

文章编号:1004-9037(2012)01-0027-05

基于BOC调制信号的频域主瓣叠加捕获算法

冯永新 徐美荣 刘宪涛 刘芳

(沈阳理工大学信息科学与工程学院,沈阳,110159)

摘要:提出了一种基于BOC调制信号的频域主瓣叠加捕获算法。该算法利用BOC调制信号功率谱主瓣与BPSK信号功率谱的相似性,在对接收的BOC调制信号进行上、下边带主瓣滤取,将两主瓣信号分别搬移到中心频率,实现两路信号叠加的基础上,通过与本地信号的相关处理,执行同步捕获。仿真分析表明,本文提出的频域主瓣叠加捕获算法不仅能够实现正确的信号同步捕获,而且捕获精度和性能优于现有的边带和BPSK-like捕获算法。

关键词:频域捕获;BOC调制;主瓣叠加

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

Main Lobe Overlapped Acquisition Algorithm of Frequency Domain Based on BOC Modulation Signal

Feng Yongxin, Xu Meirong, Liu Xiantao, Liu Fang

(School of Information Science and Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang, 110159, China)

Abstract: A main lobe overlapped acquisition algorithm of frequency domain based on binary offset carrier (BOC) modulation signal is proposed. Since the main lobe of power spectrum of BOC modulation signal is similar to the BPSK manner, the upper and the lower sideband main lobe signals in BOC modulation signal received are filtered separately, moved to the center frequency and overlapped in the algorithm, so that the correlation processing is implemented with the local signal for the synchronization acquisition. The results of simulation and analysis show that the algorithm can implement the correct signal acquisition, and the acquisition accuracy and performance are superior to the side-band and the BPSK-like acquisition algorithms.

Key words: frequency domain acquisition; binary offset carrier (BOC) modulation; main lobe overlapped

引 言

卫星导航系统已经广泛应用于军事和民用领域。由于大量的应用造成在特定频率上的相互干扰,为此提出了二进制偏移载波(Binary offset carrier,BOC)调制方式^[1]。该调制方式已经被美国的GPS以及欧盟正在建设的Galileo系统所采用,它实现了频谱分离,充分利用了现有的频段资源,具有比传统二相相移键控(Binary phase shift keying,BPSK)调制方式更好的相关性能,可以提高测距精度;其自相关函数相对相同码速率的BPSK调制方式更陡峭,进而提高了码跟踪精度及更好的分

辨能力。然而BOC调制信号独有的特性却为有效的同步捕获接收提出了挑战,为此同步捕获技术或算法研究成为了关键。

目前,研究者提出了较多基于BOC调制信号的同步捕获算法^[2-4],并在此基础上还提出了相对较有效的算法,如双/单边带算法^[5]、BPSK-like算法^[6-7]等。其中,双边带算法利用了信号全部能量,对捕获处理会造成冗余;单边带算法解决了此问题,但是亚载波相位估计误差将会造成捕获精度的下降;BPSK-like算法对接收信号进行前端处理,实现了捕获信号的单峰特性,但由于前端处理造成信号能量出现不同程度的损失,导致捕获精度下降,同时也增加了算法软件与硬件实现的复杂度。

基金项目:国家自然科学基金(60802031)资助项目;辽宁省高校创新团队计划(LT2011005)资助项目;教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目。

收稿日期:2010-06-21;**修订日期:**2011-05-24

考虑现有方法的不足或局限,许多学者开展了关于BOC调制信号同步方法的研究,也相继提出了较有效的方法,但大多是考虑Doppler频移、伪码搜索范围大等特点,重点从时间角度着手提出的快速捕获方法。考虑到BOC调制信号频谱特性,主峰捕获势必成为研究的重点。

1 BOC调制机理

BOC调制信号是由-1和1两值的伪随机码和未经滤波的亚载波相乘得到,可以表示为 $BOC(f_s, f_c)$ 。即,伪随机码、亚载波的速率分别是基准速率的 f_c 倍和 f_s 倍(基准速率选择1.023 MHz), $BOC(f_s, f_c)$ 调制指的是将速率为 $R_c = f_c \cdot 1.023$ MHz的伪随机码信号调制到速率为 $R_s = f_s \cdot 1.023$ MHz的亚载波上,其效果是将伪随机码的频谱主瓣分裂到距离中心频率为 $\pm R_c$ 的两个频点上去^[8-9]。

