

GPS 软件接收机的模块设计与信号处理

张 雷, 邓江平, 王建宇

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:采用Zarlink公司的GP2015对GPS射频前端进行下变频处理,将得到的中频模拟信号转换成数字信号,结合DSP开发技术对中频数字信号进行捕获、跟踪与定位解算,用软件无线电的方法实现GPS软件接收机的模块设计与信号处理。实验结果表明,软件无线电思想能实现算法与软件的高度灵活性,可有效提高GPS接收机的信号处理能力与系统性能。

关键词:全球定位系统;软件无线电;捕获;跟踪

Modular Design of GPS Software Receiver and Its Signal Processing

ZHANG Lei, DENG Jiang-ping, WANG Jian-yu

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083)

【Abstract】This paper introduces a new idea of converting RF to IF, samplings the analog signal into digital signal. And then it researches the acquisition, tracking and position resolution based on DSP technology. Through the design of GPS software receiver and signal processing, it is shown that the high flexibility in algorithms and software can be realized based on software radio technology, and the system performance of GPS receiver can be developed.

【Key words】GPS; software radio; acquisition; tracking

1 概述

软件无线电技术的突出优点表现在硬件只作为无线通信的基本平台,诸多通信功能由软件来完成,其核心是DSP等技术的开发^[1]。GPS软件接收机可采用软件无线电的方法来实现,通过硬件电路来接收GPS射频信号,数字处理部分的捕获、跟踪与解算功能由微处理器或计算机算法与软件实现。Zarlink公司的GP2015芯片是衔接GPS射频和中频数据处理的桥梁,实现GPS中频信号采样后进行捕获、跟踪、解算等一系列处理^[2],为用户提供位置信息和实现GPS定位操作准备。本文重点研究射频接收的硬件模块和信号处理的软件模块,使GPS软件接收机在后续研发中具有重用性、扩充性和可维护性。

2 GPS 射频接收系统设计

典型的GPS接收机主要由天线、射频前端、相关器和导航解算等模块组成^[3]。天线模块用来接收GPS射频(RF)的微弱信号。射频前端模块实现下变频和A/D转换等,是后端处理的基础,其信号处理的质量直接影响接收机的性能;相关器模块主要完成信号的跟踪与锁定,包括各种原始数据和测量数据的输出,是导航解算的数据依据;导航解算部分是算法与软件,实现数据的解调、伪距的提取以及导航数据的解算等功能。

本文采用外置车载天线来接收GPS卫星射频信号:利用GP2015芯片对GPS射频信号进行下变频、A/D转换和采样,得到GPS信号的RF前端数据^[4];根据信号处理原理^[5],GP2015将中心频率为1575.42MHz的GPS L1载波频率降至4.309MHz,并以5.714MHz的采样频率对中频信号进行采样;得

到中频数字信号后,用DSP开发技术处理前端数据信号,将处理结果发送至计算机。硬件设计的系统构架见图1。

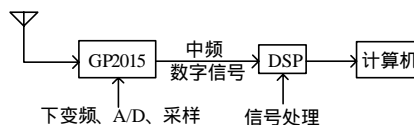


图1 GPS软件接收机的硬件系统构架

3 GPS 射频信号的3级混频分析

GPS软件接收机研究首先要解决GPS射频前端模块的设计。GP2015是一个超小型的射频前端器件,包括一个片上合成器、混频器、自动增益控制(AGC)和一个提供符号和量级数字输出的量化器。在功能上,它是一个集成除中频滤波器外的所有从GPS天线接收的L1频段信号到2位数字信号转换的模块^[4]。

GPS L1射频信号经低噪声放大后,进入GP2015芯片进行3级滤波完成下变频功能。第1级~第3级混频器分别与锁相频率合成器提供的1400MHz、140MHz和31.11MHz的振荡信号进行混频,依次得到175.42MHz、35.42MHz和4.309MHz的信号^[5]。混频产生的各信号分别由175.42MHz、35.42MHz和4.309MHz滤波器进行滤波,最终得到4.309

基金项目:中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿基金资助项目(07K2141W09)

