

文章编号:1001-893X(2010)08-0026-04

GPS 接收机伪码测距方法及误差分析^{*}

夏 俊

(成都天奥信息科技有限公司,成都 611731)

摘 要:根据全球定位系统(GPS)的信号特点,介绍了 GPS 接收机利用 L1 频段 C/A 码进行伪码测距的原理和方法,提出了一种简单、易行的位同步环设计方法,并与传统设计方案进行了对比。最后,对影响伪距测量值的因素进行了讨论,给出了误差计算的方法,分析了对测距精度的影响。

关键词:GPS 接收机;伪码测距;位同步;电路设计;误差分析

中图分类号:P228;V556 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2010.08.006

Pseudo Code Ranging Method and Precision Analysis of GPS Receiver

XIA Jun

(Chengdu Spaceon Technology Co., Ltd, Chengdu 611731, China)

Abstract: According to the signal characteristics of GPS(Global Positioning System), the principle and method of GPS receiver pseudo code ranging by using C/A code at L1 band are introduced. A simple and easy method is proposed for bit synchronization loop and is compared with traditional methods. Finally, the factors influencing pseudo coding ranging value are discussed, error estimation method is given, and the influence on ranging precision is analysed.

Key words: GPS receiver; pseudo code ranging; bit synchronization; circuit design; error analysis

1 引 言

全球定位系统(GPS)的不断完善使得 GPS 接收机在导航定位中得到了广泛的应用。要实现导航定位,必须获得卫星到接收机的距离。GPS 通过测量信号从位置已知的发射源(卫星)发出至到达用户接收机所经历的时间,乘以信号的速度(光速),便得到从发射源到接收机的距离^[1]。

GPS 卫星信号包含有数据码 $D(t)$ 、测距码(C/A 码和 P 码)和载波(L1 和 L2)3 种成分。C/A 码是伪码,码的速率是 1.023 MHz,码长 1 023 位,周期为 1 ms。C/A 码具有很好的自相关性和很弱的互相关性,每一颗卫星有一种固定的 C/A 码。接收机可以利用码的自相关性和互相关性对不同的卫星信号进行接收。导航电文,即包含导航信息的数据码,是二进制编码文件按规定格式组成的数据帧,有严格的

时间标记。

根据 GPS 卫星信号的特点,利用伪随机码的相关技术测距,实现比较简单,被广泛采用。

本文阐述了 GPS 接收机伪码测距原理,介绍了测距方法,详细分析了伪码测距的误差。实际应用证明,本文提出的伪距测量方法相比传统方法更简单、便捷。

2 伪距的测量

2.1 伪距定义

到卫星 i 的伪距(单位 m)定义如下:

$$\rho_i = c [T_R(n) - T_{Ti}(n)] \quad (1)$$

式中, $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ 为光速, $T_R(n)$ 表示与 GPS 接收机时钟第 n 历元相对应的接收时刻(单位 s); $T_{Ti}(n)$ 表示基于卫星 i 时钟的发射时刻(单位 s)。

^{*} 收稿日期:2010-04-13;修回日期:2010-07-02

在 GPS 中, GPS 接收机接收卫星信号, 经过处理, 测得卫星信号由卫星到达接收机的传播时延, 从而获得 GPS 卫星到接收机的距离。在计算卫星信号由卫星到接收机的传播时延时, 主要利用了伪随机码的相关接收技术, 故称为伪码测距。将卫星到接收机的距离称为“伪距”是因为它是通过将信号传播速度乘以两个非同步时钟(卫星钟和接收机钟)之间的时间差而确定的距离。

2.2 测距原理

伪码测距的基本原理是: 利用一伪码延时锁相环路, 使本地复制的伪码和接收到的伪码在码元上对齐, 即在时间上对准, 再将复制的伪码与本地的基准伪码进行比对, 得到时间差, 如图 1 所示^[2]。

