

一种 C/A 码互相关干扰消除算法

宋新刚¹, 雷珺琳¹, 路卫军²

(1. 中国空间技术研究院, 陕西 西安 710077;

2. 北京大学 微电子学系, 北京 100871)

摘要: C/A 码互相关干扰是影响接收机灵敏度提高的关键因素之一, 历史文献中提出的互相关干扰消除算法大多不能采用硬件实现, 提出了一种用于 GPS 接收机的互相关干扰消除算法 EDPIC 法。本算法首先对所有强信号进行搜索, 估计所有可见强信号的参数, 根据这些参数采用一个通道重建所有的强信号并估计强信号和弱信号对应码间的互相关, 并从弱信号自相关结果中去除强信号的互相关干扰, 从而达到消除互相关干扰的目的。仿真结果表明在弱信号比强信号弱 30dB 的情况下, 能有效消除强信号对弱信号的互相关干扰。

关键词: 互相关干扰; 全球定位系统; C/A 码

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)01-0001-04

A C/A Code Cross-Correlation Interference Cancellation Algorithm

SONG Xin-gang¹, LEI Jun-lin¹, LU Wei-jun²

(1. China Academy of Space Technology, Xi'an 710077, China;

2. Department of Microelectronics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Cross-correlation of C/A code is one of the key problems which affect improving the sensitivity of the high sensitivity GPS receiver. Most algorithms proposed in the literature publications are too complex to be implemented by hardware. A cross-correlation mitigation algorithm for the global positioning system called extended delayed parallel interference cancellation (EDPIC) is proposed. First strong signals are searched, then the strong signals are reconstructed by a single channel. The cross correlation value between reconstructed strong signals and the local carrier and C/A code of the weak signal is estimated and subtracted from weak signal auto-correlation results. Simulation results shown that the proposed algorithm can mitigate cross correlation well even weak satellite signals are attenuated by 30dB comparing with the strong ones.

Key words: cross correlation; global positioning system; C/A code

0 引言

全球定位系统 GPS 已经被广泛应用于定位、导航和授时领域。随着 GPS 应用领域的扩展, 人们逐渐要求在信号功率极低的情况下依然能正常享受 GPS 的定位或授时服务。在一般信号条件下, C/A 码作为扩频码可以很好的工作, 但是在强弱信号共存的条件下, 比如在窗口环境, 某些信号被遮挡而其他的可见卫星信号可以直接到达接收机, 这时强信号可以达到 45dB 与 55dB 之间, 而弱信号可能衰减到比强信号弱 30dB 直至完全消失, 当强信号功率超出弱信号 24dB 时, 在

某些码相位和某些载波频率上, 强信号和弱信号对应码的互相关值将超过弱信号与其对应码间的自相关值, 使信号不能被检测出来。这样, GPS 强信号和弱信号对应码间的互相关干扰就成为限制接收机在信号极弱条件下应用的关键因素之一^[1], 研究互相关干扰消除算法, 对高灵敏度接收机的设计具有重要意义。

过去的研究者已经在互相关消除算法上做了大量有益的工作。串行干扰消除算法^[2]从输入的中频信号中减去估计的强信号, 从而在接下来的捕获和跟踪中不再受强信号的影响。并行干扰消除法^[3]改进了串行干扰消除算法, 它可从中频信号中一次消去所有的强信号的影响。但是在实际的接收机中, 数字中频一般采用两位量化数据, 以降低硬件代价。如果估计的强信号直接从输入的中频信号中减去, 两位精度是不够的, 这就限制了这两种算法在高灵敏度硬件接收机中的应用。在约束条件下自适应正交法(AOUC)^[4]通过改变本地 C/A 码结构来减少互相关的影响, 但这种算

收稿日期: 2010-07-30; 修回日期: 2010-10-28

基金项目: 北京市科委 SOC 重大专项(D0306008040211)

作者简介: 宋新刚(1977-), 男, 从事卫星导航算法设计及实现技术研究; 雷珺琳, 硕士, 从事小波变换和图像编码处理技术研究; 路卫军, 博士, 研究方向为大规模数字集成电路、GNSS 系统基带信号处理、精密定位、多系统组合导航等。

