

抑制远近干扰伪卫星接收机的研究

艾树峰¹, 俞群爱², 冯冀宁³, 杨晓波⁴

(1. 浙江传媒学院电子信息学院, 浙江杭州 310018; 2. 浙江传媒学院现代教育技术中心, 浙江杭州 310018;
3. 河北师范大学 电子工程系, 河北石家庄 050031; 4. 石家庄职业技术学院 电子工程系, 河北石家庄 050081)

摘要: 伪卫星(pseudolie)是导航,定位中的一种重要技术,但是对于伪卫星技术一个必须克服的问题就是远近干扰问题,本文研究了利用连续干扰抑制技术抑制远近干扰的伪卫星接收机,提出了抑制远近干扰伪卫星接收机的结构,给出了伪卫星信号重构的关键技术和远近干扰发生的判断原则,并进行了仿真,说明该接收机适合于在伪卫星辅助下的定位应用。

关键词: 伪卫星; 直接序列扩频接收机; 远近干扰

中图分类号: TN914142 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 08-1837-04

The Study of Pseudolie Receiver that Can Restrain Near-Far Effect

AI Shu-feng¹, YU Qun-ai², FENG Ji-ning³, YANG Xiao-bo⁴

(1. College of Electronics and Information, Zhejiang Institute of Communication and Media, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;
2. Centre of Modern Education and Technology, Zhejiang Institute of Communication and Media, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;
3. Department of Electronic Engineering, Hebei Normal University, Shijiazhuang, Hebei 050031, China;
4. Shijiazhuang Professional Technology Institute, Shijiazhuang, Hebei 050081, China)

Abstract: Pseudo-satellites(pseudolie) is a kind of important technique in navigation and positioning, near-far effect is a problem that must be overcome before using the pseudolie technique, a kind of receiver that can overcome near-far effect by using successive interference cancellation has been studied, the structure of the receiver is given, then the principle of determining the near-far effect and the key techniques of regenerating the pseudolie signal are given. Simulation results indicate that the receiver can be used in positing aided by pseudolie.

Key words: pseudo-satellites; DS-SS receiver; near-far effect

1 引言

伪卫星技术是 Beser 和 Parkinson 于 1982 年提出的^[1],所谓伪卫星技术,就是将 GPS 导航信号发射机装在飞机或地面上,代替或辅助 GPS 卫星.在战场环境中卫星信号在受到干扰情况下,或在城市和山区当卫星的可见性受到限制时,为使接收机仍能得到较精确的定位和导航可采用伪卫星技术.伪卫星技术还能够用于载波相位测距和去除整周模糊度,采用该技术可以将定位精度提高到 10cm 以内^[2].

利用伪卫星技术一个必须克服的问题就是远近干扰问题^[3],GPS 卫星信号发射机相对于地面接收机的距离非常大,20000km 以上,并且是一个相对稳定的,从不同的卫星到达接收机的信号功率是相当的,最大的功率差是 20%,是一种远域情况,当前的 GPS 接收机都是基于接收信号之间没有大的功率差设计的.但是,伪卫星和接收机之间的距离相对卫星要小得多,因此伪卫星和

接收机之间的距离变化的相对值也要大得多,这样就可能造成伪卫星信号接收功率有很大的变化,是近域情况.例如,设计的伪卫星以 40km 的距离给接收机发射 GPS 信号,当接收机距离伪卫星为 40m 时,接收信号的功率要大 60dB,此时伪卫星信号相对于 GPS 信号的功率就类似于阻塞式干扰,影响 GPS 信号的接收.如果不采取一些技术来消除远近效应的话,将会使导航接收机在导航信号的有效覆盖范围内出现一些盲区,缩小了导航接收机的定位区域^[4].

Klein 和 Parkinson 在 1984 年提出可能解决远近效应的三种方法^[5]:(1)采用一定的占空比以脉冲的方式发射伪卫星信号;(2)发射频率与 GPS 的 L1 有一定的频偏,但是与其保持在同样的波段;(3)使用比 GPS 码序列更长的编码,目前对于以上几种方法国外已有研究^[6~9],研究结果说明,对于(2),(3)类方法需要对现有接收机结构设计进行大得改变,使接收机结构变得复杂.(1)类方法对于信干比只能得到非常有限的改善,并

需要对伪卫星结构进行改变.为此寻求一种不对现有接收机结构设计进行改变,而简单易行的方法是有必要的.

