



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110208822 B

(45) 授权公告日 2021.06.11

(21) 申请号 201910452270.9

G01S 19/25 (2010.01)

(22) 申请日 2019.05.28

G01S 19/29 (2010.01)

G01S 19/30 (2010.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110208822 A

(56) 对比文件

CN 103167473 A, 2013.06.19

CN 109417746 A, 2019.03.01

CN 106131848 A, 2016.11.16

(43) 申请公布日 2019.09.06

(73) 专利权人 西安空间无线电技术研究所

地址 710100 陕西省西安市西街150号

审查员 杨娜

(72) 发明人 蒙艳松 严涛 周昀 王瑛

雷文英 王国永 边朗

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心

11009

代理人 马全亮

(51) Int. Cl.

G01S 19/05 (2010.01)

G01S 19/10 (2010.01)

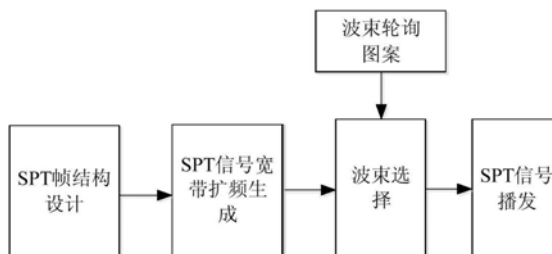
权利要求书3页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于低轨移动通信卫星的通信方法

(57) 摘要

一种基于低轨移动通信卫星的通信方法,生成安全定位授时的低轨移动通信卫星信号并进行通信;该信号具有如下特征:时域结构:该通信卫星信号在时域采用时分复用体制;频域结构:该通信卫星信号在频域采用频分复用体制;该通信卫星信号为多波束多色复用体制,每个波束根据需要使用一个或者多个子频带,同时满足相邻波束的多色复用,以降低波束间干扰;该通信卫星信号中至少有一个子频带,用于播发寻呼信道信号,即PCH信号;该通信卫星信号的子频带,除去播发PCH信号的,剩余的可用于宽带扩频的安全定位授时SPT信号,SPT信号在播发PCH信号的 N_{PCH} 个时隙中播发。本发明设计通信导航融合SPT信号体制,实现定位授时以及抗干扰能力提升。



1. 一种基于低轨移动通信卫星的通信方法,其特征在于:生成安全定位授时的低轨移动通信卫星信号,使用所述安全定位授时的低轨移动通信卫星信号进行通信;该通信卫星信号具有如下特征:

时域结构:该通信卫星信号在时域采用时分复用体制,以基本帧、时隙进行通信业务;信号以 T_F 为一个基本帧长,每个基本帧分为 N_{slot} 个时隙,每个时隙长度为 $T_{slot} = T_F / N_{slot}$;

频域结构:该通信卫星信号在频域采用频分复用体制,整个下行频带占据带宽 BW ,划分为 $N_{subband}$ 个 $BW_{subband} = BW / N_{subband}$ 的子频带,每一个子频带根据需要划分为多个载波间隔;

该通信卫星信号为多波束多色复用体制,每个波束根据需要需要使用一个或者多个子频带,同时满足相邻波束的多色复用,以降低波束间干扰;

该通信卫星信号中至少有一个子频带,用于播发寻呼信道信号,即PCH信号;PCH信号是单向下行信号,用于下行同步、被叫寻呼以及广播信息,固定在一个子频带播发;PCH信号使用一个基本帧的 N_{PCH} 个时隙,PCH信号的帧长度为 $T_{PCH} = N_{PCH} \cdot T_{slot}$;

该通信卫星信号子频带,除去播发PCH信号的,剩余的可用于宽带扩频的安全定位授时SPT信号,SPT信号在播发PCH信号的 N_{PCH} 个时隙中播发;

所述SPT信号,通过以下方法得到:

(1) 设计SPT信号帧结构:在播发PCH信号的 N_{PCH} 个时隙中,不播发其他控制信息和业务信息,SPT信号的帧长受限于PCH信号的帧长,通过引入宽带扩频伪随机码PRN,实现测距、定位和授时功能;

所述的SPT信号帧结构,具体为:

(1.1) PCH信号使用频率最低或者频率最高的子频带,即PCH信号位于整个 BW 带宽的边上,SPT信号使用剩下的 $BW - BW_{subband}$ 频带;每一个基本帧长 T_F ,PCH信号占用 T_{PCH} ,使用每个基本帧的 N_{PCH} 个时隙播发,SPT信号也在这 N_{PCH} 个时隙内播发;

(1.2) SPT信号帧长为 T_{SPT} , $T_{SPT} \leq T_{PCH}$,由连续波 CW 和宽带扩频PRN两部分组成,连续波 CW 用于信号捕获,宽带扩频PRN码部分用于测量以及SPT信号的电文播发;

(1.3) 连续波 CW 的长度为 T_{CW} , $0 \leq T_{CW} \leq 1/2 T_{SPT}$,当 $T_{CW} = 0$ 时,SPT信号不含 CW ;

(1.4) 宽带扩频PRN码部分时长 $T_{PRN} = T_{SPT} - T_{CW}$;

(2) SPT信号宽带扩频生成:按照设计的SPT信号帧结构,生成扩频码,进行宽带扩频调制与SPT信号组帧;

所述的SPT信号宽带扩频生成,通过以下方法得到:

(2.1) 生成SPT信号的扩频PRN码,包括导频PRN码和数据PRN码;

PRN码速率为 R_c ,码片宽度为 $T_c = 1/R_c$,PRN码信号的带宽不大于 $BW - BW_{subband}$,即 $2R_c \leq BW - BW_{subband}$,导频PRN码序列 $\{c_{p,i}\}$ 长度为 N_p 个码片,调制SPT信号电文后的数据PRN码序列 $\{c_{d,i}\}$ 长度为 N_d 个码片;

(2.2) 生成 CW 基带信号的全1或者全-1序列;

CW 的长度等于 N_{CW} 个码片宽度,基带等价于一个全1或者全-1的序列 $\{c_{CW,i}\}$,可以选择 $c_{CW,i} = 1, i = 0, \dots, N_{CW} - 1$;

(2.3) SPT信号的 CW 、导频PRN码和数据PRN码进行时分,有 $(N_{CW} + N_p + N_d) T_c = T_{SPT}$,SPT信号的基带表示 $s_{SPT}(t)$ 为:

$$s_{SPT}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{CW}-1} c_{CW,i} p(t-i \cdot T_c), 0 \leq t < N_{CW} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{p,i} p(t-i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c), N_{CW} \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_p) \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_d-1} c_{d,i} p(t-i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c - N_p \cdot T_c), (N_{CW} + N_p) \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_p + N_d) \cdot T_c \end{cases}$$

式中, $p(t)$ 是宽度为 T_c 的矩形函数, $p(t)$ 定义为:

$$p(t) = \begin{cases} 1, 0 \leq t < T_c \\ 0, \text{其他} \end{cases};$$

(2.4) SPT信号的基带表示 $s_{SPT}(t)$ 经一个对称的FIR低通滤波器进行滤波, $s_{SPT}(t)$ 低通滤波后记为 $\hat{s}_{SPT}(t)$;

(3) 设计波束轮询图案: SPT信号在多个波束进行时分轮询播发, 轮询方式由波束轮询图案决定;