法只考虑了码互相关的影响,而未考虑在有多普勒偏移的情况下解决方法。

文献[5]提出一种互延迟并行互相关干扰消除法(DPIC),在该算法中,互相关干扰首先被估计,然后从弱信号的自相关结果中减去互相关干扰部分,从而消除强信号对弱信号检测结果的影响,该算法能有效消除互相关效应的影响,但是对每个弱信号卫星的检测需要重建所有强信号通道,这样,由于多需通道太多而难以采用硬件实现。在国内文献[6~9]的作者也都做了大量有益的工作。

文中扩展了 DPIC 算法,所有强信号参数首先被估计,所有的强信号被重建在一个信号通道内,本地复制的码和载波在进行弱信号自相关的同时也对所有强信号和弱信号间的互相关进行估计,并从自相关的结果中去除互相关的影响。仿真结果表明,在同时存在三颗强信号可见卫星,并且功率均比弱信号强 30dB 的条件下,依然能有效消除互相关干扰对弱信号自相关值的影响。

1 算法描述

1.1 信号模型

假设在某一弱信号的捕获过程中存在 N 颗强信号卫星,数字中频信号可以用式(1)建模^[10]:

$$R_{IF} = A_w D_w(t - \tau_w^D) CA_w(t - \tau_w) \cos(2\pi(f_{IF} + f_{d,w})t + \varphi_w) + \sum_{i=1}^N A_i D_i(t - \tau_i^D) CA_i(t - \tau_i) \cos(2\pi(f_{IF} + f_{d,i})t + \varphi_i) + \eta(t) \quad (1)$$

其中 N 是可见的强信号卫星数量, A 是卫星信号幅度。 τ 为导航电文或码相位延迟。 f_{IF} 为中频信号, $f_{d,i}$ 和 $f_{d,w}$ 表示信号多普勒频率, φ_i 和 φ_w 为载波相位, $\eta(t)$ 为高斯白噪声。

1.2 互相关干扰算法

在检测弱信号时,设同相支路和正交支路的相干积分检测结果为:

$$I_w = I_{ww} + I_{ws} \quad (2)$$

$$Q_w = Q_{ww} + Q_{ws} \quad (3)$$

其中, I_{ww} 和 Q_{ww} 表示弱信号的自相关值, I_{ws} 和 Q_{ws} 为来自强信号的干扰。 I_{ws} 和 Q_{ws} 分别可以表示为:

$$I_{ws} = \sum_{i=1}^N \int_0^{T_{\text{int}}} A_i D_i(t - \tau_i^D) CA_i(t - \tau_i) CA_i(t - \tau_{w,i}) \cos(2\pi(f_{IF} + f_{d,i})t + \varphi_i) \cos(2\pi(f_{IF} + f_{d,w,i})t + \varphi_{w,i}) dt \quad (4)$$

$$Q_{ws} = \sum_{i=1}^N \int_0^{T_{\text{int}}} A_i D_i(t - \tau_i^D) CA_i(t - \tau_i) CA_w(t - \tau_{w,i}) \cos(2\pi(f_{IF} + f_{d,i})t + \varphi_i) \sin(2\pi(f_{IF} + f_{d,w,i})t + \varphi_{w,i}) dt \quad (5)$$

互相关干扰消除就是为了在 I_w 和 Q_w 中去除 I_{ws} 和 Q_{ws} ,EDPIC 算法采用以下步骤:

第一步:采用较短的预检测积分时间快速搜索所有强信号卫星,并过渡到跟踪环路使其稳定跟踪,这时可以获得强信号的信号参数,包括导航电文的符号 $D_i(t - \tau_i^D)$,码相位 τ_i 和多普勒频率 $f_{d,i}$,载波相位 φ_i ,以及强信号的幅度 A_i 。

第二步:选择任意一个强信号作为参考信号,信号幅度设为 A_0 ,所有强信号的幅度均采用 A_0 归一化,根据第一步获得的信号参数和强信号幅度的归一化结果重建强信号,重建的强信号为:

$$S_i(t) = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{A_0} D_i(t - \tau_i^D) CA_i(t - \tau_i) \cos(2\pi(f_{IF} + f_{d,i})t + \varphi_w) \quad (6)$$

$$\text{其中, } A_i = \sqrt{2 \left(\frac{I_i^2 + Q_i^2}{I_{i,\text{normal}}^2 + Q_{i,\text{normal}}^2} \right)}$$

