

正交 Hermite 脉冲的超宽带的多用户通信

胡文 郑国莘

(上海大学 通信与信息工程学院 上海 200072)

摘要 正交 Hermite 脉冲被提出用于超宽带无线通信。该文提出新方法用于超宽带通信的多用户传输系统。通过同时传输多个正交 Hermite 脉冲,超宽带多用户传输系统可以获得好的性能特征。该文还提出了正交 Hermite 脉冲应用于 UWB 的 DS-CDMA 系统以同时支持更多的用户通信。

关键词 超宽带通信, Hermite 多项式, 多用户通信, 双正交调制

中图分类号: TN914.42

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)05-0852-05

Orthogonal Hermite-Based Pulse Shapes Used for Ultra-Wide-Band Multi-user Communication

Hu Wen Zheng Guo-xin

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract Orthogonal Hermite pulse shapes used for Ultra Wide-Band(UWB) communication are proposed. The paper presents a novel method for multi-user transmission system in UWB communication. By transmitting multiple orthogonal Hermite pulses simultaneously, the UWB multi-user transmission system achieves good performance characteristic. Also it proposes that orthogonal Hermite pulses can be applied to the DS-CDMA system in UWB to access more users at one time.

Key words Ultra-wide-band communication, Hermite polynomial, Multi-user communication, Biorthogonal modulation

1 引言

超宽带(UWB)通信是一种近距数字通信技术,它跨越了很宽的频带(3GHz-10GHz),还可与现有通信系统共存。目前在UWB研究中广泛采用的高斯波形作调制的脉冲。用高斯脉冲实现的多用户通信系统有脉冲位置调制(PPM)技术^[1]和DS-CDMA技术。PPM技术的各用户占用不同的脉冲位置以实现多用户同时通信。DS-CDMA技术,各用户都是M-BOK的多元双正交调制,不同的双正交码区分不同的用户。最新学者提出用Hermite函数的变形设计正交脉冲集用于正交波形调制^[2],以架构单用户多元通信及多用户通信,但未对其系统性能作分析。基于正交Hermite脉冲集,本文构建多用户通信系统,各用户采用双正交的多元通信。本文分析了正交Hermite脉冲集实现的多用户通信的系统性能,并与用高斯脉冲实现的多元PPM的多用户系统性能比较,在其基础上本文还提出正交Hermite脉冲可用于超宽带的DS-CDMA方案中的新设想。

2 能量归一的正交 Hermite 脉冲集

1988年Hermite脉冲就被提出用于图像处理技术,正交Hermite多项式 $h_n(t)$ 的时域波形如图1所示。

$$h_n(t) = e^{-\frac{t^2}{2t_p^2}} h_n\left(\frac{t}{t_p}\right) = (-1)^n e^{\frac{t^2}{4t_p^2}} \frac{d^n}{dt^n} \left(e^{-\frac{t^2}{2t_p^2}} \right) \quad (1)$$

其中阶数 $n=0,1,2,\dots$,且 $-\infty < t < +\infty, t_p$ 为脉冲宽度调整因子。

从时域分析正交 Hermite 脉冲具有以下特性:

- (1) n 阶正交 Hermite 脉冲有 n 个对应幅度为零的时间点;
- (2) 各阶正交 Hermite 脉冲持续的时间宽度近似;
- (3) 各阶正交 Hermite 脉冲相互正交,经过发射和接收天线的微分作用后仍为正交的;
- (4) $n > 0$ 的正交 Hermite 脉冲没有直流分量。

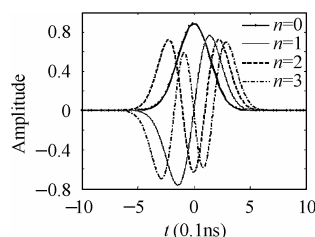


图1 $n=0,1,2,3$ 的正交Hermite脉冲波型的时域特征($t_p=1$)
Fig.1 Time response of orthogonal Hermite pulses of order $n=0,1,2,3(t_p=1)$