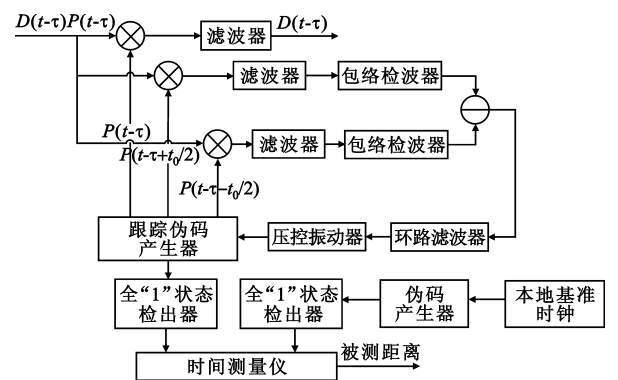


图 1 伪码测距原理示意图

Fig.1 Block diagram of pseudo code ranging

图 1 所示延时锁相环由鉴相器、环路滤波器和压控振荡器组成, 其中两条相关接收支路及相减电路构成了鉴相器, 两条支路除了输入的跟踪伪码相对移动了一个码元 t_0 之外完全相同, 两支路相关函数之差通过环路滤波器加到压控振荡器上, 产生附加相移使跟踪伪码发生器产生的伪码在时间上和接收到的伪码对准。

本地跟踪伪码和基准伪码均为卫星发射伪码的复制码, 它们为结构完全相同的序列。在某一时刻跟踪伪码发生器的各级移位寄存器中, 其码元全部为“1”; 同样, 在另一时刻基准伪码发生器的各级移位寄存器中, 亦有全部码元为“1”的状态。由全“1”状态检出器检出全“1”状态的时刻作为伪码的时间标记点。当本地跟踪伪码通过鉴相器和压控振荡器完成了对接收伪码的跟踪(即时间上的对准), 则本地跟踪伪码可以被看成卫星发射的伪码。将跟踪伪码和基准伪码的全“1”状态起点进行比较, 就可以测得传播延时。

2.3 伪距测量方法

由于所有的码、射频载波以及 50 Hz 的导航数据串的信号钟速率都是一致相关联的, 并且所有的卫星所发送信息的时刻都是严格统一在 GPS 系统时间上的, 即所有的卫星发送星历及历书的时间都是在同一个时间点上。因此, 可以利用卫星 50 Hz 数据前沿到达接收机时间的先后来测量卫星到接收机的距离, 即时间差。

接收机接收的信号是同时到达的, 也就是说接收机的伪距测量是同时对接收到的所有卫星进行的, 由于距离的不同, 则在 GPS 系统上统一发送的 50 Hz 数据的前沿到达的时刻就不同时。而要得到伪距, 就需要一个本地时间, 这个时间可以是任意的, 如图 2 所示。

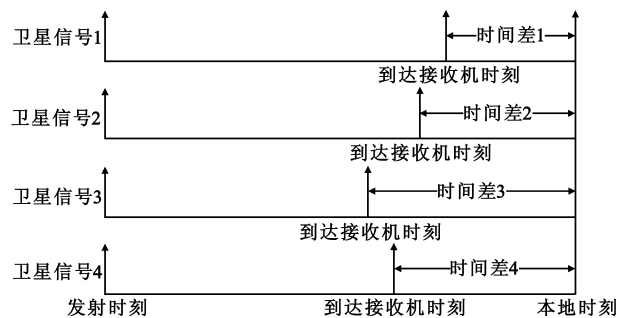


图 2 传播时间测量的示意图

Fig.2 Sketch map of measuring time

卫星的数据码是在 GPS 系统上同时发送的, 而每一个码位都有精确的时间标记, 我们测量的是代表同一个时间标记的数据码位到达接收机的时间差。例如, 卫星信号 1 到达接收机的时刻离本地伪距采集时刻最近, 其代表的是它的伪距最长, 这是因为伪距越长, 其码位在空间的传播时间越长, 到达接收机的时间越晚, 则得到的时间差就越小。卫星信号 3 的时间差代表的伪距是最短的。这些计算可以在软件里实现, 时间差的计数是用 C/A 码的时钟计数再加上 C/A 码的时钟的 DDS 值, 因为 DDS 的位数是 32 位, 其可测的时间精度很高。

3 位同步电路的设计

在信号捕获以后, 代表 C/A 码已经成功跟踪上, 这时要测量伪距的话, 还要知道数据码的前沿是从什么地方开始的。由于 L1 频率段上的一个数据码是 20 ms, 而 C/A 码的周期是 1 ms, 也就是说一个数据码内包括了 20 个 C/A 码周期, 在卫星信号的

