

带内干扰抑制的超宽带脉冲设计*

郭 锋 庄奕琪

(西安电子科技大学微电子学院, 西安 710071)

摘 要 采用不同幅度和延迟的高斯函数脉冲组合来拟合抽样函数脉冲, 利用拟合的抽样函数脉冲设计超宽带脉冲信号, 实现美国联邦通信委员会制定的辐射掩蔽要求的高效逼近. 该方法产生的脉冲波形具有实现简单、持续时间短、带外辐射功率小、容易进行时域或频域调节等特点. 与已报道的几种脉冲比较, 设计的脉冲可携带更多的能量, 同时具有良好的带内(窄带或宽带)干扰抑制能力, 能够和带内的其他通信系统更好的共存. 最后, 对设计的脉冲波形和最佳高斯波形的通信性能进行了比较, 表明文中波形的性能明显优于最佳高斯波形.

关键词 脉冲波形; 超宽带; 干扰抑制; 功率谱密度; 辐射掩蔽

中图分类号 TN784+.1

文献标识码 A

0 引言

近年来, 超宽带(UWB; Ultra Wide Band)扩频通信技术受到军事、科技和商业领域的极大兴趣. 超宽带系统通过发射极窄的脉冲信号, 从而占用很大的带宽. 这使其具有对信道衰落不敏感、发射信号功率谱密度低、抗截获能力强、系统复杂度低、定位准确度高等的优点, 尤其适用于室内等密集多径场所的高速无线接入. 同时根据仙农信道容量理论, 与传统的窄带信号相较, 超宽带通信具有更高的数据吞吐量. 为了不干扰其它无线通信系统, 必须对超宽带信号的功率谱密度加以限制. 因此, 美国联邦通信委员会(FCC; Federal Communications Commission)对此在文献[1]中做了详细的规定. FCC规定室内的超宽带设备必须在 3.1~10.6 GHz 范围内及符合相应的辐射掩蔽标准. 为了使发射脉冲可以携带更多的能量, 应尽量使波形频谱更接近于规范允许的极限.

实际中, 脉冲产生器最易产生的脉冲波形其实是一个钟形, 类似于高斯函数波形^[2]. 因此一般用连续的高斯单周期脉冲及其各阶导函数来进行脉冲波形的设计^[3~8]. 在文献[6]中提出了一种选择最佳脉冲导函数和最佳脉冲形成因子并使之逼近 3.1~10.6 GHz 范围内的辐射掩蔽算法. 然而采用单个脉冲很难高效地逼近掩蔽标准, 更好的设计是采用多个脉冲的组合来调节脉冲的能量谱密度使之逼近. 如文献[5]提出一种利用特征值的算法来产生一系列脉冲. 由于这种算法产生的脉冲具有持续时间短、不同脉冲之间满足正交性的特点, 因此, 它能较

好的逼近 FCC 的辐射掩蔽标准, 并且适用于多用户的情形. 文献[7]进一步研究了该算法, 并使其具有窄带干扰抑制能力. 但这种算法的缺点是时域的波形组合过于复杂而难以实际使用. 在文献[8]中用讲述了单周期脉冲的硬件实现及所对应的频谱.

本文提出一种新的超宽带脉冲的设计方法. 采用相同脉冲形成因子的不同幅度和延迟的高斯脉冲组合, 来实现辐射掩蔽的高效逼近. 该方法产生的脉冲波形具有实现简单、持续时间短、容易进行时域或频域调节的特点, 同时具有良好的带内(窄带或宽带)干扰抑制能力. 在介绍设计原理的基础上, 给出了设计时域波形的具体实现波形及所对应的功率谱. 最后, 对于假设存在的带内干扰对波形进行设计, 使其具备抑制干扰的能力.

1 脉冲设计原理及方法

矩形脉冲的频谱为具有较长拖尾的抽样函数. 根据对偶原理, 如果时域的波形采用截短的抽样函数, 则频域的能量谱理论上具备良好的截止特性. 抽样函数持续时间越长, 则频域的能量谱截止特性越好. 但抽样函数波形在电路上难以实现, 如前所述, 脉冲产生器最易产生的是高斯函数脉冲. 如果能够通过一系列单周期高斯函数脉冲的组合对抽样函数进行拟合, 则其频谱也将得到类似于抽样函数的谱形状. 若输入为