BOC调制可以实现频段共用及频谱分离,即有效利用了现有的频率资源,又降低互扰。在实际通信过程中, f_c 和 f_s 的取值需根据系统要求决定。图1所示为 $BOC(10,5)$ 、 $BOC(5,2)$ 的功率谱密度,从图中可以明显看出BOC调制信号的频谱主瓣已经搬移到亚载波频率 f_s 处。由于亚载波的影响,BOC调制信号的自相关函数具有多个峰值。图2所示为 $BOC(10,5)$ 、 $BOC(5,2)$ 的归一化自相关函数,这种多峰特性给BOC调制信号的捕获带来了很大的困难。如何处理或避免多峰特性造成的BOC调制信号捕获模糊性问题成为BOC调制信号同步处理的研究重点,因此在对BOC调制信号进行同步捕获时需要采取特殊的算法,来抑制副峰对捕获结果的影响。

2 新的频域主瓣叠加算法

实际上,在处理BOC调制信号自相关函数的多峰特性问题上,利用其独有的功率谱近似BPSK

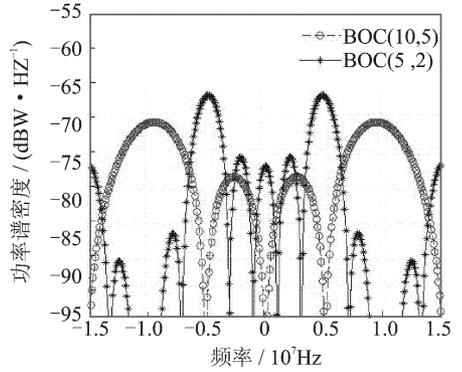


图1 BOC(10,5),BOC(5,2)功率谱密度

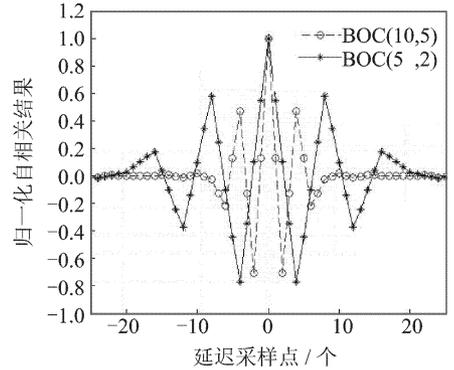


图2 BOC(5,2),BOC(10,5)归一化自相关函数

的方法,其捕获效果是相对较好的。本文以此为出发点,对同步捕获技术进行了改进,提出了一种新的频域主瓣叠加捕获算法。

2.1 算法机理

频域主瓣叠加算法利用BOC调制信号功率谱主瓣与BPSK信号功率谱的相似性,在捕获阶段对接收的BOC调制信号进行上、下边带主瓣滤取,将两主瓣信号分别搬移到中心频率,实现两路信号叠加,使其形状更类似于BPSK信号功率谱,再与本地伪码(不含亚载波)进行相关处理,进而改善信号的捕获模糊度,提高捕获精度,算法机理如图3所示。

