

一种改进的 GPS 微弱信号捕获方法

胡丛玮^{1,2} 李晓玲¹ 安雷¹

(1 同济大学测量与国土信息工程系,上海市四平路1239号,200092)

(2 现代工程测量国家测绘局重点实验室,上海市四平路1239号,200092)

摘要:介绍了 GPS L_1 载波中 C/A 码的捕获算法,以快速傅立叶变换为基础,采用相关积分和非相关积分对较长的信号进行处理,实现对 GPS 微弱信号的捕获。为验证这一算法,利用一组在室内采集的 GPS L_1 C/A 码 IF 数据,采用一般的信号捕获方法和改进的信号捕获方法分别进行了处理。结果显示,采用改进的方法捕获到了较微弱的 GPS 信号,提高了接收机的灵敏度。

关键词:GPS 软件接收机;信号捕获;信号跟踪;相关积分

中图分类号:P228.41; P245.5

近年来,软件 GPS 接收机已经成为卫星定位系统 GNSS 一个新的研究热点。它将卫星中频信号输入到 PC 机中,然后对该信号进行捕获、跟踪和定位计算,整个信号处理过程通过软件来完成,这样就使得软件接收机较普通的接收机有更好的灵活性,研究人员可以改变信号处理的算法或某个参数,而不需要改动硬件设置,达到研究新的信号处理算法的目的^[1-7]。

GPS 卫星信号的捕获和跟踪是接收机信号处理的两个重要过程^[2,7,8],也是软件接收机的关键部分,其算法的好坏是评定接收机的主要标准。如何提高信号捕获和跟踪的效率,以及如何在微弱信号及特殊环境下对信号进行处理,是目前研究的一个重点。由于采用传统的 GPS 信号处理方法进行导航定位只适合于视野比较开阔的环境,卫星信号不能被阻挡,如果在城市建筑稠密地区或在树木覆盖严重的情况下,采用普通 GPS 接收机,其定位的有效性和精度都无法保证,甚至完全无法定位,因此,通过提高 GPS 信号处理的灵敏度,改进传统的信号捕获和跟踪算法,使其在信号微弱的情况下也能够实现信号的接收和解调,从而提高 GPS 定位的能力,如 Agarwal 等提出的辅助 GPS (A-GPS) 的概念^[9]可以用于 GPS 室内定位。还有的研究则主要通过改进相关信号捕获和跟踪算法来提高 GPS 信号接收的灵敏度,如相

干积分和非相干积分,通过加长信号捕获所用的数据长度来提高信噪比。

本文以快速傅立叶变换为基础,采用相关积分和非相关积分对较长的信号进行处理,实现对 GPS 微弱信号的捕获。

1 信号处理基本模型和算法

软件接收机信号处理的数据来源为射频前端的中频信号(IF),信号捕获主要是通过搜索卫星码相位和多普勒频移。对于 L_1 的 C/A 码,其信号模型可表示为^[10]:

$$y_k = AD(t_k)C(t_k - t_s)\cos(2\pi(f_{IF} + f_D)t_k + \phi) + n(t) \quad (1)$$

式中, A 是信号的振幅; $D(t)$ 是导航数据; $C(t)$ 表示 C/A 码; f_{IF} 是经射频前端进行下变频、采样后的载波中心频率; f_D 是多普勒频移; ϕ 是载波初相位; $n(t)$ 是信号中的噪声; t_k 是采样时刻; t_s 是与 C/A 码的初相位所对应的时间。

信号捕获的方法有很多,信号捕获的过程即是找到相应的 t_s 和 f_D 值,其基本思想是对接收的信号和本地信号作相关运算。信号的捕获过程是软件接收机中很重要的一步,其基本方法可大体分为三类^[11]:连续搜索捕获方法、平行频率搜索方法和平行码相位搜索方法。第三种方法以快