本文采用一种类似于连续干扰抑制的技术来抑制伪卫星接收机远近效应,该技术曾在解决 IS-95 通信系统远近效应中提出^[10,11],该技术充分利用现有接收机的捕获和跟踪环路提供的信息重构伪卫星发射的 GPS 信号,在接收机数字通道中增加一些必要的判断和控制,从受到远近效应影响的通道中减去伪卫星信号,使弱信号能够捕获和跟踪,总体步骤是:

(1)检测各通道输出功率最强的信号 s_1 ,并根据某种准则判断远近效应是否发生;

(2)如果发生远近效应,根据跟踪环路的信息重构该通道接受信号 \hat{s}_1 ;

(3)从其它通道接收信号中减去 \hat{s}_1 ,再进行捕获,跟踪.

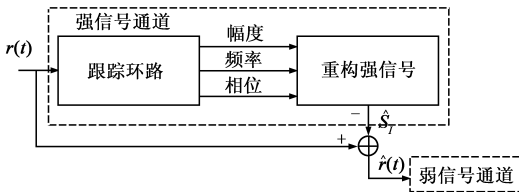


图1 连续干扰抑制原理图

2 远近效应

GPS 信号模型:

$$r(t) = Ad(t)c(t)\cos(\omega_c t + \varphi) \quad (1)$$

式(1)中, A 为接收信号的幅度, $d(t)$ 为导航信息, $c(t)$ 为伪随机序列, φ 为载波相位在时刻 k 接收到的信号为

$$s(k) = \sum_{i=1}^n r_i(k) + n(k) \quad (2)$$

式中 $r_i(k)$ 为第 i 个数字通道在 k 时刻接收到的 GPS 卫星信号或伪卫星信号.

$$r_i(k) = A_i d_i(k) c_i[(1 + \zeta)(k - \tau_i)] \cdot \cos[(\omega_c + \omega_d)k + \varphi_i] \quad (3)$$

式(3)中 τ 为伪码时延, ζ 为由多普勒造成的伪码频偏, $\omega_d = 2\pi f_d$ 为载波多普勒, $n(k)$ 为加性高斯白噪声,在接收机带宽内均匀分布,双边功率谱密度为 $N_0/2$,均值为 0,方差为 σ_n^2 信号通道的捕获相关输出为:

$$\begin{aligned} S_i &= \sum_{k=0}^{N-1} \left[\sum_{i=1}^n r_i(k) + n(k) \right] c_i(k - \tau_i) \cos(\omega_c k + \varphi_i) \\ &= \frac{A_i d_i}{2} \cos(\varphi_i - \varphi_i) R_{ii}(\tau_i - \tau_i) \\ &\quad + R_{ij}(\tau_i - \tau_j) \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left[\frac{A_j d_j}{2} \cos(\varphi_i - \varphi_j) \right] \\ &\quad + \sum_{k=0}^{N-1} c_i(k - \tau_i) \cos(\omega_c k + \varphi_i) n(k) \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)中第一项为有用信号的自相关输出,第二项为多址干扰,是其他卫星或伪卫星信号与本地信号的相关输出,第三项为噪声和本地信号的相关,这里假定 d_i 是在一个符号周期内,在没有远近干扰的情况下,式(4)中的第一项信号的自相关远大于第二项中的多址干扰,对于卫星信号若伪码一个周期 1023 个码片,存在多普勒情况下互相关峰值最大为 -21.6dB ,在没有多普勒影响时为 -23.8dB ^[12],在这种情况下式(4)的后两项可以认为是噪声项,对有用信号的影响非常小,信号能够被正确捕获,跟踪.当远近干扰发生时式(4)的第二项某个多址干扰可能比有用信号功率大,这相当于解扩后的有用信号仍被淹没在高斯白噪声中,这种情况下接收机不能正确捕获和跟踪,下面的研究以两个捕获通道为例.

我们假设第一通道捕获卫星信号,第二通道捕获伪卫星信号,伪卫星信号的功率远大于卫星信号功率,发生远近效应.