作者简介:张雷(1978-),男,博士,主研方向:卫星定位工程,信息融合技术;邓江平,博士研究生;王建宇,研究员、博士

收稿日期:2008-04-05 **E-mail:** jusking@126.com

MHz的GPS中频信号供后级数字相关器处理使用。射频模块的混频过程如图2所示。

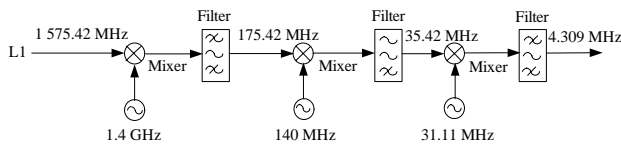


图2 GP2015 射频信号的混频过程

GP2015 第一次下变频至 175.42 MHz，是在片外进行滤波^[4]。滤波器放置在第一级变频的输出端和第二级变频的输入端，不仅要滤除第二级中频的镜频干扰和射频的镜频干扰，还要滤除到达第二级混频输入的干扰信号；第二级中频滤波器的中心频率为 35.42 MHz，带宽约为 +1.0 MHz，插入损耗为 14 dB ~ 18 dB，衰减系数大于 10 dB。连接在第二级混频的输出和第三级混频的输入之间。该滤波器的带宽理论上能达到 2 MHz，同时对带外信号至少应有 20 dB 的衰减，其响应曲线是一个Brick-Wall形状的曲线；GP2015 的第三级滤波在片内完成，滤波器的中心频率为 4.309 MHz，第三级滤波器主要用于抑制带外噪声干扰和模拟部分到A/D采样部分的干扰。中心频率在 4.039 MHz 的输出频谱如图3所示。

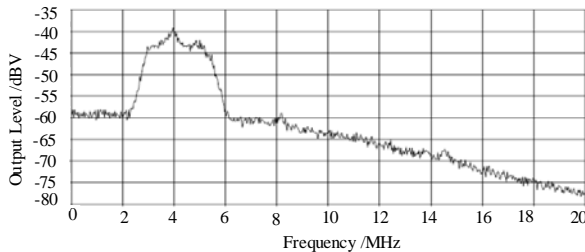


图3 GP2015 输出中频信号的频谱

4 GPS 中频信号处理

由上述分析可知，GP2015 射频前端芯片接收来自天线和低噪声放大器的 GPS L1 调制信号。L1 射频信号是 50 bit/Hz 的信息码速率经过 1.023 MHz 的伪随机码扩频后以 BPSK 方式调制在 1 575.42 MHz 的载波上所形成的扩频信号。GPS 射频微弱信号电平在进入天线之前大约只有 -130 dB，带宽为 2.046 MHz，L1 信号基本被噪声所掩盖。

GP2015 芯片在经过三级混频后为 4.309 MHz 的中频，然后通过 5.714 MHz 的采样实现 A/D 变换(2 位量化，符号位 SIN 和数据位 MAG)^[4]。根据奈奎斯特采样定律对带通信号要以高于 2 倍的信号带宽进行采样才可无失真地恢复，同时也考虑到 GPS 信号传播过程中相对运动产生的多普勒效应会使信号带宽变宽，因此，将采样速率选择为 5.714 MHz。

采样后的 GPS 二进制数据转换成离散数据信号，并进入 DSP 开发。DSP 开发将主要实现中频数据的信号处理，包括 GPS 信号的捕获、跟踪、伪距计算、卫星星历解码和用户位置解算^[6]。

5 捕获与跟踪过程的信号处理

5.1 GPS 信号捕获分析

由于 C/A 码的码长为 1 ms，要正确捕获 GPS 信号，至少需要这 1 ms 长度的数据^[7]。数据长度越长(最长 10 ms)，信噪比越高，但同时也会增加系统的处理时间。为提高效率，缩短处理时间，本文采用 1 ms 长度的数据进行捕获，如果在这 1 ms 中有 GPS 导航数据信号的传输而导致相位反转无法正确捕获，则采用下一个 1 ms 长度的数据，由于 GPS 导航数据频

率为 50 Hz(20 ms 长)，后面的 1 ms 一定不会有导航数据的传输，因此可正确地进行捕获。

1 ms 的输入信号包含载波和 C/A 码^[7]。用与输入信号中 C/A 码同相位的本地 C/A 码与其相乘，可得到载波信号^[6]。由于载波信号是连续信号，对其做 FFT(傅里叶变换)后可从其频谱中得到载波频率。但 C/A 码的初始相位是一个未知数，因此，首先要找到其初始相位。接收机会在本地产生一个 C/A 码，由于本文采用的信号采样率为 5.714 MHz，则本地产生 1 ms 的 C/A 码有 5 714 个数据点，将其与 5 714 个点的输入信号相乘，对结果做 FFT 来寻找频率。为正确寻找 1 ms 的 C/A 码的初始相位，对 5 714 个点的本地 C/A 码共进行 5 714 次的移位，分别与输入信号相乘并进行 FFT 计算。同时，由于多普勒效应产生了 ±5 kHz 的频移，搜索的步长精度为 1 kHz，故上述步骤共须重复 11 次才能正确找到载波的频率和 C/A 码的初始相位。

