

文章编号: 1001 - 893X(2010)07 - 0081 - 05

GPS 射频信号源的设计与实现*

占 光¹, 徐 飞¹, 段小辉¹, 周 瑞²

(1. 北京大学 信息科学技术学院 电子学系, 北京 100871; 2. 空军航空大学 航空电子工程系, 长春 130022)

摘要: 在研究 GPS 信号结构的基础上, 给出了 GPS 射频信号源的设计方案, 并分模块进行了设计与实现。实验结果表明, 基带/中频模块实现了 GPS 信号的 BPSK 调制和扩频调制, 输出数字中频信号; 射频模块实现了上变频功能, 完成了信号的射频调制。

关键词: GPS; 射频信号源; 基带; BPSK; 扩频; 软件无线电

中图分类号: TN76; P228.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-893x.2010.07.017

Design and Realization of GPS RF Signal Source

ZHAN Guang¹, XU Fei¹, DUAN Xiao-hui¹, ZHOU Rui²

(1. Department of Electronics, School of Electronics Engineering and Computer Science, Beijing University, Beijing 100871, China; 2. Department of Aviation Electrical Engineering, Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: Based on the research about the structure of GPS signal, the design scheme of GPS RF signal source is proposed, and it is designed and implemented with sub-modules. Experiment results show that baseband/IF module realizes BPSK modulation and spread spectrum modulation of GPS signal, and digital IF signal is output. Frequency conversion function is realized in RF module, and the RF modulation of the signal is completed.

Key words: GPS; RF signal source; baseband; BPSK; spread spectrum; software defined radio(SDR)

1 引言

GPS(全球定位系统)是美国军方研制的新一代空间卫星导航定位系统,其主要目的是提供实时、全天候和全球性的导航服务,并用于情报收集等,主要由地面控制、空间卫星和用户装置 3 部分组成。在 GPS 软件接收机研究测试过程中,需要借助卫星模拟信号源模拟 GPS 射频信号,检测接收机的捕获和跟踪性能,正是基于这一点来研究和设计 GPS 射频信号源,用来模拟产生 GPS 卫星信号,为 GPS 接收机研制、测试提供仿真环境,检验接收机的工作状态。

GPS 射频信号源在 GPS 领域有着重要的应用,

也是未来 GPS 伪卫星定位系统研究的重要基础,本文主要基于软件无线电(Software Defined Radio, SDR)思路,在设计中强调可编程性和通用性,尽量通过软件实现各种功能,为以后的改进和升级创造条件。

2 GPS 卫星信号

2.1 GPS 卫星系统

GPS 全球定位系统地面控制部分由主控站、监测站和信息注入站组成,主控站计算各个卫星的星历、卫星时钟误差和大气层的修正参数并传送到注入站,注入站将各种信息输入到相应卫星的存储系统;用户装置部分是用户进行导航定位的终端设备,

* 收稿日期: 2010 - 01 - 18; 修回日期: 2010 - 04 - 13

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2007AA12Z334)

Foundation Item: The National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(No. 2007AA12Z334)

由接收机硬件、数据处理软件组成;空间卫星部分由分布在6个轨道上的24颗卫星组成,每个轨道上有4颗卫星,提供星历和时间信息,向用户发送信号。GPS是一种双重用途的系统,提供民用和军用两种服务,即标准定位服务(SPS)和精密定位服务(PPS),SPS是指定为民用的,对全时间所有用户均可用,PPS指定为美国军方和政府机构使用的,只能授权使用。

2.2 GPS信号结构

根据文献[1]和文献[2],GPS卫星的信号有L1(1 575.4 MHz)和L2(1 227.6 MHz)两个频率,其中L1信号由两个PRN码及导航数据调制,这两种码分别是粗/截获码(C/A码)和精密码(P码),由于P码信号保密,非授权用户不能使用,因此本文设计的GPS信号源只模拟可见的GPS卫星L1频率C/A码信号。GPS信号是一种BPSK调制的直接序列扩频(DSSS)信号,由D码、C/A码和L1载波3部分组成,其信号表达式为

$$S_i(t) = AC_i(t)D_i(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_{0i}) \quad (1)$$

