

伪卫星环境下的 Galileo 测试接收机通道结构设计

郝建军¹, 何秋生¹, 程亚奇²

(1. 中国矿业大学机电学院, 北京 100083; 2. 中国科学院微电子所, 北京 100029)

摘要: 为了消除由于伪卫星测试环境下造成的远近效应, 该文提出了一种基于 SIC 算法原理的伽利略测试接收机通道结构设计, 利用伪卫星通道的跟踪结果生成强干扰信号用以抵消 GPS 和 Galileo 通道的输入信号的强干扰信号成分, 并且伪卫星通道对较强的伪卫星信号使用 1/8 个周期的伪随机码做相关运算的方法, 以牺牲 9dB 信噪比的代价使信号捕获时间大大缩短。Matlab 仿真结果表明能很好地消除远近效应, 并能加快伪卫星信号的捕获。

关键词: 伽利略测试接收机; 伪卫星; 远近效应; 独立通道

Galileo Test Receiver Channel Architecture Design for Pseudolite Environment

HAO Jianjun¹, HE Qiusheng¹, CHENG Yaqi²

(1. School of Mechanical Electronic, China University of Mining & Technology, Beijing 100083;

2. Institute of Microelectronic, China Academy of Sciences, Beijing 100029)

【Abstract】 With aim to cancel near-far effect caused by pseudolite of Galileo test environment, a base-band channel architecture plan is proposed based on subspace projection SIC method. By using results of track loop of pseudolite channel, people can generate strong pseudolite signal to cancel the strong interference out of input signal before flowing into the satellite channel. And 1/8 period of a PN code length is used for code correlation due to shorten acquisition time even it can cause 9 dB's SNR degradation. Simulation results using Matlab software indicate that near-far effect can be efficiently cancelled and also acquisition time can be saved.

【Key words】 Galileo test receiver; Pseudolite; Near-far effect; Independent channel

伽利略全球导航卫星系统(GNSS)是欧盟发起组建的全民用的卫星导航系统, 整个系统将于 2008 年建成。中国也参与了此项目的建设, 投资了 2.08 亿欧元, 并承担了一些项目的研究工作。由于 Galileo 全球导航卫星系统的卫星星座尚未建成, 到目前为止只有 2005 年底发射的一颗试验卫星在轨, 因此伽利略测试接收机的开发只能借助于伪卫星信号来完成其性能测试。

伪卫星又称地面卫星, 是指从地面特定地点基站发射导航卫星信号, 采用与 GPS 或 Galileo 相同的导航电文格式和信号制式。伪卫星的使用不可避免会带来远近效应问题, 通常消除远近效应有用户检测技术^[1]、频率偏置技术、信号时分脉冲技术以及使用不同的 PN 码等方法^[2], 这都是伪卫星方面所采用的技术。如果单从接收机抗远近效应设计方法来看, 有 Martin^[3] 提出的微带天线方法和 Madhani^[4] 等提出的 SIC(Successive Interference Cancellation) 方法。本文根据 SIC 算法原理设计了伪卫星信号和 Galileo 相互独立的 SIC 模式通道结构, 以解决 Galileo 测试接收机的远近效应问题。

1 远近效应和 SIC 方法

测试外场一般选在小型盆地或是开阔的小型河谷。伪卫星散布在周围的山上, 欧空局在德国建立的 GATE 测试场采用 3 个伪卫星, 中央平地是用于测试接收机的区域。伪卫星模拟伽利略卫星发送导航信号(包含电离层参数), 测试接收机可以同时接收到来自卫星和伪卫星的信号。测试外场特殊的环境决定了接收机需要解决两个问题: 远近效应问题和多径

效应问题。多径效应是由地理环境所致, 消除多径效应有很多成熟技术^[5], 但针对被动式导航定位接收机的抗远近效应技术并不多^[6]。

所谓远近效应是指用户接收来自伪卫星的较强信号与来自 20 000km 高空的卫星弱信号之间的冲突问题。过强的伪卫星信号会掩盖卫星信号, 造成无法识别来自卫星的信号。SIC 方法就是构造信号用以抵消输入信号中的强信号成分, 从而消除强信号的干扰。设接收到的信号为

$$r(t) = \sum_{i=1}^M A_i D_i(t - \tau_i) C_i(t - \tau_i) \cos(\omega_i t + \varphi_i) + AWGN \quad (1)$$

