



GNSS 信号捕获与跟踪算法的改进与实现

辛富国, 李荣芳

(陕西邮电职业技术学院 咸阳 712000)

摘要: 为了缩短 GNSS 接收机捕获信号所用的时间, 在对导航信号进行频谱观察的基础上, 改进了基于 FFT 的捕获算法和阈值的设定, 并对改进后的算法进行了仿真验证, 结果表明该算法具有可行性, 并可以缩短捕获时间。设计了 GNSS 接收机的完整跟踪通道, 利用 MATLAB 软件对该跟踪通道进行仿真, 仿真结果验证了该跟踪通道的正确性。

关键词: 信号捕获; 跟踪; GNSS 接收机; 捕获算法

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.03.019

Implementation and Realization of GNSS Signals Acquisition and Tracking Algorithm

Xin Fuguo, Li Rongfang

(Shaanxi Posts and Telecommunications College, Xianyang 712000, China)

Abstract: Based on the observation of frequency spectrum of navigation signal, an improved FFT acquisition algorithm was proposed which could reduce the capturing time of GNSS receiver, the threshold of the algorithm was also modified. Simulation results show that the new algorithm can shorter capturing time. The complete tracking channel of the GNSS receiver was also designed, and the MATLAB simulation results verify the correctness of the proposed tracking channel.

Key words: signal acquisition, tracking, GNSS receiver, acquisition algorithm

1 捕获与跟踪技术的研究意义

软件接收机的关键技术在于信号的捕获和跟踪。信号捕获重在估计两个重要参数^[1,2]: 一个是 C/A 码周期的开始, 另一个是输入信号的载波频率。只有完成信号捕获过程, 才进入锁定跟踪程序, 而 GNSS(全球卫星导航系统)接收机花在信号捕获上的时间是所有 TTFF(首次定位时间)最冗长的一部分, 提高信号捕获的速度对于缩短 TTFF 意义重大^[3]。本文基于 FFT 循环相关捕获法提出了改进算法, 改进后的算法缩短了捕获时间, 并仿真验证了该算法的可行性。

捕获只是提供一个粗略的载波频率和码相位。在接收

机工作过程中, 要时刻对卫星信号保持跟踪, 估计精确的码相位和多普勒频移、载波相位并解调导航电文, 并计算出卫星与接收机之间的伪距。卫星和接收机之间相互运动, 使得接收到的信号有多普勒频移, 载波频率和伪码相位时刻在变化, 如果没有对载波 NCO 和伪码 NCO 持续不断地进行动态调整, 捕获的信号很快就会失锁, 因此信号跟踪从其本质来说就是为了实现对信号的稳定跟踪而采取的一种对环路参数动态调整的策略^[4-6]。

2 基于 FFT 算法的信号捕获

记 $s_1(t)$ 和 $s_0(t)$ 分别为导航系统中中频信号和本地载波发生器输出的同相和正交信号相乘的结果, 即:



$$s_I(t) = s(t)\sqrt{2}\cos[(\omega_{IF} + \Delta\hat{\omega})t] \quad (1)$$

$$s_Q(t) = s(t)\sqrt{2}\sin[(\omega_{IF} + \Delta\hat{\omega})t] \quad (2)$$

将本地伪码发生器输出看作一个本地信号 $s_L(t)=C(t)$, 则 I 路和 Q 路积分器的输出量分别为:

$$s_I(t)s_L(t+\tau) = s(t)\sqrt{2}C(t+\tau)\cos[(\omega_{IF} + \Delta\hat{\omega})t] \quad (3)$$

$$s_Q(t)s_L(t+\tau) = s(t)\sqrt{2}C(t+\tau)\sin[(\omega_{IF} + \Delta\hat{\omega})t] \quad (4)$$

其中, τ 对应某一个伪码相位。此时, 同相路和正交路的积分器输出的相关结果分别为:

$$\bar{I}_P(\tau) = \int_0^{T_s} s_I(t)s_L(t+\tau)dt \quad (5)$$

$$\bar{I}_Q(\tau) = \int_0^{T_s} s_Q(t)s_L(t+\tau)dt \quad (6)$$

$x(t)$ 和 $y(t)$ 的卷积表达式为:

$$Z(t) = \int_0^{T_s} x(\tau)y(t-\tau)d\tau \quad (7)$$

通过式(5)和式(7)的相似性, 可以将同样的方法运用到 GNSS 信号捕获中相关结果的计算上^[7-10]。得到互相关的频域表达式后, 利用傅里叶逆变换得到其时域表达式, 介绍如下。

