

基于多阵元的室内导航伪卫星系统设计

程建强^{1,2}, 李 隽^{1,2}, 甘兴利^{1,2}, 史宝玲^{1,2}

(1. 卫星导航系统与装备技术国家重点实验室, 石家庄 050081;

2. 中国电子科技集团公司 第五十四研究所, 石家庄 050081)

摘要: 针对伪卫星定位过程中的时钟同步以及整周模糊度求解问题提出了一种基于多阵元的同源伪卫星系统; 系统采用固定导航电文参数设计的伪卫星脉冲信号体制, 实现了伪卫星信号与卫星信号在商用接收机端的兼容, 为伪卫星室内定位的推广与普及提供了基础; 同时提出一种应用于该伪卫星系统的载波相位单差定位方法, 由于其采用同源时钟, 不存在信号间时钟偏差问题, 仅需利用载波相位单差消除伪卫星与接收机间的钟差, 即可建立载波相位单差方程实现定位解算, 减低了算法复杂度; 最后搭建伪卫星平台, 实现了伪卫星信号的生成与接收, 并对伪卫星的信号质量以及接收机端观测数据进行了分析, 验证了该伪卫星系统信号设计及定位方法的可行性, 对实际工程应用具有一定的借鉴意义。

关键词: 整周模糊度; 脉冲信号; 伪卫星; 载波相位

Design of Indoor Navigation Pseudo Satellite System Based on Multi-Array

Cheng Jianqiang^{1,2}, Li Jun^{1,2}, Gan Xingli^{1,2}, Shi Baoling^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Satellite Navigation System and Equipment Technology, Shijiazhuang 050081, China;

2. 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: A homogenous pseudo-satellite system based on multiarray is proposed for clock synchronization and whole-circumference ambiguity in pseudolite positioning. The pseudo-satellite pulse signal system designed by fixed navigation message parameters is used to realize the compatibility of pseudo-satellite signals and satellite signals at the commercial receiver end, which provides a basis for the promotion and popularization of pseudo-satellite indoor positioning. At the same time, a carrier phase single-difference positioning method applied to the pseudo-satellite system is proposed. Since the homologous clock is used, there is no clock skew between signals, and only the carrier phase single difference is needed to eliminate the clock difference between the pseudo-satellite and the receiver. Then, the carrier phase single difference equation can be established to realize the positioning solution, which reduces the complexity of the algorithm. Finally, the pseudo-satellite platform is built to realize the generation and reception of pseudo-satellite signals. The signal quality of the pseudo-satellite and the observation data of the receiver are analyzed. The feasibility of the signal design and positioning method of the pseudo-satellite system is verified. Engineering applications have certain reference significance.

Keywords: whole-circumference ambiguity; pulse signal; pseudo-satellite; carrier phase

0 引言

当前“卫星导航定位”或“移动基站定位”对于室内环境而言, 卫星导航信号微弱, 无法穿透建筑物而在室内定位中失去作用; 移动基站的定位精度太低, 不能满足室内定位应用要求^[1-2]。目前主要定位技术包括蓝牙、WiFi、ZigBee、RFID、超宽带、伪卫星等, 但是蓝牙、WiFi、ZigBee 技术定位精度差, 而 RFID、超宽带技术都需要特定终端, 不利于普及^[3-4]。伪卫星是指导航卫星信号地面模拟发射站, 部署于地面上发射卫星导航相似信号, 甚至某些特殊用途的伪卫星可采用自定义信号格式^[5-6]。所以通过伪卫星发射导航卫星信号或相似信号, 使得用户不需要改动接收机硬件, 只需进行软件升级就可以实现室内外无缝定位功能, 为手机终端室内定位的推广提供了条件^[7-9]。

