

基于位跳变检测提高 GPS 信号处理增益方法研究

何秋生¹, 程亚奇²

(1 太原科技大学 电子学院, 山西 太原 030027; 2 中科院微电子研究所, 北京 100029)

摘 要: 研究了一种利用导航数据位跳变信息提高 GPS 信号处理增益的方法. 通过充分使用数字信号处理技术, 对多段连续的、长度一定的数据进行相关处理, 并比较多次的相关结果, 从而估计出导航数据位发生跳变所在的数据段(数据段长度只要在 1~5ms 内即可). 利用这个跳变位置, 就可以避开数据位跳变位置以及受其影响的数据, 从而延长参加相干积分的数据长度. 研究表明, 利用得到的位跳变位置, 可以在使用同样数据长度的情况下, 使接收机处理增益提高 1.45~5.23dB.

关键词: 全球定位系统; GPS 信号; 导航数据位跳变; 位跳变检测

中图分类号: TN957.51

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)02-0099-04

Method of Increasing the GPS Processing Gain by Using Bit Transition Detection

HE Qiu-sheng¹, CHENG Ya-qi²

(1 School of Electronic, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;

2 Institute of Microelectronic, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China)

Abstract: Using navigation message data bit transition detection, a method for increasing GPS signal processing gain is studied. Several continuous data segments are matched by using digital signal processing technique, and coarse bit transition position can be achieved from the matched results. Therefore, more data bit coherent integration results (except for the results affected by data bit transition) can be accumulated to achieve a relative high processing gain. The result shows that the processing gain will be enhanced of 1.45~5.23dB when using the same data length as traditional method.

Key words: global position system (GPS); GPS signal; navigation data bit transition; bit transition detection

1 引言

全球卫星定位系统(GPS)接收机在室内、森林、城市等复杂环境下,信号会受到严重的衰减,一般的GPS接收机不能捕获和跟踪到导航卫星信号,为此就要求接收机对GPS弱信号有较高的捕获灵敏度.通常有两种方法来提高信噪比:相干积分和非相干积分.文献[1-8]也介绍了相关捕获处理及快速捕获信号的多种方法,都考虑到在信号弱时如何避开相位跳变的影响,如果不考虑数据位是否跳变就使用分段方法去捕获信号,就会出现捕获同样信号需要

数据的长度会不一样.文中通过对实际导航数据的观察,通过积分方法先估计数据位跳变位置,并将包含数据位跳变的一个或者多个毫秒数据段的数据剔除,利用估计的跳变位置提高信号处理增益并实现用较短数据捕获信号.

2 数据位跳变检测原理

使用相干积分捕获GPS信号时,码周期数与信噪比改善值之间的关系可以用下式表示:

$$\begin{aligned}\Delta \text{SNR} &= 10 \times \log_{10}(l \times 0.001/T_c) \\ &= 10 \times \log_{10}(1023 \times L)\end{aligned}$$

收稿日期: 2008-10-20; 修回日期: 2009-01-07

基金项目: 山西省高校科技开发基金(2007141); 太原科技大学博士点启动基金(200779)

其中, T_c 表示粗码码片宽度, 因此通过增加码周期数可以改善信噪比, 其关系如图 1 所示.