捕获过程中并不知道数据码元是从哪个 C/A 码周期开始的,这就需要位同步电路来确定。位同步电路有多种实现方式,在设备研制中曾采用了以下两种方法:一种是早晚门电路,另一种是检测信号的跳变沿的方法。

(1)早晚门电路

采用早晚门型的位同步电路,由位同步环 NCO 输出的符号时钟驱动时序产生器,产生早、晚两个选通信号,比主支路输入信息码超前和滞后,分别求出早晚门中输入信号的积分值,早、晚相关电路输出的信号相减后,形成修正信号,经环路滤波器滤波后,输出误差电压驱动压控振荡器,误差信号调整 NCO 的相位^[3]。

早晚门时间误差鉴别器和位同步环结构如图 3 所示。只有在输入信息码发生电平转换时才能产生时间误差信息,所以当输入信息码有长时间的全 0 和全 1 时,得不到误差信息会影响位同步环的工作。在早晚门进行积分的同时,信号支路也进行积分清零,完成信息码匹配滤波,滤波后数据的符号位即成为最终解调信息码输出。

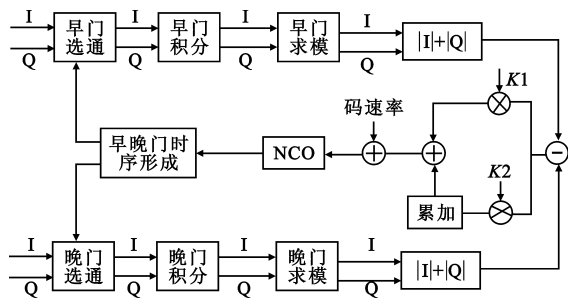


图 3 位同步环框图

Fig.3 Block diagram of bit synchronization loop

(2)沿检测方法

跳变沿检测方法是在调试中总结的一种比较简单的方法,如图 4 所示。

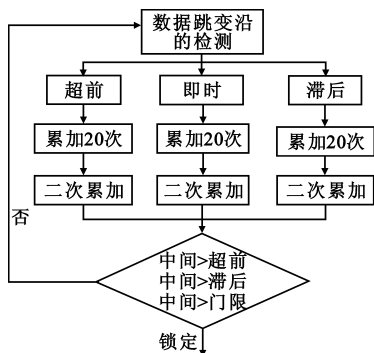


图 4 位同步的设计

Fig.4 Design of bit synchronization

在位同步的设计中,根据数据码保持时间为 20 ms 的特点,在数据开始发生跳变的时刻和超前 1 ms、滞后 1 ms 时刻同时用 1 ms 进行计数,累加 20 次后,再分别进行二次累加,如果跳变沿检测正确,“即时”这一路的累加值肯定会大于“超前”和“滞后”,连续判决几次,如果都符合这个判据,就报位同步环锁定,如果有一次不符合,就重新进行数据的跳变检测。这样的设计可以避免信息传输中毛刺的干扰,保持数据码和时间的正确性。

早晚门电路采用了累加器、乘法器,对硬件资源的占有较多;而沿检测采用计数器,对硬件资源的占用较小,而且可以放在软件里进行处理,进行比较后,选用了实现便捷、灵活的沿检测方式。

4 伪码测距的误差分析

导航接收机的测距误差,取决于各种因素错综复杂的相互作用,从误差来源讲,主要可以分为 3 类:与 GPS 卫星有关的误差,如星历误差、卫星钟差等;与 GPS 信号传播有关的误差,如电离层延迟、对流层折射、地球自转效应等;与接收机有关的误差^[4]。其中第一类和第二类属于系统误差,可以通过数据处理来进行修正,在这里不再赘述。与接收机相关误差包括天线相位中心的位置误差、接收机热噪声引起的测距噪声、接收机量化误差、动态应力误差等。

(1)天线相位中心的位置偏差

在 GPS 伪码测量的是卫星到接收机天线相位中心间的距离,而天线对中都是以天线几何中心为准,实际上天线的相位中心和几何中心会有一定偏差,这个偏差会造成定位误差,根据天线性能的好坏,误差在数毫米至数厘米之间。