这样在卫星通道的相关输出信号为

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{A_1 d_1}{2} \cos(\varphi_1 - \varphi_1) R_{11}(\tau_1 - \tau_1) \\ &\quad + \frac{A_2 d_2}{2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) R_{12}(\tau_1 - \tau_2) \\ &\quad + \sum_{k=0}^{N-1} c_1(k - \tau_1) \cos(\omega_c k + \varphi_1) n(k) \end{aligned} \quad (5)$$

伪卫星通道相关输出为

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{A_2 d_2}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_2) R_{22}(\tau_2 - \tau_2) \\ &\quad + \frac{A_1 d_1}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) R_{21}(\tau_2 - \tau_1) \\ &\quad + \sum_{k=0}^{N-1} c_2(k - \tau_2) \cos(\omega_c k + \varphi_2) n(k) \end{aligned} \quad (6)$$

在卫星通道由于多址干扰 $\frac{A_2 d_2}{2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) R_{12}(\tau_1 - \tau_2)$ 项远大于 $\frac{A_1 d_1}{2} \cos(\varphi_1 - \varphi_1) R_{11}(\tau_1 - \tau_1)$,这样就发生了多址干扰,所以卫星通道不能正确捕获和跟踪,而伪卫星通道由于有用信号远大于多址干扰,所以可以正确捕获和跟踪.

3 远近效应发生的判断准则

根据前面的论述,以 C 码为例,码长为 1023,当伪卫星信号功率比 GPS 信号功率大 21dB 时,它对卫星通道的多址干扰就会非常严重,造成远近效应,此时在弱信号通道,相当于有用信号淹没在白噪声中,在这种情况下相关输出的最大值的位置是随机的.一般接收机尤其是对于弱信号捕获的情况下接收机要进行非相干积累,并采用一些搜索策略等,当存在远近效应的时候,卫星通道(弱信号通道)用于非相干积累的每个相

关输出最大值的位置是随机的,而不存在远近效应的伪卫星通道最大值的位置即(捕获的码相位)是固定的,即使在信噪比较小的情况下,最大值的位置发生变化的概率也是非常低的,并且伪卫星通道比卫星通道相关输出最大值要大 21dB,因此判断存在远近干扰的原则:

(1)通道间并行工作,当其中一个相关峰比另外一个通道相关峰高 20dB,即 $s_H^2 - s_L^2 > 20$,其中 s_H^2 为强信号的相关峰值 s_L^2 为弱信号的相关峰功率;

(2)弱信号相关输出的通道捕获的码相位随机变化,对于判断远近干扰是否发生两个原则可以相互补充使用.

4 远近效应抑制接收机

当接收机判断存在远近效应后,强信号通道从捕获转入跟踪,若信号通道放弃跟踪,停止工作,本文中伪卫星通道在捕获之后转入跟踪,由接收机跟踪环路可知,成功跟踪之后,我们可以从环路中得到以下参数,码相位,码多普勒,载波多普勒频移,载波相位,此时的伪卫星信号可以重构为

$$\hat{x}_2 = c_2[(1 + \hat{\xi})(k - \hat{\tau}_2)] \cdot \cos[(\omega_c + \hat{\omega}_d)k + \hat{\varphi}_2] \quad (7)$$

跟踪后能够在一个伪码周期中估计强信号的幅度:

$$\hat{A}_2 = \left| \frac{\sum_{k=0}^{N-1} [\hat{x}_2(k) \cdot r(k)]}{\sum_{k=0}^{N-1} [\hat{x}_2(k)]^2} \right| \quad (8)$$

数据位可以由下面的方法估计确定:在一个伪码周期内,数据位的值要么是 1,要么是 -1,对于一个伪码周期同相端相关输出为:

$$S_2(k) = Ad(k)R_{22}[\epsilon(k)]\text{sinc}[\Delta\omega_d(k) \cdot N/2]\cos(\Delta\varphi(k)) \quad (9)$$