(4) 波束选择与SPT信号播发: 将生成的SPT信号帧, 通过数字波束成形, 在对应的波束进行播发。

2. 根据权利要求1所述的一种基于低轨移动通信卫星的通信方法, 其特征在于: 同一个通信卫星下不同波束间PCH信号采用时分轮询的方式播发, 以避免波束间的同频干扰; SPT信号也在波束间进行时分轮询播发, 以避免波束间的同频干扰。

3. 根据权利要求1所述的一种基于低轨移动通信卫星的通信方法, 其特征在于: 所述的SPT信号宽带扩频生成, 还可以通过以下方法得到:

(2.1) 生成SPT信号的扩频PRN码, 包括导频PRN码和数据PRN码;

PRN码速率为 R_c , 码片宽度为 $T_c = 1/R_c$; PRN码信号的带宽不大于 $BW - BW_{\text{subband}}$, 即 $2R_c \leq BW - BW_{\text{subband}}$; 导频PRN码序列 $\{c_{p,i}\}$ 长度为 $N_{p,d}$ 个码片, 调制SPT电文后的数据PRN码序列 $\{c_{d,i}\}$ 长度为 $N_{p,d}$ 个码片;

(2.2) 生成CW基带信号的全1或者全-1序列;

CW的长度等于 N_{CW} 个码片宽度, 基带等价于一个全1或者全-1的序列 $\{c_{CW,i}\}$, $c_{CW,i} = 1, i = 0, \dots, N_{CW} - 1$;

(2.3) SPT信号的导频PRN码和数据PRN码位于正交支路上, 与CW进行时分, 有 $(N_{CW} + N_{p,d}) T_c = T_{SPT}$, SPT信号的基带表示 $s_{SPT}(t)$ 为:

$$s_{SPT}(t) = s_{SPT,I}(t) + js_{SPT,Q}(t)$$

式中, $s_{SPT,I}(t)$ 是I支路信号, $s_{SPT,Q}(t)$ 是Q支路信号, 分别表示为:

$$s_{SPT,I}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{CW}-1} c_{CW,i} p(t-i \cdot T_c), 0 \leq t < N_{CW} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{p,i} p(t-i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c), N_{CW} \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_{p,d}) \cdot T_c \end{cases}$$

$$s_{SPT,Q}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{CW}-1} c_{CW,i} p(t-i \cdot T_c), 0 \leq t < N_{CW} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{d,i} p(t-i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c), N_{CW} \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_{p,d}) \cdot T_c \end{cases}$$

(2.4) I支路信号 $s_{SPT,I}(t)$ 和Q支路信号 $s_{SPT,Q}(t)$ 经同一个FIR低通滤波器进行滤波,滤波后的分别为 $\hat{s}_{SPT,I}(t)$ 和 $\hat{s}_{SPT,Q}(t)$,低通滤波后记为 $\hat{s}_{SPT}(t)=\hat{s}_{SPT,I}(t)+j\hat{s}_{SPT,Q}(t)$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种基于低轨移动通信卫星的通信方法,其特征在于:所述的设计波束轮询图案,通过以下方法得到:

(3.1) 低轨移动通信卫星共有 N_{beam} 个波束,平均分为 N_{Group} 组,每组有 N 个波束, $N=N_{\text{beam}}/N_{\text{Group}}$;为了缩短SPT信号的轮询间隔,同时播发 N_{Group} 个SPT信号,每个SPT信号在 N 个波束中进行时分轮询;

(3.2) SPT信号按照预设方式,在 N 个波束间依次轮询,波束轮询图案为:波束1、波束2、...、波束 N 、波束1、波束2、...、波束 N 、...;

(3.3) 从一个波束来看,每隔 $N \cdot T_F$ 时间,播发一个长为 T_{SPT} 的SPT信号帧,时域占空比为 $T_{SPT}/(N \cdot T_F)$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种基于低轨移动通信卫星的通信方法,其特征在于:所述的设计波束轮询图案,通过以下方法得到:

(3.1) 低轨移动通信卫星共有 N_{beam} 个波束,平均分为 N_{Group} 组,每组有 N 个波束, $N=N_{\text{beam}}/N_{\text{Group}}$;为了缩短SPT信号的轮询间隔,同时播发 N_{Group} 个SPT信号,每个SPT信号在 N 个波束中进行时分轮询;

(3.2) SPT信号按照随机方式,在 N 个波束间随机时分轮询;波束轮询图案由一个伪随机数发生器控制,每一个SPT信号,伪随机数发生器输出一个处于1到 N 的数 n_{beam} ;

(3.3) 从一个波束来看,SPT信号出现的间隔是随机不等的,等效于引入了跳时特性。

6. 根据权利要求1所述的一种基于低轨移动通信卫星的通信方法,其特征在于:所述的波束选择与SPT信号播发,通过以下方法得到:

(4.1) 根据波束轮询图案,选择播发SPT信号的波束为波束 n_{beam} ;

(4.2) 调整数字波束成形DBF系数,将SPT信号调制到波束 n_{beam} ;

(4.3) 先后经过DAC、上变频、放大后,经多波束天线进行播发。

一种基于低轨移动通信卫星的通信方法

技术领域

[0001] 本发明属于卫星导航领域,主要涉及一种基于抗干扰安全定位授时的低轨移动通信卫星信号的通信方法。

背景技术

[0002] 随着全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System,GNSS)发展,目前已形成四大GNSS的基本格局,基于GNSS的应用逐渐渗透到国民经济生活的方方面面,成为不可或缺的国家基础设施。同时,GNSS信号固有的“脆弱性”,如信号落地功率低、易受干扰、受欺骗等,引起人们的广泛关注。

[0003] 目前,国内外低轨卫星星座正蓬勃发展。低轨卫星具有轨道低的天然优势,且信号落地功率限制高于GNSS信号,能够弥补卫星导航信号的“脆弱性”。利用低轨移动通信卫星播发通导融合信号是一种有效手段,通信信号具有功率高、抗欺骗的优点,融合导航信号的测距授时能力,能够提供安全定位授时(Security Positioning and Timing,SPT),不仅能够辅助GNSS提升室内可用性,辅助提升GNSS能力,还可以在GNSS不可用时作为低精度的备份系统使用。

[0004] 首个计划基于低轨移动通信卫星提供定位授时信号的是高完好性GPS项目(或称为iGPS项目),iGPS计划利用下一代铱星(Iridium Next)低地球轨道通信卫星系统播发类GPS信号和GPS辅助增强信息,加快首次定位时间、直接获取军用码信号、提高定位精度和抗干扰能力。iGPS对原铱星信号进行了适应性改造,利用空闲的通信信道资源播发导航测距信号(专利号:US 7579987B2),但是其上行信号和下行信号采用同频时分结构,导航信号是不连续播发的,当通信业务繁忙时,定位授时功能可能中断。

[0005] 最终iGPS项目未在下一代铱星上实施,取而代之的是播发了一个卫星定位授时(Satellite Time and Location,STL)信号。STL是对铱星信号的寻呼信道进行了再设计,是一个25kHz符号速率,采用QPSK。寻呼信道频率可能为1626.104MHz,是对单向时隙20.32ms进行的改进。该专有的STL突发包括一个CW、一个PRN码序列,以及调制数据。STL突发平均每1.4s播发一次,在铱星多个波束中时分轮询播发。