为了实现伪卫星信号与 GNSS 信号的共融, 伪卫星信号与 GNSS 信号在扩频码、电文、调制方式上需保持高度的兼容性, 同时考虑到伪卫星与接收机间的远近效应, 可选用 TDMA 时分多址和 CDMA 码分多址复用的模式播发伪卫星信号^[10-11]。以上只是保证了在使用通用接收机的前提下能够实现伪卫星信号的接收, 而要想实现高精度定位, 发射基站间的时间同步以及合适的定位方法必须被考虑。对此本文提出了一种基于多阵元的伪卫星系统, 该系统可保证发射信号间的严格同步。设计了应用与该系统的信号体制, 并利用载波相位单差消除伪卫星与接收机间的钟差实现定位^[12]。

1 基于多阵元的伪卫星系统

在利用载波相位进行定位时, 接收机能正确测得的是载波相位中不足整数周的部分, 因此在其测量过程中就会存在整周期未知数, 同时卫星信号接收时, 也有可能因为外界环境影响, 导致信号中断, 造成载波周期测量错误。如何求解整周期模糊度^[1]以及周跳的探测和修复成为影响

收稿日期: 2019-07-05; 修回日期: 2019-08-12。

作者简介: 程建强(1991-), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事室内导航定位方向的研究。

定位的关键问题。针对以上情况，提出了一种多阵元伪卫星系统。

该伪卫星系统是一种新式伪卫星定位系统，在复杂的室内环境中，该系统具有良好的定位能力。阵列伪卫星系统的工作原理是以 TDOA 为基础，在发射天线相位中心已知的情况下，通过计算阵列伪卫星各个阵列元之间的载波相位差建立与接收机坐标间的关系等式，最后应用泰勒展开，最小二乘得到接收机的位置。

该伪卫星系统属于同源四阵元系统，由于四阵元使用共同的 PLL，我们认为 4 个阵元输出的信号具有共同的载波与码特性，因此产生的钟差也相同。四阵元的分布服从两两间距为播发频率信号的半个波长，即任意两个阵元间的载波相位差均小于等于半个波长。因此在计算的过程中，我们认为任意单元到达接收机的载波相位整周数相同，载波相位差的计算仅与小数部分的码相位有关。

1.1 系统总体设计

伪卫星的发射机制如图 1 所示。每颗伪卫星具备 4 个通道信号的生成能力，分别生成 GPS L1 频段两个伪卫星信号 (C1、C2 通道) 和北斗 B1 频段两个频点的信号 (C3、C4 通道)，或者只发射单一信号。当 4 个通道的信号通过分频、码与电文和载波完成调制后分别将 GPS01 和 BD01、GPS02 和 BD02 进行中频放大得到对应的发射信号，经过 4 个天线发出，即每个天线均发射两个频点的信号，且天线之间的距离小于 GPS L1 波长的一半，即 95.15 mm。

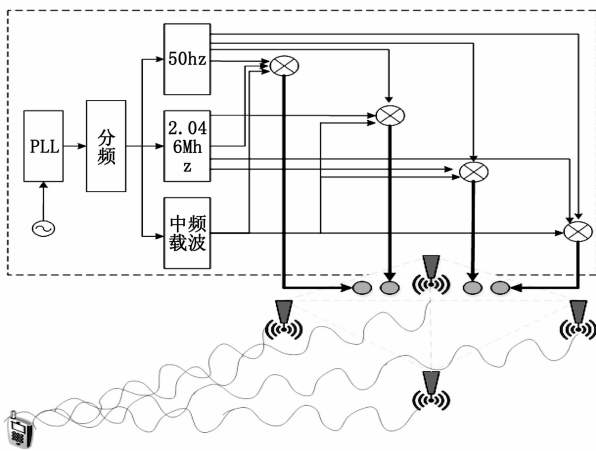


图 1 天线阵列式伪卫星系统

1.2 伪卫星信号产生单元

伪卫星信号产生单元，采用基于“DSP+FPGA”的构造一个具有开放性、标准化、模块化的通用硬件平台。伪卫星模块体系结构主要由天线、射频前端、模拟中频、宽带 DA、通用数字信号处理器组成。

伪卫星核心板卡主要由 FPGA 模块，DSP 模块、AD 模块、电压转换模块、串口模块、晶振模块、SDRAM 模块、SMA 接头、晶振接头和 flash 模块等组成。其中 FPGA 采用 Cyclone IV 系列芯片，DSP 采用 C6747 浮点型芯片，AD 模块采用 AD9361，SDRAM 采用 2ED47D9DHT 型号存