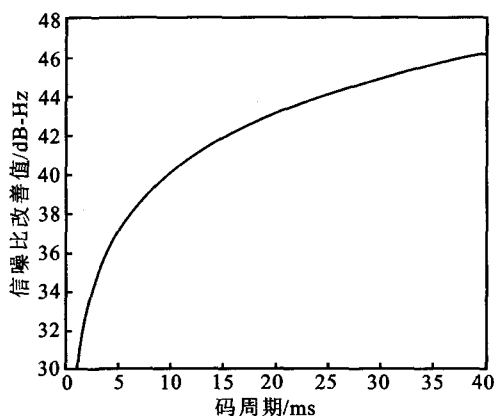


图 1 积分数据长度与信噪比改善值的关系

从图 1 可以看出, 如果在小于 40ms 的连续数据中不出现数据位跳变的话, 可以获得 46dB-Hz 的改善值, 使得弱信号的捕获更容易. 但是由于导航电文数据的广播频率是 50Hz, 即每一位的周期是 20ms, 也就意味着每 20ms 就可能发生一次数据位跳变, 这个跳变会导致伪码相位发生改变. 如果使用相干积分的话, 遇到伪码相位发生改变时, 改变前后的积分值将会相互抵消. 图 2 给出了检测 $(2a+1)$ ms 长的数据中是否存在数据位跳变的检测原理图. 在图 2 中上方箭头所指的 1ms 数据段中包含了一个数据位跳变, 下方是对每个 a 毫秒的数据段进行相干积分后的结果曲线示意图, 其中, a 表示用来判断增益变化趋势所用的毫秒数, 可以取 1, 2, 3, ..., 20. 另外相邻两个 a 毫秒数据段中有 $(a-1)$ 毫秒的数据是相同的, 即第 j 个 a 毫秒数据段中的后 $a-1$ 毫秒数据与第 $j+1$ 个 a 毫秒数据段中的前 $a-1$ 毫秒数据是相同.

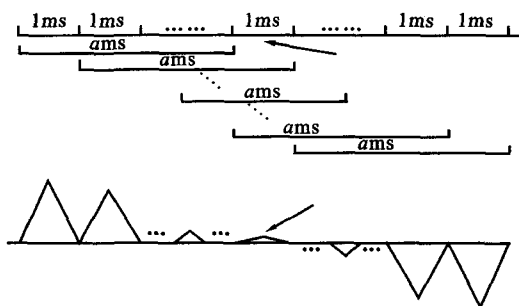


图 2 数据位跳变检测原理示意图

3 导航数据位跳变位置检测算法

假设第 i 个周期上的积分值为 $z_i(n, \hat{\omega}_D) = I_i +$

$jQ_i = \sum_{k=0}^{N-1} y_k c_{k-n} \exp[-j(\omega_{IF} - \hat{\omega}_D)t_k]$. 其中, n 由式子 $\hat{t}_s = t_0 + n\Delta t$ 确定, $\hat{t}_s$ 表示码相位起始时刻的估计值, t_k 表示第 k 个采样值的采样时刻, Δt 表示采样间隔, 为一常数, $\hat{\omega}_D$ 表示信号的多普勒频移估计值, y_k 是数字中频信号在 t_k 时刻的采样值, c_k 是粗码伪序列中的值为 1 或者 -1, ω_{IF} 是中频, N 是满足 $t_{N-1} < t_0 < 0.001/(1+\hat{\eta})$ 的最大值, $\hat{\eta}$ 是码片速率变化的估计值, 为: $\hat{\omega}_D/(2\pi \times 1575.42 \times 10^6)$. 那么连续 a 毫秒数据的积分值为^[3]:

$$\begin{aligned} z_{i,j+a-1}(n, \hat{\omega}_D) &= I_{i+j+a-1} + jQ_{i,j+a-1} \\ &= \sum_{i=0}^{a-1} z_i(n, \hat{\omega}_D) \end{aligned}$$

根据图 1 计算多个连续 a 毫秒数据的积分值, 并通过每次得到的积分值计算 $P_{i,i+a-1} = \sqrt{I_{i,i+a-1}^2 + Q_{i,i+a-1}^2}$. 其中, i 表示积分的起始毫秒数, 共 a 毫秒长度的数据, 将上述结果组成一个有序的矩阵 B , 即:

$$B = \begin{bmatrix} z_{1,a} & z_{2,a+1} & z_{3,a+2} & \cdots & z_{i-1,i+a-2} & z_{i,i+a-1} & z_{i+1,i+a} & \cdots \\ P_{1,a} & P_{2,a+1} & P_{3,a+2} & \cdots & P_{i-1,i+a-2} & P_{i,i+a-1} & P_{i+1,i+a} & \cdots \\ P_{1,a}^2 & P_{2,a+1}^2 & P_{3,a+2}^2 & \cdots & P_{i-1,i+a-2}^2 & P_{i,i+a-1}^2 & P_{i+1,i+a}^2 & \cdots \end{bmatrix}$$