$I_{i,\text{normal}}^2 + Q_{i,\text{normal}}^2$ 是指假设输入信号幅度为 1 的情况下的能量检测器输出结果。

第三步:估计归一化的互相关干扰。检测弱信号时,本地产生的码和载波同时与构建的归一化强信号进行互相关,互相关结果为:

$$I_{e,\text{normal}} = \int_0^{T_{\text{int}}} S_i(t) CA_w(t - \tau_w) \cos(2\pi(f_{IF} + f_{d,w})t + \varphi_w) dt \quad (7)$$

$$Q_{e,\text{normal}} = \int_0^{T_{\text{int}}} S_i(t) CA_w(t - \tau_w) \sin(2\pi(f_{IF} + f_{d,w})t + \varphi_w) dt \quad (8)$$

第四步:幅度估计,从弱信号相关结果中减去估计的互相关结果,可得最终的弱信号自相关值,表示为:

$$I_{ww} = I_w - A_0 I_{e,\text{normal}} \quad (9)$$

$$Q_{ww} = Q_w - A_0 Q_{e,\text{normal}} \quad (10)$$

采用 EPIC 算法可以一次对所有强信号进行估计,解决了 DPIC 算法在搜索弱信号时,对每个强信号必须有一个估计通道,因硬件资源占用太多而难以在硬件接收机中应用的问题。EDPIC 算法估计通道和弱信号的相干积分通道类似,只是输入是重建的归一化的强信号,另外通道内的 C/A 码产生器、载波 DCO、码 DCO 等可采用弱信号相关通道输出的信号,不需要另外增加硬件资源。

2 参考结构

图 1 给出了采用 EPIC 算法的用于信号捕获的能量检测器的相干积分部分的参考结构,图中:

①部分是不考虑互相关干扰消除情况下的相干积分过程;

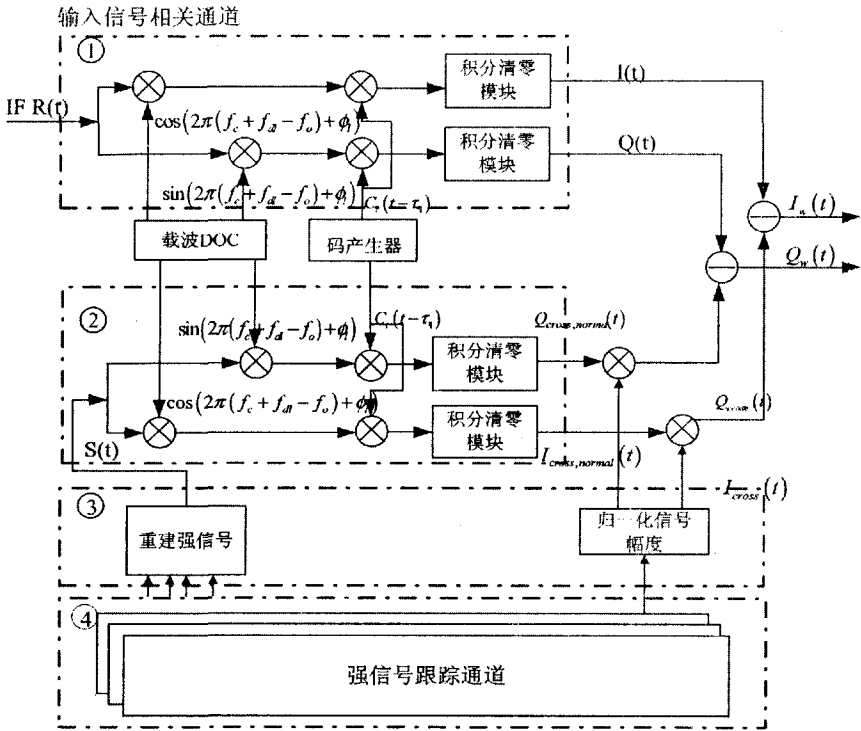


图 1 采用了 EDPIC 算法的能量检测器结构

②部分是互相关估计通道,与弱信号相干积分^[11]通道一样,只是载波 DCO、C/A 码产生器可与弱信号相干积分通道分享。弱信号相干积分结果与互相关估计通道的积分^[12]结果作差后作为差分积分模块的输入;