对式(5)做傅立叶变换, 得到:

$$\begin{aligned} DFT\{\bar{I}_P\} &= \int_0^{T_s} [\int_0^{T_s} s_I(t)s_L(t+\tau)dt]e^{-j2\pi f\tau}d\tau \\ &= \int_0^{T_s} s_I(t)[\int_0^{T_s} s_L(t+\tau)e^{-j2\pi f(t+\tau)}]e^{j2\pi ft}dt \\ &= S_L(f)\int_0^{T_s} s_I(t)e^{j2\pi ft}dt \\ &= S_L(f)S_I^*(f) \end{aligned} \quad (8)$$

其中, $S_L(f)$ 和 $S_I(f)$ 分别是 $s_L(f)$ 和 $s_I(f)$ 的傅立叶变换, $S_I^*(f)$ 是 $S_I(f)$ 的复共轭。从式(8)可以得出, 基于 FFT 算法的信号捕获原理如图 1 所示。

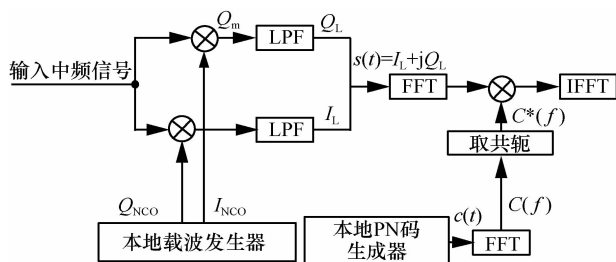


图 1 基于 FFT 算法的信号捕获原理

实际的处理流程简述如下。输入信号与本地产生的载波信号相乘, 如果载波频率与输入信号的载波频率一致, 则输入信号的伪随机码信号得到恢复。将恢复后的伪随机码进行离散或快速傅里叶变换, 得到其在频域的表达。同时将本地产生的伪随机码进行傅里叶变换并取其共

轭, 与输入信号的频域结果相乘, 再对相乘的结果取逆傅里叶变换, 该结果的模即时域的相关结果。如果在结果中出现一个峰值, 则这个峰值的索引值对应输入信号的码相位。

3 基于 FFT 算法的改进

在循环相关捕获法中产生本地码 $L_{si}(n)$, 由于 $L_{si}(n)$ 是复数, 频谱是不对称的, 如图 2(采样频率为 16.367 6 MHz, 采样点为 1.6367×10^4)。从图中可以明显看出, 信息包含在前一半的谱线中, 另一半谱线中的信息很少, 因此只采用一半数据进行 FFT 变换, 通过循环相关方法实现捕获的改进思路如图 3 所示。

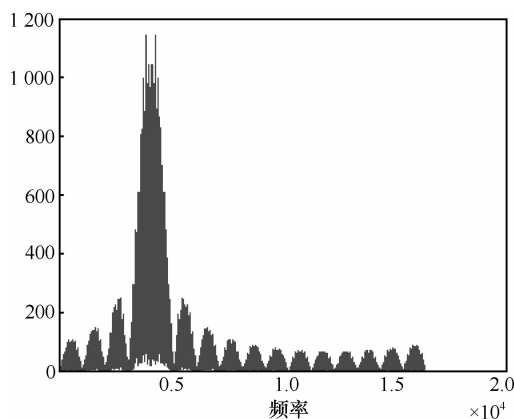


图 2 本地产生信号频谱

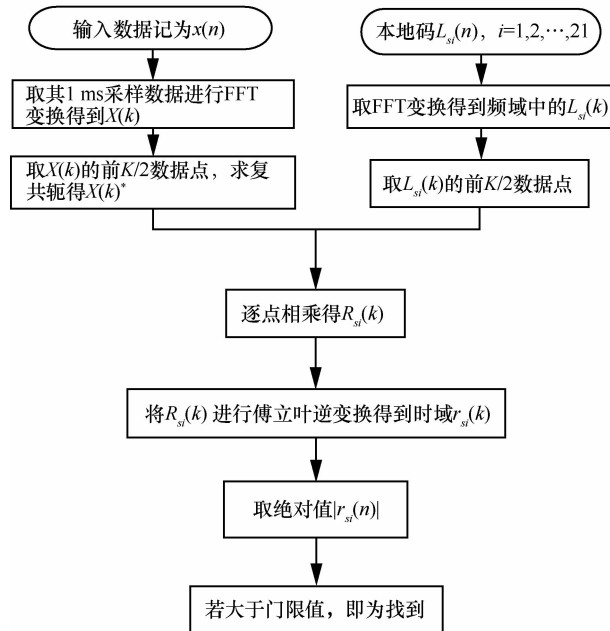


图 3 基于 FFT 算法的改进思路

该方法只采用一半数据进行 FFT 变换,因此节省了捕获时间。

4 仿真验证改进后的算法

用 1 ms 采样数据在 MATLAB 环境下仿实现卫星信号的捕获,仿真中的采样频率为 16.367 6 MHz,中频(IF)为 4.130 4 MHz。图 4、图 5 显示的是改进后捕获算法的输出结果。图 4 显示,19 号卫星可见,出现一个峰值,峰值位于码相位 3770 和频率 4.136 94 MHz 处;图 5 显示,17 号卫星不可见,没有峰值输出,很难判断码相位和频率。