式中, $S_i(t)$ 为第*i*颗卫星的信号, A 为信号幅度, $C_i(t)$ 为第*i*颗卫星的PN扩频码(C/A码), $D_i(t)$ 为第*i*颗卫星的导航位数据, ω_0 为信号频率, φ_{0i} 为第*i*颗卫星的信号相位。

3 系统设计

3.1 总体设计

(1)主要性能

由于GPS卫星的P码信号保密,国外非授权用户不能使用,因此本文设计的GPS射频信号源是L1频率的C/A码信号,主要设计性能指标如表1所示。

表1 GPS信号源性能指标

Table 1 Performance of GPS signal source

参数	指标
射频输出频率/MHz	1 575.42
调制方式	BPSK
扩频码	C/A码
扩频码频率/MHz	1.023
导航位信息	D码
导航电文传输速率/(bit/s)	50
输出功率/dB	-45 ~ -90
输出带宽/MHz	2
输出信号稳定度/(ppm/s)	≤0.1
RF输出接口	SMA(f)50 Ω

(2)设计方案

按照GPS信号源系统要实现的功能,参考文献[3]和文献[4],设计中考虑到要减少噪声干扰、提高系统稳定性,以及便于调试等,GPS射频信号源整个系统设计分为数字和模拟两部分,基带/中频模块以数字电路设计为主,射频模块以模拟电路设计为主,其中基带/中频模块主要采用软件无线电的思路,利用FPGA芯片产生GPS导航电文(D码)、扩频码(C/A码)和中频数字载波,完成BPSK调制、扩频调制和载波调制,输出8 bit的数字中频GPS信号。射频模块是整体设计的核心,主要是以频率综合器为中心进行射频电路板的设计与实现,对信号进行混频、滤波、功率控制等,将GPS中频信号调制到射频,最终可由天线发射出去,完成上变频功能。

3.2 基带/中频模块

基带/中频模块的设计主要利用FPGA芯片EP1C6Q240C8完成,采用硬件编程语言(VHDL)进行GPS信号调制设计。算法原理是对式(1)信号进行时域抽样 $t = nT_s$,式(1)可以表示为

$$S_i(nT_s) = AC_i(nT_s)D_i(nT_s) \cos(\omega_0 nT_s + \varphi_{0i}) \quad (2)$$

式中, T_s 为抽样时间,与抽样频率 ω_s 的关系满足 $T_s = 2\pi/\omega_s$ 。在数字系统中,我们用*n*表示 nT_s ,则式(2)转化为

$$S_i(n) = AC_i(n)D_i(n) \cos(2n\pi(\omega_0/\omega_s) + \varphi_{0i}) \quad (3)$$

根据文献[5],式(3)是数字信号调制的基本原理,也是本文基带/中频模块设计与实现的算法原理,整个基带/中频模块GPS信号调制的设计原理如图1所示,主要由C/A码模块、D码模块、DDS模块和调制模块组成,其中C/A码模块模拟产生速率1.023 MHz的第*i*颗卫星的C/A码序列,C/A码有1 023个码片,因此C/A码持续周期是1 ms;D码模块模拟产生速率50 Hz的第*i*颗卫星的导航电文(D码);DDS模块产生速率12.5 MHz的数字载波信号;调制模块对C/A码信号、D码信号和载波信号进行扩频调制和BPSK调制,输出12.5 MHz的GPS数字中频信号。



