

基于科斯塔斯环法的载波提取的设计

王智文^{1,2}, 李绍滋², 刘美珍³, 蔡启先¹

(1 广西工学院 计算机工程系, 广西 柳州 545006; 2 厦门大学 智能科学与技术系, 福建 厦门 361005;

3 广西工学院 图书馆, 广西 柳州 545006)

摘 要: 介绍了平方变换法相干解调原理, 从工程角度完善了载波提取的电路结构, 消除了频移载波的误锁问题. 提出用科斯塔斯环法来实现从 2DPSK 信号中提取相干载波, 解决了提取的载波信号存在 180 度的相位含糊问题, 为通信系统提高抗噪性能提供了条件. 当载波频率很高时, 工作频率较低的科斯塔斯环易于实现. 并用 Simulink 设计出科斯塔斯环法提取载波的仿真电路图和进行相应的仿真实验.

关键词: 科斯塔斯环法; 相位变化; 载波提取; 载波信号; 仿真

中图分类号: TN912

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)10-0193-04

Design of Carrier Synchronization Based on Costas Loop

WANG Zhi wen^{1,2}, LI Shaor zi², LIU Mei zhen³, CAI Qi xian¹

(1 Department of Computer Engineering, Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China;

2 Department of Cognitive Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

3 Library of Guangxi University of Technology, Liuzhou 545006, China)

Abstract: Theory of coherent demodulation based on method of square counterchange is introduced in this article. The structure of circuit for carrier recovery is perfected in engineering, and the problem of error-lock for frequency-shift carrier is eliminated. Costas Loop is put forward to achieve coherent carrier from 2DPSK signal in this article. The 180° phase's inexplicit problem which exist in carrier recovery is resolved. It improves the resisting noise property of communication system. When carrier frequency is higher, Costas loop is easy to implement carrier synchronization. Because the operating frequency of Costas loop is lower than square PLL. We scheme out emulational circuit diagram for carrier distilling with Costas loop by using simulink and process corresponding emulational experiment.

Key words: Costas loop; phase variation; carrier recovery; carrier-signal; simulink

1 引言

锁相环(phase-locked loop, PLL)是一个相位跟踪系统,在通信、雷达、导航、仪表测量、频率合成、自动控制、时钟同步、遥测与遥控等系统的解调技术中有着非常广泛的应用.随着大规模集成电路及微处理器的发展,数字锁相环得到了广泛的应用.近年来,随着软件无线电理论的深入研究,出现了多种利用数字信号处理器(DSP)为硬件平台,纯软件实现数字锁相环的算法^[1,2].文中在锁相环研究的基础

上提出科斯塔斯环法用来实现从 2DPSK 信号中提取相干载波,并进行相应的仿真实验.

2 平方变换法

设调制信号为 $m(t)$, $m(t)$ 中无直流分量,则抑制载波的双边带信号为^[3-4]:

$$s(t) = m(t) \cos 2\pi f_c t \quad (1)$$

接收端将该信号进行平方变换后,即经过一个平方律部件后,误差相位鉴相函数为:

$$e(t) = m^2(t) \cos^2 2\pi f_c t$$

收稿日期: 2009-08-25; 修回日期: 2009-11-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(60873179); 广西教育厅科研项目(200707LX196)

$$= \frac{m^2(t)}{2} + \frac{1}{2}m^2(t)\cos 4\mathcal{F}ct \quad (2)$$

若调制信号 $m(t) = \pm 1$, 该抑制载波的双边带信号就成为二相移相信号, 这时误差相位鉴相函数就变为:

$$e(t) = [m(t)\cos 2\mathcal{F}ct]^2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos 4\mathcal{F}ct \quad (3)$$

根据分析, 得到平方变换法提取载波信号的方框图如图 1 所示.

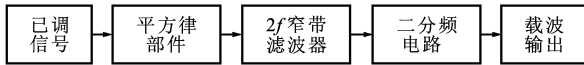


图 1 平方变换法提取载波方框图

由于提取载波信号的方框图中用了一个二频电路, 故提取出的载波信号存在 180 度的相位含糊问题^[5]. 对移相信号而言, 解决这个问题的常用方法是采用相对相移.

若用科斯塔斯环(Costas)法代替平方变换法提取载波信号方框图中的 2f 窄带滤波器, 就构成了科斯塔斯环法提取载波, 如图 2 所示. 其中科斯塔斯环是由乘法器(ML)、环路滤波器(LF)和压控振荡器(VCO)组成. 科斯塔斯环具有良好的跟踪、窄带滤波和记忆性能, 比一般的平方变换法和普通锁相法具有良好的性能, 有利于提取载波信号.

