GPS 接收机多径抑制技术的研究与实现

司亚君[1], 张秀娟[1], 刘新宁[2]

([1] 江苏省地质测绘院, 江苏 南京 210008; [2] 东南大学, 江苏 南京 210096)

摘 要 现阶段有许多因素影响着 GPS 的定位精度, 多径效应就是其中之一, 特别在城市环境中, 它显得尤为严重。论文中给出了改进型 Strobe 鉴相器方案, 在传统型 Strobe 算法的基础上, 结合对不同多径延迟特性的分析, 推导出修正项, 使其能够在短多径的条件下更好地进行误差估计, 完成精确定位。

关键词 GPS 多径效应 Strobe 鉴相器 改进型 Strobe 鉴相器

中图分类号: P228 文献标识码: A 文章编号: 1672- 4097(2011)04- 0005- 03

1 引 言

随着 GPS 应用领域的日益广泛, 人们对 GPS 接收机的性能提出了越来越高的要求。高灵敏度、高精度接收机算法研究成为了核心技术。GPS 接收机作为扩频测距系统, 影响其性能的误差主要来自对流层误差、电离层误差、卫星时钟误差和多路径误差。其中前三项属于系统误差, 可通过对流层误差模型、电离层误差模型和差分 GPS(DGPS) 进行抑制。而多径误差属于偶然误差, 当接收机天线位于不同位置时, 由多径引起的误差一般互不相关, 对每个接收机天线所处的环境进行建模也不切实际。

对多径抑制方法的可分为空域抑制、环路抑制和数据后处理(小波变换) 三种。在这些方法中环路抑制算法的可行性是最好的。Strobe 鉴相器算法作为环路抑制算法的一种对于长多径干扰抑制效果明显, 但是对于的短多径则无能为力。本文在原有 Strobe 鉴相器的基础上提出了改进型 Strobe 鉴相器, 进一步细化对多径的分类建模, 使得新型鉴相器能在更加广阔的延时范围内具有多径抑制作用。

2 改进 Strobe 鉴相器的基本思想

由传统 Strobe 鉴相器的表达式可知, 没有利用即时码 P 的信息而改进型 Strobe 鉴相器的核心思想是分析多径信号的特征, 即使用 $E1$, $E2$, P, $L1$, $L2$ 的相关器输出值对不同延迟的多径信号进行建模, 寻找其中的规律, 从而对原有的 Strobe 鉴相器表达式进行修正, 使其具备更强的短多径抑制能力。

图 1 是 Strobe 鉴相器在各个同相短多径下的自相关输出, 其中 $d = 0.2$ chip。

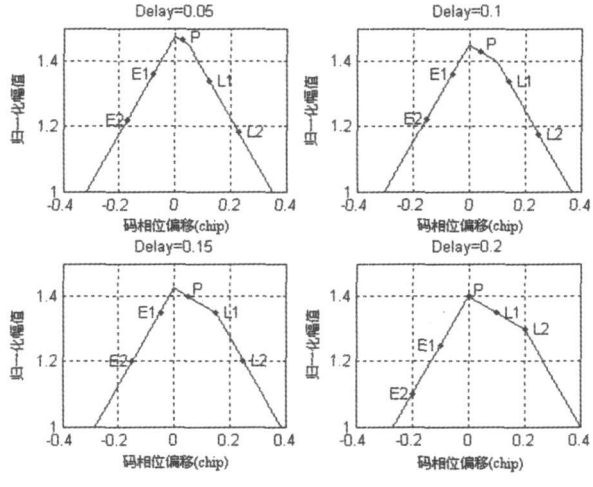

图 1 不同延迟同相多径下的自相关函数曲线

对于合成信号而言, 当多径延迟时 $\Delta\tau_m > d$, 相关器能够锁定正确的峰值, 这时, E_1, E_2, P 位于同一条直线上, 由鉴相器的特性可知, $E_1 - E_2 = P - E_1$, Strobe 鉴相器能够鉴别误差, 正常工作。当多径延迟 $\Delta\tau_m < d$ 时, 锁定峰值 P 位于实际峰值的右边, L_1, L_2 受多径干扰, 不在同一条直线上, 但是由于窄相关间隔 d 较小, $E1$, $E2$ 始终处于同一条直线上, 此时就产生了鉴相误差 $\delta \sim (E1 - E2) - (P - E1)$, 因此只要能对该误差进行正确估计, 并且作为修正项加到原有 Strobe 鉴相器表达式上就能使其辨认出误差。

3 改进 Strobe 鉴相器修正项的推导

下面给出同相多径干扰下, 自相关函数的解析表达式。

先考虑同相 $0.15 < \Delta\tau_m < 0.2$ 的情形。为方便起见, 设直达信号的幅值为 a, 多径信号的幅值为 b, 延迟为 $\Delta\tau_m$, 则可得到直达信号和多径信号的表达式分别为:

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

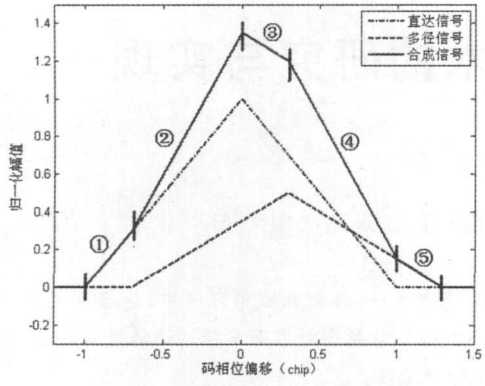

图 2 同相多径下信号合成示意图

$$S_{LOS}=\begin{cases}a(x+1) & x\leqslant 0\\ -a(x-1) & x>0\end{cases} \tag{1}$$

$$S_{multipath}=\begin{cases}b(x+1-\Delta\tau_m) & x-\Delta\tau_m\leqslant 0\\ -b(x-1-\Delta\tau_m) & x-\Delta\tau_m>0\end{cases} \tag{2}$$

根据在各个区间段直达信号和多径信号的叠加关系，合成信号分为五段，如图 2 所示 ①: $y=a(x+1)$ ②: $y=a(x+1)+b(x+1-\Delta\tau_m)$ ③: $y=-a(x-1)+b(x+1-\Delta\tau_m)$ ④: $y=-a(x-1)-b(x-1-\Delta\tau_m)$ ⑤: $y=-b(x-1-\Delta\tau_m)$ 设 P 与实际峰值之间的误差为 δ，

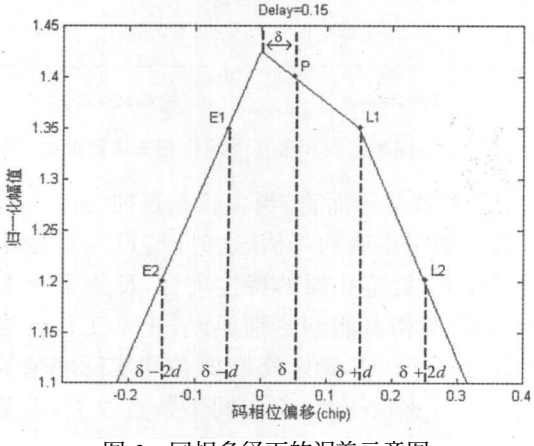

图 3 同相多径下的误差示意图

$$\begin{aligned}P&=P_{LOS}+P_{multipath}\\&=-a(\delta-1)+b(\delta+1-\Delta\tau_m)\\&=(-a+b)\delta+a+(1-\Delta\tau_m)b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E1&=E1_{LOS}+E1_{multipath}\\&=a(\delta-\frac{d}{2}+1)+b(\delta-\frac{d}{2}+1-\Delta\tau_m)\\&=(a+b)(\delta-\frac{d}{2})+a+(1-\Delta\tau_m)b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E2&=E2_{LOS}+E2_{multipath}\\&=a(\delta-d+1)+b(\delta-d+1-\Delta\tau_m)\\&=(a+b)(\delta-d)+a+(1-\Delta\tau_m)b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L1&=L1_{LOS}+L1_{multipath}\\&=-a(\delta+\frac{d}{2}-1)+b(\delta+\frac{d}{2}+1-\Delta\tau_m)\\&=(-a+b)(\delta+\frac{d}{2})+a+(1-\Delta\tau_m)b\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L2&=L2_{LOS}+L2_{multipath}\\&=-a(\delta+d-1)-b(\delta+d-1-\Delta\tau_m)\\&=-(a+b)(\delta+d)+a+(1+\Delta\tau_m)b\end{aligned} \tag{3}$$

由此可得到:

$$(E1-E2)-(P-E1)=2a\delta \tag{4}$$

其中的 $2a$ 是未知的常数，需用等价的表达式进行替换。考虑到 $0.15<\Delta\tau_m<0.2$ 在的情形下 P 和 $L1$ 在同一直线上，有:

$$E1-E2=(a+b)\frac{d}{2} \tag{5}$$

$$P-L1=(a-b)\frac{d}{2} \tag{6}$$

$$(E1-E2)+(P-L1)=ad \tag{7}$$

整理可得 $\delta=\frac{d}{2}\cdot\frac{(E1-E2)-(P-E1)}{(E1-E2)+(P-L1)}$ (8)

对于上式，当 Strobe 鉴相器工作正常，即工作在延迟大于 d 的多径下时，修正项 δ 为 0，不对鉴相结果产生影响；而当其工作在延迟小于 d 的短多径下时，$(E1-E2)-(P-E1)\neq 0$，则得到改进型的 Strobe 鉴相器为:

$$\begin{aligned}D_{corr-in-phase}&=D_{strobe}+D_{\delta-in-phase}\\&=2(E1-L1)-(E2-L2)\\&+\frac{d}{2}\cdot\frac{(E1-E2)-(P-E1)}{(E1-E2)+(P-L1)}\end{aligned} \tag{9}$$