(2)接收机码环热噪声

卫星接收机码环热噪声引起的测距随机误差方差公式为

$$\sigma_{\text{DLL}} = \lambda_c \sqrt{\frac{B_n d}{2 C/N_0} \left[1 + \frac{2}{(2 - d) C/N_0 * T_e} \right]} \quad (2)$$

式中, σ_{DLL} 为测量噪声的方差, d 为超前滞后码元间距, B_n 为码环的等效单边噪声带宽, C/N_0 为输入信噪比, T_e 为预检测积分时间(s), λ_c 为基码波长。

由式(2)可知,码环的热噪声与滤波器噪声带宽、输入信噪比和环路的预检测时间有关,它引起的

测距误差一般为几米。降低 B_n 、 d 可降低噪声,提高测距精度,但这样同时减小了环路的动态应力门限,采用载波辅助码环的技术后,可以将码环的环路变窄,尽量提高测距精度。

(3)相位测量量化误差

若采用 32 位相位累加器的 DDS 产生码钟,其分辨率为一码元的 $1/2^{32}$,则相位测量量化误差为几十纳米,可以忽略。

(4)动态应力误差

动态应力误差(码片数)为

$$\theta_e^n = \frac{d^n R/dt^n}{\omega_0^n} \tag{3}$$

该误差取决于环路带宽和阶数。一个有最小均方误差的二阶环,其动态应力误差为

$$\theta_e^2 = \frac{d^2 R/dt^2}{\omega_0^2} = \frac{d^2 R/dt^2}{\left(\frac{B_n}{0.53}\right)^2} = 0.2809 \frac{d^2 R/dt^2}{B_n^2} \tag{4}$$

式中, $d^2 R/dt^2$ 表示视线方向加速度动态($^\circ/s$)^[5]。在动态环境下,由于采用了载波辅助码环技术,消除了大部分动态,因此它对测距带来的影响也是很有限的。

在与接收机相关的误差中,对测量值影响较大的是码环热噪声引起的误差,根据 GPS 接收机的应用环境,选取适当的环路参数,可以得到较高的伪距测量精度。

5 结束语

本文介绍了 GPS 接收机中伪码测距的原理和方法,对在伪距测量中的关键电路位同步环的设计,提出了一种简单、实用的方法,具有重要的现实意义。通过对伪距测量的误差分析,在工程应用中,可根据使用环境针对性的对伪距测量的相关参数进行

选取,以达到较高的测距精度。

参考文献:

[1] Elliott D Kaplan. GPS 原理与应用[M]. 寇艳红,译. 北京:电子工业出版社,2007:14-18.
Elliott D Kaplan. Understanding GPS Principles and Applications[M]. Translated by KOU Yan-hong. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007:14-18. (in Chinese)

[2] 王惠南. GPS 导航原理与应用[M]. 北京:科学出版社,2006:76-84.
WANG hui-nan. Principles and Applications of GPS Navigation[M]. Beijing: Science Press, 2006:76-84. (in Chinese)

[3] 陈玲,任重,夏俊. 综合基带遥测单元信号同步的实现[J]. 电讯技术,2001,41(2):16-18.
CHEN Ling, REN Zhong, XIA Jun. Synthetical Baseband Remote Cell Signal Synchronous Realization[J]. Telecommunication Engineering, 2001,41(2):16-18. (in Chinese)

[4] 刘基余,李征航,王跃虎,等. 全球定位系统原理及其应用[M]. 北京:测绘出版社,1999:127-130.
LIU Ji-yu, LI Zheng-hang, WANG Yue-hu, et al. Principles and Applications of Global Positioning System[M]. Beijing: SinoMaps Press, 1999:127-130. (in Chinese)

[5] 唐军,谢澍霖,王卫星. 航天扩频测控通信系统中伪码测距方法及精度分析[M]. 电讯技术,2006,46(4):91-95.
TANG Jun, XIE Shu-lin, WANG Wei-xing. Pseudo Code Ranging Method and Precision Analysis of Aerospace Spread Spectrum TTC&DT Systems [M]. Telecommunication Engineering, 2006,46(4):91-95. (in Chinese)

作者简介:

夏俊(1977-),女,四川三台人,工程师,主要从事卫星定位等相关领域的研究工作。

XIA Jun was born in Santai, Sichuan Province, in 1977. She is now an engineer. Her research concerns satellite positioning.

Email: xiajundaohang@163.com