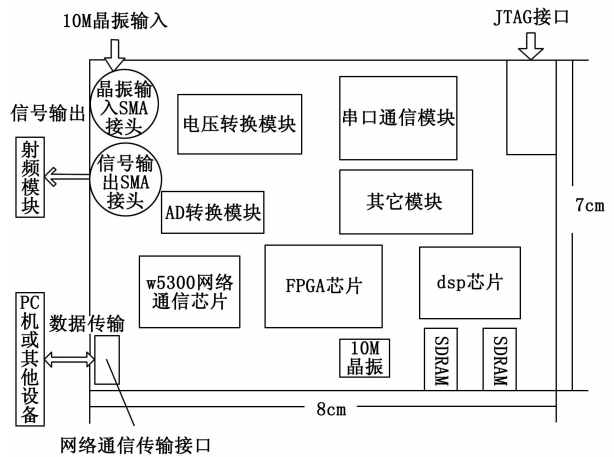


图 2 “DSP+FPGA”架构的伪卫星信号产生单元

储器，flash 模块用 EPCS64 型号，实物如图 3 所示。

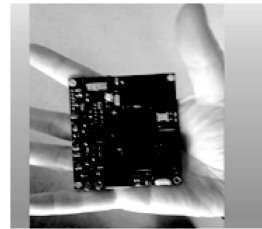


图 3 伪卫星信号产生单元

2 伪卫星系统的定位算法

针对该伪卫星系统提出了一种载波向相位单差定位方法。同时值得注意的是当接收机正常跟踪伪卫星信号时，跟踪信号通常会有载波相位 180 度翻转的问题，因此在计算载波相位时必须充分该因素的影响。相位侦测可以根据北斗导航电文中的同步码，当同步码翻转时，载波相位必须加上 0.5 将其翻转过来。本文以北斗 B1 信号为例对算法进行介绍：

1) 建立伪卫星天线阵列的载波相位观测量方程组。

$$\begin{cases} \omega_{B1}^1 = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^1 + \lambda_{B1}^{-1} c\delta_1 + N_{B1}^1 + \epsilon_{B1,\omega}^1 \\ \omega_{B1}^2 = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^2 + \lambda_{B1}^{-1} c\delta_2 + N_{B1}^2 + \epsilon_{B1,\omega}^2 \\ \omega_{B1}^3 = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^3 + \lambda_{B1}^{-1} c\delta_3 + N_{B1}^3 + \epsilon_{B1,\omega}^3 \\ \omega_{B1}^4 = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^4 + \lambda_{B1}^{-1} c\delta_4 + N_{B1}^4 + \epsilon_{B1,\omega}^4 \end{cases} \quad (1)$$

其中： λ_{B1} 为 L_1 频点的波长； $r_{B1,u}$ 为对应的天线到接收机的距离； δ 伪卫星与接收机的钟差 N_{B1} 为 $B1$ 频点中估计的整周数； $\epsilon_{B1,\varphi}$ 为相应的其他噪声误差。

2) 对方程组 (1) 中公式做差处理，使公式 (1) 分别减去其余公式。由于发射信号间同步，且使用同一接收机，因此各公式中 δ 相同，做差后可得：

$$\begin{cases} \omega_{B1}^{12} = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^{12} + N_{B1}^{12} + \epsilon_{B1,\omega}^{12} \\ \omega_{B1}^{13} = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^{13} + N_{B1}^{13} + \epsilon_{B1,\omega}^{13} \\ \omega_{B1}^{14} = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^{14} + N_{B1}^{14} + \epsilon_{B1,\omega}^{14} \end{cases} \quad (2)$$

其中： $\varphi_{B1}^{12}, \varphi_{B1}^{13}, \varphi_{B1}^{14}$ 为接收机到 4 个天线间的载波相位观测量差 (CPD, carrier-phase difference)； $r_{B1,u}^{12}, r_{B1,u}^{13}, r_{B1,u}^{14}$

