

Chirp-rate 调制的新型解调方法

王开元

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 提出了一种基于分段去斜率的 Chirp-rate 调制解调方法。根据 CRM 信号以不同调频斜率的 Chirp 信号作为调制信号的特点,接收端分为两级解调,第一级解调采用延时混频(去斜率)的方法,把不同调频斜率的 Chirp 信号转换为 MFSK 信号,第二级采用非相干方式对 MFSK 信号解调。最后分析了二进制 CRM 信号经过高斯信道的性能,在高信噪比情况下略好于基于分数阶傅里叶变换的 CRM 系统。

关键词: Chirp-rate 调制;延时去斜率;分数阶傅里叶变换

中图分类号: TN91

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)09-0071-02

A novel demodulation method of Chirp-rate modulation

Wang Kaiyuan

(School of Information and Communication Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In this paper, a new demodulation method based on chirp-rate modulation is proposed. There are two levels of demodulation at the receiving end. The first level use the method of time-delay frequency mixing (rate reduction) to convert the chirp signal with different chirp-rate into MFSK signal. The second level adopt the incoherent way to demodulation the MFSK signal. At the end of this paper, the performance of binary chirp-rate modulation through Gaussian channel is analyzed, which shows the performance of this system are better than the chirp-rate system based on FRFT in the condition of high SNR.

Key words: Chirp rate modulation; time-delay rate reduction; FRFT

常见的 Chirp 超宽带系统的调制方式有三种^[1-2],二进制正交键控调制 BOK(Binary Orthogonal Keying)、直接调制 DM (Direct Modulation)、调频斜率调制 CRM(Chirp Rate Modulation)。CRM 利用 Chirp 信号不同的调频率携带不同的信息,在一个 Chirp 信号周期内,可以传输多个比特的信息,相对于 BOK 和 DM,提高了信息速率。

分数阶傅里叶变换 FRFT (Fractional Fourier Transform) 是常见的 CRM 信号解调方式^[3],FRFT 解调的理论研究较为成熟,但是其方法需要高速的数字采样以及分数阶傅里叶变换处理,不适用于高速率 CRM 信号的实时解调。本文提出了基于分段去斜率的方法用来解调 CRM 信号,方法结构简单、易于实现,同时性能略优于 FRFT 方法。

1 Chirp 信号去斜率(混频)原理

去斜率技术^[4]是采用发射的 Chirp 信号与接收到的 Chirp 信号做混频(去斜率)处理,其原理如图 1 所示。将

接收到的 Chirp 信号与发射的 Chirp 信号的时延信息转换为不同的频率信息。

$X_r(t)$ 为接收到的 Chirp 信号:

$$X_r(t) = \exp\{j2\pi[f_c(t-\tau_0) + \frac{1}{2}k(t-\tau_0)^2]\} \quad -\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} \quad (1)$$

$X_{rd}(t)$ 为本地产生的 Chirp 信号:

$$X_{rd}(t) = \exp\{j2\pi[f_c(t-\tau) + \frac{1}{2}k(t-\tau)^2]\} \quad -\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} \quad (2)$$

其中, f_c 是载频, τ_0 是接收信号的时延, T 为脉冲宽度, k 为调频斜率,带宽 $B=kT$, τ 为本地 Chirp 信号时延。接收信号 $X_r(t)$ 与本地信号 $X_{rd}(t)$ 进行混频(去斜率),得到中频信号 $X_f(t)$:

$$X_f(t) = X_r(t) \times X_{rd}^*(t) = \exp\{j2\pi[f_c t + \Phi]\} \quad (3)$$

其中, $f_b = k(\tau - \tau_0)$, $\Phi = \frac{1}{2}k(\tau^2 - \tau_0^2) + f_b(\tau_0 - \tau)$ 。

在调频率 k 一定的情况下,中频信号 $X_f(t)$ 为单频信

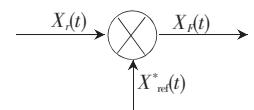


图 1 去斜率原理图

网络与通信 Network and Communication

号,其频率 f_b 与 Chirp 信号的时延差 $\tau-\tau_0$ 成正比。

在时延差 $\tau-\tau_0$ 一定的情况下,中频信号 $X_F(t)$ 的频率 f_b 与 Chirp 信号的调频斜率成正比。从而把不同的调频频率转换成不同的单频信号。