图1 GPS信号调制原理图

Fig. 1 Block diagram of GPS signal modulation

数据输入是通过 FPGA 芯片的 3 个双向 I/O 口, 分别接 ADF4360-4 的 LE 脚、DATA 脚、CLK 脚来写入

初始化数据的, 初始化程序用 VHDL 语言编写, 其中 3 个 24 位寄存器的初始化数据设置如表 2 所示。

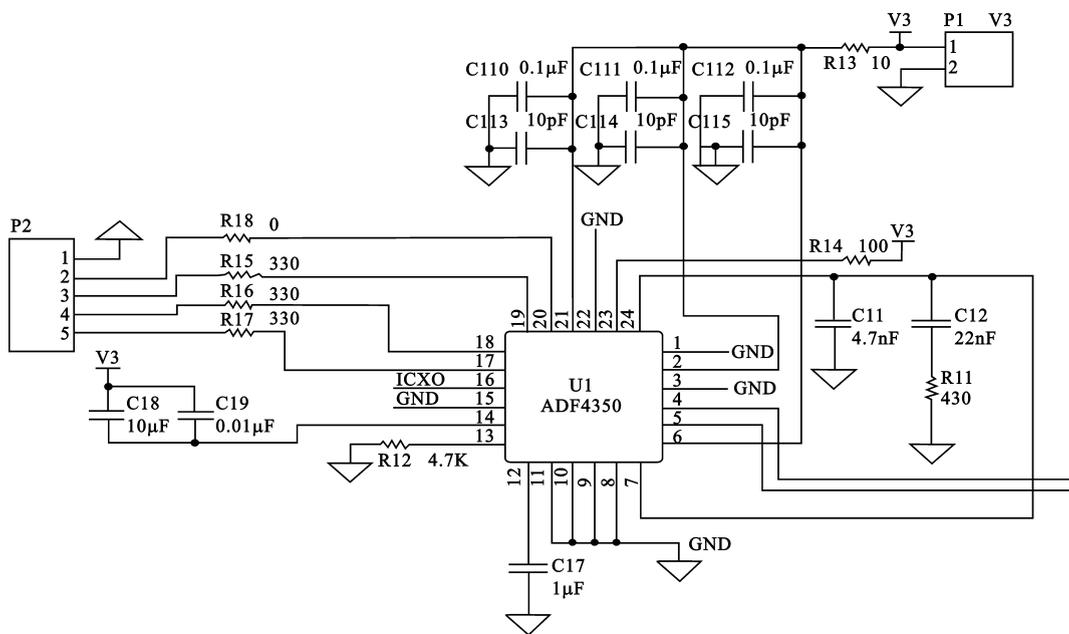


图 4 ADF4360-4 的应用电路
Fig.4 Application circuit of ADF4360-4

表 2 寄存器初始化设置
Table 2 Register initialization settings

寄存器名称	数据二进制 (DB23, DB22, ..., DB0)
R 寄存器	0011 - 0000 - 0000 - 0000 - 0000 - 1001
N 寄存器	0000 - 0000 - 0010 - 0010 - 0001 - 0110
C 寄存器	0000 - 1111 - 1110 - 0001 - 0010 - 1000

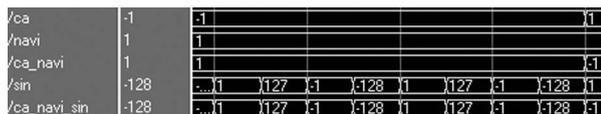


图 5 ModelSim 仿真波形图
Fig.5 Waveform of ModelSim Simulation

4 实验结果

4.1 基带/中频模块

基带/中频模块的设计是以 FPGA 芯片为核心, 芯片采用 Altera 公司的 EP1C6Q240C8。在 QuartusII 8.0 平台下测试, 系统占用逻辑单元 337 个。采用 ModelSim 仿真平台, 编写 TestBench 测试文件, 仿真波形如图 5 所示, 其中信号 sin 是 DDS 模块产生的数字中频载波, 信号 CA 是 C/A 码模块产生的 C/A 码, 信号 Navi 是 D 码模块产生的导航电文, 信号 CA_Navi_sin 是调制模块产生的 GPS 数字中频信号。将 FPGA 芯片输出的 GPS 数字中频信号, 经 D/A 转换后, 送到安泰频谱分析仪 AT5011, 频谱波形如图 6 所示, 信号中心频率为 12.5 MHz。