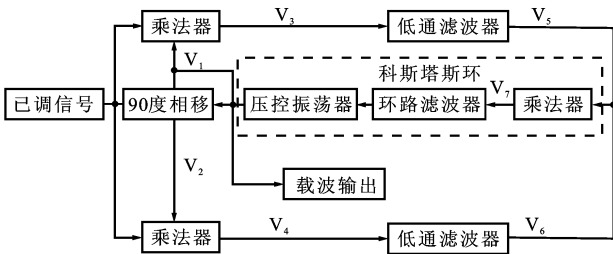


图 2 科斯塔斯环法提取载波的原理图

3 科斯塔斯环法载波提取

对载有方位信息的时空调制信号的接收包括方位角估计和数字信息解调两部分^[6]. 一般可分相干接收和差分接收两种. 根据上面的分析, 为了克服平方变换法和平方锁相环法中因使用二频电路提取载波存在的 180 度的相位含糊问题, 故采用图 2 所示的科斯塔斯环法来提取载波. 在科斯塔斯环法提取载波过程中, 由于加在两个乘法器的信号分别为压控振荡器的输出信号 $\cos(2\mathcal{F}c + \theta)$ 和正交信号 $\sin(2\mathcal{F}c + \theta)$. 因此, 通常称这种环路为科斯塔斯环或同相正交环. 科斯塔斯环的环路工作过程如下:

当 $u_i(t)$ 为固定频率正弦信号($\vartheta_i(t)$ 为常数)时, 在环路的作用下, VCO 输出信号角频率可以由固有振荡角频率 ω_0 (即环路无输入信号、环路对 VCO 无控制作用时 VCO 的振荡角频率), 变化到输入信号角频率 ω_i , 此时 $\vartheta_0(t)$ 也是一个常数, $u_d(t)$ 、 $u_c(t)$ 都为直流. 称此状态为环路的锁定状态. 定义 $\Delta\omega = \omega_i - \omega_0$ 为环路固有频差, $\Delta\omega_p$ 为环路的捕捉带, $\Delta\omega_h$ 为环路的同步带, 模拟锁相环中 $\Delta\omega_p < \Delta\omega_h$. 当 $|\Delta\omega_0| < \Delta\omega_p$ 时, 环路可以进入锁定状态; 当 $|\Delta\omega_0| < \Delta\omega_h$ 时环路可以保持锁定状态; 当 $|\Delta\omega_0| > \Delta\omega_p$ 时, 环路不能进入锁定状态. 环路锁定后, 若 $\Delta\omega_0$ 发生变化使 $|\Delta\omega_0| > \Delta\omega_h$, 环路不能保持锁定状态. 在这两种情况下, 环路都将处于失锁状态. 失锁状态下, $u_d(t)$ 是一个上下不对称的差拍电压. 当 $\omega_i > \omega_0$ 时, $u_d(t)$ 是上宽下窄的差拍电压; 反之, $u_d(t)$ 是一个下宽上窄的差拍电压^[4].

环路对 $\vartheta_i(t)$ 呈低通特性, 即环路可以将 $\vartheta_i(t)$ 中的低频成分传递到输出端, $\vartheta_i(t)$ 中的高频成分被环路滤除. 或者说, $\vartheta_0(t)$ 中只含有 $\vartheta_i(t)$ 的低频成分, $\vartheta_i(t)$ 中的高频成分变成了相位误差 $\vartheta_e(t)$. 所以, 当 $u_i(t)$ 是调角信号时, 环路对 $u_i(t)$ 等效为一个带通滤波器, 离 ω_i 较远的频率成分将被环路滤掉.

环路自然谐振频率 ω_n 及阻尼系数 ξ 是两个重要参数. ω_n 越小, 环路的低通特性截止频率越小; 等效带通滤波器的带宽越窄, ξ 越大, 环路稳定性越好. 当环路输入端有噪声时, $\vartheta_0(t)$ 将发生抖动, ω_h 越小, 环路滤除噪声的能力越强.

采用图 2 所示的科斯塔斯环法来提取载波时, 图中各点的输出及载波输出分析如下:

设输入的抑制载波双边带信号为 $m(t)\cos 2\mathcal{F}ct$, 则图 2 中 V_3 点的输出为:

$$V_3 = m(t)\cos 2\mathcal{F}ct\cos(2\mathcal{F}c + \theta) = \frac{1}{2}m(t)[\cos\theta + \cos(4\mathcal{F}c + \theta)] \quad (4)$$

V_4 点的输出为:

$$V_4 = m(t)\cos 2\mathcal{F}ct\sin(2\mathcal{F}c + \theta) = \frac{1}{2}m(t)[\sin\theta + \sin(4\mathcal{F}c + \theta)] \quad (5)$$