2 基于 Chirp-rate 调制的 UWB 系统模型

本文根据 Chirp 信号去斜率的特性,提出基于 Chirp 信号调频率(Chirp-rate)调制的超宽带系统模型,其调制框图如图 2 所示。

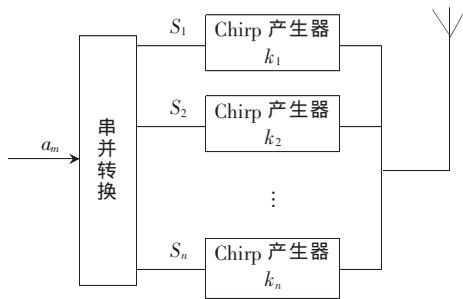


图 2 调制框图

2.1 调制原理

本系统发送的 m 个信号 a_m 经过串并转换后,由信息码元 s 表示, s 属于集合 $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 。 k 为 Chirp 信号,调频率 k 属于集合 $\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$,对 Chirp 信号进行高阶调制,不同的信息码元集合 $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 与调频率集合 $\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ 一一对应,不同调频率携带不同的发送信息码元。

2.2 解调原理

根据 Chirp 信号去斜率的特性,提出分段去斜率的方法,即在把接收信号与接收信号的时延进行混频(去斜率)。这种方法不需要在接收端产生载波(Chirp 信号),简化了系统的复杂度,CRM 信号时频图如图 3 所示。

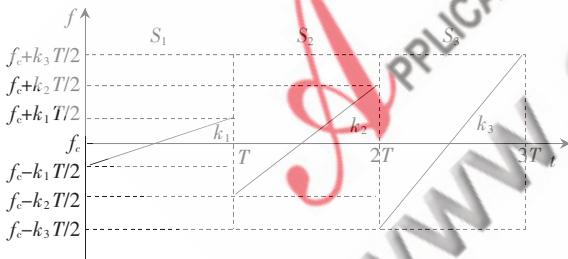


图 3 CRM 信号时频图

假设在 $[0, T]$ 时间内接收到的第 1 个 Chirp 信号 $X_{T1}(t)$ 为:

$$X_{T1}(t) = \exp\{j2\pi[f_c t + \frac{1}{2}k_1 t^2]\} \quad (4)$$

假设在 $[T, 2T]$ 时间内接收到第 2 个 Chirp 信号 $X_{T2}(t)$ 为:

$$X_{T2}(t) = \exp\{j2\pi[f_c t + \frac{1}{2}k_2 t^2]\} \quad (5)$$

在 $T/2 < t < T$ 时间内:

$$X_{F1}(t) = X_{T1}(t) \times X_{T1}^*(t - \frac{T}{2}) = \exp\{j2\pi[f_{b1}t + \Phi_1]\} \quad (6)$$

其中, $f_{b1} = k_1 \frac{T}{2}$, $\Phi_1 = \frac{1}{2}k_1(\frac{T}{2})^2 - f_c \frac{T}{2}$ 。

在 $T < t < T + T/2$ 时间内:

$$X_{F2}(t) = X_{T2}(t - \frac{T}{2}) \times X_{T2}^*(t) = \exp\{j2\pi[\frac{1}{2}\mu t^2 + f_{b2}t + \Phi_2]\} \quad (7)$$

其中, $\mu = k_2 - k_1$, $f_{b2} = -k_2 \frac{T}{2}$, $\Phi_2 = -\frac{1}{2}k_2(\frac{T}{2})^2 + f_c \frac{T}{2}$ 。

通过式(6)可知,Chirp 信号与自身延时混频(去斜率)得到的信号 $X_{F1}(t)$ 为单频信号,其频率 f_{b1} 与 Chirp 信号 $X_T(t)$ 的调频率 k 成正比。通过式(7)可知,不同调频率 Chirp 信号延时互相关后,得到的信号 $X_{F2}(t)$ 还是一个 Chirp 信号。此外,第一段信号 $X_{F1}(t)$ 与第二段信号 $X_{F2}(t)$ 在频域上没有叠加,信号 $X_{F2}(t)$ 频带范围为 $[k_1 \frac{T}{2}, k_2 \frac{T}{2}]$ 。综上所述,Chirp 信号分段去斜率后,第一段信号 $X_{F1}(t)$ 为 MFSK 信号。

本系统使用包络检波来解调 MFSK 信号^[5],最终解调框图如图 4 所示。

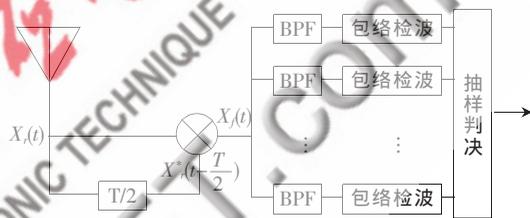


图 4 解调框图

3 性能分析及仿真

本文分析了基于去斜率(混频)的 Chirp-rate 调制解调系统在加性白高斯噪声(AWGN)信道下的性能,并在二进制 Chirp-rate 调制情况下与基于分数阶傅里叶变换的 Chirp-rate 调制解调系统进行了比较。