其中当信号的 SNR 在低于 35dB-Hz 时, a 需要取大于 5 甚至大于 10 的值. 如果在前 $(i+a)$ ms 的数据中出现数据位的跳变, 那么得到的一系列 P (即 B 阵中的第二行) 及 P^2 (即 B 阵中的第三行) 的包络将会整体有规律的变化, 它们的变化幅度有差异但变化规律相近, 如图 3 所示. 据此可以估计到出现数据位跳变所在的位置. 图 3 中在 b_1 的位置出现了低谷, 那么可以判断出包含数据位跳变的数据段是在第 $\lfloor (b_1 + a - 3)/2 \rfloor$ ms 到第 $\lceil (b_1 + a + 1)/2 \rceil$ ms 之间. 接着计算 $z_{\lfloor (b_1 + a - 3)/2 \rfloor + 3, \lfloor (b_1 + a - 3)/2 \rfloor + 19}$ 和 $z_{\lfloor (b_1 + a - 3)/2 \rfloor + 3, \lfloor (b_1 + a - 3)/2 \rfloor + 39}$ 的值, 并通过它们计算相应的 P 值, 根据两个 P 值的大小就可以判断出在第 $\lfloor (b_1 + a - 3)/2 \rfloor + 20$ ms 到第 $\lceil (b_1 + a + 1)/2 \rceil + 20$ ms 之间是否存在数据位跳变. 以此类推.

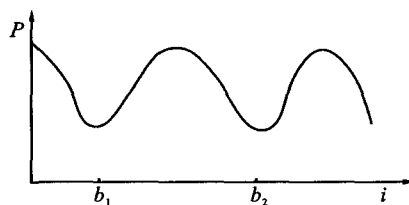


图 3 包络变化曲线图

4 提高信号处理增益的方法

使用检测算法得到数据位跳变的位置后,可以用不同的方法处理包含数据位跳变的数据段以及数据位跳变后的 20ms 数据而得到提高信号处理增益的两种方法:剔除数据法和调制数据法。

4.1 剔除数据法

剔除数据法主要就是将所采集到的数据分为两组,一组为相位没有翻转的 G1,另外一组为相位翻转的 G2.图 4 是对采集到的数据进行分组描述的示意图,图中(a)是在每 20ms 数据都跳变的情况下的分组,图中(b)是有一次相位不改变的情况下的分组.其中图中阴影部分为不能详细确定数据位跳变位置、需要去掉的数据(数据长度是 1ms 的整数倍).图中假设从第 $(j-1)$ ms 到第 $(j+1)$ ms 内出现数据位跳变,同样在后续数据中第 $(j+19k)$ ms 到第 $(j+21k)$ ms 内都出现数据位跳变,其中 k 为整数,每个阴影部分是需要去掉的 3ms 数据.对于第一种情况分组后两组数据的积分值分别是:

$$z_{G1} = z_{0,j-2} + \sum_{k \text{ 为奇数}} z_{j+2+20k,j+18+20k}$$

$$z_{G2} = \sum_{k \text{ 为偶数,从0开始}} z_{j+2+20k,j+18+20k}$$

对于第二种情况分组后两组数据的积分值分别是:

$$z_{G1} = z_{0,j-2} + \sum_{k \text{ 为偶数,从0开始}} z_{j+42+20k,j+58+20k}$$

$$z_{G2} = z_{j+2+20k,j+38+20k} + \sum_{k \text{ 为奇数}} z_{j+42+20k,j+58+20k}$$

将上述长度较长的数据用于捕获数据即可。

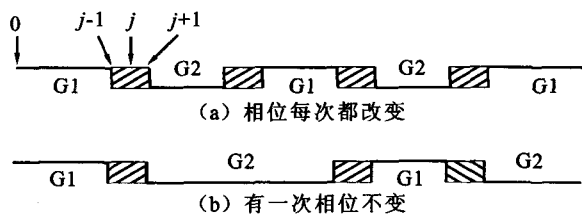


图4 剔除数据法

4.2 调制数据法

调制数据法的根本目的就是要充分利用采集到的数据实现信号的捕获.图 5 给出这种方法的示意图.图 5(a) 给出了每 20ms 就发生一次相位改变的情况,(b) 是经过数据调制后的情况.其原理就是将受到数据位跳变影响的下一段 20ms 数据的相位进行翻转.图中同样假设从第 $(j-1)$ ms 到第 $(j+1)$ ms 内出现数据位跳变,在后续数据中第 $(j+19k)$ ms 到第 $(j+21k)$ ms 内都出现数据位跳变,其中 k 为整

数,每个阴影部分是 3ms 的数据.这样经过调制后可以用来捕获信号的数据长度就大大增加,其积分值可以用下式表示:

$$z_{\text{sum}} = z_{0,j-2} + \sum_{k \text{ 为偶数,从0开始}} (-1) \times z_{j+2+20k,j+18+20k} + \sum_{k \text{ 为奇数}} z_{j+2+20k,j+18+20k}$$

根据上述不同方法就可以计算得到相应的 P 值,如果得到的 P 值超过了相应的门限值,那么对应的相位估计值 $\hat{t}_s$ 和频率估计值 $\hat{\omega}_D$ 就是正确的值。

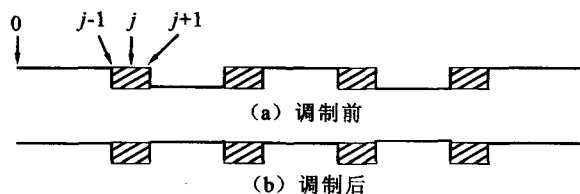


图5 数据调制示意图

5 仿真结果

此处使用 200ms 的数据,对三种方法能够得到信号处理增益进行了分析,相干积分受到相位跳变影响,积分长度也受到限制,因此可以直接获得的增益为 10dB,是比较小的.下面对使用非相干积分和利用相位跳变位置检测算法后进行的相干积分两种方法进行比较.图 6 给出了使用 200ms 数据后能够得到的增益情况仿真折线图。

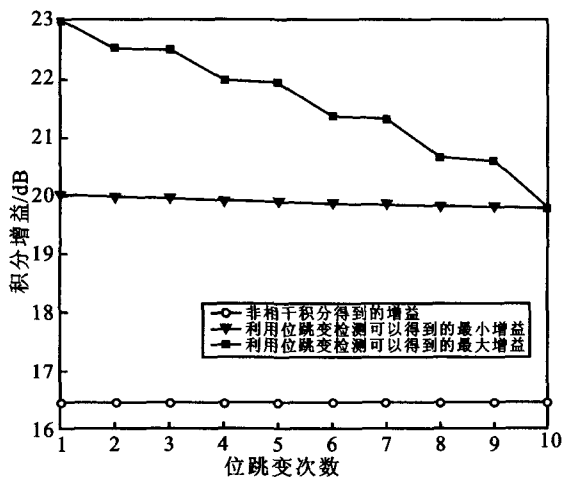


图6 位跳变次数与可能得到增益的关系折线图

图 6 中横坐标表示所使用的 200ms 数据中可能存在的位跳变次数,纵坐标表示能够得到的增益.带圈折线表示非相干积分 200ms 数据能够得到的增益,为 16.26dB,与位跳变次数没有关系,但是该方法会损失 6.74dB 的增益.带下三角折线是表示在 200ms 数据中存在均匀的跳变位置时可以得到的增益,由于相互抵消的数据比较多,因此这是利用