为接收机到 4 个天线间的离差; $N_{B1}^{12}, N_{B1}^{13}, N_{B1}^{14}$ 为整周载波数差。

3) 由于 4 个信号同频且天线间距小于半个波长, 因此可以认为 $N_{B1}^1, N_{B1}^2, N_{B1}^3$ 和 N_{B1}^4 相同, 则式 (2) 可以进一步化简为:

$$\begin{cases} \omega_{B1}^{12} = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^{12} + \epsilon_{B1,\omega}^{12} \\ \omega_{B1}^{13} = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^{13} + \epsilon_{B1,\omega}^{13} \\ \omega_{B1}^{14} = \lambda_{B1}^{-1} r_{B1,u}^{14} + \epsilon_{B1,\omega}^{14} \end{cases} \quad (3)$$

由此可以看出, 接收机位置的解算仅与载波相位的小数部分有关, 不用再去解算整周模糊度, 有效地减少了定位时间。

4) 对式 (3) 中方程左右两边同时乘以 λ_{B1} , 将其转化为距离形式为:

$$\begin{cases} \gamma_{B1,\omega}^{12} = r_{B1,u}^{12} + \xi_{B1,\omega}^{12} \\ \gamma_{B1,\omega}^{13} = r_{B1,u}^{13} + \xi_{B1,\omega}^{13} \\ \gamma_{B1,\omega}^{14} = r_{B1,u}^{14} + \xi_{B1,\omega}^{14} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $\gamma_{B1,\omega}$ 为接收机到 4 个天线间的距离测量值差值。

5) 由于观测等式为非线性等式, 令:

$$r_{B1,u}^{12} = |r_{B1}^1 - r_u| - |r_{B1}^2 - r_u| \quad (5)$$

式中, r_{B1}^1, r_{B1}^2 为天线 1, 2 的位置, r_u 为待测接收机位置。

6) 将公式 (5) 代入公式 (4) 得:

$$\begin{cases} G_{B1,u}^{12}(r_u) = \gamma_{B1,\omega}^{12} = |r_{B1}^1 - r_u| - |r_{B1}^2 - r_u| + \xi_{B1,\omega}^{12} \\ G_{B1,u}^{13}(r_u) = \gamma_{B1,\omega}^{13} = |r_{B1}^1 - r_u| - |r_{B1}^2 - r_u| + \xi_{B1,\omega}^{13} \\ G_{B1,u}^{14}(r_u) = \gamma_{B1,\omega}^{14} = |r_{B1}^1 - r_u| - |r_{B1}^2 - r_u| + \xi_{B1,\omega}^{14} \end{cases} \quad (6)$$

7) 假设接收机的初始位置 $r_{u0} = (x_0, y_0, z_0)$, 利用牛顿迭代法加最小二乘法求解新的接收机位置, 并多次迭代, 得出收敛后的接收机位置。具体求解过程可参见参考文献[5]。

3 伪卫星信号设计

传统的 GPS 导航系统利用 L_1 和 L_2 两个载波频率播发导航信号^[2], 其中基准频率 f_0 为 10.23 MHz, GPSC/A 码是公开信号, 利用 C/A 码可以获得标准定位服务 (SPS)。C/A 码由二进制 (+1, -1) 符号随机序列组成的短码, 具有随机白噪声特性, 码周期为 1 ms, 码长为 1023。数据速率为 50 bps, 与 C/A 码周期的关系为 1: 20。调制过程中, 首先将的数据与 CA 码进行相乘 (模二加), 实现信号的扩频调制, 扩频调制可以有效提高信号的抗干扰特性。利用多个扩频调制信号, 即可实现多路卫星的表示, 实现码分多址 (CDMA) 的功能和伪距测量功能。最后在调制方式上, 传统卫星利用 BPSK 实现扩频信号与载波的调制^[8]。