式(1)中 $r(t)$ 为接收机接收到的信号, A_i 是第 i 个伪随机码信号的幅度, D_i 为导航电文, C_i 为伪随机码, ω_i 是包含多普勒频移的角频率, φ_i 为载波相位, $AWGN$ 为噪声。SIC 方法的原理就是从 $r(t)$ 中估算出强信号的多普勒频移的角频率偏移量 $\tilde{\omega}_d$ 、码相位 $\tilde{\tau}_c$ 、载波相位 $\tilde{\varphi}_j$ 和幅度 \tilde{A} , 且事先已知此信号的 PN 码, 从而可以构造出此信号为

$$\tilde{p}(t) = \tilde{A} D_p(t_j) C_p(t_j - \tilde{\tau}) \cos[(\omega_c + \tilde{\omega}_d) + \tilde{\varphi}_j] \quad (2)$$

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2005AA1Z1192); 中国伽利略测试接收机(CGTR)资助项目

作者简介: 郝建军(1971 -), 男, 博士生, 主研方向: 卫星导航技术; 何秋生, 博士; 程亚奇, 研究员

收稿日期: 2006-10-17 **E-mail:** wfhjj@126.com

从 $r(t)$ 中减掉 $\tilde{p}(t)$ 就可得到消除了强的伪卫星信号的 Galileo 信号。

2 接收机通道设计

伽利略测试接收机是兼容 GPS 系统的,其应该能接收并处理 3 种信号:Galileo, GPS 和伪卫星信号。Galileo 的 E1-L1-E2 波段信号与 GPS 的 L1 信号使用同一天线接收,经低噪放大后的 L1 信号再分离成 GPS 信号 $s(t)$, Galileo 和伪卫星信号 $r(t)$ 分别进行环路滤波和下变频并经 A/D 转换后送至基带部分的相应通道。

接收机的通道设计为 GPS、GALILEO 和伪卫星 3 种独立通道,分别处理伪卫星信号、GPS 信号和伽利略卫星信号。在输入信号 A/D 转换之前加一个电平检测器对信号进行采样检测,以判断远近效应是否发生,检测器输出信号 $d(t)$ 用来控制是否要构造信号和时间延迟。

通道的远近效应干扰抵消原理如图 1,数字化后的信号 $r_i(t)$ 送到伪卫星通道处理,由跟踪环可以得到伪卫星信号的码相位 $\tilde{\tau}_c$ 、多普勒频移 $\tilde{\omega}_d$ 和载波相位 $\tilde{\varphi}_j$ 等信息,再根据 $1/8$ 个伪随机码周期的时间段内的相干积分结果估算出伪卫星信号的幅度 \tilde{A}_p ,然后将这些信息输入到信号发生器以复现伪卫星信号 $\tilde{p}(t)$,而 $s(t)$ 和 $r(t)$ 信号在送入 GPS 或 Galileo 信道之前减掉复现的伪卫星信号 $\tilde{p}(t)$,就消除了强信号的干扰。

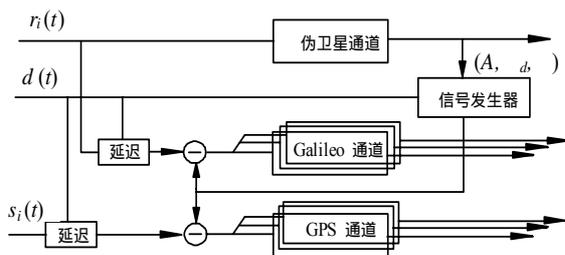


图 1 消除远近效应的通道结构

信号的重构会造成时间上的延迟,而对于较强的伪卫星信号,接收机灵敏度已经不是问题,为了提高信号的捕获速度,捕获时采用缩短的伪随机码(1/8 个周期的 PN 码, 0.5ms)做相关运算的方法,这样可以减少相干积分的运算量,缩短捕获时间,但随之信噪比会降低约 9dB(10log(1/8))。