[0006] STL信号体制设计受限于原有的铱星通信体制,为了减少对信号体制的影响,只是在原有铱星通信信号体制基础上,进行了一些小的改进。因此,STL信号是一个脉冲体制、低占空比、窄带(25kcps)的高功率信号。STL信号落地功率比GPS高30dB,可在室内使用,相比于GNSS信号,提升了信号可用性。但是,由于STL是窄带扩频脉冲信号,而GNSS是宽带扩频信号,STL信号本身的抗干扰能力提升有限。

[0007] 国内在基于低轨移动通信卫星的通导融合体制方面的研究还处在初始阶段,但在通信导航融合信号体制方面有一些成果。专利“一种利用iHCO通信卫星实现全球导航定位的方法”(专利号:CN 201310325604.9)利用iHCO通信卫星转发地面上上传的导航信号实现定位功能。专利“基于数字水印和压缩感知的导航信号通信方法”(专利号:CN 201410119558.1)通过压缩感知技术对隐藏有导航信号的水印图像压缩测量得到少量数

据,用此少量数据替代水印图像进行传输,实现导航信号的安全通信。专利“卫星导航通信一体化方法及系统”(专利号:CN 201410514108.2)给出一种卫星导航通信一体化方法,将导航信号与通信信号进行多载波调制,获得调制信号后发送。专利“广播定位信号生成方法、定位方法及装置”(专利号:CN 201010517356.4),则将测距扩频码隐藏在OFDM调制的通信信号中,实现定位功能。

[0008] 可以看到,上述专利通常是在通信信号中添加一个类似GNSS信号的导航信号,没有针对通信信号的特点进行设计。iGPS专利利用空闲的通信业务信道播发窄带PRN,定位授时功能没有保障;STL信号则是对铱星原有的单向时隙进行改进,是一种窄带脉冲扩频信号,自身抗干扰能力有限。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于:克服现有技术的不足,针对低轨移动通信卫星,提供一种基于抗干扰安全定位授时的低轨移动通信卫星信号的通信方法,设计通信导航融合SPT信号体制,实现定位授时以及抗干扰能力提升。

[0010] 本发明的技术解决方案是:

[0011] 一种基于低轨移动通信卫星的通信方法,生成安全定位授时的低轨移动通信卫星信号,使用所述安全定位授时的低轨移动通信卫星信号进行通信;该通信卫星信号具有如下特征:

[0012] 时域结构:该通信卫星信号在时域采用时分复用体制,以基本帧、时隙进行通信业务;信号以 T_F 为一个基本帧长,每个基本帧分为 N_{slot} 个时隙,每个时隙长度为 $T_{slot} = T_F / N_{slot}$;

[0013] 频域结构:该通信卫星信号在频域采用频分复用体制,整个下行频带占据带宽BW,划分为 $N_{subband}$ 个 $BW_{subband} = BW / N_{subband}$ 的子频带,每一个子频带根据需要划分为多个载波间隔;

[0014] 该通信卫星信号为多波束多色复用体制,每个波束根据需要使用一个或者多个子频带,同时满足相邻波束的多色复用,以降低波束间干扰;

[0015] 该通信卫星信号中至少有一个子频带,用于播发寻呼信道信号,即PCH信号;PCH信号是单向下行信号,用于下行同步、被叫寻呼以及广播信息,固定在一个子频带播发;PCH信号使用一个基本帧的 N_{PCH} 个时隙,PCH信号的帧长度为 $T_{PCH} = N_{PCH} \cdot T_{slot}$;

[0016] 该通信卫星信号子频带,除去播发PCH信号的,剩余的可用于宽带扩频的安全定位授时SPT信号,SPT信号在播发PCH信号的 N_{PCH} 个时隙中播发。

[0017] 同一个通信卫星下不同波束间PCH信号采用时分轮询的方式播发,以避免波束间的同频干扰。SPT信号也在波束间进行时分轮询播发,以避免波束间的同频干扰。

[0018] 所述SPT信号,通过以下方法得到:

[0019] (1) 设计SPT信号帧结构:在播发PCH信号的 N_{PCH} 个时隙中,不播发其他控制信息和业务信息,SPT信号的帧长受限于PCH信号的帧长,通过引入宽带扩频伪随机码PRN,实现测距、定位和授时功能;

[0020] (2) SPT信号宽带扩频生成:按照设计的SPT信号帧结构,生成扩频码,进行宽带扩频调制与SPT信号组帧;

[0021] (3) 设计波束轮询图案:SPT信号在多个波束进行时分轮询播发,轮询方式由波束

轮询图案决定；

[0022] (4) 波束选择与SPT信号播发：将生成的SPT信号帧，通过数字波束成形，在对应的波束进行播发。

[0023] 所述的SPT信号帧结构，具体为：

[0024] (1.1) PCH信号使用频率最低或者频率最高的子频带，即PCH信号位于整个BW带宽的边上，SPT信号使用剩下的 $BW - BW_{\text{subband}}$ 频带；每一个基本帧长 T_F ，PCH信号占用 T_{PCH} ，使用每个基本帧的 N_{PCH} 个时隙播发，SPT信号也在这 N_{PCH} 个时隙内播发；

[0025] (1.2) SPT信号帧长为 T_{SPT} ， $T_{\text{SPT}} \leq T_{\text{PCH}}$ ，由连续波CW和宽带扩频PRN两部分组成，连续波CW用于信号捕获，宽带扩频PRN码部分用于测量以及SPT信号的电文播发；

[0026] (1.3) 连续波CW的长度为 T_{CW} ， $0 \leq T_{\text{CW}} \leq 1/2 T_{\text{SPT}}$ ，当 $T_{\text{CW}} = 0$ 时，SPT信号不含CW；

[0027] (1.4) 宽带扩频PRN码部分时长 $T_{\text{PRN}} = T_{\text{SPT}} - T_{\text{CW}}$ 。

[0028] 所述的SPT信号宽带扩频生成，通过以下方法得到：

[0029] (2.1) 生成SPT信号的扩频PRN码，包括导频PRN码和数据PRN码；

[0030] PRN码速率为 R_c ，码片宽度为 $T_c = 1/R_c$ ，PRN码信号的带宽不大于 $BW - BW_{\text{subband}}$ ，即 $2R_c \leq BW - BW_{\text{subband}}$ ，导频PRN码序列 $\{c_{p,i}\}$ 长度为 N_p 个码片，调制SPT信号电文后的数据PRN码序列 $\{c_{d,i}\}$ 长度为 N_d 个码片。

[0031] (2.2) 生成CW基带信号的全1或者全-1序列；

[0032] CW的长度等于 N_{CW} 个码片宽度，基带等价于一个全1或者全-1的序列 $\{c_{\text{CW},i}\}$ ，可以选择 $c_{\text{CW},i} = 1, i = 0, \dots, N_{\text{CW}} - 1$ ；

[0033] (2.3) SPT信号的CW、导频PRN码和数据PRN码进行时分，有 $(N_{\text{CW}} + N_p + N_d) T_c = T_{\text{SPT}}$ ，SPT信号的基带表示 $s_{\text{SPT}}(t)$ 为：

$$[0034] \quad s_{\text{SPT}}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{\text{CW}}-1} c_{\text{CW},i} p(t - i \cdot T_c), & 0 \leq t < N_{\text{CW}} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{p,i} p(t - i \cdot T_c - N_{\text{CW}} \cdot T_c), & N_{\text{CW}} \cdot T_c \leq t < (N_{\text{CW}} + N_p) \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_d-1} c_{d,i} p(t - i \cdot T_c - N_{\text{CW}} \cdot T_c - N_p \cdot T_c), & (N_{\text{CW}} + N_p) \cdot T_c \leq t < (N_{\text{CW}} + N_p + N_d) \cdot T_c \end{cases}$$