3.1 频段选择

室内伪卫星信号采用 L 频段, 兼容 GPS 的 L_1 频段信号和北斗 B1 频段信号如表 1 所示, 伪卫星信号的波长均约为 0.19 m, 大多数情况下远小于室内障碍物尺寸, 故可得出伪卫星信号在室内以直射波形式传播, 同时一般的商用接收机只需改动软件就可以捕获到到伪卫星信号, 提高了伪

卫星定位的普及性。

表 1 频段选择

频段	频率参数	中心频率/MHz	极化	发射带宽/MHz
L1	FL1	1 575.42	RHC	2
B1	FB1	1 561.098	RHC	±2.046

3.2 脉冲调制

为满足伪卫星信号与导航信号的兼容, 降低伪卫星信号的远近效应。伪卫星将使用 GPS 和北斗控制接口文件中定义的调制类型, 同时, 也支持 RTCA/DO 246B-2001 定义的脉冲调制方式^[9]。

脉冲调制: 对于从 1%~100% 的每个所需脉冲占空因数都生成了一个必要脉冲方案周期的脉冲调制序列, 并存储在内存中。

该脉冲方案对扩展码的每个码片都进行定义, 不管其是 ON 还是 OFF, 这种方式对任意可能的脉冲方案提供了最大灵活性, 同时保持了所需的脉冲/码片相干性。最小脉冲或间隙持续时间等于脉冲调制信号一个单个码片的长度。

内存中脉冲调制序列的编码定义如下:

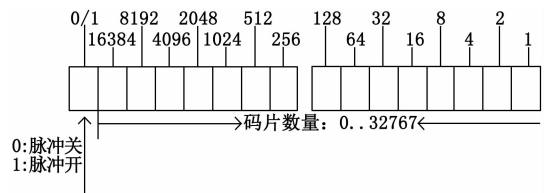


图 4 脉冲调制序列编码

第一位指示脉冲应该开还是关, 15 个最低有效位指示对多少码片这是有效的。采用这种方式可对 0~32767 个码片进行编码。如果打算将更多的码片作为一个脉冲或脉冲间隙, 可以使用两个具有相同首位的这种双字节表示法。

使用 0x0000 这个特定值来重复脉冲调制周期, 并指示脉冲调制序列结束。

脉冲调制序列的长度需要覆盖约 1 s 的最快使用扩展码序列, 即 10.23 MHz。因此, 必须覆盖 10.230.000 码片的脉冲调制序列长度。

3.3 扩频码选择

扩频码是伪卫星信号结构中的第二层内容。空间北斗/GPS 卫星时刻向用户广播调制有 C/A 码的扩频信号, 北斗/GPS 系统将 C/A 码+导航数据的扩频信号以二进制移相键控调制方式调制到 L_1 载波上播发给地面用户^[3]。

为了实现与现有导航接收机的信号兼容, 伪卫星的扩频码选用与北斗/GPS 系统相同的码族, 在 GPS 的接口控制文件中, 明确规定 PRN33-PRN37 用于地面伪卫星信号发射器, 而在北斗的接口控制文件中没有明确规定。

3.4 伪卫星导航电文

在当前的伪卫星技术研究中, 关于伪卫星电文的设计目前还没有统一的标准格式。通常情况下伪卫星电文的设计主要从电文内容的简效性和信息的兼容性考虑, 即既要

保证电文内容的充分有效，又要尽可能地与其他系统兼容，因此在设计电文的过程中，考虑到伪卫星的位置固定且主要布设在近地场所附近，结构上在设计尽可能保留 GPSL1 和北斗 B1 MEO 的形式，即两个频点的导航电文部分每帧导航电文（1500bit，计 30 s）包含 5 个子帧，每子帧（300bit，计 6 s）由 10 个字组成，每个字 30bit（计 0.6 s）。其中前三子帧用于相关星历信息的定义，四五子帧用于播发历书，其编码格式分别按照各自的格式进行。

而针对不同的室内定位情形，阵列伪卫星系统的信号设计可选择与 GPS 卫星相同的导航电文或者设计一套专用的导航电文。比如在小型区域（单个伪卫星系统即可覆盖），我们可以使阵列伪卫星系统发射与 GPS 导航信号完全一致的伪卫星信号，因为单个伪卫星系统不存在多系统信号重叠的情况，PRN33-PRN37 可以用来区分单个系统中的 4 路信号。而在大型区域（需要多个系统才能覆盖），可以通过改变伪卫星的电文参数来区分系统间的导航信号。