软件接收机中 DSP 的处理能力还不能很好地达到实时要求，本文采用并行码相位搜索的方法^[7]进行研究，其实现过程如下：

(1) 对 1 ms 的输入信号 $x(n)$ 做 FFT 变换得到 $X(k)$ 。由于采样率为 40/7 MHz = 5.714 MHz，因此对 1 ms 的输入数据有 $n = k = 5 714$ 个。

(2) 取 $X(k)$ 的复共扼，可得 $X^*(k)$ 。

(3) 本地产生的 C/A 码可表示为 $I_{si} = C_s \exp(j2\pi f_i t)$ ，其中， C_s 是 S 卫星的 C/A 码， f_i 为载波频率点 (4 304 kHz ~ 4 314 kHz)，有 5 714 个数据点。共得到 11 个本地 C/A 码 $I_{si}(n)$ ， n 取值为 1 ~ 11。

(4) 对 11 个 $I_{si}(n)$ 分别做 FFT 得到其频域信号 $I_{si}(k)$ 。

(5) 将 $X^*(k)$ 与 $I_{si}(k)$ 相乘得到 $R_{si}(k)$ ， k 取值为 0 ~ 5 713。

(6) 对 $R_{si}(k)$ 做 FFT 逆变换，得到时域表达式 $r_{si}(n)$ ，并求其绝对值。共有 $5 714 \times 11 = 62 854$ 个绝对值。

(7) 找出 $|r_{si}(n)|_{\max}$ ，如果其大于所设定的一个阈值，则表示这颗卫星被成功捕获，同时根据 i 可求出精度为 1 kHz 的载波频率，根据 n 可求出时间精度为 175 ns 的 C/A 码的初始相位。

由于每颗卫星都有其唯一的 C/A 码，在捕获时需要分别使用 32 个 C/A 码对这 1 ms 的数据进行捕获。本文采用上述过程对 1 ms 的 GPS 数据进行捕获。对于可见卫星第 25 号，对其成功捕获得到的结果如图 4 所示。

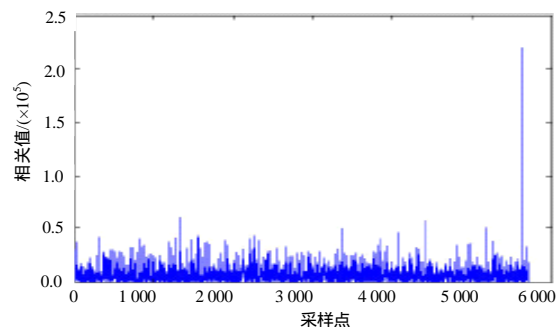


图4 成功捕获第25颗可视卫星的结果

5.2 GPS 信号跟踪

阈值的设定是 GPS 信号捕获过程中的一个环节，将直接

判断该卫星是否可见,并能得到其载波频率和C/A码相位。本文将阈值设为 1.2×10^5 ,当峰值大于此阈值时,则表示成功捕获该卫星,并记录下该卫星的载波频率和C/A码相位,将其传递给后面的跟踪过程以进一步研究。

本文将C/A码的跟踪和载波的跟踪一体化研究,可避免单独跟踪的重复计算,提高运算的效率,一体化跟踪过程如图5所示。其中,C/A码跟踪环路和载波跟踪环路都采用传统的二阶锁相环回路:一阶滤波回路和数控振荡器(NCO)^[6]。

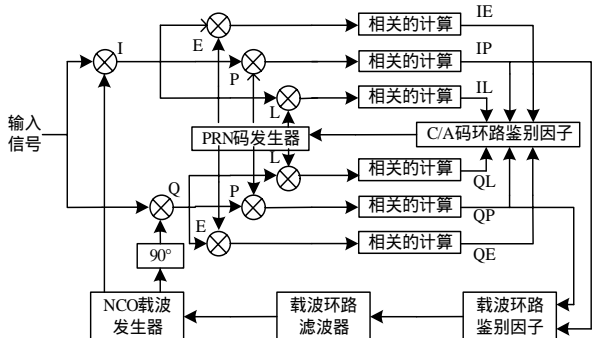


图5 C/A码和载波一体化跟踪

为保证1ms数据正确跟踪,必须不断调整C/A码的初始相位来保证其相关性^[7]。而如采用7ms长度的GPS数据,则一次有40000个数据点,正好是整数,就没有数据的丢失,C/A码初始相位的变化主要由多普勒频移造成。