3 符合 FCC 要求的 Hermite 脉冲集的正交特性

正交Hermite脉冲的响应并不满足联邦通信委员会(FCC)的要求,波形能量主要集中在低频部分,为此对正交Hermite脉冲用高频正弦波频谱搬移^[2],本文在此基础上提出对脉冲宽度因子 t_p 再做调整。调制后的正交归一化的Hermite脉冲 $P_n(t)$ 表达式为

$$P_n(t) = \frac{1}{\sqrt{n!} \sqrt{\pi/2}} h_n(t) \sin(2\pi f_c t + \phi_r) \quad (2)$$

其中 $n=0,1,2,\dots$, $-\infty < t < +\infty$, ϕ_r 为相移, 以下研究假定相移为零。本文仿真得出 $tp_0=0.65$, $tp_1=0.82$, $tp_2=0.96$, $tp_3=1.08$, $tp_4=1.18$, $tp_5=1.28$, $tp_6=1.38$, $tp_7=1.42$, $tp_8=1.5$ 且 $f_c=6.85\text{GHz}$ 时,1~8阶Hermite脉冲能满足FCC要求且频带利用率最高^[1]。但各阶脉宽因子的不同会破坏了脉冲间的正交特性, 而各阶脉宽因子相同时(各 $tp=1.5$), 正交特性得以保证, 如图2, 图3所示。互相关特性 $R(u; n, m)$ 绝对值的表达式为

$$|R(u; n, m)| = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} P_n(t) P_m(t-u) dt \right|, \quad n, m = 1, 2, \dots, 8, \quad (3)$$

且 $n \neq m, u \in [-1\text{ns}, 1\text{ns}]$

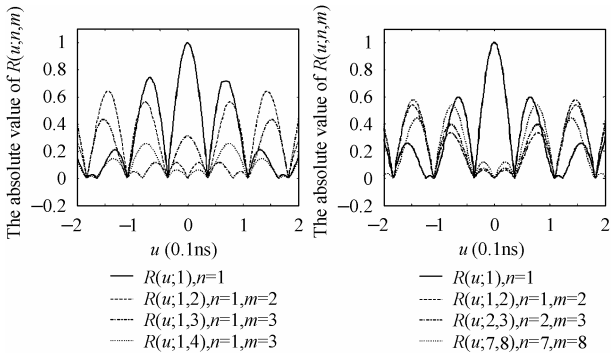


图2 各 $tp=1.5$ 时, $n=1$ 的正交 Hermite 脉冲的自相关函数及 $n=1$ 分别与 $m=2, 3, 4$ 的正交 Hermite 脉冲间的互相关特性

图3 各 $tp=1.5$ 时, $n=8$ 的正交 Hermite 脉冲的自相关函数及分别与 $n=1$ 与 $m=2; n=2$ 与 $m=3; n=7$ 与 $m=8$ 的正交 Hermite 脉冲间的互相关特性

Fig.2 The autocorrelation function of Hermite pulse of order 1 and the correlation function between Hermite pulse of order $n=1$ and $m=2, 3, 4$, if $tp=1.5$

Fig.3 The autocorrelation function of Hermite pulse of order 8 and the correlation function between Hermite pulses of order $n=1, m=2$ and $n=2, m=3$ and $n=7, m=8$, if $tp=1.5$

图2, 图3为各脉冲 $tp=1.5$ 时的互相关特性曲线。当时延 u 为零时, Hermite脉冲 $P_n(t)$ 与 $P_m(t)$ 的互相关函数的幅度都等于零。所以各阶脉宽因子 tp 相同时, Hermite脉冲间的正交特性是良好的。当时延不为零, 从图2还看出, Hermite脉冲 $P_n(t)$ 与 $P_m(t)$ 的阶数相差越小, 其互相关的特性越差。当时延不为零, $P_n(t)$ 与 $P_m(t)$ 的阶数相差1时, 如图3, 正交Hermite脉冲的阶数越高, 其互相关的特性越差。所以时延 u 不为零时, 1~8阶内, $P_7(t)$ 与 $P_8(t)$ 的互相关性最差。因此为保证满足FCC要求、频带利用率最高、正交特性良好, 各脉宽因子 tp 统一由最高阶脉冲的脉宽因子 tp_n 而定, 即 $tp=tp_n$, 而最高阶的脉宽因子 tp_n 应使该脉冲满足FCC要求且频带利用率最高。以下讨论是基于符合FCC要求的1~8阶正交Hermite脉冲。