3.4.1 小型区域电文设计

在小型区域我们发射与 GPS 导航信号一致的伪卫星信号，电文格式如图 5 所示，具体参数设计可参见文献 [5]，此种情况下不需要对接收做任何改动即可接收伪卫星信号。我们知道在 GPS 定位中需要根据星历参数来实时结算卫星的位置来实现最终的定位运算，但是在伪卫星系统中信号发射端的位置是已知的，我们不要求解伪卫星发射端的位置，我们只需要接收端可以解析伪卫星信号，输出观测值，然后建立载波相位单差方程^[6]，求解定位结果。所以我们只需要设置一套固定的导航卫星电文参数即可实现最终的伪卫星定位。

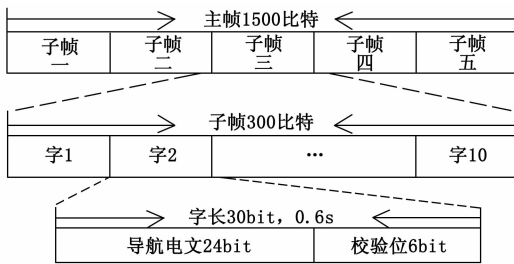


图 5 导航电文格式

3.4.2 大型区域电文设计

在大型区域就要涉及多系统间的联合定位。因为在大型区域单伪卫星系统很难全部覆盖，但是使用多系统定位时，就不可避免地发生多系统间信号覆盖的情况，而前面已经提到在 GPS 的接口控制文件中，明确规定 PRN33-PRN37 用于地面伪卫星信号发射器，所以我们很难使用 PRN 来区分多个系统间的所有信号，这时就需要对电文参数做改动来标识伪卫星系统，这样我们就可以通过伪卫星标识加 PRN 码来区分伪卫星信号，本文将每一子帧的字 4 到字 10 改成伪卫星位置参数，并对接收机软件做微小改动使接收机可以输出观测数据，具体电文参数设计如图 6 所示。

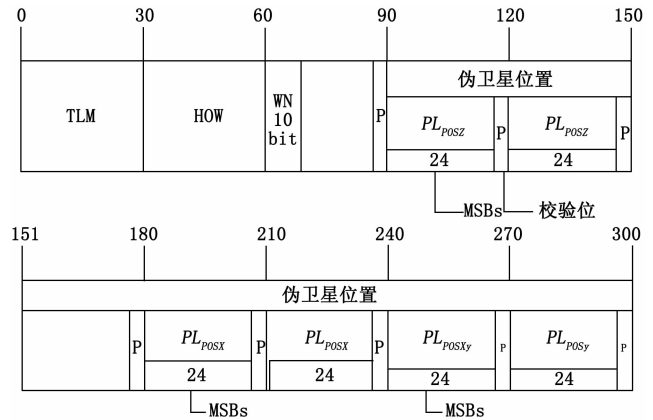


图 6 电文参数设计

4 伪卫星信号分析

为满足高精度的室内的伪卫星，我们需要对阵列伪卫星发射端信号质量以及接收端观测值进行分析，首先本文从频域、时域以及相干域对伪卫星信号质量进行了分析，其次利用通用接收机对伪卫星信号进行接收处理，并从伪卫星信号与 GPS 信号的兼容、伪卫星系统通道间的信号延迟一致性、单个系统间的信号载波相位单差稳定性进行了分析。

4.1 发射端信号质量分析

单载波监测与分析的目的是排除扩频信号的影响，单纯的分析某颗卫星发射的载波信号各方面的指标，导航信号时域指标主要对导航信号中伪码信号分量的进行监测，相关域分析是导航信号质量分析的重要一环，由于各大导航系统使用扩频信号作为发射信号，信号与本地码之间的一些相关特性需要相关域的分析来完成。