[0035] 式中， $p(t)$ 是宽度为 T_c 的矩形函数， $p(t)$ 定义为：

$$[0036] \quad p(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < T_c \\ 0, & \text{其他} \end{cases} ;$$

[0037] (2.4) SPT信号的基带表示 $s_{\text{SPT}}(t)$ 经一个对称的FIR低通滤波器进行滤波， $s_{\text{SPT}}(t)$ 低通滤波后记为 $\hat{s}_{\text{SPT}}(t)$ 。

[0038] 所述的SPT信号宽带扩频生成，通过以下方法得到：

[0039] (2.1) 生成SPT信号的扩频PRN码，包括导频PRN码和数据PRN码；

[0040] PRN码速率为 R_c ，码片宽度为 $T_c = 1/R_c$ ；PRN码信号的带宽不大于 $BW - BW_{\text{subband}}$ ，即 $2R_c \leq BW - BW_{\text{subband}}$ ；导频PRN码序列 $\{c_{p,i}\}$ 长度为 $N_{p,d}$ 个码片，调制SPT电文后的数据PRN码序列 $\{c_{d,i}\}$ 长度为 $N_{p,d}$ 个码片；

[0041] (2.2) 生成CW基带信号的全1或者全-1序列；

[0042] CW的长度等于 N_{CW} 个码片宽度，基带等价于一个全1或者全-1的序列 $\{c_{\text{CW},i}\}$ ， $c_{\text{CW},i} =$

1, $i=0, \dots, N_{CW}-1$;

[0043] (2.3) SPT信号的导频PRN码和数据PRN码位于正交支路上,与CW进行时分,有 $(N_{CW} + N_{p,d})T_c = T_{SPT}$, SPT信号的基带表示 $s_{SPT}(t)$ 为:

[0044] $s_{SPT}(t) = s_{SPT,I}(t) + js_{SPT,Q}(t)$

[0045] 式中, $s_{SPT,I}(t)$ 是I支路信号, $s_{SPT,Q}(t)$ 是Q支路信号,分别表示为:

$$[0046] \quad s_{SPT,I}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{CW}-1} c_{CW,i} p(t-i \cdot T_c), & 0 \leq t < N_{CW} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{p,i} p(t-i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c), & N_{CW} \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_{p,d}) \cdot T_c \end{cases}$$

$$[0047] \quad s_{SPT,Q}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{CW}-1} c_{CW,i} p(t-i \cdot T_c), & 0 \leq t < N_{CW} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{d,i} p(t-i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c), & N_{CW} \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_{p,d}) \cdot T_c \end{cases}$$

[0048] (2.4) I支路信号 $s_{SPT,I}(t)$ 和Q支路信号 $s_{SPT,Q}(t)$ 经同一个FIR低通滤波器进行滤波,滤波后的分别为 $\hat{s}_{SPT,I}(t)$ 和 $\hat{s}_{SPT,Q}(t)$,低通滤波后记为 $\hat{s}_{SPT}(t) = \hat{s}_{SPT,I}(t) + j\hat{s}_{SPT,Q}(t)$ 。

[0049] 所述的设计波束轮询图案,通过以下方法得到:

[0050] (3.1) 低轨移动通信卫星共有 N_{beam} 个波束,平均分为 N_{Group} 组,每组有 N 个波束, $N = N_{beam}/N_{Group}$;为了缩短SPT信号的轮询间隔,同时播发 N_{Group} 个SPT信号,每个SPT信号在 N 个波束中进行时分轮询;

[0051] (3.2) SPT信号按照预设方式,在 N 个波束间依次轮询,波束轮询图案为:波束1、波束2、 \dots 、波束 N 、波束1、波束2、 \dots 、波束 N 、 \dots ;

[0052] (3.3) 从一个波束来看,每隔 $N \cdot T_F$ 时间,播发一个长为 T_{SPT} 的SPT信号帧,时域占空比为 $T_{SPT}/(N \cdot T_F)$ 。

[0053] 所述的设计波束轮询图案,通过以下方法得到:

[0054] (3.1) 低轨移动通信卫星共有 N_{beam} 个波束,平均分为 N_{Group} 组,每组有 N 个波束, $N = N_{beam}/N_{Group}$;为了缩短SPT信号的轮询间隔,同时播发 N_{Group} 个SPT信号,每个SPT信号在 N 个波束中进行时分轮询;

[0055] (3.2) SPT信号按照随机方式,在 N 个波束间随机时分轮询;波束轮询图案由一个伪随机数发生器控制,每一个SPT信号,伪随机数发生器输出一个处于1到 N 的数 n_{beam} ;

[0056] (3.3) 从一个波束来看,SPT信号出现的间隔是随机不等的,等效于引入了跳时特性。

[0057] 所述的波束选择与SPT信号播发,通过以下方法得到:

[0058] (4.1) 根据波束轮询图案,选择播发SPT信号的波束为波束 n_{beam} ;

[0059] (4.2) 调整数字波束成形DBF系数,将SPT信号调制到波束 n_{beam} ;

[0060] (4.3) 先后经过DAC、上变频、放大后,经多波束天线进行播发。

[0061] 本发明公开了一种基于低轨移动通信卫星的抗干扰导航信号体制,实现安全定位授时服务,能够与低轨移动通信信号深度融合,同现有的方法相比,本发明公开的方法具有如下优点:

[0062] (1) 本发明给出的SPT信号,针对低轨移动通信信号体制特点,在PCH信号播发的时

隙进行播发,能够充分利用卫星的功率、频率和时隙资源,不对通信业务造成影响。

[0063] (2) 本发明给出的SPT信号,采用宽带扩频体制,与窄带扩频体制相比,抗干扰能力显著提升。

[0064] (3) 本发明的SPT信号,采用了宽带扩频,码速率高,与窄带扩频体制相比,提升了测距性能和授时精度。

[0065] (4) 本发明通过设计SPT信号时分轮询图案,实现跳时+宽带扩频的结合,进一步提升信号的抗干扰性能。

附图说明

[0066] 图1为本发明公开的抗干扰SPT信号方案;

[0067] 图2为低轨移动通信卫星信号的时分结构

[0068] 图3为低轨移动通信卫星信号的频分结构

[0069] 图4为SPT信号与PCH信号的时域与频域关系示意图

[0070] 图5为SPT信号帧结构示意图

[0071] 图6为等间隔时分轮询图案示意图

[0072] 图7为随机时分轮询图案示意图

[0073] 图8为SPT信号生成与播发示意图。

具体实施方式

[0074] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0075] 本发明属于卫星导航领域,特别涉及一种基于低轨移动通信卫星的安全定位授时(Security Positioning and Timing, SPT)信号调制方法与生成方法。

[0076] 该发明基于的低轨移动通信卫星信号采用时分/频分/空分混合体制,即下行业务信号采用TDMA+FDMA+多波束体制,上行链路与下行链路也是频分的。

[0077] 为实现上述目的,本发明公开了一种基于具有抗干扰安全定位授时性能的低轨移动通信卫星信号的通信方法,如图1所示。

[0078] 生成安全定位授时的低轨移动通信卫星信号,使用所述安全定位授时的低轨移动通信卫星信号进行通信;该通信卫星信号具有如下特征:

[0079] 时域结构:该通信卫星信号在时域采用时分复用体制,以基本帧、时隙进行通信业务;信号以 T_F 为一个基本帧长,每个基本帧分为 N_{slot} 个时隙,每个时隙长度为 $T_{slot} = T_F / N_{slot}$;如图2所示。

[0080] 频域结构:该通信卫星信号在频域采用频分复用体制,整个下行频带占据带宽BW,划分为 $N_{subband}$ 个 $BW_{subband} = BW / N_{subband}$ 的子频带,每一个子频带根据需要划分为多个载波间隔;如图3所示。

[0081] 该通信卫星信号为多波束多色复用体制,每个波束根据需要需要使用一个或者多个子频带,同时满足相邻波束的多色复用,以降低波束间干扰;

[0082] 该通信卫星信号中至少有一个子频带,用于播发寻呼信道信号,即PCH信号;PCH信号是单向下行信号,用于下行同步、被叫寻呼以及广播信息,固定在一个子频带播发;PCH信号使用一个基本帧的 N_{PCH} 个时隙,PCH信号的帧长度为 $T_{PCH} = N_{PCH} \cdot T_{slot}$;为了避免波束间的

同频干扰,同一个卫星下不同波束间PCH信号采用时分轮询的方式播发。

[0083] 该通信卫星信号的子频带,除去播发PCH信号的,剩余的可用于宽带扩频的安全定位授时SPT信号,SPT信号在播发PCH信号的 N_{PCH} 个时隙中播发。SPT信号是一个宽带扩频,该宽带扩频SPT信号使用PCH信号子频带以外的子频带,具有定位授时能力,SPT信号也在波束间进行时分轮询播发,SPT信号与PCH信号的播发关系如图4所示。

[0084] 所述SPT信号,如图5所示,由连续波CW和PRN码两部分组成,可以通过两种方式得到:

[0085] 第一种方式:

[0086] (1) 设计SPT信号帧结构:在播发PCH信号的 N_{PCH} 个时隙中,不播发其他控制信息和业务信息,SPT信号的帧长受限于PCH信号的帧长,通过引入宽带扩频伪随机码PRN,实现测距、定位和授时功能;

[0087] SPT信号帧结构,具体为:

[0088] (1.1) PCH信号使用频率最低或者频率最高的子频带,即PCH信号位于整个BW带宽的边上,SPT信号使用剩下的 $BW - BW_{subband}$ 频带;每一个基本帧长 T_F ,PCH信号占用 T_{PCH} ,使用每个基本帧的 N_{PCH} 个时隙播发,SPT信号也在这 N_{PCH} 个时隙内播发;

[0089] (1.2) SPT信号帧长为 T_{SPT} , $T_{SPT} \leq T_{PCH}$,由连续波CW和宽带扩频PRN两部分组成,连续波CW用于信号捕获,宽带扩频PRN码部分用于测量以及SPT信号的电文播发;

[0090] (1.3) 连续波CW的长度为 T_{CW} , $0 \leq T_{CW} \leq 1/2 T_{SPT}$,当 $T_{CW} = 0$ 时,SPT信号不含CW;

[0091] (1.4) 宽带扩频PRN码部分时长 $T_{PRN} = T_{SPT} - T_{CW}$ 。

[0092] (2) SPT信号宽带扩频生成:按照设计的SPT信号帧结构,生成扩频码,进行宽带扩频调制与SPT信号组帧;

[0093] SPT信号宽带扩频生成,通过以下方法得到:

[0094] (2.1) 生成SPT信号的扩频PRN码,包括导频PRN码和数据PRN码;

[0095] PRN码速率为 R_c ,码片宽度为 $T_c = 1/R_c$,PRN码信号的带宽不大于 $BW - BW_{subband}$,即 $2R_c \leq BW - BW_{subband}$,导频PRN码序列 $\{c_{p,i}\}$ 长度为 N_p 个码片,调制SPT信号电文后的数据PRN码序列 $\{c_{d,i}\}$ 长度为 N_d 个码片。

[0096] (2.2) 生成CW基带信号的全1或者全-1序列;

[0097] CW的长度等于 N_{CW} 个码片宽度,基带等价于一个全1或者全-1的序列 $\{c_{CW,i}\}$,可以选择 $c_{CW,i} = 1, i = 0, \dots, N_{CW} - 1$;

[0098] (2.3) SPT信号的CW、导频PRN码和数据PRN码进行时分,有 $(N_{CW} + N_p + N_d) T_c = T_{SPT}$,SPT信号的基带表示 $s_{SPT}(t)$ 为:

$$[0099] \quad s_{SPT}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{CW}-1} c_{CW,i} p(t - i \cdot T_c), & 0 \leq t < N_{CW} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{p,i} p(t - i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c), & N_{CW} \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_p) \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_d-1} c_{d,i} p(t - i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c - N_p \cdot T_c), & (N_{CW} + N_p) \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_p + N_d) \cdot T_c \end{cases}$$

[0100] 式中, $p(t)$ 是宽度为 T_c 的矩形函数, $p(t)$ 定义为:

$$[0101] \quad p(t) = \begin{cases} 1, 0 \leq t < T_c \\ 0, \text{其他} \end{cases};$$

[0102] (2.4) SPT信号的基带表示 $s_{\text{SPT}}(t)$ 经一个对称的FIR低通滤波器进行滤波, $s_{\text{SPT}}(t)$ 低通滤波后记为 $\hat{s}_{\text{SPT}}(t)$ 。

[0103] 第二种方式:

[0104] SPT信号宽带扩频生成,通过以下方法得到:

[0105] (2.1) 生成SPT信号的扩频PRN码,包括导频PRN码和数据PRN码;

[0106] PRN码速率为 R_c ,码片宽度为 $T_c = 1/R_c$;PRN码信号的带宽不大于 $BW - BW_{\text{subband}}$,即 $2R_c \leq BW - BW_{\text{subband}}$;导频PRN码序列 $\{c_{p,i}\}$ 长度为 $N_{p,d}$ 个码片,调制SPT电文后的数据PRN码序列 $\{c_{d,i}\}$ 长度为 $N_{p,d}$ 个码片;

[0107] (2.2) 生成CW基带信号的全1或者全-1序列;

[0108] CW的长度等于 N_{CW} 个码片宽度,基带等价于一个全1或者全-1的序列 $\{c_{\text{CW},i}\}$, $c_{\text{CW},i} = 1, i = 0, \dots, N_{\text{CW}} - 1$;