4 基于正交 Hermite 脉冲的多用户系统

基于 Hermite 脉冲集的正交特性, 不同用户采用不同阶的正交 Hermite 脉冲就能实现多用户同时通信。本文设定多用户系统中的各用户采用双正交的多元通信。以双正交的二元通信为例, 发送1个比特即为1个符号, 检测到的向量仅

有两种可能, 用户1发送信号0和1, 分别用1阶Hermite脉冲 $P_1(t)$ 和其负脉冲 $-P_1(t)$ 调制信号, 其他用户均用不同阶正交脉冲。若各用户采用双正交的四元通信, 发送2个比特即为1个符号, 检测到的向量有4种可能, 用户1发送信号00, 01, 10, 11, 分别用 $P_1(t), P_2(t), -P_1(t), -P_2(t)$ 脉冲来调制。用户2发送信号00, 01, 10, 11, 分别用 $P_3(t), P_4(t), -P_3(t), -P_4(t)$ 脉冲来调制。

4.1 二元通信时的多用户系统检测

正交多用户系统中, 假定各用户为二元通信, 接受信号 $r(t)$ 可以表示为

$$r(t) = \sum_{k=1}^{N_u} A_k S^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=1}^{N_u} A_k b_i^{(k)} P_{\text{bit}}^{(k)}(t - iT_i - \tau_k) + n(t) \quad (4)$$

其中用户总数为 N_u , A_k 是第 k 个用户信号到达接收端的幅度衰减, τ_k 是第 k 个用户信号从发射机到接收机的时钟之差, $S^{(k)}(t)$ 是第 k 个用户信号在 $t \in [-\infty, +\infty]$ 的时域波形, $n(t)$ 为加性高斯白噪声。将 $[-\infty, +\infty]$ 时域以比特为单位划分为与每个比特对应的的时间范围序列 $\{T_i\}$, $i=0, 1, \dots, +\infty$, T_i 表示第 i 个比特的时间范围, 比特时宽为 T , 第 k 个用户的第 i 个比特 $b_i^{(k)}$ 在 $[-1, 1]$ 中取值, $b_{\text{bit}}^{(k)}(t)$ 为接收到的第 k 个用户在一个比特的时域波形, 此波形为第 n 阶正交Hermite脉冲, $n \in [2, 3, \dots, 8]$ 。假设用户1的信号是要准确接收的信号, 把用户1受到的多址干扰和信道的高斯白噪声看成总干扰, 接收信号 $r(t)$ 还可以表示为

$$r(t) = A_1 S^{(1)}(t - \tau_1) + n_{\text{total}}(t) \quad (5)$$

$$n_{\text{total}}(t) = \sum_{k=2}^{N_u} A_k S^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \quad (6)$$

每个用户为双极性信号的二元通信, 多用户干扰下的误比特率以式(7)来估计^[3]

$$P_e(N_u) = Q\left(\sqrt{2\text{SNR}(N_u)}\right) \quad (7)$$

其中

$$\text{SNR}(N_u) = \frac{m^2}{\sigma^2} = \frac{\left(\int_{t \in T_i} A_1 s_{\text{bit}}^{(1)}(t) y_{\text{bit}}(t) dt \right)^2}{E \left\{ \left[\int_{t \in T_i} n_{\text{total}}(t) y_{\text{bit}}(t) dt \right]^2 \right\}} = \frac{A_1^2 \left(\int_{t \in T_i} P_{\text{bit}}^{(1)}(t) y_{\text{bit}}(t) dt \right)^2}{E \left\{ \left[\int_{t \in T_i} n_{\text{total}}(t) y_{\text{bit}}(t) dt \right]^2 \right\}} \quad (8)$$