功率谱可以直观监测伪卫星信号的质量，监测结果如图 7 所示，信号质量完好。时域波形的恢复可得到信号波形畸变的程度；眼图通过周期内码片的叠加，反映调制品质、信号非理想性以及信号失真，同时可以观察出码间串扰和噪声的影响，从而估计系统优劣程度，监测结果如图 8 所示，信号质量完好。相关函数是关于最大相关峰位置对称的。但是，导航信号异常会使相关函数变形，其对称性遭到破坏。因此，通过检测相关函数的对称性，可以检测伪卫星信号的质量，检测结果如图 9 所示，信号质量完好。

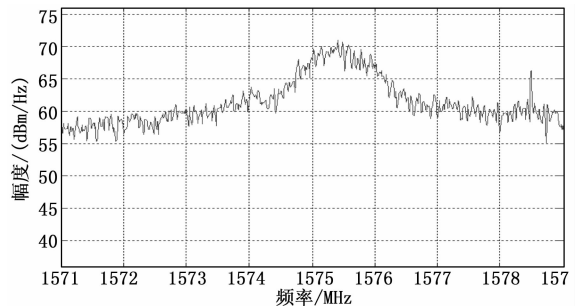
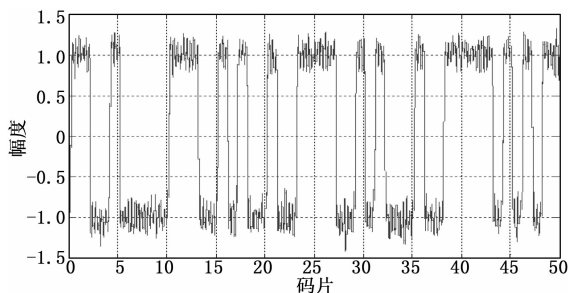
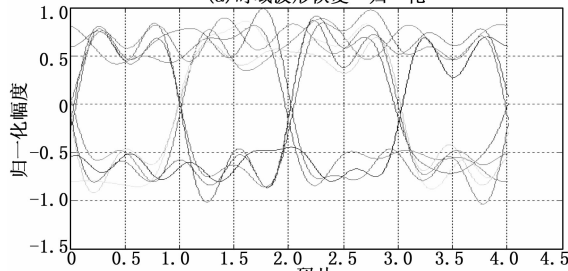


图 7 信号功率谱



(a) 时域波形恢复一归一化



(b) 1支路信号眼图

图 8 时域信号分析

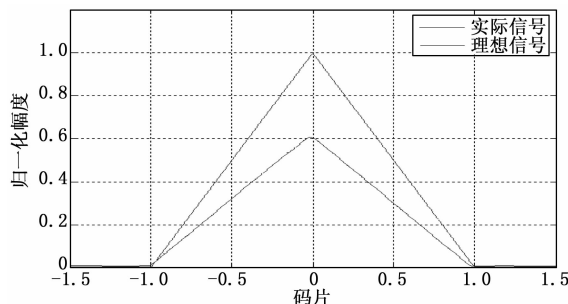


图 9 支路信号相关峰

4.2 接收端信号兼容性分析

首先找到一个可以同时检测到伪卫星信号与卫星信号的地方, 观测伪卫星信号与卫星信号的接收数据, 然后关掉伪卫星信号只接收卫星信号并进行数据观测。

通过对图 10 中观测数据处理会发现利用通用接收机实现导航卫星与伪卫星信号的同时接收, 但是伪距、载波相位比实际值大很多, 这是因为我们阵列伪卫星系统与接收机间存在钟差导致的, 进行载波相位单差处理可以消除该钟差影响, 为该系统的最终定位提供了数据基础。

4.3 通道信号延迟一致性分析

通过有线测试对单系统间的信号载波相位差作分析, 得到通道间的信号延迟一致性, 将两路信号经相同长的线缆输入到接收机端, 观测载波相位单差数据, 如果通道间信号延迟一致性良好, 差值应稳定在 0 值, 结果如图 11 所示。