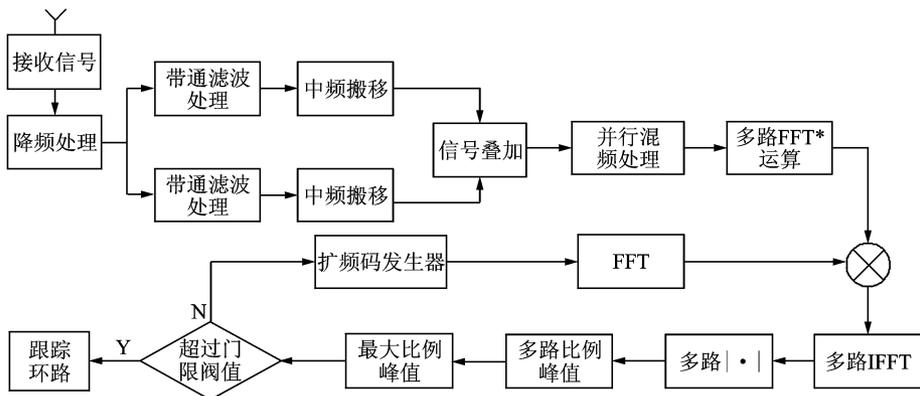


图3 频域主瓣叠加捕获算法机理

2.2 算法描述

基于BOC调制信号的频域主瓣叠加捕获算法流程,如图4所示。

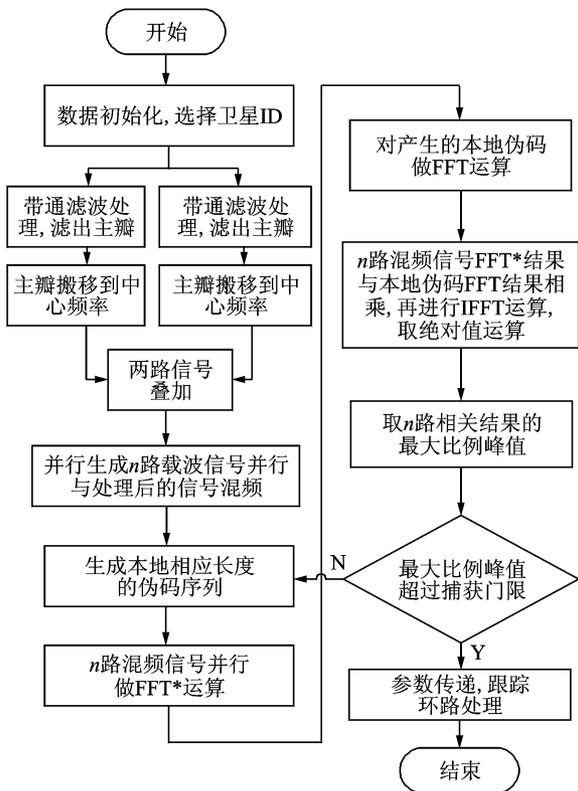


图4 频域主瓣叠加捕获算法流程

(1) 对接收信号进行降频、采样处理, 记作 $R(n)$;

(2) 对 $R(n)$ 进行两路带通滤波处理, 滤出 $R(n)$ 信号的上、下边带功率谱的主瓣部分, 分别记为 $R_1(n)$ 和 $R_2(n)$;

(3) 将 $R_1(n)$ 和 $R_2(n)$ 分别与 $\exp^{-j2\pi f_s t}$, $\exp^{j2\pi f_s t}$ 对应相乘处理, 实现信号主瓣的中频搬移, 两路结果分别记作 $L_1(n)$ 和 $L_2(n)$;

(4) 将 $L_1(n)$, $L_2(n)$ 两路信号主瓣叠加在一起, 记作 $X(n)$;

(5) 以载波频率为中心, 以相应的步进量生成本地 n 路载波信号, 并与 $X(n)$ 混频, 实现并行多普勒补偿;

(6) 依据伪随机码产生机理, 产生相应的伪随机码序列, 记作 $PN(n)$;

(7) 对第(6)步的 n 路补偿结果进行 FFT 运算, 并取复共轭;

(8) 对 $PN(n)$ 进行采样处理后, 进行 FFT 运

算;

(9) 将(7)和(8)的输出结果并行相乘处理, 并做 IFFT 处理, 再取绝对值运算, 结果记作 $K(n)$;

(10) 获取 $K(n)$ 中输出相关结果中的最大比例峰值;

(11) 进行最大比例峰值捕获门限判决, 若结果为“Y”, 即同步捕获成功, 继而进入后续的跟踪环路; 若结果为“N”, 调整本地伪随机码, 执行(6), 重新进行捕获。

3 仿真与分析

接收信号源以 BOC(10, 5) 为例, 分别对不同伪随机码偏移、相同信噪比和载波偏移情况下, 不同载波偏移、相同信噪比和伪随机码偏移情况下, 以及不同信噪比、相同伪随机码偏移和载波偏移情况下, 对新的频域主瓣叠加捕获算法进行仿真测试。仿真中, 信号中心频率设置为 40.92 MHz, 采样频率设置 163.68 MHz, Doppler 搜索范围为 ± 2 kHz, 相关积累时间为 3 ms, 捕获门限 12。具体的仿真结果如表 1-3 所示。

从表中结果可以看出, 新的频域主瓣叠加捕获算法在以上 3 种情况下, 均能实现 BOC 调制信号的正确捕获。表 1 中, 对不同伪随机码偏移的接收信号, 捕获环路通过新的频域主瓣叠加捕获算法能正确获得码片偏差, 并使其控制在一个码片范围内; 表 2 中, 对不同载波偏移的接收信号, 捕获环路通过算法中多普勒补偿方法能正确获得载波的偏移量; 表 3 中, 在不同信噪比环境下, 新的频域主瓣叠加捕获算法能够完成信号的正确捕获。

进一步, 将新的频域主瓣叠加捕获算法与现有算法进行对比。图 8 为新算法与现有边带捕获算法的相关函数对比图, 可见新算法很好地去除了 BOC 调制信号自相关函数多峰的影响, 实现了相关函数的单峰性, 使捕获结果无错锁; 与 BPSK-like 算法相比, 新算法采用叠加的方式实现了信号的能量补偿, 较好地提高了捕获精度, 使捕获性能提升, 图 9 表明在不同的信噪比、相同伪随机码偏移和载波偏移情况下, 新算法捕获比例峰值要明显高于 BPSK-like 算法。