$S_{\text{bit}}^{(1)}(t)$ 是第一个用户在第 i 个比特内的时域信号, $y_{\text{bit}}(t)$ 为接收机在时宽 T_i 内的检测模版信号, 因为要接收用户1的信号, 所以 $y_{\text{bit}}(t) = P_{\text{bit}}^{(1)}(t)$ 。

$$m^2 = A_1^2 \left(\int_{t \in T_1} (P_{\text{bit}}^{(1)}(t))^2 dt \right)^2 \quad (9)$$

$N_u=1$ 时, 单用户信噪比 $\text{SNR}(1)=m^2/\sigma_1^2$, 其中

$$\sigma_1^2 = E \left\{ \left[\int_{t \in T_1} n(t) y_{\text{bit}}(t) dt \right]^2 \right\} = E \left\{ \left[\int_{t \in T_1} n(t) P_{\text{bit}}^{(1)}(t) dt \right]^2 \right\} \quad (10)$$

假定接收机与用户 1 的发射机在时间上同步, 而对其他用户不同步且接收机与各干扰用户的发射机的时间差相互独立, 则不同干扰用户对用户 1 的干扰是相互独立的。又因为 $y_{\text{bit}}(t)$ 及 $P_{\text{bit}}^{(1)}(t)$ 为正交 Hermite 脉冲, 没有直流分量, 所以得到

$$E \{ n_{\text{total}}(t) \} = E \left\{ \sum_{k=2}^{N_u} A_k S^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \right\} = 0 \quad (11)$$

从而得到

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= E \left\{ \left[\int_{t \in T_1} \left(\sum_{k=2}^{N_u} A_k S^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \right) y_{\text{bit}}(t) dt \right]^2 \right\} \\ &= E \left\{ \left[\int_{t \in T_1} \sum_{k=2}^{N_u} A_k S^{(k)}(t - \tau_k) P_{\text{bit}}^{(1)}(t) dt \right]^2 \right\} + \sigma_1^2 \end{aligned} \quad (12)$$

又因为各干扰用户波形 $S^{(k)}(t)$ 为不同阶的 Hermite 脉冲, 且其接收时延 τ_k 为 $[0, T]$ 内平均分布。根据图 3, 图 4, 在不同时延差的情况下, 对不同阶的 Hermite 脉冲间的互相关特性的研究, 第 7 阶 Hermite 脉冲 $P_7(t)$ 与第 8 阶 Hermite 脉冲 $P_8(t)$ 在时延不为零时的互相关特性为最差。当用户 1 的 Hermite 脉冲 $P_{\text{bit}}^{(1)}(t)$ 阶数 n 限制在 2~8 阶, 把 τ_k 表示成 τ , 服从 $[0, T]$ 内平均分布。从而得出:

$$\begin{aligned} &E \left\{ \left[\int_{t \in T_1} \sum_{k=2}^{N_u} A_k S^{(k)}(t - \tau_k) P_{\text{bit}}^{(1)}(t) dt \right]^2 \right\} \\ &< E \left\{ \left[\int_{t \in T_1} \sum_{k=2}^{N_u} A_k P_7(t - \tau_k) P_8(t) dt \right]^2 \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

所以 $\sigma^2 < \frac{1}{T} \sum_{k=2}^{N_u} A_k^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} P_7(t - \tau) P_8(t) dt \right]^2 d\tau + \sigma_1^2$

对于 N_u 个用户, 假设各用户功率控制良好 $A_k=A_1$, $\text{SNR}(1)$ 为单用户系统的信噪比, 得到 N_u 个用户接入时的比特信噪比的上限, 如式(14)。多用户接入时的比特信噪比与单用户比特信噪比 $\text{SNR}(1)$, 用户数 N_u 与比特率 R_b 有关。把式(14)代入式(7)得到多用户系统的误码率的上限。根据式(15), 借助 Matlab 计算误码率 $P_e(N_u)$ 的上限。