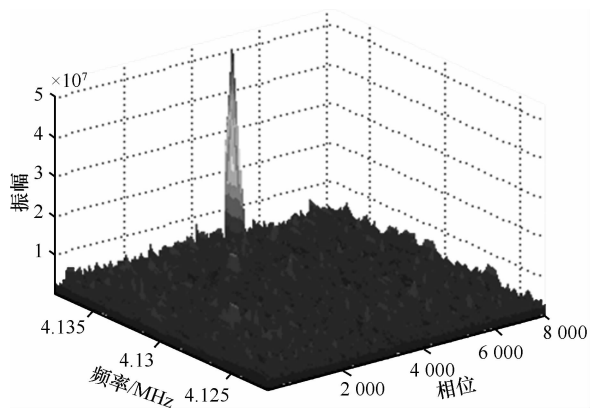


图 4 19 号卫星捕获结果

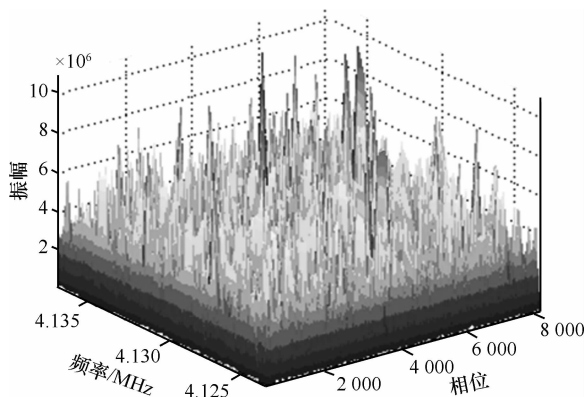


图 5 17 号卫星捕获结果

5 跟踪实现及仿真结果

载波跟踪环中用来剥离 PRN 码的本地码来自码跟踪环。同样,码跟踪环中用来剥离载波的两路本地载波信号来自载波跟踪环。相位鉴别器的 I 路和 Q 路输入来自码跟踪环的 I_P 和 Q_P 相关值,这样可以减少计算工作量。组合的 DLL 和 PLL 跟踪环如图 6 所示。

图 7(a)中,跟踪的两路输出分别为 I_P 和 O_P 两支

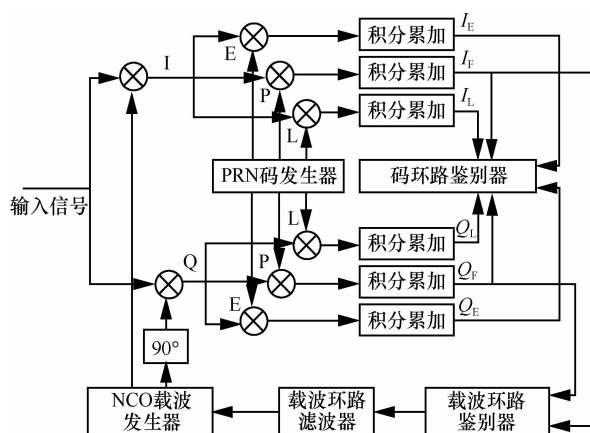
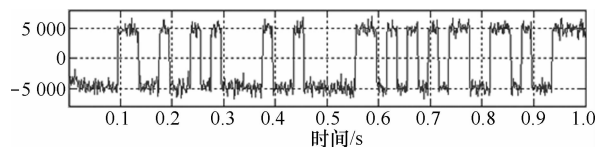


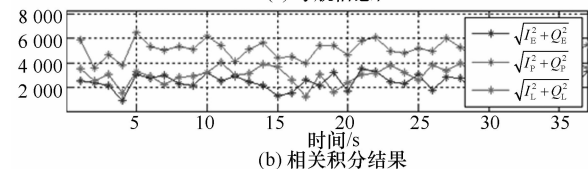
图 6 组合的 DLL 和 PLL 跟踪环

路信号, I_P 支路输出为导航数据,跟踪到的数据为没有考虑频率牵引在稳定的跟踪过程中的数据,跟踪环进入稳定跟踪阶段后, I 路输出明显的 0 和 1 bit,而 Q 路输出的是噪声分量,进入稳定的跟踪阶段后,就可以读取 I 路输出以进行导航电文的解调。跟踪时间为 1 s,可以看出导航数据跳变基本出现在 20 ms 的整数倍,因为电文数据速率为 50 bit。