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

对其进行不同间隔的延迟并乘以不同的增益, 可得输出

$$f(t) = \sum_{m=-n}^n a_m e^{-\frac{(t-\tau_m)^2}{\alpha^2}} \quad (2)$$

对于给定的脉冲形成因子 α^2 , 只要调节 a_m 及 τ_m 即可对归一化的抽样函数 $\text{sin } c(t) = \text{sin } (t)/t$ 进行拟合. 取 $\alpha = 40$, 仿真得到当 a_m 及 τ_m 取表 1 的值得

* 宁波市青年基金资助(2004A620001)

Tel: 029-88201983 Email: guofeng@zwu.edu.cn

收稿日期: 2006-02-20

表 1 拟合函数的 a_m 及 τ_m 的值

m	0	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8	± 9
a_m	1.021	-0.315	0.230	-0.144	0.121	0.105	0.085	0.062	0.055	-0.030
τ_m	0	4.5	7.4	10.6	14.1	17.1	20.1	23.5	26.5	29.1

时,即可达到较好的拟合结果. 在 19 个抽样函数振荡周期内拟合的均方误差为

$$e=2 \int_0^{10\pi} (f(t) - \sin c(t))^2 dt < 0.003 \quad (3)$$

如果想得到其他抽样函数周期的拟合结果,只要对变量 t 进行尺度变换即可.

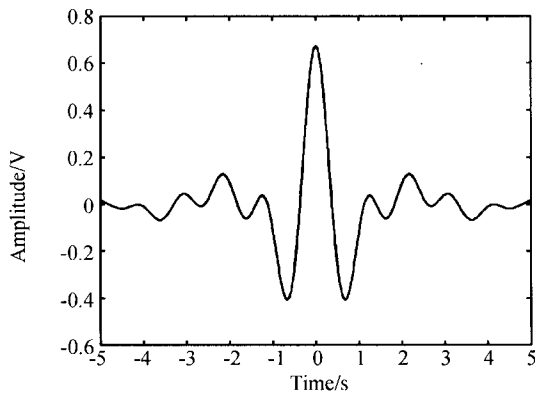
2 UWB 脉冲波形设计

2.1 满足辐射掩蔽标准的脉冲波形设计

首先,FCC 的掩蔽条件可等效于一个理想带通滤波器的响应,即

$$H(f) = \begin{cases} 1 & f_L + \Delta f < f < f_H - \Delta f \\ 0 & \text{其它值} \end{cases} \quad (4)$$

$$f_L = 3.1 \text{ GHz}, f_H = 10.6 \text{ GHz}, \Delta f = 0.15 \text{ GHz}.$$



由于存在过渡带的关系,在上下限频率处各取一定的余量.

它的傅里叶逆变换即时域理想波形为

$$h(t) = 2\pi(f_H - \Delta f) \sin c(2\pi(f_H - \Delta f)t) - 2\pi(f_L + \Delta f) \sin c(2\pi(f_L + \Delta f)t) \quad (5)$$

式(2)代入式(5)可得用高斯函数脉冲拟合的 $h(t)$,记为 $h'(t)$,若取脉冲持续宽度为 1 ns,取 $n=9$,此时

$$h'(t) = 2\pi(f_H - \Delta f) \sum_{m=-n}^n a_m e^{-\frac{(2\pi(f_H - \Delta f)t - \tau_m)^2}{\sigma^2}} - 2\pi(f_L + \Delta f) \sum_{m=-n}^n a_m e^{-\frac{(2\pi(f_L + \Delta f)t - \tau_m)^2}{\sigma^2}} \quad (6)$$

式(6)所对应的时域波形和满足室内外掩蔽标准的频域功率谱密度(PSD: Power Spectral Density)如图 1.

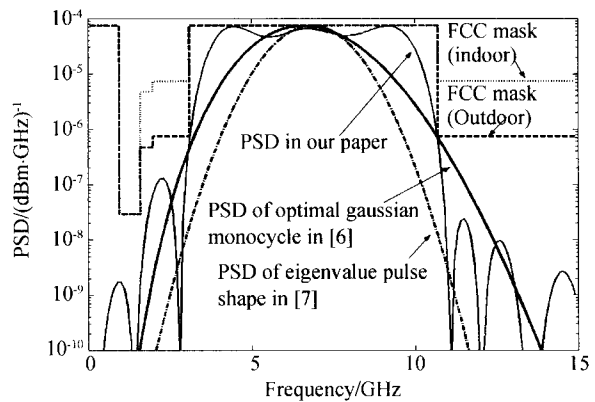


图 1 满足室内外掩蔽标准的时域波形及频域功率谱密度

Fig. 1 The time-domain pulse shape and PSD which could meet FCC spectral mask

图 1 同时给出文献[6]、文献[7]中相应方法所产生的波形功率谱密度图. 可以看出本文方法产生

的波形的功率在满足规范限定下,明显大于其他方法. 表 2 给出各种方法的综合比较结果.