$\text{SNR}(N_u) >$

$$\left[\frac{1}{\text{SNR}(1)} + \frac{(N_u - 1)R_b \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} P_7(t - \tau) P_8(t) dt \right]^2 d\tau}{\left(\int_{-\infty}^{+\infty} P_8(t) P_8(t) dt \right)^2} \right]^{-1} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} &P_e(N_u) \\ &= Q \left(\sqrt{2\text{SNR}(N_u)} \right) \\ &< Q \left[\frac{2}{\text{SNR}(1)} + \frac{2(N_u - 1)R_b \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} P_7(t - \tau) P_8(t) dt \right]^2 d\tau}{\left(\int_{-\infty}^{+\infty} P_8(t) P_8(t) dt \right)^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (15)$$

图 4 研究的是基于正交 Hermite 脉冲的多用户接入系统的性能。假定用户数分别为 $N_u=4, 8$, 接收端接收的是用户 1 的信号, 单用户信噪比 $\text{SNR}(1)=9.58$ dB 对应单用户系统的 $P_e(1)=10^{-5}$; $\text{SNR}(1)=10.52$ dB 对应 $P_e(1)=10^{-6}$; $\text{SNR}(1)=11.3$ dB 对应 $P_e(1)=10^{-7}$ 。从图中得出(1)用户数 N_u 和单用户信噪比 $\text{SNR}(1)$ 一定, 比特率 R_b 越大, 误码率越高。(2)比特率 R_b 和单用户信噪比 $\text{SNR}(1)$ 一定, 用户数 N_u 越多, 误码率越高。(3)用户数 N_u 和比特率 R_b 一定, 单用户信噪比 $\text{SNR}(1)$ 越高, 误码率越低, 多用户系统性能越好。

图 5 研究的是各用户采用高斯单周期脉冲波形的二元 PPM 调制下多用户系统性能。根据文献[1]中的 PPM 的定义做的计算。比较图 4, 图 5 得出: 二元通信时, 采用正交 Hermite 脉冲的多用户系统性能优于高斯单周期脉冲波形的二元 PPM 调制下多用户系统性能。这是由于在构造正交 Hermite 脉冲的多用户系统时, 每个用户采用的是对极波形的信号, 其性能优于采用正交信号的 PPM 调制。

4.2 多元通信时的多用户系统检测

正交多用户系统中, 假定每个用户是 M 维双正交的多元通信, 用户 1 在多用户干扰下的误比特率为^[3]

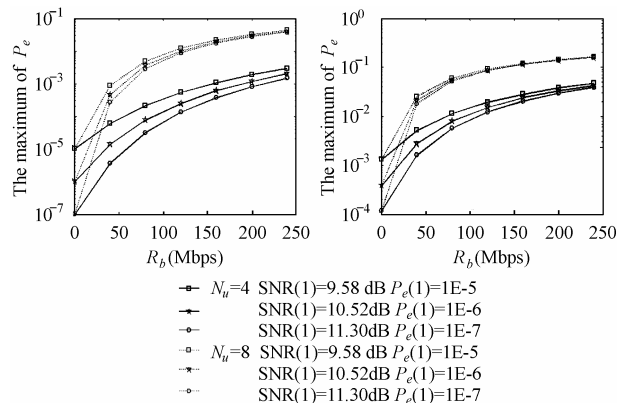


图 4 正交 Hermite 脉冲二元双正交调制的多用户系统在不同比特速率时对应的最大误比特率
Fig.4 The maximal probability of bit error $P_e(N_u)$ for different values of the bit rate R_b using orthogonal Hermite pulses with biorthogonal modulation in multi-users system