进一步讨论同相短多径延迟 $\Delta\tau_m<0.15$ 的情况。根据在 $d=0.2$chip 时的测试图可知，当时，$E1$, $E2$, P, $L1$, $L2$ 所处折线段的相对位置类似，即 $E1$, $E2$ 处于同一线段；$L1$, $L2$ 处于同一线段，而 P 单独处于一条线段上，同理由图可得 $E1$, $E2$, P, $L1$, $L2$ 的表达式，$(E1-E2)+(P-L1)=ad-2\tau b\neq ad$。所以，$\Delta\tau_m<0.15$ 的情况下，前面推出的修正项不能提供正确的误差估计值。

通过同样的方法分析反向多径的情况，可得 $\delta=\frac{d}{2}\cdot\frac{(E1-E2)-(P-E1)}{(E1-E2)+(P-L1)}=0$，所以，同相多径条件下建模获得的修正项对于反相多径无效。

4 改进型 Strobe 鉴相器的仿真

下面将 Strobe 算法和本文所提的改进型 Strobe 算法应用到东南大学自主研发的 GPSSEU 接收机中，并利用 GPS 信号模拟器验证接收机多径

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

抑制算法的可行性和有效性。

使用思博伦 4500(STR4500)对 GPS 信号进行仿真仿真。定点测试位置为经度 0°, 纬度 0°, 高度 100 m。在 GPSSEU 接收机中将窄相关的间隔 d 设为 1/3chip。针对 PRN2 号卫星测试在 50 m 多径下的抑制效果。由前文 PRN 码结构可知 1chip 约为 300 m, 50 m 为 1/6chip, 同时测试中所加的多径信号均为同相, 满足改进型 Strobe 鉴相器的作用范围。测试方法是在 100 s 时加上多径信号, 在 200 s 时移除多径信号, 在 300 s 时结束测试, 输出这一时间段内的多径测量值。

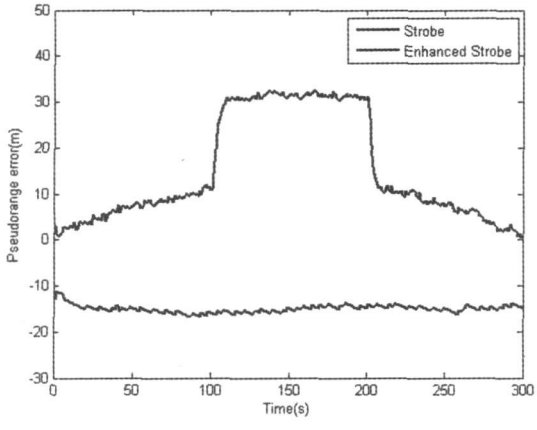

图 4　50 m 时, 两种鉴相器的输出

直达信号功率为 - 130 dBm, 50 m 的多径信号功率为 - 133 dBm, 测试时间为 300 s。测试结果: Strobe 鉴相器已经不能够对多径有抑制作用了, 所以在 100 s 加上多径信号之后有明显的伪距变化, 200s 移除多径后, 伪距回复到之前的测量值附近, 表明多径是此时伪距变化的主要原因; 改进型 Strobe 鉴相器仍然能够正常工作, 所以伪距输出稳定。

5　小　结

本论文围绕 GPS 多径抑制技术这一论题展开研究。从传统 Strobe 鉴相器着手, 通过分析同相多径的自相关函数曲线, 推导出了修正项, 使改进型 Strobe 鉴相器能够更好地反应同相多径误差, 最后对改进后的 Strobe 鉴相器和传统的 Strobe 鉴相器进行仿真比较, 仿真结果表明改进后的 Strobe 鉴相器明显提高了接收机的多径抑制性能。

对于现代接收机的性能而言, 有很多的评价标准, 包括准确性、可靠性、灵敏度和首次定位时间等。本文所涉及的多径抑制技术只是重点考察了接收机对多径效应的抑制能力, 对于其他性能的影响并未更多涉及。所以对如低功率下的多径抑制, 高动态下的多径抑制等课题还需进一步研究。

参考文献

1　Elliott D. Kaplan, Christopher J. Hegarty. GPS 原理与应用[M]. 寇艳红, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007, 284-294.

2　Jean-Marie Sleewaegen, Frank Boon. Mitigating Short-Delay Multipath: a Promising New Technique[J]. ION GPS Salt Lake City, UT., 2001(9): 203-213.

3　Liyu Liu, Moeness G. Amin. Tracking performance and average error analysis of GPS discriminators in multipath [J]. Signal Processing, 2009, 11(5): 1224-1239.

4　Michael S. Braasch. Performance Comparison of Multipath Mitigation Receiver Architectures [J]. IEEE, 2001, 18(3): 1309-1315.

The Study and Implementation of Multipath Reduction for GPS Receiver

SI Ya-jun[1], ZHANG Xiu-juan[1], LIU Xin-ning[2]

([1] Geology Surveying and Mapping of Jiangsu province, Nanjing Jiangsu 210008, China;
[2] Southeast university, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract　Multipath is one of the sources that impact the GPS resolution. It is particularly sever in urban environment. An improved strobe correlator is presented in the paper. Based on the traditional strobe algorithm, the different delays of various kinds of multipath are analyzed, and the correction items are concluded. With the correction, the improved strobe correlator could get an more accurate tolerance estimation under short multipath condition.

Key words　GPS; multipath effect; strobe correlator; improved strobe correlator

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net