经过 AWGN 信道后,在 $T/2 < t < T$ 时间内:

$$X_F(t) = [X_1(t) + n(t)] \times [X_1^*(t - \frac{T}{2}) + n^*(t - \frac{T}{2})]^* = X_1(t)X_1^*(t - \frac{T}{2}) + X_1^*(t - \frac{T}{2})n(t) + X_1(t)n^*(t - \frac{T}{2}) + n(t)n^*(t - \frac{T}{2}) \quad (8)$$

过中心频率为 $\omega_0 = 2\pi f_b$ 的理想带通滤波器后:

$$X_F(t) = X_1(t)X_1^*(t - \frac{T}{2}) + n(t)n^*(t - \frac{T}{2}) \quad (9)$$

其中, $n(t)n^*(t - \frac{T}{2}) = n(t)n^*(t) = n^2_I(t)\cos^2\omega_0 t + n^2_Q(t)\sin^2\omega_0 t$,

$X_1(t)X_1^*(t - \frac{T}{2}) = \exp\{j2\pi[f_b t + \Phi]\}$, $f_b = k_1 \frac{T}{2}$, $\Phi = \frac{1}{2}k_1(\frac{T}{2})^2 - f_c \frac{T}{2}$, $\omega_0 = 2\pi f_b$ 。

根据参考文献[5]推导, MFSK 信号采用非相干解调时,误码率为:

$$P_b \approx \frac{2^{m-1}}{2^m - 1} \sum_{k=1}^{M-1} \frac{(-1)^{k+1}}{k+1} C_{M-1}^k \exp(-\frac{kE_s}{(k+1)n_0}) \quad (10)$$

在二进制调制情况下,误码率为:

$$P_b \approx \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_s}{2n_0}\right) \quad (11)$$

仿真环境设为:载频 $f_c=100$ MHz,调频率 $k_1=3 \times 10^{12}$, $k_2=4 \times 10^{12}$,脉冲周期 $T=10 \mu\text{s}$,发送 10^{12} 个二进制码元。误码率仿真图如图 5 所示。

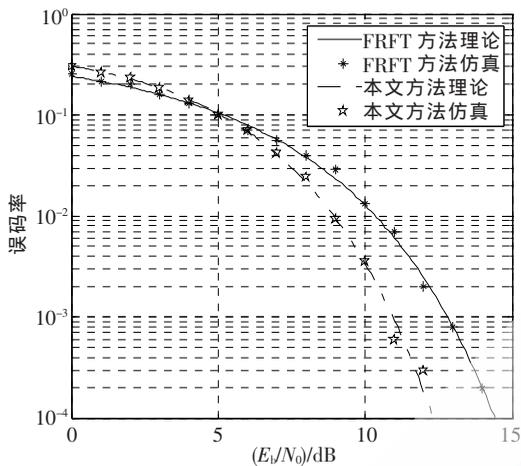


图 5 误码率图

本方法误码率在低信噪比的情况下略差于 FRFT 方法,在高信噪比的情况下明显好于 FRFT 方法,约有 3 dB 性能优势。

对比 FRFT 方法,本文方法结构简单,不需要进行高速的数字采样,即可对 Chirp-rate 信号进行解调,性能也优于 FRFT 方法。本文在第二级对 MFSK 信号解调时,采用了非相干方式,如果在用相干解调或者数字方式解调可以得到更好的性能^[6]。

参考文献

- [1] Zhuang Weihua, Shen Xuejin, Bi Qi. Ultral wideband wireless communications [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2003(3):663-685.
- [2] 贺鹏飞,吕英华.基于 Chirp-BOK 调制的超宽带无线通信系统研究 [J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2006, 26(2): 21-25.
- [3] 邓兵,陶然,平殿发.基于分数阶 Fourier 变换的 Chirp-rate 调制解调方法研究[J].电子学报, 2008, 36(6): 1078-1083.
- [4] 明文华,刘志学.超宽带 LFM 信号去斜率脉压分析[J].航天电子对抗, 2007, 23(5): 58-64.
- [5] 曹志刚,钱亚生.现代通信原理[M].北京:清华大学出版社, 1994.
- [6] 王楠,古瑞江,于宏毅.一种新型的 FSK 解调系统设计 [J].通信技术, 2008, 41(9): 29-31.

(收稿日期: 2011-12-10)

作者简介:

王开元,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向: Chirp 超宽带通信技术。