图 5 高斯单周期脉冲二元 PPM 调制的多用户系统在不同比特速率时对应的最大误比特率
Fig.5 The probability of bit error $P_e(N_u)$ for different values of the bit rate R_b using Gaussian monocycle pulse with PPM modulation in multi-users system

$$P_e(N_u) = \frac{2^{k-1}}{2^k - 1} \left\{ 1 - \int_0^{+\infty} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-r/\sigma}^{r/\sigma} e^{-x^2/2} dx \right]^{M/2-1} \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(r-m)^2/2\sigma^2} dr \right\} \quad (16)$$

其中

$$\sigma^2 < R_b \sum_{k=2}^{N_u} A_k^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} P_7(t-\tau) P_8(t) dt \right]^2 d\tau + \sigma_1^2 \quad (17)$$

$$\sigma_1^2 = \frac{m^2}{(\log_2 M) \text{SNR}(1)}, \quad m = A_1 \int_{t \in T_i} (P_{\text{bit}}^{(1)}(t))^2 dt \quad (18)$$

根据式(16)一式(18), 借助Matlab工具计算出一定单用户信噪比SNR(1)下系统的误码率 $P_e(N_u)$ 的上限。

图 6 中固定 $E_b/N_0 = \text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, 二元通信下的单用户误比特率 $P_e(1) = 10^{-7}$, 比特率 $R_b = 1\text{Mbps}$, 得到不同 M 元通信在多用户干扰下的系统性能: (1) $M=2$ 和 $M=4$ 的系统性能近似。(2)用户数 N_u 一定, $M (M>1)$ 越大, 误比特率 P_e 越小。(3)同比率、同信噪比、同误比特率下, $M (M>1)$ 越大, 最大用户容量 $N_{u\text{max}}$ 越大, 最大通信容量 C_{max} 增大。例如固定 $\text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, $R_b = 1\text{Mbps}$, 要求 $P_e(N_u) = 10^{-6}$ 时, 从图中得到不同 M 元通信下的最大用户容量和最大通信容量。 $M=2$, $N_{u\text{max}}=78$, $C_{\text{max}}=78\text{Mbps}$; $M=4$, $N_{u\text{max}}=84$, $C_{\text{max}}=84\text{Mbps}$; $M=8$, $N_{u\text{max}}=239$, $C_{\text{max}}=239\text{Mbps}$; $M=16$, $N_{u\text{max}}=392$, $C_{\text{max}}=392\text{Mbps}$ 。

图 7 固定 $E_b/N_0 = \text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, 二元通信下的单用户误比特率 $P_e(1) = 10^{-7}$, 比特率 $R_b = 10\text{Mbps}$, 要求 $P_e(N_u) = 10^{-6}$ 时, 从图中得到不同 M 元通信下的最大用户容量和最大通信容量。 $M=2$, $N_{u\text{max}}=7$, $C_{\text{max}}=70\text{Mbps}$; $M=4$, $N_{u\text{max}}=8$, $C_{\text{max}}=80\text{Mbps}$; $M=8$, $N_{u\text{max}}=23$, $C_{\text{max}}=230\text{Mbps}$; $M=16$, $N_{u\text{max}}=39$, $C_{\text{max}}=390\text{Mbps}$ 。

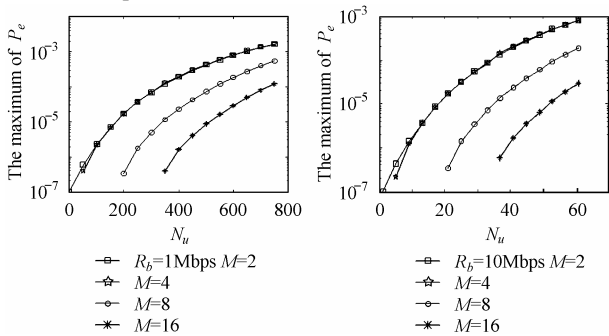


图 6 假设 $\text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, $R_b = 1\text{Mbps}$, M 分别是 2, 4, 8, 16 的多元通信在不同用户容量时对应的最大误比特率
Fig.6 The maximal probability of bit error $P_e(N_u)$ for different number of users N_u in M-ary communication system, if $\text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, $R_b = 1\text{Mbps}$, $M = 2, 4, 8, 16$

