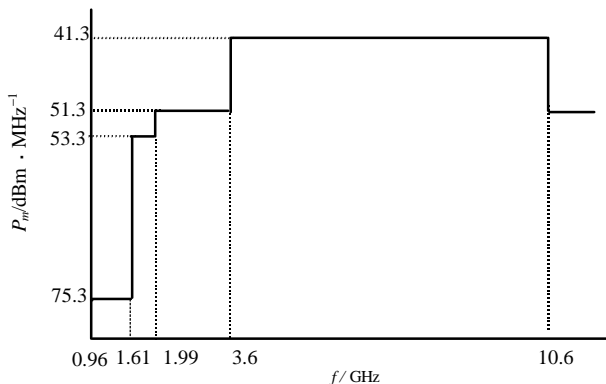


图3 FCC对室内UWB通信的能量辐射要求

对于BPSK调制, 误码率为

$$P_e^{biphase} = Q\left(\frac{V_t}{\sigma}\right) \quad (6)$$

式中 V_t 为发送信号电压幅度, σ 为噪声方差, Q 函数的定义为

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{+\infty} e^{-x^2/2} dx \quad (7)$$

从误码率公式可以看出, 在没有多径条件下, BPSK调制的误码率性能相对PPM调制有3~6 dB的提高。在UWB无线通信信道中, 由于多径存在, 会使得PPM调制的误码率性能进一步恶化, 因为在PPM调制中, 多径信号可能会被当作已调制的数据。另外, BPSK

调制方式中, 已调信号功率的峰平比 < 3 , 此特性有利于将发射端等设备封装到低成本、低电压的CMOS芯片中, 提高效率和减小体积。由于PPM调制方式容易和跳时多址技术结合, 实际系统可采用这两种方式的结合调制方式——双极性PPM调制, 可以充分利用两者的优点, 来提高UWB通信系统的传输性能。

为了进行多用户数据的传输与通信, 必须考虑多址技术, 现有通信系统采用的多址技术一般为FDMA、TDMA、CDMA, 近年来也提出了空分多址的概念, 由于UWB技术采用发射ns量级甚至更短冲击脉冲的、频带达GHz的无载波通信体制, 采用FDMA实现多址通信实现很困难, 通常UWB技术采用的多址技术主要时跳(Time Hopping, TH)技术和直接序列扩频技术^[6,7]。在TH技术中, 在每一帧时间内, 不同用户根据分配伪随机序列来占用不同的时间段, 在接收端则根据用户伪随机序列来进行定时接收, 而在直接序列UWB技术中, 系统发射端首先将用户信息利用具有良好正交性的直接序列扩频, 用扩频后序列控制冲击脉冲的发送, 接收端根据本地的同步伪随机序列对接收信号进行解扩, 并用RAKE技术多径合并, 提高输出信号质量。

1.4 信道特性

UWB无线传输通信系统的目标是为室内环境提供高速通信, 室内环境由于存在具有不同时延和损耗的多径传播, 使得发射信道复杂化, 同时具有时变的特点, 进而限制无线系统的性能, 这对于传统的窄带系统和UWB系统有一定的相似之处。但是, 由于UWB系统的频段很宽, 其信道特性有其特殊之处。首先, 由于传输频带不同, UWB系统信道路径损耗与窄带系统有所不同, 其次, 实验表明^[8]: UWB的平均时延扩展在20~30 ns之间, 多径强度按指数衰减, 且70%~80%能量集中在10 dB峰内。可见, UWB系统在多径衰落方面具有良好的稳健性(Robustness)。有资料显示, 在非视距传播的室内环境下, 其信号变化 < 5 dB, 而窄带系统信号变化超过20~30 dB。对于UWB多径幅度分布, Intel公司经过大量实验测试, 结果表明UWB室内环境更接近对数高斯分布, 而非现有移动通信系统服从的瑞利分布。