③部分是强卫星信号重建,根据本地获得的卫星信号参数,选择合适的参考卫星信号,采用公式(6),可得到归一化的重建强信号;

④部分是强信号跟踪通道,在系统工作时,应该首先搜索强信号,在强信号稳定跟踪时,强信号的载波频率、相位,以及码相位均锁定在输入的卫星信号上。通过本地的载波 DCO,码 DCO 可获得准确的卫星信号参数,根据强信号相干积分结果可估计强信号的导航电文的符号。

3 数值结果

为了评估 EDPIC 算法的效果,进行了一系列仿真,其中两组在这里给出。

表 1 仿真参数设置

参数	第一组仿真	第二组仿真
强信号卫星号	2,3,4	2,3,4
弱信号卫星号	1	1
强信号 C/N0	46dB-Hz	46dB-Hz
弱信号 C/N0	16dB-Hz	16dB-Hz
强信号和弱信号多普勒偏差	0Hz	1kHz
相干积分时间	1ms	1ms
差分积分时间	1s	1s
采样位数	2bit	2bit

仿真参数设置见表 1。

能量检测采用差分能量检测器,如式(11)所示:

$$Y = \sum_{i=1}^N I_i I_{i-1} + Q_i Q_{i-1} \quad (11)$$

其中, I_i , I_{i-1} 和 Q_i , Q_{i-1} 分别是相关值的同相和正交分量,相干积分时间为 1ms, $N = 1000$, 对应总的差分积分时间 1s。

仿真结果见图 2 ~ 图 4。图 2 表明在强信号比弱信号强 30dB 时,由于互相关效应的影响,在正确相位上已不能检测到最大的能量值。在采用 EDPIC 算法后,不论多普勒频移是否存在,强信号比弱信号强 30dB 的条件下,差分能量检测器依然能检测到正确的相位,如图 3、4 所示。这表明 EDPIC 算法能有效