[0109] (2.3) SPT信号的导频PRN码和数据PRN码位于正交支路上,与CW进行时分,有 $(N_{\text{CW}} + N_{p,d})T_c = T_{\text{SPT}}$,SPT信号的基带表示 $s_{\text{SPT}}(t)$ 为:

$$[0110] \quad s_{\text{SPT}}(t) = s_{\text{SPT},I}(t) + js_{\text{SPT},Q}(t)$$

[0111] 式中, $s_{\text{SPT},I}(t)$ 是I支路信号, $s_{\text{SPT},Q}(t)$ 是Q支路信号,分别表示为:

$$[0112] \quad s_{\text{SPT},I}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{\text{CW}}-1} c_{\text{CW},i} p(t - i \cdot T_c), 0 \leq t < N_{\text{CW}} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{p,i} p(t - i \cdot T_c - N_{\text{CW}} \cdot T_c), N_{\text{CW}} \cdot T_c \leq t < (N_{\text{CW}} + N_{p,d}) \cdot T_c \end{cases}$$

$$[0113] \quad s_{\text{SPT},Q}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{\text{CW}}-1} c_{\text{CW},i} p(t - i \cdot T_c), 0 \leq t < N_{\text{CW}} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{d,i} p(t - i \cdot T_c - N_{\text{CW}} \cdot T_c), N_{\text{CW}} \cdot T_c \leq t < (N_{\text{CW}} + N_{p,d}) \cdot T_c \end{cases}$$

[0114] (2.4) I支路信号 $s_{\text{SPT},I}(t)$ 和Q支路信号 $s_{\text{SPT},Q}(t)$ 经同一个FIR低通滤波器进行滤波,滤波后的分别为 $\hat{s}_{\text{SPT},I}(t)$ 和 $\hat{s}_{\text{SPT},Q}(t)$,低通滤波后记为 $\hat{s}_{\text{SPT}}(t) = \hat{s}_{\text{SPT},I}(t) + j\hat{s}_{\text{SPT},Q}(t)$ 。

[0115] (3) 设计波束轮询图案:SPT信号在多个波束进行时分轮询播发,轮询方式由波束轮询图案决定;

[0116] 波束轮询图案也有两种实现方案:

[0117] 第一种方案,如图6所示:

[0118] 设计波束轮询图案,通过以下方法得到:

[0119] (3.1) 低轨移动通信卫星共有 N_{beam} 个波束,平均分为 N_{Group} 组,每组有 N 个波束, $N = N_{\text{beam}}/N_{\text{Group}}$;为了缩短SPT信号的轮询间隔,同时播发 N_{Group} 个SPT信号,每个SPT信号在 N 个波束中进行时分轮询;

[0120] (3.2) SPT信号按照预设方式,在 N 个波束间依次轮询,波束轮询图案为:波束1、波束2、...、波束 N 、波束1、波束2、...、波束 N 、...;

[0121] (3.3) 从一个波束来看,每隔 $N \cdot T_F$ 时间,播发一个长为 T_{SPT} 的SPT信号帧,时域占空比为 $T_{\text{SPT}}/(N \cdot T_F)$ 。

[0122] 第二种方案,如图7所示:

[0123] 设计波束轮询图案,通过以下方法得到:

[0124] (3.1) 低轨移动通信卫星共有 N_{beam} 个波束,平均分为 N_{Group} 组,每组有 N 个波束, $N=N_{\text{beam}}/N_{\text{Group}}$;为了缩短SPT信号的轮询间隔,同时播发 N_{Group} 个SPT信号,每个SPT信号在 N 个波束中进行时分轮询;

[0125] (3.2) SPT信号按照随机方式,在 N 个波束间随机时分轮询;波束轮询图案由一个伪随机数发生器控制,每一个SPT信号,伪随机数发生器输出一个处于1到 N 的数 n_{beam} ;

[0126] (3.3) 从一个波束来看,SPT信号出现的间隔是随机不等的,等效于引入了跳时特性。

[0127] (4) 波束选择与SPT信号播发:将生成的SPT信号帧,通过数字波束成形,在对应的波束进行播发。

[0128] 波束选择与SPT信号播发,通过以下方法得到:

[0129] (4.1) 根据波束轮询图案,选择播发SPT信号的波束为波束 n_{beam} ;

[0130] (4.2) 调整数字波束成形DBF系数,将SPT信号调制到波束 n_{beam} ;

[0131] (4.3) 先后经过DAC、上变频、放大后,经多波束天线进行播发。

[0132] 综合信号生成与播发两个部分,SPT信号生成与播发示意图如图8所示。

[0133] 本发明上述方案给出的SPT信号,具有如下特点:

[0134] (1) 针对低轨移动通信信号体制特点,在PCH信号播发的时隙进行播发,能够充分利用卫星的功率、频率和时隙资源,不对通信业务造成影响。

[0135] (2) 本发明给出的SPT信号,采用宽带扩频体制,与窄带扩频体制相比,抗干扰能力显著提升。

[0136] (3) 本发明给出的SPT信号,采用了宽带扩频,码速率高,与窄带扩频体制相比,提升了测距性能和授时精度。

[0137] 本发明通过设计SPT信号时分轮询图案,实现跳时+宽带扩频的结合,进一步提升信号的抗干扰性能。

[0138] 本发明给出实施例如下:

[0139] 本发明公开的抗干扰安全定位授时低轨移动通信卫星信号体制操作步骤如下:

[0140] (1) 时域结构。

[0141] 信号以帧为单位,一个基本帧长为 $T_F=40\text{ms}$,一个帧等分为 $N_{\text{slot}}=20$ 时隙,一个时隙长度为 $T_{\text{slot}}=2\text{ms}$ 。

[0142] (2) 频域结构。

[0143] 通信信号在频域采用频分复用体制,整个下行频带占据带宽 $BW=6\text{MHz}$,划分为 $N_{\text{subband}}=40$ 个 $BW_{\text{subband}}=150\text{kHz}$ 的子频带,每一个子频带根据需要可以划分为多个更小的载波间隔,如划分为5个30kHz的载波间隔。

[0144] (3) 多波束天线多色复用体制

[0145] 低轨移动通信卫星共有 $N_{\text{beam}}=50$ 个波束,采用多色复用体制,每个波束根据需要使用一个或者多个150kHz子频带,同时满足相邻波束的多色复用,降低波束间干扰。

[0146] (4) 寻呼信道(PCH)信号。

[0147] PCH信号使用一个基本帧的 $N_{\text{PCH}}=8$ 个时隙,长度为 $T_{\text{PCH}}=16\text{ms}$,在每个基本帧的前

16ms播发。为了避免波束间的同频干扰,同一个卫星下不同波束间PCH信号采用时分轮询的方式播发。PCH信号使用频率最低的子频带150kHz,在5个载波中间的30kHz载波播发。

[0148] (5) 安全定位授时 (SPT) 信号。

[0149] SPT信号在播发PCH信号的8个时隙中播发,SPT信号是一个宽带扩频,该宽带扩频SPT信号使用PCH子频带以外的5.85MHz子频带,具有定位授时能力,SPT信号也在波束间进行时分轮询播发,方法如下:

[0150] 1) SPT信号帧结构。

[0151] SPT信号与PCH信号一致,也每个基本帧的前8个时隙播发,SPT信号帧长 $T_{SPT} = 16\text{ms}$ 。由连续波 (CW) 和宽带扩频PRN两部分组成,CW用于信号的快速捕获,宽带扩频PRN码部分用于精确测量以及SPT信号的电文播发。CW的长度为 $T_{CW} = 4\text{ms}$ 。

[0152] 2) SPT信号宽带扩频生成。

[0153] 宽带扩频PRN码部分的长度为12ms,分为导频PRN码和数据PRN码,导频和数据位于正交的两个支路上。PRN码速率为 $R_c = 2.046\text{Mcps}$,导频PRN码序列 $\{c_{p,i}\}$ 主码长度为 $N_{p,d} = 2046$ 个码片,调制SPT信号的电文后的数据PRN码序列 $\{c_{d,i}\}$ 主码长度也为2046个码片,一个主码周期是1ms,12ms为12个主码周期。