图 7 假设 $\text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, $R_b = 10\text{Mbps}$, M 分别是 2, 4, 8, 16 的多元通信在不同用户容量时对应的最大误比特率
Fig.7 The maximal probability of bit error $P_e(N_u)$ for different number of users N_u in M-ary communication system, if $\text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, $R_b = 10\text{Mbps}$, $M = 2, 4, 8, 16$

比较 $R_b=1\text{Mbps}$ 和 $R_b=10\text{Mbps}$ 对应的不同多元通信下的最大用户容量和最大通信容量可知: 相同单用户信噪比SNR(1)和相同误码率 $P_e(N_u)$ 要求下, 比特率 R_b 与用户数 N_u 成反比, 总通信容量不变。所以各用户 E_b/N_0 固定时, 要提高单个用户的比特率, 必须减少同时通信的用户数, 才能保证通信质量。

文献[1]中高斯脉冲在PPM调制方式下实现多用户接入。用户固定 $\text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, $R_b = 10\text{Mbps}$, 要求 $P_e(N_u) = 10^{-6}$ 时: $M=2$, $N_{u\text{max}}=7$; $M=4$, $N_{u\text{max}}=15$; $M=8$, $N_{u\text{max}}=20$; $M=16$, $N_{u\text{max}}=24$ 。与基于Hermite 脉冲的双正交多用户通信比较, 除四元通信时, 多元PPM调制方式下的多用户系统的性能稍好外, 其他多元通信时皆差, 原因在于基于Hermite 脉冲的双正交调制的二元通信与四元通信性能相近^[4], 除四元通信外, 其性能都优于PPM的正交调制。基于Hermite 脉冲的正交多用户通信的局限性在于实际可用的正交Hermite集的阶数有限, 文献[2]认为 1~8 阶脉冲皆可用。用 1~8 阶脉冲无法构建上十乃至上百的用户。若固定 $\text{SNR}(1) = 11.3\text{dB}$, 要求 $P_e(N_u) = 10^{-6}$ 时, 用这 8 阶脉冲构建双正交多元通信下的多用户通信, 得到实际最大用户数和比特率, 如 $M=2$, 各用户需正交脉冲数 $m=1$, 最大用户数 $N_{u\text{max}}=8$, 比特速率 $R_b=9\text{Mbps}$, 信道容量 $C=72\text{Mbps}$; $M=4$, $m=2$, $N_{u\text{max}}=4$, $R_b=21\text{Mbps}$, $C=84\text{Mbps}$; $M=8$, $m=3$, $N_{u\text{max}}=2$, $R_b=119\text{Mbps}$, $C=238\text{Mbps}$; $M=16$, $m=4$, $N_{u\text{max}}=2$, $R_b=196\text{Mbps}$, $C=392\text{Mbps}$ 。所以用户为双正交调制, 各用户采用不同的正交Hermite 脉冲, 在仅 1~8 阶正交Hermite 脉冲可用的情况下, 实际最大用户数仅能达到 8 个。