表 2 各种波形的实现特征比较

波形	发射总功率(mW/dBm)	与最大功率比值	实现方式	干扰抑制
FCC 辐射掩蔽	-0.55/2.8	100%
单周期高斯最佳波形 ^[6]	-0.23/6.3	42%	简单	不能
特征根法波形 ^[7]	-0.17 /7.7	31%	复杂	窄带干扰抑制
本文的波形	-0.38/4.2	69%	较复杂	窄带或宽带干扰抑制

2.2 抑制带内干扰的脉冲波形设计

假设系统在 f_1 和 f_2 之间存在较强的干扰,可对脉冲波形进行设计以达到抑制干扰和共存的目的. 此时

$$H(f) = \begin{cases} 1 & (f_1 + \Delta f < f < f_1 - \Delta f', f_2 + \Delta f' < f < f_H - \Delta f) \\ 0 & \text{(其它值)} \end{cases} \quad (7)$$

对式(7)取傅里叶逆变换,再将式(2)代入即可求出脉冲波形. FCC 规定 5.15~5.825 GHz 的 U-NII 波段为免授权的无线宽带接入波段. 如果要避开该波段的干扰,可令 $f_1 = 5.15 \text{ GHz}, f_2 = 5.825 \text{ GHz}$,取 $\Delta f' = 0.6 \text{ GHz}$. 经仿真得到的时域和频域波形如图 2.

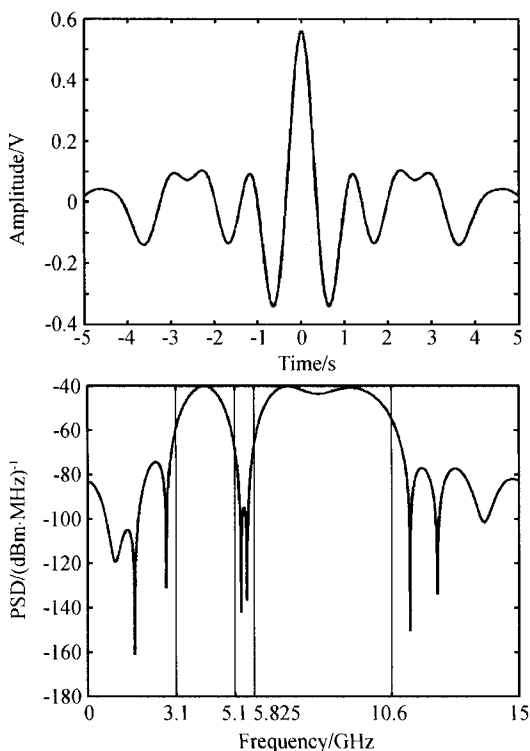


图 2 抑制带内干扰的脉冲波形及功率谱
Fig. 2 The pulse shape and PSD with inband interference suppression

3 链路预算和数据传输速率

文献[6]的式(22)中推导出在自由空间的传播条件下传输距离 d 与数据传输速率 R_b 之间的关系

$$d = \frac{c}{4\pi\sqrt{(E_b/N_0)R_b N_0}} \sqrt{\int_{f_l}^{f_h} \frac{|P_t(f)|}{f^2} df} \quad (8)$$

式中 c 为光速, G_t 和 G_r 为发射和接收天线增益, 分别取为 1, E_b/N_0 为平均每个信息位的信噪比. 给定不同调制方式的误码率即可求出所需的信噪比 E_b/N_0 , R_b 为数据传输速率, N_0 和 $P_t(f)$ 为噪音和发送信号功率谱密度, 取 $N_0 = -102.83 \text{ dBm/MHz}$. 作为比较, 图 3 给出本文的波形和文献[6]中的高斯单周期最佳波形在自由空间下, 对于 M-PAM 调制时不同

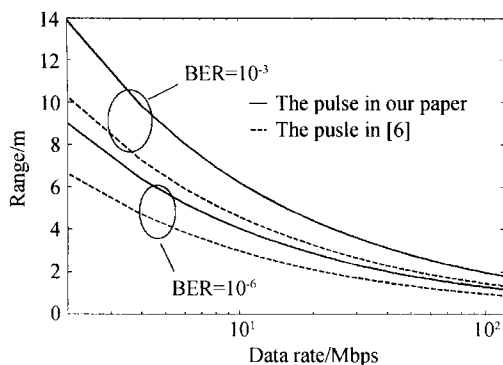


图 3 自由空间中距离与数据传输速率关系
Fig. 3 The relationship between transmission range and data rate in free space