通过以上仿真与对比可以发现, 新的频域主瓣叠加捕获算法不但很好地去除了自相关函数的多峰特性, 在正确捕获相关结果的同时, 减少了信号的能量损失, 提高了捕获精度。

表 1 频域主瓣叠加捕获算法仿真测试 1

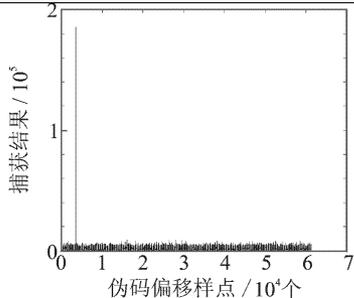
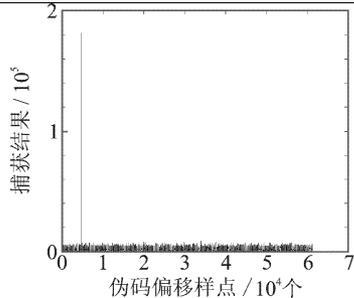
不同伪随机码偏移、 相同信噪比和载波偏移		载波偏移:963 Hz 信噪比:-12 dB	
		伪码偏移:900	伪码偏移:1200
捕获 效果图			
捕获结果	图 5(a) BOC 调制信号捕获效果图 捕获比例峰值:109.09 捕获载频:960 Hz 捕获伪码偏移:900	图 5(b) BOC 调制信号捕获效果图 捕获比例峰值:105.83 捕获载频:960 Hz 捕获伪码偏移:1200	

表 2 频域主瓣叠加捕获算法仿真测试 2

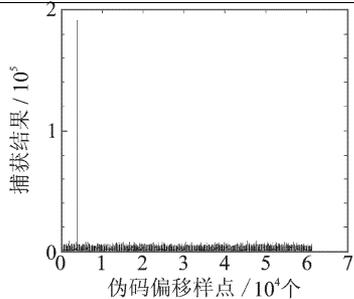
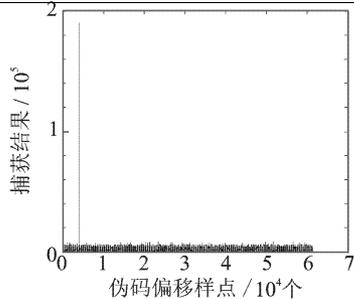
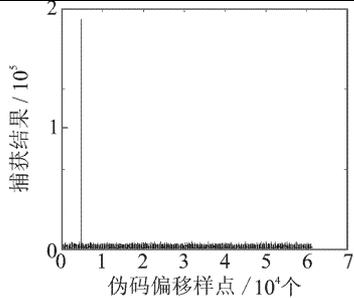
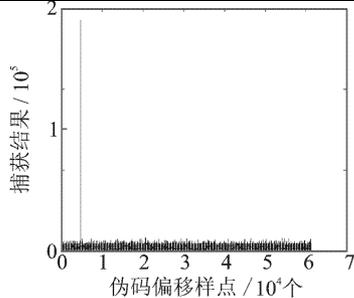
不同载波偏移,相同 信噪比和伪随机码偏移		伪码偏移:1000 信噪比:-12 dB	
		载波偏移:778 Hz	载波偏移:982 Hz
捕获 效果图			
捕获结果	图 6(a) BOC 调制信号捕获效果图 捕获比例峰值:109.3 捕获载频:780 Hz 捕获伪码偏移:1000	图 6(b) BOC 调制信号捕获效果图 捕获比例峰值:109.73 捕获载频:980 Hz 捕获伪码偏移:1000	

表 3 频域主瓣叠加捕获算法仿真测试 3

不同信噪比,相同伪 随机码偏移和载波偏移		伪码偏移:1200 载波偏移:878 Hz	
		信噪比:-1 dB	信噪比:-12 dB
捕获 效果图			
捕获结果	图 7(a) BOC 调制信号捕获效果图 捕获比例峰值:141.07 捕获载频:880 Hz 捕获伪码偏移:1200	图 7(b) BOC 调制信号捕获效果图 捕获比例峰值:90.341 捕获载频:880 Hz 捕获伪码偏移:1200	