[0154] 生成CW基带信号的全1或者全-1序列。CW的长度等于 $N_{CW} = 8184$ 个码片宽度,基带等价于一个全1或者全-1的序列 $\{c_{CW,i}\}$, $c_{CW,i} = 1, i = 0, \dots, N_{CW} - 1$;

[0155] SPT信号的导频PRN码和数据PRN码,与CW进行时分,SPT信号的基带表示 $s_{SPT}(t)$ 为:

[0156] $s_{SPT}(t) = s_{SPT,I}(t) + js_{SPT,Q}(t)$

[0157] 式中, $s_{SPT,I}(t)$ 是I支路信号, $s_{SPT,Q}(t)$ 是Q支路信号,分别表示为:

$$[0158] \quad s_{SPT,I}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{CW}-1} c_{CW,i} p(t-i \cdot T_c), & 0 \leq t < N_{CW} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{p,i} p(t-i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c), & N_{CW} \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_{p,d}) \cdot T_c \end{cases}$$

$$[0159] \quad s_{SPT,Q}(t) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_{CW}-1} c_{CW,i} p(t-i \cdot T_c), & 0 \leq t < N_{CW} \cdot T_c \\ \sum_{i=0}^{N_p-1} c_{d,i} p(t-i \cdot T_c - N_{CW} \cdot T_c), & N_{CW} \cdot T_c \leq t < (N_{CW} + N_{p,d}) \cdot T_c \end{cases}$$

[0160] $s_{SPT,I}(t)$ 和 $s_{SPT,Q}(t)$ 经同一个FIR低通滤波器进行滤波,滤波后的分别为 $\hat{s}_{SPT,I}(t)$ 和 $\hat{s}_{SPT,Q}(t)$,低通滤波后记为 $\hat{s}_{SPT}(t) = \hat{s}_{SPT,I}(t) + j\hat{s}_{SPT,Q}(t)$

[0161] 3) 波束轮询图案设计。

[0162] 将低轨移动通信卫星的 $N_{\text{beam}} = 50$ 个波束,平均分为 $N_{\text{Group}} = 2$ 组,每组有 $N = 25$ 个波束,同时播发2个SPT信号,每个SPT信号在25个波束中进行时分轮询;波束轮询图案由一个伪随机数发生器控制,每一个SPT信号,伪随机数发生器输出一个处于1到25的数 n_{beam} ,SPT信号按照随机方式,在25个波束间轮询;从一个波束来看,SPT信号出现的间隔是随机不等的,等效于引入了跳时特性,平均接收到SPT信号的间隔为 $25 \times 40\text{ms} = 1\text{s}$ 。

[0163] 4) 波束选择与SPT信号播发。

[0164] 根据波束轮询图案,选择播发SPT信号的波束为波束 n_{beam} ;调整数字波束成形 (DBF) 系数,将SPT信号调制到波束 n_{beam} ;经DAC、上变频、放大后,经多波束天线进行播发。