本文提出基于正交 Hermite 脉冲集的多用户通信可以与 UWB 的 DS-CDMA 技术相结合, 实现更多的用户同时通信。UWB 的 DS-CDMA 方案中, 使用不同的伪随机码集合划分不同的微微网。并使用 4 组码集合和高、低两个频段, 同时支持 8 个微微网, 每个微微网中的用户采用 M-BOK(Bi-Orthogonal Keying 双正交键控, $M=2, 4, 8, 16$)的多元调制方式, M-BOK 是码片中的基本波形, 是单周期高斯波形, 以 24 个码片构成一组码, 不同的正交码组及其负的码组构成双正交的多元通信, 原理同用正交 Hermite 脉冲波形构成的双正交多元通信, 并且其性能近似。每个微微网内部使用时分多址(TDMA)的多用户接入方案, 所以同一时隙, 一个微微网仅能有一个用户通信, 整个频带仅支持 8 个用户同时通信。本文提出每个微微网用正交 Hermite 脉冲集构建的多用户通信, 能支持更多用户同时通信。若只有八阶正交 Hermite 脉冲可用, 不同的用户用不同的正交 Hermite 脉冲调制信号, 每个微微网就有 8 个用户能同时通信, 其性能与正交 Hermite 脉冲集构成的多用户通信的系统性能近似, 如图 8 所示。原因在于正交码组或正交脉冲构成的双正交调制的性能相近, 所以图 4 与图 8 用正交波形区分不同用户的多用户系统的性能就近似了。在 3~10GHz 的频带上共有 64 个用户能同时通

信。

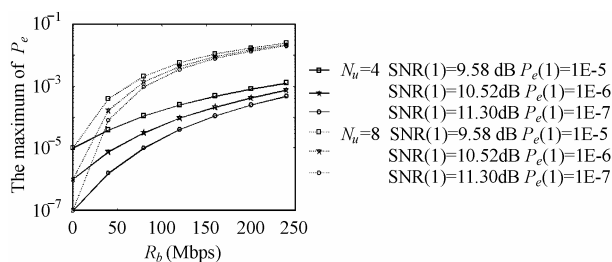


图 8 正交 Hermite 脉冲 DS-CDMA 调制的多用户系统在不同比特速率时对应的最大误比特率

Fig.8 The maximal probability of bit error $P_e(N_u)$ for different values of the bit rate R_b using orthogonal Hermite pulses with DS-CDMA modulation in multi-users system

5 结束语

本文介绍了一种正交 Hermite 脉冲波形。可用于构建 UWB 的 M 维双正交信号以实现多元通信。在单用户为双正交多元通信的前提下, 此脉冲集能实现多用户的同时通信。通过仿真得出结论: (1) 单用户为任一 M 元通信的情况下, 多用户的系统性能与比特速率、单用户信噪比、用户数有关。比特速率的增加或用户数的增加, 都会使误码率增加。(2) 单用户为任一 M 元通信的情况下, 相同单用户信噪比和要求相同误码率的情况下, 比特速率与最大用户数成反比, 总通信容量不变。要获得单用户的高比特速率, 最大用户数就需减少。

基于正交 Hermite 脉冲, 本文在分析了各用户为多元双正交调制下的多用户系统的性能后, 针对可用脉冲数少, 实际可用最大用户数受制约。本文提出新的设想: 将正交 Hermite 脉冲用入 UWB 的 DS-CDMA 方案中, 微微网内不同的用户用不同的正交 Hermite 脉冲调制信号。

参考文献

- [1] Ramirez Mireles F. Performance of ultra wideband SSMA using time hopping and M-ary PPM. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2001, 19(6): 1186-1196.
- [2] Ghavam Mohammad, Michael Lachlan B, Haruyama Shinichiro, Kohno Ryuji. A novel UWB pulse shape modulation system. *Wireless Personal Communications*. 2002, 23(1): 105-120.
- [3] Proakis John G, Zang Lijun, Zhang Zhongcheng, Zheng Baoyu. *Digital Communications*. Beijing, China. Electmnic Industry Publishing House. 2001: 188-191.
- [4] Hu Wen, Zheng Guoxin. Orthogonal Hermite pulses used for ultra wideband M-ary communication. *ITCC 2005 - International Conference on Information Technology: Coding and Computing*. Las Vegas, NV, United States. Apr.4-6, 2005, 1: 97-101.

胡文: 女, 1982年生, 硕士, 目前从事超宽带通信的研究。

郑国莘: 男, 1950年生, 教授, 博士生导师, 学院副院长。主要从事无线电传播、电磁兼容与微机测控等方面的教学和研究。上海市电子学会微波专业委员会委员。