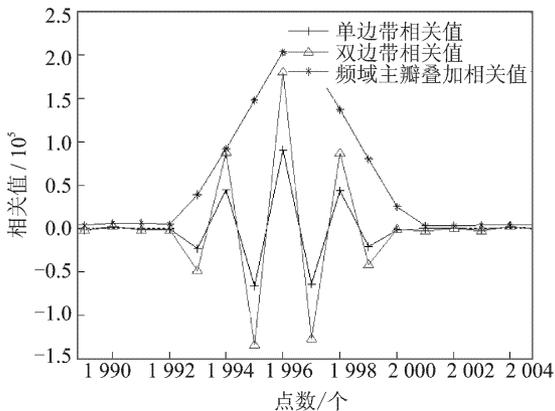


图8 频域主瓣叠加算法与现有边带算法相关值

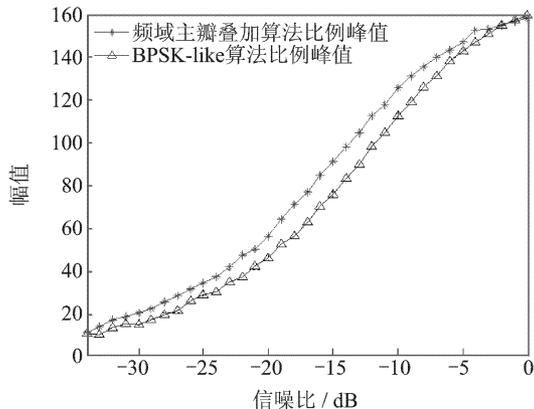


图9 频域主瓣叠加算法与BPSK-like算法比例峰值

4 结束语

本文在深入研究BOC调制信号机理、特性的基础上,针对独有的BOC调制信号自相关函数多峰特性对捕获环路的影响,在分析现有捕获算法的不足和局限的基础上,提出了新的频域主瓣叠加捕获算法,该算法能够实现正确的同步捕获,其性能优于现有的边带以及BPSK-like算法。

参考文献:

- [1] Lohan E S, Lakhzouri A, Renfors M. Binary-offset-carrier modulation techniques with applications in satellite navigation systems[J]. *Wireless Communications & Mobile Computing*, 2007, 7(6): 767-779.
- [2] Wilde W D, Sleewaegen J M, Simsky A. New fast signal acquisition unit for GPS/galileo receivers [C]//European Navigation Conference GNSS. Manchester:[s. n.], 2006: 1-11.

- [3] Chen S, Thiel K H, Kleusberg A. Implementation and analysis of acquisition and tracking algorithms for BOC signals[C]//the 19th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation ION GNSS. Texas: Fort Worth Convention Center, 2006: 1821-1829.
- [4] 杨东凯,刘宪阳.低信噪比条件下BOC信号的快捕算法研究[J].*中山大学学报*,2008,29(3):281-284.
Yang Dongkai, Liu Xianyang. Research of fast acquisition algorithms for BOC signals under lower SNR[J]. *Journal of Sun Yat-Sen University of China*, 2008,29(3):281-284.
- [5] 刘芳,田明浩,冯永新,等.基于BOC调制长码信号的直捕算法[J].*信息与控制*,2009,38(4):484-489.
Liu Fang, Tian Minghao, Feng Yongxin, et al. A direct acquisition algorithm based on BOC modulated long code [J]. *Information and Control*, 2009, 38(4):484-489.
- [6] Martin N, Leblond V, Guillotel G, et al. BOC(x,y) signal acquisition techniques and performances[C]//the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation(ION GPS/GNSS 2003). Oregon Convention Center:[s. n.], 2003: 188-198.
- [7] Lohan E S. Statistical analysis of BPSK-like techniques for the acquisition of Galileo Signals[J]. *AIAA Journal of Aerospace Computing Information and Communication*, 2006,3(5): 234-243.
- [8] Lohan E S, Lakhzouri A, Renfors M. Complex double binary offset carrier modulation for a unitary characterization of Galileo and GPS signals [C]//Radar Sonar and Navigation. Providence, Rhode Island; IEEE Computer Society Press, 2006, 153(5): 403-408.
- [9] Amin B. Jitter analysis of QPSK and BOC(n,n) GNSS signals[C]//the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GNSS. Texas: Fort Worth Convention Center, 2007: 1543-1548.

作者简介:冯永新(1974-),女,博士,教授,研究方向:扩频通信技术、分布式仿真,E-mail:fengyongxin@263.net;徐美荣(1985-),女,硕士研究生,研究方向:扩频通信技术;刘宪涛(1983-),男,工程师,研究方向:扩频通信技术、数字信号处理;刘芳(1979-),女,博士,副教授,研究方向:卫星定位与组合导航、扩频通信技术。