V_3 和 V_4 点的输出经低通滤波器滤波后, 在 V_5 和 V_6 点的输出分别为:

$$\begin{cases} V_5 = \frac{1}{2}m(t)\cos\theta \\ V_6 = \frac{1}{2}m(t)\sin\theta \end{cases} \quad (6)$$

将 V_5 和 V_6 加于乘法器,得:

$$V_7 = V_5 \times V_6 = \frac{1}{8} m^2(t) \sin 2\theta \quad (7)$$

式中, θ 是压控振荡器输出信号与输入已调信号载波之间的相位误差. 当 θ 较小时:

$$V_7 \approx \frac{1}{2} m^2(t) \theta \quad (8)$$

由式(8)可知, V_7 的大小与 θ 相位误差成正比, 相当于一个鉴相器的输出. 用 V_7 去调整压控振荡器输出信号的相位, 最后使稳态相位误差减小到很小的数值. 这样压控振荡器的输出就是所需提取的载波.

4 仿真电路设计

为了达到上面提出的科斯塔斯环法提取载波的要求, 用 Simulink 设计出图 3 所示的科斯塔斯环法提取载波的仿真电路图^[7-10]. 其中: Random Integer Generator 可产生任意进制的数字信号; M-DPSK Modulator Passband 用来对数字信号进行正弦载波调制; Product 完成对两个输入信号的乘法运算; Voltage- Controlled Oscillator 完成对输出电压的差值的相位鉴别; constant 完成对相关常数的设定; Complex phase difference 完成对输入的信号移相; Analog Filter Design 根据系统的要求进行设置.

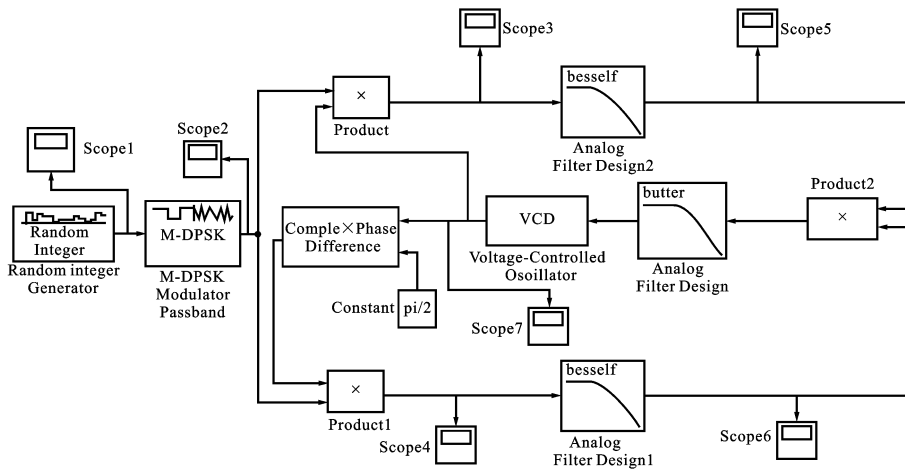


图 3 科斯塔斯环法提取载波仿真电路图

5 仿真结果分析

数字信号 0100001100 (如图 4 所示) 经过了 2DPSK 调制得到调制信号, 它的变化规则是 0 变、1 不变, 也就是说当信号为 1 时, 相位与前一个码元保持一致, 当信号是 0 时, 相位在前一个码元的基础上产生一个“倒 π ”. 调制出来的信号图 5 所示. 原理图中的 V_3 点的输出波形如图 6 所示, 经过乘法器后的载波信号中包含有直流分量, 所以信号为 1 的时候波形有些上移. 同时, 也产生了一些高频信号. 原理图中 V_5 点的输出波形如图 7 所示, 载波信号经过低通滤波器滤波, 滤除了直流分量和一些高频信号. 原理图中 V_4 点输出的波形如图 8 所示, 载波信号通过乘法器与压控振荡器输出的其中一个正交信号后, 产生了高频信号. 原理图中的 V_6 点输出的波形如图 9 所示, 该波形是对 V_4 点输出的波形进行滤波的结果. 图 10 为载波输出波形, 和图 5 中调制信号的载波一致.

6 结束语

文中在锁相环研究的基础上, 为了克服平方锁相环法提取载波存在的 180 度的相位含糊问题, 提出用科斯塔斯环法来实现从 2DPSK 信号中提取相干载波, 并进行相应的仿真实验. 从工程的角度补充