消除互相关干扰对弱信号检测的影响。

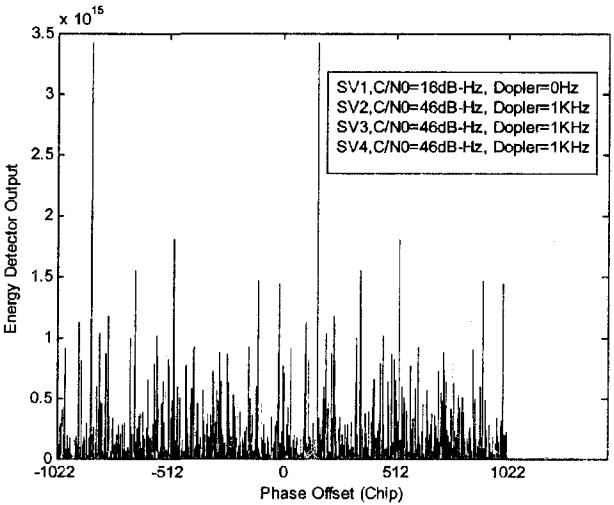


图 2 未采用 EDPIC 算法的能量检测结果

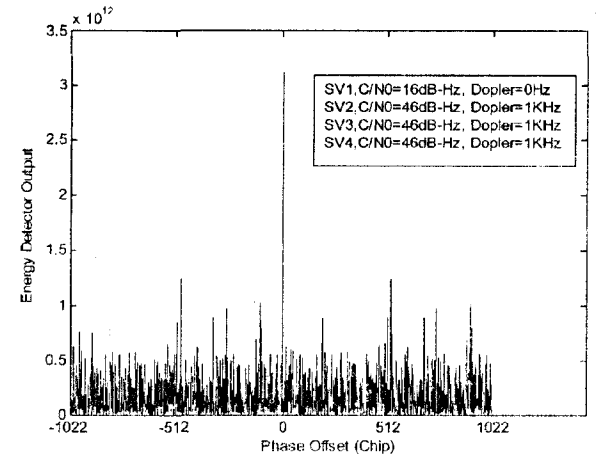


图 3 采用 EDPIC 算法的能量检测结果一

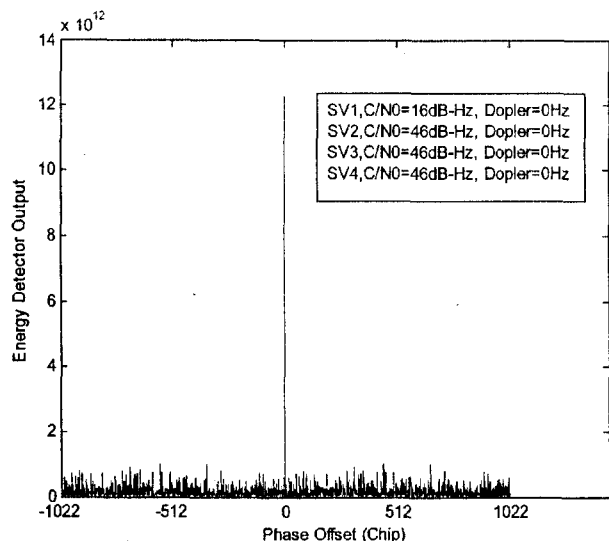


图 4 采用 EDPIC 算法的能量检测结果二

4 结束语

在强弱信号共存时,互相关干扰是限制接收机灵敏度提高的关键因素之一,针对 DPIC 算法需要强信号重建通道多,难以在硬件中实现的问题,文中提出一种改进的算法 EDPIC 法,该算法对所有强信号的信号幅度采用一个参考强信号幅度归一化,只用一个估计通道对所有强信号进行互相关干扰估计,减小了硬件代价,EDPIC 算法可以应用在硬件接收机中。

参考文献:

- [1] Glennon E P, Dempster A G. A review of GPS cross correlation mitigation techniques[C]// 2004 International Symposium on GNSS/GPS. [s. l.]: [s. n.], 2004.
- [2] Madhani P H, Axelrad P, Krumvieda K, et al. Application of successive interference cancellation to the GPS pseudolite near-far problem[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2003, 39(2): 481-488.
- [3] Patel P, Holtzman J. Performance comparison of a DS/CDMA system using a successive interference cancellation (IC) scheme and parallel IC scheme under fading[C]// IEEE International Conference on Communications. [s. l.]: [s. n.], 1994: 510-514.
- [4] Glennon E P, Dempster A G. Cross correlation mitigation by adaptive orthogonalization using constraints new results[C]// 19th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U. S. Inst. of Navigation. Fort Worth, TX: [s. n.], 2006: 1811-1820.
- [5] Glennon E P, Bryant R C, Dempster A G. Delayed Parallel Interference Cancellation for GPS C/A Code Receivers[C]// 12th IAIN World Congress and 2006 International Symposium on GPS/GNSS. [s. l.]: [s. n.], 2006.
- [6] 梁 坤. 高灵敏度 GPS 接收技术中几个关键问题的研究[D]. 北京: 中国科学院国家天文台, 2007.
- [7] 刘海涛. 高灵敏度 GPS/Galileo 双模导航接收机的研究与开发[D]. 长沙: 国防科技大学, 2006.
- [8] 梁 坤, 王 剑, 施游立. 高灵敏度 GPS 接收机中的互相关减轻算法的研究[J]. 电子学报, 2008, 36(6): 1098-1102.
- [9] 唐卫涛, 李 琼, 唐 斌. 一种新的消除 GPS 互相关干扰的方法[J]. 测绘通报, 2007(7): 19-22.
- [10] Dierendonck V, Erlandson A J R, McGraw G. Determination of C/A code self interference using cross-correlation simulations and receiver bench tese[C]// Proc. 15 International Technical Meeting of the Satellite Division of the U. S. Inst. of Navigation. Portland, Oregon: [s. n.], 2002: 630-642.
- [11] Tsui J B. Fundamentals of global positioning system receivers, a software approach [M]. 2nd ed. New York: John Wiley Sons, INC. Publication, 2005: 144-146.
- [12] Shin Oh-S, Lee K B. Differentially coherent combining for double-dwell code acquisition in DS-CDMA systems [J]. IEEE Transactions on Communications, 2003, 51(7): 1046-1050.

中国计算机学会“CCF 走进高校”活动暨陕西省计算机学会 学术报告会 2010 年 12 月 17 日~22 日在西安热烈进行

主办单位

中国计算机学会
陕西省计算机学会
长安大学
西安理工大学

承办单位

长安大学信息工程学院
西安理工大学计算机科学与工程学院
陕西省计算机学会嵌入式系统专业委员会
陕西省航空学会计算机专业委员会