检测算法能够得到的最小增益. 当存在 10 次相位跳变时, 可以得到的最小增益也有 19.78dB, 会比采用非相干积分得到的增益多 3.52dB. 但是根据捕获卫星数据的经验表明, 如果连续使用 200ms 数据, 其中出现 10 次位跳变的可能性很小, 因此不考虑这种情况. 当存在 1 次相位跳变时, 可以使用 100ms 的数据, 因此可以得到 20dB 的增益. 带四方块的折线是由不同跳变次数下能够得到的最大增益连接而成的折线. 实际上使用 200ms 数据所得到的增益一般都是处于带圈折线和带下三角折线之间的, 因此可以得到的增益是可观的. 同样, 当都使用 100ms 数据时得到的增益可以比使用非相干积分提高 1.45~5.23dB.

6 结束语

考虑到 GPS 信号中存在导航数据位跳变引起的伪码相位改变情况发生, 伪码相位的变化又会导致在 GPS 接收终端处在环境恶劣情况下不能进行长时间的相干积分运算. 非相干积分运算又会导致积分增益的损失, 这都是由于导航数据位的变化引起的. 因此, 文中研究了如何检测导航数据位的跳变及其位置并利用该跳变来实现长时间的相干积分运算, 以提高信号的处理增益. 研究结果表明, 在使用同样长度数据的情况下, 使用这种方法得到的处理增益要比纯粹使用非相干积分高很多, 可以大大提高接收机的接收灵敏度. 该方法特别适合在软件接

收机中使用.

参考文献:

- [1] 王惠南. GPS 导航原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] Psiaki M L. Block acquisition of weak GPS signals in a software receiver[C]// Proceedings of ION GPS 2001. Salt Lake City, Cornell University, 2001: 2838-2850.
- [3] 李玉红, 寇艳红, 张其善. 微弱 GPS 信号捕获算法研究[J]. 遥测遥控, 2005, 26(4): 61-65.
- [4] Tsui J B Y. Fundamentals of global positioning system receivers a software approach[M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 2005.
- [5] 李菊, 陈禾. 直接序列扩频信号快速捕获[J]. 北京理工大学学报, 2005(10): 905-908.
- [6] Gérard Lachapelle. Pedestrian navigation with high sensitivity GPS receivers and MEMS[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2007, 11(6): 78-83.
- [7] Liang Y Lie, Hanzo L. Efferential acquisition of msequences using recursive soft sequential estimation[J]. IEEE Transactions on wireless communications, 2005, 4(1): 128-136.
- [8] Iyappan Ramachandran. On acquisition of wideband direct-sequence spread sepectrum signals[J]. IEEE Transactions on communications, 2006, 5(6): 1537-1546.

作者简介:

何秋生 男, (1974-), 博士, 讲师. 研究方向为兼容 GPS/Galileo 数字接收机基带信号处理.

(上接第 98 页)

- [2] Paul Albitz, Cricket Liu. DNS and BIND[M]. 5th ed. Beijing: O'Reilly, 2006.
- [3] 方蕾, 钱华林. DNS 安全漏洞以及防范策略研究[J]. 微电子学与计算机, 2003, 20(10): 53-57.
- [4] Nominum foundation products[EB/OL]. [2009-03-10]. <http://www.nominum.com/>
- [5] 胡勇其, 侯紫峰. 面向语义的日志系统构架设计[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(8): 17-20.

作者简介:

乔婧女, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为计算机网络应用技术、互联网寻址技术.

金键男, (1976-), 硕士. 研究方向为计算机网络系统、互联网寻址技术.

毛伟男, (1968-), 研究员, 博士生导师. 研究方向为下一代互联网技术、资源定位与寻址技术、网络安全技术.