速傅立叶变换为基础,也常被称为循环相关。

2 相关积分与非相关积分

相关积分的思想是充分利用 C/A 码的强自相关性。对某段长度的输入信号与本地生成的某颗卫星的 C/A 码,相对不同的码相位间进行相关计算,如果最大相关峰值超过预设阈值,则说明捕获到了该颗卫星,这就是相关积分。当输入信号剥离了 C/A 码后,剩下的信号便成了一个连续波。一旦输入数据变成了连续波,就可采用 FFT 得到载波。在 GPS 信号的所有捕获方法中,首先要进行相关积分。相关积分的过程增益可以由相应带宽得出,这个带宽也是与数据长度相关的。相关积分包含了同相成分的累积,它是一个带通滤波器,每一个频率成分代表一个滤波器,带宽与积分时间成反比。更长的积分时间可以滤掉更多的噪声,因此可以提高其捕获性能。

由于 C/A 码的周期为 1 ms,每 1 ms 输入数据中的 C/A 码的初始码相位基本相同,对几个 C/A 码周期内的输入数据相关积分,其相关峰值会被叠加,从而增加信噪比。经过 N ms 的相关积分,信号能量增加 N 倍,噪声能量增加 \sqrt{N} 倍,结果归一到信噪比,就得到了 \sqrt{N} 的增益^[1]。

应该指出,有时不相关积分也采用长于 10 ms 的数据实现,并可忽略数据列中的相移,然后可以其他方法处理此相移。如 20 ms 的相关积分可以产生一个相关输出列,此种捕获可以进行 20 次,每次将输入数据滑动 1 ms,因而就产生 20 个输出。如果输入数据中没有相移,那么 20 个输出中应该有相同的振幅;如果有数据相移,20 个输出列中最高的输出应该代表没有数据相移的 20 ms 的输入数据。然而,当信号微弱时,很难确定最高的输出。

非相关累积用相关积分的输出结果获取更高的信噪比增益。一般地,较长的输入数据都会被分成几块,每一块都进行相关积分。相关积分结束后,每一个频率成分的输出都是复数,可以化为振幅形式。相同频率的所有相关积分的振幅相加,结果弱信号变强,就得到了相对较高的信噪比,这就是非相关累积的思想。相关积分获得的增益可以表示为^[7]:

$$G_c = 10\lg(n) \quad (2)$$

式中, n 为相关积分长度(ms)。

非相关积分获得的增益可表示为:

$$G_i = 10\lg(m) - L(m) \quad (3)$$

式中, m 为非相关积分的数据段数; $L(m)$ 为非相关积分的耗损函数。式(3)可通过数值计算或图解得到^[7]。

因此,非相关积分可以弥补相关积分的信号长度的限制,进一步提高灵敏度。

3 信号处理分析

利用一个 SiGe GN3S GPS 射频前端的中频信号采集器和一个普通导航天线在室内采集 GPS 信号,采样频率为 16.367 6 MHz,中心频率为 4.130 4 MHz,分别采用普通相关积分信号捕获方法(普通方法)和改进的相关和非相关积分方法(改进的方法)进行处理。普通的捕获方法采用 1 ms 数据,改进的方法采用 10 ms 相关积分和 100 ms 的非相关积分。先采用 1 ms 的数据,用普通的 FFT 相关积分进行捕获,得到的相关值谱如图 1 所示。由图 1 可以看出,采用 1 ms 的数据相关得到的相关值谱没有明显的峰值,无法正确捕获到 GPS 信号。图 2 为采用相同的输入数据,不过采用的数据长度为 100 ms,先进行 10 次 10 ms 的相关积分,然后进行非相关累积,得到相关值谱。从图 2 可以明显地看到一峰值。可见,采用 100 ms 的输入数据可以较容易地捕获到信号中的此颗卫星(PRN=18)。

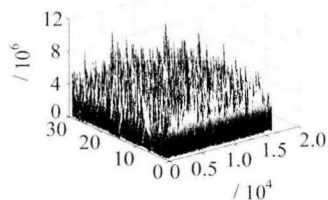


图 1 采用普通方法对 PRN18 卫星捕获的结果(1 ms)
Fig. 1 Outputs of Acquisition for PRN 18 by
Conventional Acquisition Method