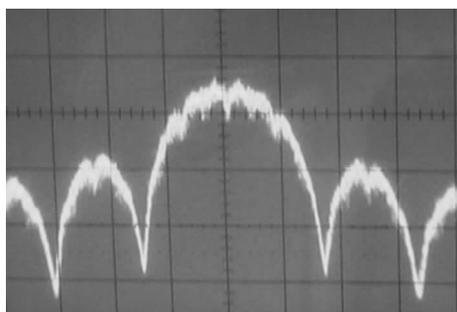


图 6 中频模块测试频谱图
Fig.6 Test spectrum of IF module

4.2 射频模块

将 GPS 射频信号源的基带/中频模块和射频模块正确连接好, 射频信号通过射频模块 SMA 接口输出, 经 60 dB 衰减器衰减后送到频谱分析仪, 频谱波形是一个单频信号, 信号中心频率是 1 575.4 MHz, 测试结果符合设计要求。

5 结论

本文根据GPS卫星信号的结构及射频电路设计的特点,采用软件无线电的思路,给出了GPS射频信号源的设计方案。在方案中硬件设计提供一个标准化平台,通过软件实现GPS信号调制等功能,软件设计强调功能模块化,通用性强,易于修改和升级。实验结果表明该设计符合要求。下一步需要提高硬件平台的稳定性和可靠性,软件设计需要增加Nios嵌入式处理器软核,进行性能优化,提高系统性能。

参考文献:

- [1] IS—GPS—200D, GPS JOINT PROGRAM OFFICE[S].
- [2] Elliott D Kaplan, Christopher J Hegarty. GPS 原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2007:48-109.
Elliott D Kaplan, Christopher J Hegarty. Understanding GPS Principles and Applications [M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2007:48-109. (in Chinese)
- [3] J B Y Tsui. GPS 软件接收机基础[M]. 2版.北京:电子工业出版社,2005:2-86.
Tsui J B Y. Fundamentals of Global Positioning System Receivers A Software Approach [M]. 2nd ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2005:2-86. (in Chinese)
- [4] 刘翔之. GPS L1 单频伪卫星设计与实现[D]. 上海:上海交通大学,2008.
LIU Xu-zhi. Design and Implementation of GPS L1 Pseudolite Signal Generator[D]. Shanghai:Shanghai Jiaotong University, 2008. (in Chinese)
- [5] John G Proakis. 数字通信[M]. 4版.北京:电子工业出版社,2005:169-265.
John G Proakis. Digital Communications [M]. 4th ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2005:169-265. (in Chinese)

- [6] 林巧莉. 基于 ADF4360 系列的小型化频率综合器设计[J]. 电讯技术,2008,48(10):81-83.
LIN Qiao-li. Miniaturization Design of Frequency Synthesizer Based on ADF4360 Series [J]. Telecommunication Engineering,2008,48(10):81-83. (in Chinese)

作者简介:

占光(1977-),男,湖北大冶人,北京大学信息科学技术学院硕士研究生,主要研究方向为信号与信息处理、嵌入式系统设计与应用;

ZHAN Guang was born in Daye, Hubei Province, in 1977. He is now a graduate student. His research interests include signal and information processing, embedded system design and application.

Email: zhanguang@pku.edu.cn

徐飞(1985-),男,山西阳泉人,北京大学信息科学技术学院硕士研究生,主要研究方向为嵌入式系统设计与应用;

XU Fei was born in Yangquan, Shanxi Province, in 1985. He is now a graduate student. His research concerns embedded system design and application.

Email: aslongasmoon@sina.com

段小辉(1968-),男,湖南郴州人,北京大学信息科学技术学院副教授,主要研究方向为卫星导航、图像处理以及嵌入式系统设计与应用;

DUAN Xiao-hui was born in Chenzhou, Hunan Province, in 1968. He is now an associate professor. His research interests include satellite navigation, image processing, embedded system design and application.

Email: duan@pku.edu.cn

周瑞(1982-),男,陕西西安人,吉林大学硕士研究生,主要研究方向为信号与信息处理。

ZHOU Rui was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1982. He is now a graduate student in Jilin University. His research direction is signal and information processing.

Email: zhouruijew@163.com