单系统间的信号延迟一致性良好, 可以避免因通道一致性差带来的定位误差。

4.4 接收载波相位单差稳定性

通过接收机定点无线接收伪卫星信号, 然后通过对各路信号的载波相位单差, 分析其稳定性, 结果如图 12

Local Time: 2060.267369.000000000 [s]
 Leap seconds: 16 (NOT VALID) [s] Clock reset

SV	Sig...	G...	Pseudo Range [m]	Carrier Phase [c...	Dopple...	Lock T...	SNR
G30	L1C...	-	21101575.24	110889559.90	1030.8	64500	39
G11	L1C...	-	20346875.97	106923576.41	1105.0	39520	36
G08	L1C...	-	21258570.27	111714542.07	-2004.9	3520	34

(a) 只接收导航卫星

Local Time: 0.932.000000000 [s]
 Leap seconds: 16 (NOT VALID) [s] Clock reset

SV	Sig...	G...	Pseudo Range [m]	Carrier Phase [c...	Dopple...	Lock T...	SNR	PR
G03	L1C...	-	25352177792.14	1332425687428...	17.8	7500	49	
G04	L1C...	-	25352177794.21	1332425687438...	17.9	7500	48	
G01	L1C...	-	25352177792.90	1332425687434...	17.8	7500	48	
G02	L1C...	-	25352177794.35	1332425687443...	18.0	5500	49	

(b) 只接收卫星

Local Time: 2060.267315.000000000 [s]
 Leap seconds: 16 (NOT VALID) [s] Clock reset

SV	Sig...	G...	Pseudo Range [m]	Carrier Phase [c...	Dopple...	Lock T...	SNR	P
G01	L1C...	-	7982210683579...	4194680015471...	-41.8	15500	38	
G02	L1C...	-	7982210683579...	4194680015471...	-41.5	64500	41	
G03	L1C...	-	7982210683579...	4194680015471...	-41.5	15500	41	
G04	L1C...	-	7982210683579...	4194680015471...	-40.9	64500	40	
G30	L1C...	-	21112372.09	110945290.05	1078.0	15520	35	
G11	L1C...	-	20358429.39	106984285.29	1150.8	15520	35	
G08	L1C...	-	21238056.76	111606728.96	-1978.6	12220	35	

(c) 同时接收导航卫星与伪卫星

图 10 接收机观测值

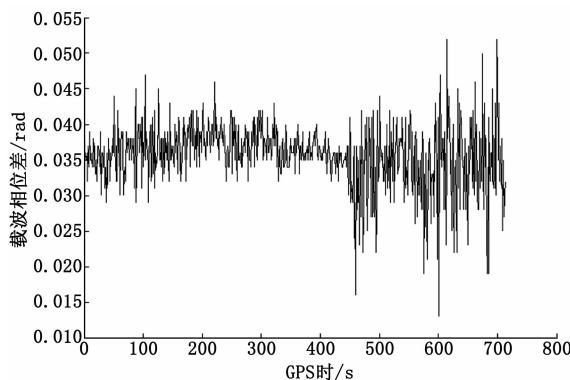


图 11 通道时延一致性

所示。

分析图 12 可知, 由于受环境影响载波相位差值可能会有轻微波动, 其稳定性也决定了使用载波相位单差方程进行定位结算的精度。

通过以上分析可以得到针对阵列伪卫星系统, 选择与 GPS 信号一致的伪卫星信号设计, 不仅能够满足伪卫星信号与导航信号的兼容接收, 其稳定的载波相位单差也为其高精度的室内定位提供了基础。单系统间的信号延迟一致性良好, 可以避免因通道一致性差带来的定位误差。最后通过对各路信号载波相位单差分析可得, 其载波相位波动在 0.1 rad 以内, 可保证较高的定位精度。

5 结束语

本文在多阵元伪卫星系统的基础上提出了一种专用于该系统的定位方法, 该方法通过利用载波相位单差可以避免整周模糊度的求解, 为实现高精度定位提供了基础。设计了可以应用于该系统的信号体制, 并通过搭建实验平台实现了伪卫星信号的生成, 并从伪卫星信号的频域、时域、

(下转第 183 页)