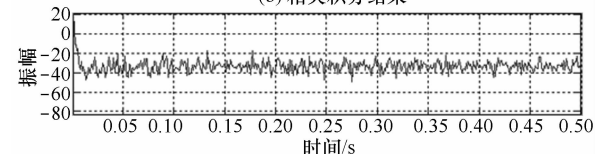
图 7(b)是在稳定跟踪阶段输入信号与本地中间码、超前码和滞后码的相关积分结果。纵坐标为积分结果,横坐标为时间,单位是 s。可以很明显的看出,中间码 ($\sqrt{I_P^2 + Q_P^2}$) 的输出结果最强,超前码 ($\sqrt{I_E^2 + Q_E^2}$) 和滞后码



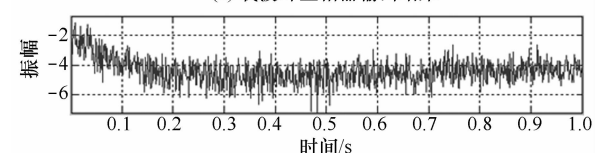
(a) 导航信息位



(b) 相关积分结果



(c) 载波环鉴相器输出结果



(d) 码环鉴相器输出结果

图 7 19 号卫星跟踪结果



$(\sqrt{I_L^2 + Q_L^2})$ 的输出结果基本相等,但弱于中间码的积分输出。而且超前码和滞后码的输出均值大概是中间码均值的一半,这是因为相关器间隔为 1/2 个码片,与理论分析相符。

图 7(c)和图 7(d)是载波环鉴相器和码环鉴相器输出结果。可以看出,载波环的响应时间大概是 0.02 s,而码环的响应时间大概是 0.15 s,说明跟踪的速度比较快。

6 结束语

根据对导航信号的频谱观察,改进了基于 FFT 捕获的算法,并对改进后的算法进行了仿真验证,结果表明该算法具有可行性,可以缩短捕获时间;设计了 GNSS 接收机完整跟踪通道,并采用 MATLAB 实现了对跟踪性能的仿真,结果表明所设计的跟踪通道达到设计要求。

参考文献

- 曹冲.卫星导航接收机技术的发展趋势.数字通信世界,2005(5):55~56
- Kaplan E D. GPS 原理与应用.邱致和,王万义译.北京:电子工业出版社,2002
- 田薇,张超,姚长江.基于 FFT 算法的 GPS 信号快速捕获方法研究.弹箭与制导学报,2008,28(3):240~242
- Rinder P, Bertelsen N. Design of a single frequency GPS software receiver. Aalborg University, 2004
- Akopian D. Fast FFT based GPS satellite acquisition methods. IEEE Proceedings Radar, Sonar and Navigation, 2005, 152(4):

277~286

- 张雷,王建宇,戴宁.GPS 信号捕获跟踪的仿真分析与研究.现代防御技术,2008,36(2):107~128
- Li J H, Ba X H, Sheraz A, et al. An adaptive algorithm for fast acquisition of GPS signals. Chinese Journals of Electron Devices, 2007, 30(3)
- Olivier J. Design of galileo L1F receiver tracking loops. Alberta Canada: University of Calgary, 2005
- Wang W J. High dynamic signal tracking algorithm based on software GNSS receiver. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(1):226~230

[作者简介]



辛富国,男,陕西邮电职业技术学院讲师、教务处副处长,主要研究方向为 GNSS(全球卫星导航系统)、网络抗干扰、光通信技术。



李荣芳,女,陕西邮电职业技术学院讲师,主要研究方向为数据挖掘、算法与数据结构、多媒体技术。

(收稿日期:2013-12-20)

·简讯·

2014 年 1 月通信业主要指标完成情况(二)

指标名称	单位	本月末到达	比上年末净增	本月净增
固定电话用户合计	万户	26 580.4	-118.1	-118.1
公用电话用户	万部	2 207.9	-25.5	-25.5
城市电话用户	万户	18 488.3	31.5	31.5
住宅电话用户	万户	10 472.7	-1.6	-1.6
农村电话用户	万户	8 092.1	-149.6	-149.6
住宅电话用户	万户	6 531.8	-111.6	-111.6
移动电话用户合计	万户	123 527.0	615.7	615.7
其中:3G 用户	万户	41 923.8	1 762.7	1 762.7
互联网拨号用户	万户	469.5	-15.6	-15.6
互联网宽带接入用户	万户	19 117.2	226.4	226.4
其中:xDSL 用户	万户	10 689.1	-27.4	-27.4
移动互联网用户	万户	83 753.8	2 997.5	2 997.5
固定电话普及率	部/百人	19.7		
移动电话普及率	部/百人	90.8		

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)