图6和图7分别显示对7ms GPS信号的跟踪效果。

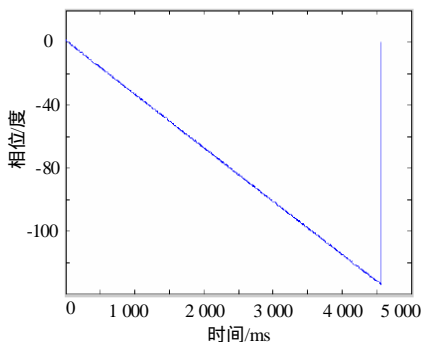


图6 7ms跟踪的C/A码初始相位

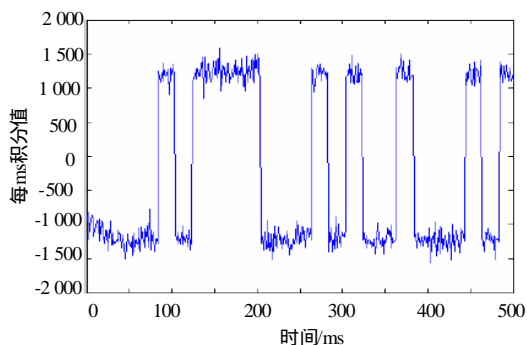


图7 7ms跟踪的数据输出

其中,图6为每7ms记录一次的C/A码初始相位,图7为跟踪模块输出的GPS导航数据。

可见,对于同样长度的GPS输入信号,其输出信号大致相同,且都能正确得到GPS导航数据信号。但在1ms的跟踪过程中,C/A码的相位变化很大,而在7ms的跟踪过程中,C/A码的相位变化要小很多,显得更为稳定。

5.3 GPS导航数据的实现

由于单个导航数据的长度为20ms,则第1个20ms的数据中包含有GPS导航数据的起始点。找到第1个相位反转点,则相位反转点必是GPS导航信号的起始点。若反转点不在第1个20ms内,则可从反转点减去20的倍数,从而在第1个20ms数据中找到导航数据的起始点。找到导航信号起始点后,应对其正确性进行验证。导航数据必须相互间隔20ms,若不符合该条件,则要抛弃该错误数据。在数据通过验证后,将导航数据转换成±1的信号保存在计算机上。在找出子帧的起始点后,对数据进行奇偶校验,并确定数据的正确性和完整性。找出各子帧中包含的星历内容,计算伪距和卫星的位置坐标,并最终计算出用户的坐标信息^[3,6]。

6 结束语

本文采用软件无线电的思想对软件接收机进行模块化设计与研究,将硬件电路收集并采样得到的GPS离散数据信号进行捕获。将捕获得到的各个卫星C/A码初始相位和载波频率通过不同信道同时传递给跟踪模块。跟踪模块利用捕获得到的初始值,对每颗卫星的GPS数据进行跟踪,并输出卫星的GPS导航数据。对导航信号进行解码、寻找子帧并进行奇偶校验,最终得到卫星所传播的星历数据。

GPS软件接收机是当前卫星导航定位领域终端研究的一个热点。该技术的不断完善能有效解决定位终端的本振频率漂移、相位噪声、混频产生的虚假信号、放大时产生的谐波以及互调、机内噪声等问题,便于算法和软件的优化,提高定位精度。

参考文献

- [1] 曹冲. GPS软件接收机结构与仿真实现[J]. 全球定位系统, 2007, 1(1): 12-19.
- [2] Tsui J B Y, Fundamental of Global Positioning System Receivers — A Software Approach[M]. New York, USA: A Wiley InterScience Publication, 2000.
- [3] Kaplan D. GPS原理与应用[M]. 邱致和, 王万意, 译. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [4] Zarlink Semiconductor Inc. Zarlink GP 2015 GPS Receiver RF Front End[Z]. 2005.
- [5] 黄智伟. 射频集成电路芯片原理与应用电路设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [6] 张雷, 王建宇, 戴宁, 等. GPS伪卫星信号捕获的仿真分析与研究[J]. 红外, 2007, (8): 33-36.
- [7] Reed J H. 无线电工程的现代方法[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.