[0165] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域技术人员的公知技术。

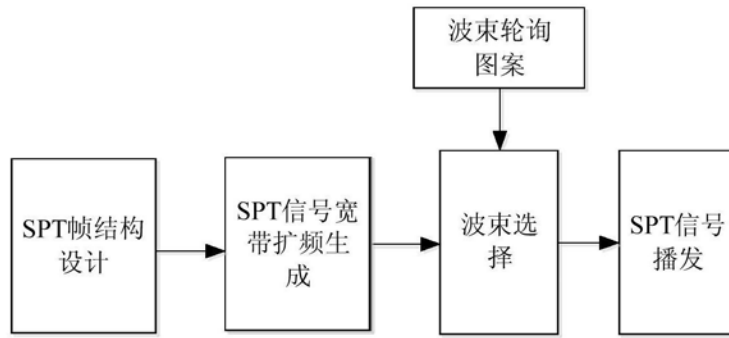


图1

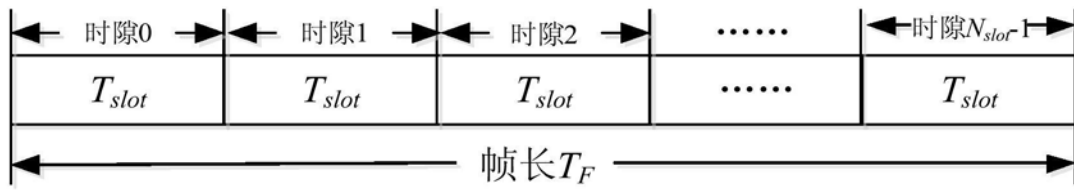


图2

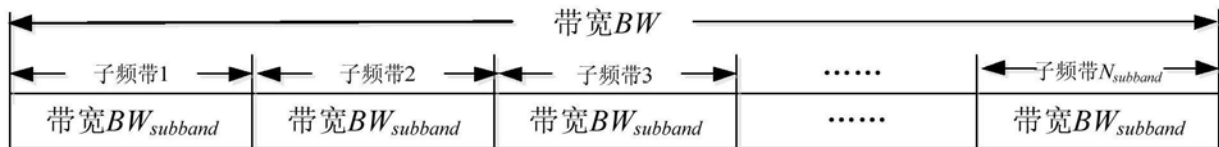


图3

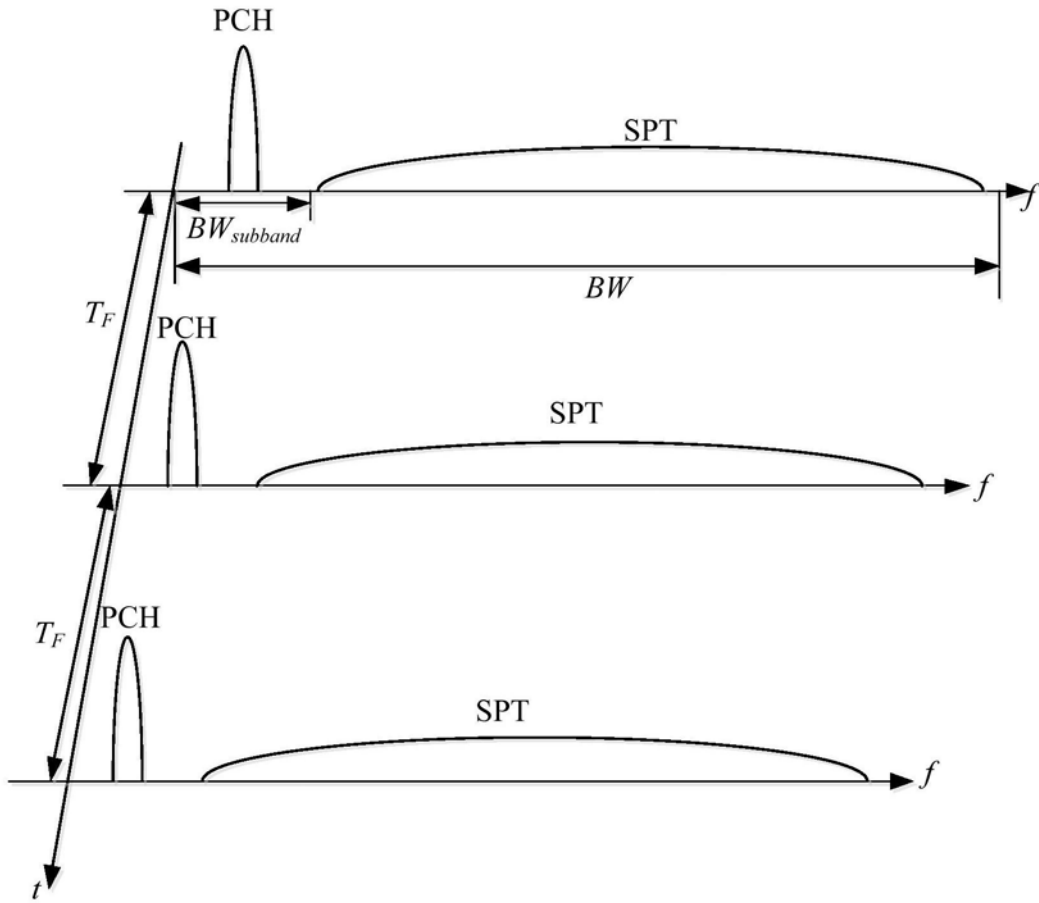


图4

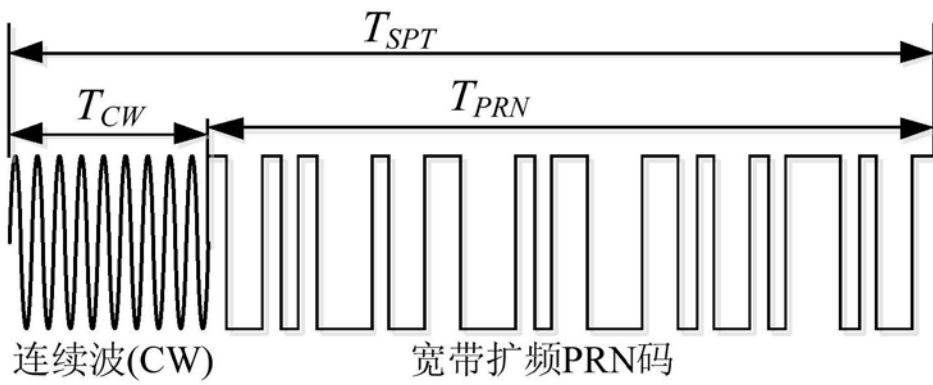


图5

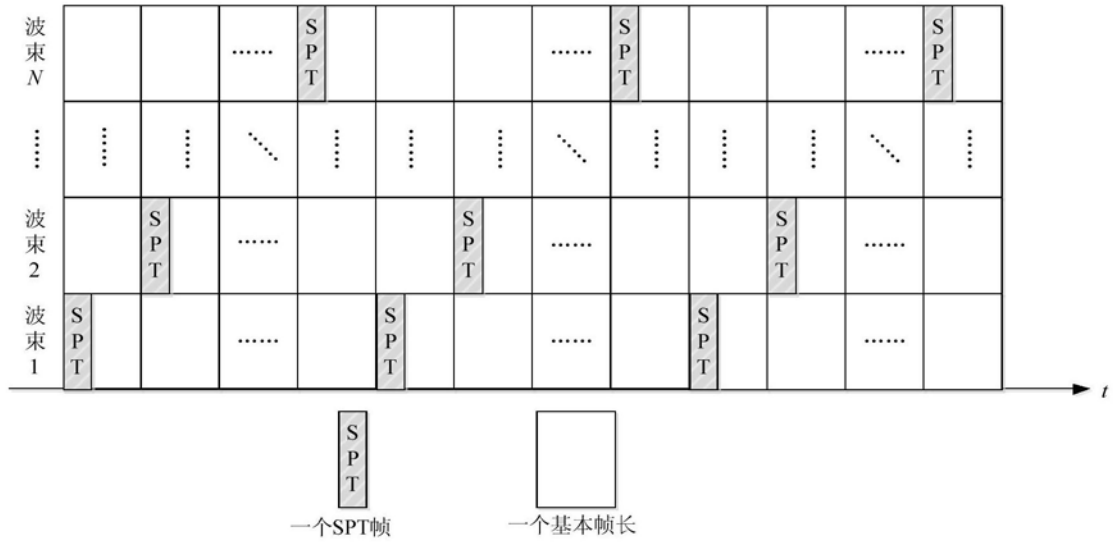


图6

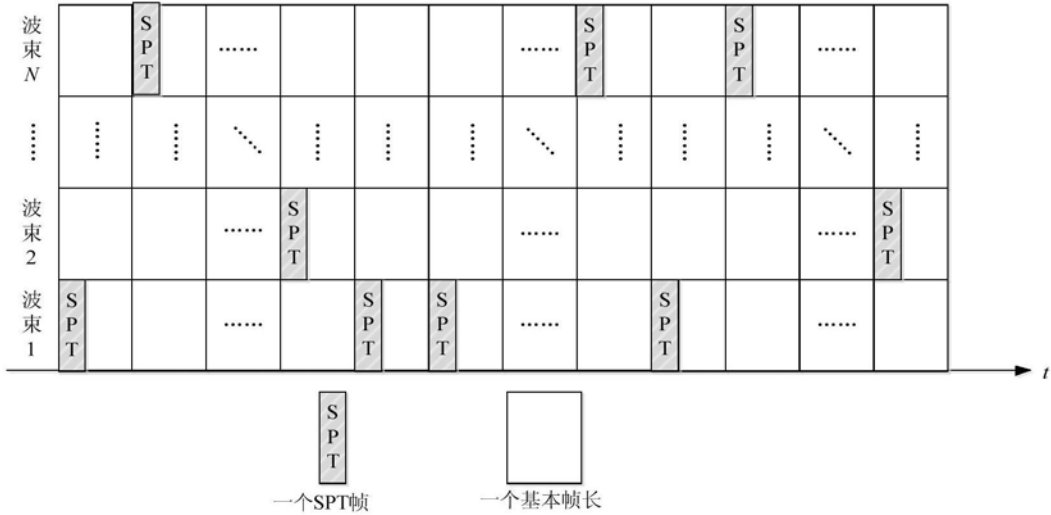


图7

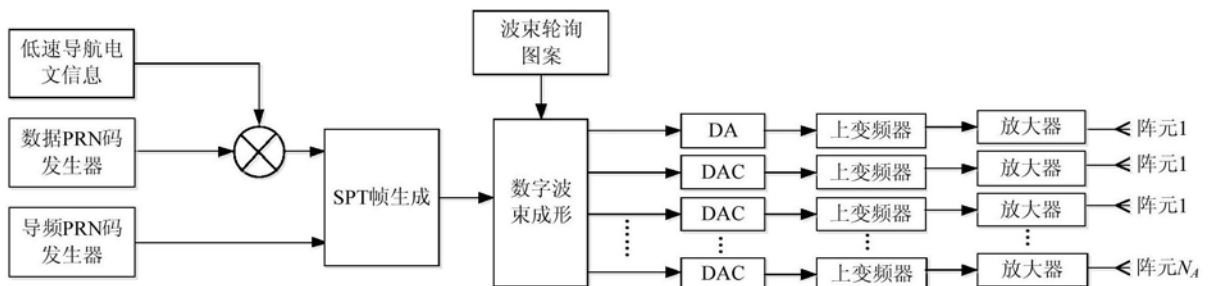


图8