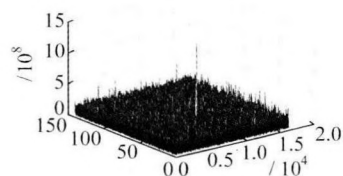


图 2 采用改进的方法对 PRN18 卫星
捕获的结果(100 ms)
Fig. 2 Outputs of Acquisition for PRN 18 by
Improved Acquisition Method

根据式(2)可得,10 ms 相关积分获得的增益为 10 dB;根据式(3),取信号检测概率和虚警概率分别为 0.9 和 10^{-7} [7],由此获得的非相关积分的增益为 8 dB。因此,相对于普通的信号捕获方法,其灵敏度提高了 18 dB。

4 结 语

采用一组室内接收的 GPS L_1 C/A 码中频信号数据,同时采用普通信号捕获方法和改进的方法对信号进行了处理。比较结果显示,用改进的方法捕获到了信号,提高了捕获的灵敏度,而采用一般的捕获方法探测不到信号。对于不同特征的信号以及相关积分和非相关积分信号长度的选取,还需要进一步研究。

致谢:香港理工大学的 Chen Wu 教授为本研究提出了很多宝贵意见,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Agarwal N, Basch J, Beckmann P, et al. Algorithms for GPS Operation Indoors and Downtown [J]. *GPS Solutions*, 2000(6):149-160
- [2] Lin D, Tsui J. Comparison of Acquisition Methods for Software GPS Receiver[C]. ION GPS 2000, Salt Lake City, UT, 2000
- [3] Kelley C, Barnes J, Cheng J. OpenSource GPS: Open Source Software for Learning About GPS[C]. ION GPS 2002, Portland, OR, USA, 2002
- [4] Lachapelle G. GNSS Indoor Location Technologies [J]. *Journal of Global Positioning Systems*, 2004, 3 (1/2):2-11
- [5] Ma C, Jee G, MacGougan G, et al. GPS Signal Degradation Modeling[C]. ION GPS 2001, Salt Lake City, UT, 2001
- [6] Ma C, Lachapelle G, Cannon M E. Implementation of a Software GPS Receiver[C]. ION GNSS 2004, Long Beach, CA, 2004
- [7] Tsui J. Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach[M]. 2nd ed. New York: John Wiley&Sons, 2005
- [8] Hu Congwei, Li Xiaoling, An Lei. Acquisition and Tracking Schemes for GPS Software Receiver[C]. SPIE, Nanjing, 2007
- [9] Akos D, Tsui J. Design and Implementation of a Direct Digitization GPS Receiver Front End[J]. *IEEE Transactions on Microwave and Techniques*, 1996, 44 (12):2 334-2 339
- [10] Psiaki M L. Block Acquisition of Weak GPS Signlas in a Software Receiver[D]. New York: Cornell University, 2001
- [11] Borre K, Akos D M, Bertelsen N, et al. A Software-Defined GPS and Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach[M]. Boston: Birkh  User Boston, 2007

第一作者简介:胡丛玮,博士,副教授。主要从事卫星定位系统 GNSS 导航、精密定位和信号处理的研究工作。
E-mail: cw hu@mail. tongji. edu. cn

An Improved Algorithm for Acquisition of Weak Signal in a Software GPS Receiver

HU Congwei^{1,2} LI Xiaoling¹ AN Lei¹

(1 Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai 200092, China)

(2 Central Laboratory of National Mapping Bureau about Modern Engineering Surveying, 1239 Siping Road, Shanghai 200092, China)

Abstract: A method for capturing GPS L_1 C/A code signal is introduced. Based on FFT, the coherent and non-coherent processing with longer data set can be used to capture GPS weak signal. A data set collected indoors is used to verify the algorithm, and the result shows that the improved method can capture the GPS weak signal successfully.

Key words: GPS software receiver; signal capturing; signal tracking; coherent processing

About the first author: HU Congwei, Ph. D. associate professor. His main research interests are algorithm and data processing for GNSS navigation, precise positioning and GNSS signal processing.

E-mail: cw hu@mail. tongji. edu. cn