3 Matlab 仿真及结果分析

根据实际情况,设接收到的 GPS 信号低于热噪声 16dB~20dB,强的伪卫星信号高于热噪声 10 dB,采样频率为 16.368MHz,IF 频率为 4.092 MHz,相干积分时间为 1ms,相应的采样点数为 16 368 个。图 2 是 GPS 信道的 C/A 码相关结果,图 2 中横坐标是 PN 码的码相位,纵坐标是相关值的幅度(dBm)。

从图 2(a)中可看出传统并行通道结构还是能得到检测到 GPS 信号(尽管峰值不太显著),虽然 E1-L1-E2 信号与 GPS 的信号的中心频率相同(1 575.42MHz),但 Galileo 信号是 BOC 方式调制的,其信号能量并不在中心频率上。另外, Galileo 的基码速率与 GPS 的基码速率是不相同的。图 2(b)表明了经过 SIC 消除强信号后,相关峰值非常明显。

假设接收到的 Galileo 信号低于热噪声 20 dB~25 dB,强

的伪卫星信号高于热噪声 10 dB,采样频率为 16.368MHz,IF 频率为 4.092 MHz,相干积分时间为 4ms,相应的采样点数为 65 472 个。这里 Galileo 的 L1-B 波段的卫星信号是 BOC(2,2) 调制,码速率 2.046Mcps。

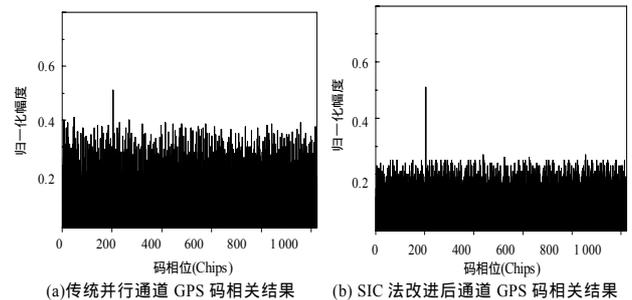


图 2 GPS 信道的 C/A 码相关结果

从图 3(a)中可以看出伪卫星信号很强的情况下 Galileo 信号被淹没,无法正常获取。图 3(b)是经过改进的通道中 GPS 和 Galileo 信号相关结果,可以看到消除了强的伪卫星信号后,很容易地捕获到卫星信号。

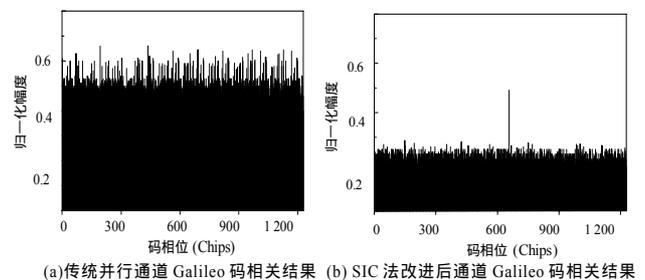


图 3 Galileo 码相关结果

4 结论

针对伪卫星测试环境下的伽利略测试接收机,本文采用了一种抗远近效应的通道设计方法,结果表明,采用该结构能有效地消除远近效应问题,而且由于伪卫星通道采用了部分伪随机码相关的方法,会大大缩短伪卫星信号的捕获时间。

参考文献

- 1 杨 恒, 张贤达. 一种准最优的多用户检测算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, 42(1): 2112.
- 2 陈 慧, 赵建伟, 邓 军. 导航系统抗远近效应接收机的研究[J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1475-1478.
- 3 Martin S. Antenna Diagram Shaping for Pseudolite Transmitter Antennas——A Solution to the Near-far Problem[C]//Proceedings of ION GPS, Nashville. 1999: 1473-1482.
- 4 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.
- 5 杨铁军, 黄顺吉. GPS 接收机跟踪环的多径误差分析[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(9): 13-15.
- 6 Tsui J B. Fundamentals of Global Positioning System Receivers——A Software Approach[M]. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc. Publication, 2005.