式(9)中 A 为信号幅度, $\epsilon(k)$ 为码片参差, $\Delta\omega_d(k)$ 为多普勒参差, N 为积分点数, $\Delta\varphi(k)$ 为相位差, $d(k)$ 为符号位,稳定跟踪后式(9)中除 $d(k)$ 外的其它项都为正值,所以 $S_2(k)$ 的符号位和 $d(k)$ 是一致的,因此

$$\hat{d}_2(k) = \text{sign}[S_2(k)] \cdot 1 \quad (10)$$

此时可以得到伪卫星信号的重构信号:

$$\hat{r}_2 = \hat{A}_2 \hat{d}_2(k) c_2[(1 + \hat{\xi})(k - \hat{\tau}_2)] \cdot \cos[(\omega_c + \hat{\omega}_d)k + \hat{\varphi}_2] \quad (11)$$

然后在卫星通道中减去重构的信号,得到新的接受信号为:

$$\hat{s}_1 = S(k) - \hat{r}_2(k) \quad (12)$$

伪卫星技术下抑制远近效应的接收机原理如图 2 所示,下面描述两个通道的时间与数据关系,如果伪卫星通道在 t_0 时刻完成稳定跟踪,卫星通道在 t_1 时刻开

始捕获($t_1 > t_0$),卫星通道捕获需要 Δt 时间长度的数据 $data(\Delta t)$,则伪卫星通道需要重构的数据为 $data[t_1, t_1 + \Delta t]$,图中卫星通道数据存储单元存储的数据长度为 $data(\Delta t)$,如果伪卫星通道开始捕获的时刻为 t_{acq} ,则卫星通道相对于伪卫星通道开始捕获时间延迟为 $(t_1 + \Delta t) - t_{acq}$,则卫星通道的捕获跟踪需要延迟相应的时间,时序控制由 DSP 完成.根据以上的论述我们可以看到,由于伪卫星信号强很容易捕获,跟踪,在卫星通道除去远近干扰后,提高了信干比,使弱信号的捕获跟踪能够顺利进行.

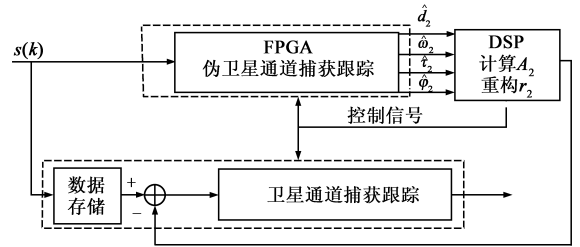


图2 接收机原理图

对于本文接收机为了重构伪卫星信号,接收机至少需要 2 个捕获通道,其中一个通道用于捕获强功率的伪卫星信号,对于这一点一般的接收机能够满足,不需要对接收机的结构设计进行大的改动.只是增加了一些必要的控制环节.

当伪卫星信号的功率强度很强的情况下能够很容易的重构信号,但是当接收机和伪卫星的距离增大时,由于伪卫星信号变弱,此时不能精确重构伪卫星信号,这时采用本文算法会使卫星通道的捕获跟踪效果变差,为此,需要连续检测相关器输出信号的 SNR,根据前面论述的远近效应判断原则,决定是否采用此技术.

5 仿真与分析

图 3 为卫星通道相关输出仿真,卫星信号功率一般低于接收机热噪声 17 dB 到 20dB,仿真中将卫星信号功率设置为低于接收机热噪声 20dB,伪卫星信号功率高于热噪声功率 10dB,为了使信号功率不至于使 A/D 变换饱和,本文采用 8bit 的 A/D 变换器^[10],在仿真中接收机数字中频 1.25MHz,采样率为 5MHz,1ms 数据,5000 个采样值.

表 1 相关输出 SNR 比较

实验次数	未采用远近干扰抑制技术(dB)	采用远近干扰抑制技术(dB)
1	-6.5	8.3
2	-7.8	7.6
3	-8.1	7
4	-7.3	7.9
5	-7.7	8

表 1 为在本文的仿真条件下,卫星通道相关输出 SNR 的比较,可以看出采用远近干扰抑制技术后相关输出 SNR 约增加 15dB.