1.5 系统构成

典型的UWB通信系统是一种无载波通信方式,电路实现较简单,所以UWB也称为基带(baseband)、无载波(carrier-free)和脉冲无线电(impulse radio)。采用跳时脉冲位置调制(TH-PPM)UWB方式的系统,发送、接收端构成框图分别如图4、图5所示。从图中得知在室内UWB通信信道中,可以分辨出的多径数目达到30多条,在接收端,为了充分利用这些多径,可采用Rake接收的方式提高信号输出质量。

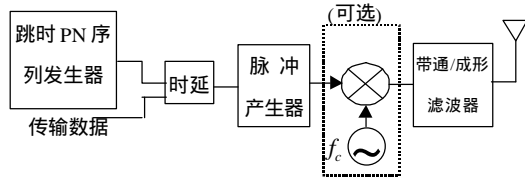


图4 TH-PPM UWB 系统发送端

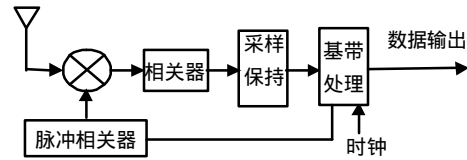


图5 TH-PPM UWB 系统接收端

2 国内外UWB通信系统状况、趋势

由于UWB有着广阔的应用前景,特别是在短距离无线多址通信方面的应用,超宽带室内无线传输技术受到业界众多厂商和学术界的广泛关注和研究,现已有了相应的实验系统,如在2002年汉诺威GeBIT大展上新加坡Celloonics公司进行了UWB传输演示,此次演示完成了传输距离为5 m,无线传输速率为11.5 Mbps,带宽为2.4 GHz,脉冲宽度为20 ns的短距离传输。不久前,该公司还宣布已成功进行了100 Mbps的室内传输实验^[1]。美国等国家也开发出UWB视频传输系统、UWB物流监控系统、高速公路路边通信报警系统等。同时Xtreme Spectrum 等公司也开发出相应的UWB传输芯片。UWB技术将在今后的几年中得到广泛的研究和应用,随着传输速率的进一步提高,宽带无线接入的主要方式,将成为无线通信市场新的增长点。

3 结束语

UWB通信技术有着与其他系统无法比拟的优点,特别是应用于室内高速的无线传输。现阶段可以采用高斯信号波形、PPM调制及跳时等技术、UWB能够取得较好的性能、而且也较容易实现。随着FCC对UWB通信频带的开放,会进一步加快对其的研究和开发。不过,由于UWB系统与现有窄带系统有着明显的差异,UWB技术应用于室内高速无线传输系统还有些问题需要解决,如信道模型研究、对现有窄带通信系统的影响、多径信道估计、可控窄脉冲产生技术等。

参 考 文 献

- [1] 通讯世界编辑部. 未来10年最有市场发展前景的10大通信[J]. 通讯世界, 2003, 9(3): 12-17
- [2] FCC Press Release[EB/OL]. http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/. 2002-2
- [3] Hamalainen M, Hovinen V, Tesi R, *et al.* On the UWB system coexistence with GSM900, UMTS/WCDMA, and GPS[J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2002, 20(9): 1 712-1 721
- [4] Jeffrey R, Michael B, Dong S H. Introduction to UWB: Impulse Radio for Radar and Wireless Communications[EB/OL]. www.mprg.org/people/buehrer/ultra/UWB%20tutorial.pdf, 2002-1
- [5] John M C. A tutorial on ultrawideband technology[EB/OL]. grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2000/Mar00/00082r1P802-15_WG-UWB-Tutorial-1-XtremeSpectrum.pdf, 2000-3
- [6] Scholtz R. Multiple access with time-hopping impulse modulation[C]. Military Communications Conference, 1993. 447-450
- [7] Somayazulu V S. Multiple access performance in UWB systems using time hopping vs. direct sequence spreading[C]. Wireless Communications and Networking Conference, FL, USA, 2002. 522-525
- [8] Jeff F. Ultra-wideband technology for short-Range, high-rate wireless communications[EB/OL]. www.intel.com/technology/itj/q22001/pdf/art_4.pdf, 2003-04-1

编辑 刘文珍