传输速率所能达到的距离。

4 结论

本文采用了高斯函数脉冲拟合截短的抽样函数脉冲来进行超宽带脉冲波形的设计. 从理论分析结果来看, 该方法的实现并不十分复杂, 但与其他脉冲波形相比, 该波形可携带更多的能量. 在相同的传输条件下, 可显著地改善系统的性能. 同时, 也可对带内存在的窄带或宽带干扰地进行有效地抑制, 达到与其他通信系统共存的目的.

参考文献

- 1 FCC. Revision of Part 15 the Commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems. *ET Docket*, 2002, 98~153
- 2 Wen-Piao L, Jun-Yu C. Implementation of a new ultrawide-band impulse system. *Photonics Technology Letters, IEEE*, 2005, 17(11): 2418 ~ 2420
- 3 Han J, Nguyen C. A new ultra-wideband ultra-short monocycle pulse generator with reduced ringing. *IEEE Microwave Wireless Compon Lett*, 2002, 12(6): 206~208
- 4 Corral C A, Sibecas S, Emami S, et al. Pulse spectrum optimization for ultra-wideband communication. in: Proc IEEE UWBST2002, Baltimore; IEEE, 2002. 31~35
- 5 Brent P, Byung L C. A novel ultra-wideband pulse design algorithm. *IEEE Commun Lett*, 2003, 7(5): 36~38
- 6 Sheng H, Orlik P. On the Spectral and Power Requirements for Ultra-Wideband Transmission. in: IEEE International Conference on Communications, Alaska; IEEE, 2003, 1: 738~742
- 7 Li Z D, Hong G. A New UWB Pulse Design Method for Narrowband Interference Suppression. in: IEEE Communications Society Globecom 2004, Dallas; IEEE, 2004, 6: 3488~3492
- 8 Norimatsu T, Fujiwara R, Kokubo M. A novel UWB impulse radio transmitter with all-digally-controlled pulse generator. in: IMEP, LETI; Proceedings of ESSCIRC, Grenoble; IEEE, 2005. 267~270
- 9 李东, 刘百玉, 刘进元, 等. 用于高功率激光装置中的电脉冲整形系统. *光子学报*, 2005, 34(9): 1304~1306
Li D, Liu B Y, Liu J Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(9): 1304~1306
- 10 赵元安, 王涛, 张东平, 等. 脉冲激光辐照光学薄膜的缺陷损伤模型. *光子学报*, 2005, 34(9): 1372~1375
Zhao Y A, Wang T, Zhang D P, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(9): 1372~1375
- 11 廖春艳, 邵建达, 范正修. 飞秒脉冲激光器中色散补偿膜的设计. *光子学报*, 2005, 34(5): 730~733
Liao C Y, Shao J D, Fan Z X. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 34(5): 730~733

A New UWB Pulse Design Algorithm for Inband Interference Suppression

Guo Feng, Zhuang Yiqi

College of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710071

Received date: 2006-02-20

Abstract Using the combination of Gaussian monocycles pulse with different amplitude and different delay, a new ultra-wideband (UWB) pulse design algorithm for Inband (narrowband or wideband) interference suppression is presented. With a Wireless Personal Area Network (WPAN) Communications short duration and a simple implement, the obtained UWB pulse not only meet Federal Communications Commission (FCC) spectral mask, but dramatically suppress the mutual interferences and successfully solves the coexistence problem between UWB system and others existing communication system. Compare with other pulse shapes, our pulse can carry more energy. In the end, the communication performance of the UWB pulse in the paper and the optimal Gaussian-based monocycle is compared, our pulse have an obvious advantage over the optimal Gaussian-based monocycle.

Keywords Pulse shape; Ultra-wideband; Interference suppression; Power spectral density; Spectral mask,



Guo Feng was born in 1973 in Xi'an, China. He received the B. S. degree in information and communications engineering from Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, in 1995 and M. S. degree in computer application engineering from Xidian University, Xi'an, China in 2000. He is currently working toward the Ph. D. degree at College of Microelectronics in Xidian University. His current research interests include Ultrawideband (UWB), Bluetooth and other Wireless Personal Area Network Communications.