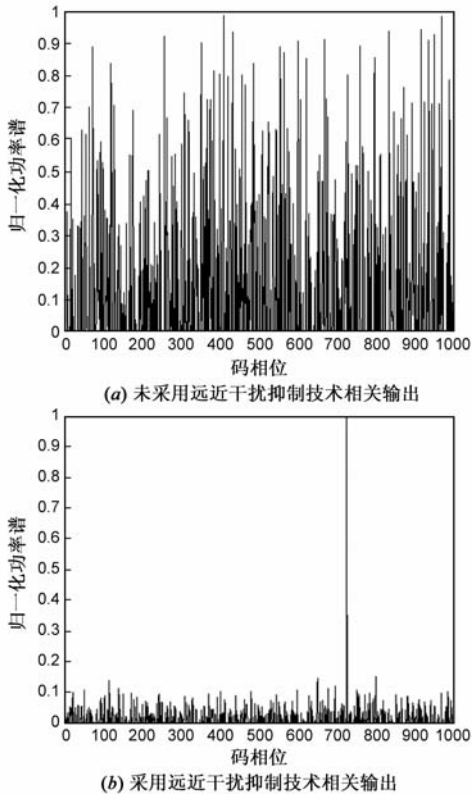


图3 远近干扰抑制技术采用前后相关输出比较

6 结论

本文研究了利用连续干扰抑制技术抑制远近干扰的伪卫星接收机,提出了抑制远近干扰伪卫星接收机的结构,研究了伪卫星信号重构的关键技术和远近效应发生判断原则,并进行了仿真,仿真结果表明该接收机适合于在伪卫星辅助下定位应用,对于研制伪卫星辅助下的导航和定位接收机具有一定的意义。

参考文献:

- [1] Beser J, B Parkinson. The application of NAVSTAR differential GPS in the civilian community[J]. Journal of the Institute of Navigation, 1982, 29(2): 107 - 136.
- [2] Cohen, B Pervan, S Cobb D, et al. Real-time cycle ambiguity resolution using a pseudolite for precision landing or aircraft with GPS[A]. Proceedings of the Second International Symposium on Differential Satellite Navigation Systems[C]. Amsterdam, March 1993.
- [3] 岳晓奎,袁建平,吴琼. 伪卫星技术发展和应用综述[J]. 全球定位系统, 2005, (2): 47 - 51.
- [4] 陈慧,赵建军,邓军. 导航定位系统抗远近效应接收机的研究[J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1475 - 1478.

Chen Hui, Zhao Jian-wei, Deng Ju. The near-far resistant receiver for navigation system[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(9): 1475 - 1478. (in Chinese)

- [5] Klein D, Parkinson B W. The use of pseudo-satellites for improving GPS performance[J]. Global Positioning System, 1986, (3): 135 - 146.
- [6] Van D, B Elrod. Testing and evaluation of GPS augmented with pseudolites for precision approach applications[A]. Presented at DSN Conference[C]. Amsterdam, 1993.
- [7] Stansell T Jr. RTCM SC 104 recommended pseudolite signal specifications[J]. Navigation, 1986, (33): 42 - 59.
- [8] Martin S. Antenna diagram shaping for pseudolite transmitter antennas-a solution to the near-far problem[A]. Proceedings of ION GPS-99[C]. Nashville, September, 1999. 1473 - 1482.
- [9] Ndili A. GPS pseudolite signal design[A]. Proceedings of ION GPS-94[C]. Salt Lake City, September 1994. 1624 - 1634.
- [10] Moshqvi S. Multi-user detection for DS-CDMA communications[J]. IEEE Communications Magazine, 1996, 34(10): 124 - 136.
- [11] Premal H Madhani, Penina Axelrad, 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): 1320 - 1332.
- [12] Parkinson B, et al. Global Positioning System[R]. American Institute of Astronautics and Aeronautics, 1996.

作者简介:



艾树峰 男, 1959 年出生于河北石家庄, 浙江传媒学院电子信息学院副教授, 主要研究方向: 测试计量技术、自动控制等技术。
E-mail: ast59@163.com

俞群爱 女, 1971 年生于浙江东阳, 浙江传媒学院现代教育中心工程师(硕士), 主要研究领域为数据存储、算法。
E-mail: yuqunai@163.com



冯冀宁 男, 1973 年生于河北省冀州市, 博士, 主要研究方向为卫星导航信号处理、智能检测技术, 2009 年毕业于北京理工大学电子与信息学院。
E-mail: fjn2003@163.com

杨晓波 女, 1978 年生于河北省秦皇岛市, 硕士, 主要研究方向为数字图像处理, 2004 年毕业于燕山大学信息科学学院。