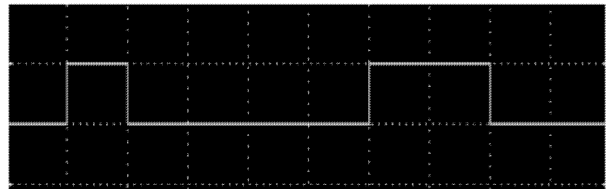


图 4 数字信号图

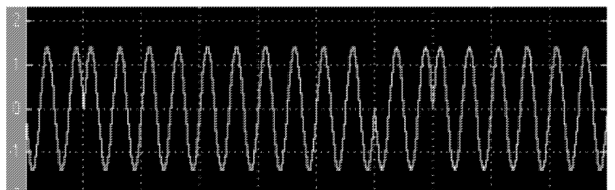


图 5 调制信号波形图

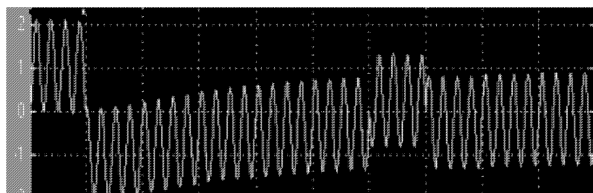
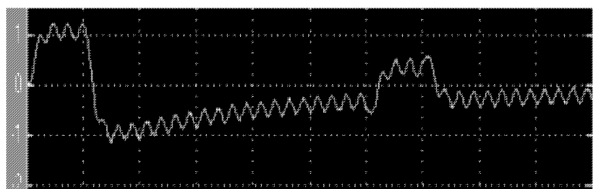
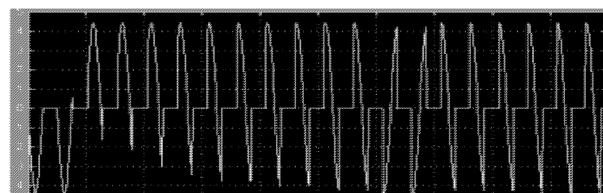
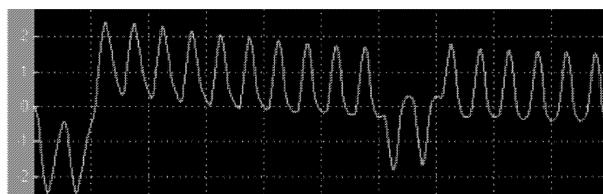
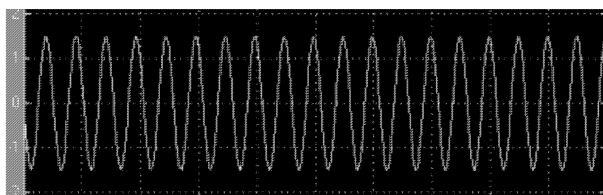
图 6 V_3 点输出波形图图 7 V_5 点输出波形图图 8 V_4 点输出波形图图 9 V_6 点输出波形图

图 10 载波输出波形图

完善了载波提取的电路结构,消除了频移载波信号的误锁问题.由于科斯塔斯环的工作频率是载波本身,而平方环的工作频率是载波频率的两倍,当载波频率很高时,工作频率较低的科斯塔斯环易于实现.构成了几种锁相环路用来进行提取载波并产生位同

步信息,给后续的匹配滤波、差分译码等电路研究和运行提供了方便.

参考文献:

- [1] 宋茂忠,谭妹. 载有方位信息的时空调制信号载波提取与相干解调[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(10): 1552-1555.
- [2] 阴亚东,陈杰,王海永. Band III锁相环型频率综合器的实现[J]. 半导体学报, 2008, 29(6): 1216-1222.
- [3] 王智文,刘美珍,蔡启先. 基于锁相环法的载波提取[J]. 广西工学院学报, 2008, 19(4): 22-24.
- [4] 荣雅君,李进兵. 基于DSP的多周期调节的软件锁相环设计[J]. 计算机工程, 2008, 34(6): 237-239.
- [5] Otto S R, Denier J P. An introduction to programming and numerical methods in MATLAB[M]. London: Springer, 2005: 116-158.
- [6] 潘扬,李丹,许刚. 一种改进的高精度数字 $\Delta\Sigma$ 调制器结构[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(1): 116-119.
- [7] Krishna Singh, Gayatri Agnihotri. System design through MATLAB[M]. New York: Springer, 2001: 234-325.
- [8] 吕江崑,张有光,孙泉. 模拟集成电路版图中的对称检测与提取方法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(1): 185-189.
- [9] 王智文,刘美珍,蔡启先,等. 基于加权改进小波变换的图像融合算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(11): 228-230.
- [10] 杨俊,武奇生. GPS基本原理及其Matlab仿真[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2006: 13-156.

作者简介:

王智文 男,(1969-),博士研究生,副教授.研究方向为计算机网络安全、运动目标检测与识别、人工智能与多媒体信息检索、时态数据库等.

李绍滋 男,(1963-),教授,博士生导师.研究方向为人工智能与多媒体信息检索、机器学习与计算机视觉等.

刘美珍 女,(1967-),馆员.研究方向为图书馆学和情报学.

蔡启先 男,(1948-),教授.研究方向为时态数据库.