

基于 TDMA 技术的伪卫星远近效应分析与研究

张 雷, 王建宇, 戴 宁

(中国科学院 上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 伪卫星技术在改善和增强 GPS 定位性能方面起到极其重要的作用。在应用中, 常常会遇到时间同步、远近效应、几何精度衰减因子等问题。介绍了伪卫星应用中的远近效应问题和常用的解决方案, 重点分析了采用时分多路复用技术来对伪卫星信号进行重新设计。通过研究与实验证明, 采用时分多路复用更适合本课题的研究与开发。

关键词: 伪卫星; 远近效应; 时分多路复用; 全球定位系统

中图分类号: TN914.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)11-0167-04

Analysis and Research on Near - Far Effect of Pseudolites Based on TDMA Technology

ZHANG Lei, WANG Jian-yu, DAI Ning

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Pseudolite technology plays an important role in enhancing the positioning performance of GPS. In the applications, there are many problems, such as timing synchronization, near - far effect, and geometric dilution of precision. In the paper, firstly introduce the near - far effect of the pseudolites and traditional solutions, then mainly analyse the TDMA technology and redesign the signal of the pseudolites. Experimental results show the TDMA technology suits to the research and development of this project.

Key words: pseudolite; near - far effect; TDMA; GPS

0 引 言

所谓伪卫星就是地基发射站, 其发射类似于 GPS 的信号, 用该信号来增强和提高卫星定位系统的定位精度、完备性和有效性^[1]。伪卫星发射的信号类似于 GPS 信号, 具有测距的功能。伪卫星能够提升整个系统的可用行、稳定性、可靠性以及测量精度, 甚至在室内、地下等无法接收到 GPS 卫星信号的场合下能完全替代 GPS 卫星。因此, 其理论研究可以大量地借鉴 GPS 原理, 但在工程应用中也有相对突出的技术难点。

1 伪卫星远近效应的概述

结合图 1 所示, 远场是指在某个距离外, 伪卫星的信号太弱不能被跟踪。近场是指在某个距离内, 伪卫星的信号太强而导致把 GPS 卫星的信号干扰了。接收机正常工作的区域处于远近场的中间, 也就是它能

同时准确地跟踪两者的信号^[1]。如果伪卫星发射的功率不变, 接收机接收到的信号强度应该是与两者之间的距离的平方的倒数成反比。假如用户在距伪卫星 50km 处, 伪卫星信号与 GPS 卫星信号一样强, 那么当用户靠近伪卫星只有 50m 时, 则伪卫星信号与 GPS 信号的强度比为^[1]: $-10\lg\left[\frac{1/(50 \times 10^3)^2}{1/(50)^2}\right] = 60\text{dB}$ 。因此, 伪卫星的信号结构设计要解决这种远近效应问题。即在最大范围内能提供足够强的伪卫星信号, 又能在距伪卫星很近时不干扰 GPS 卫星信号。

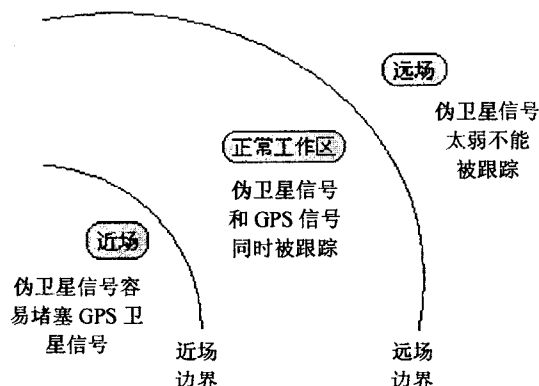


图1 伪卫星中的远近场示意图

对 GPS 而言, 因为 GPS 卫星距离 GPS 用户相对

收稿日期: 2007-01-05

基金项目: 中国科学院上海技术物理所资助项目(07K2141W09)

作者简介: 张 雷(1978-), 男, 江苏海门人, 博士研究生, 研究方向为卫星定位与空天信息技术; 王建宇, 博士, 研究员, 博士生导师; 戴宁, 博士, 研究员, 博士生导师。

遥远,用户所接收的信号功率保持相对不变^[2]。一个典型的 GPS 接收机被设计成可以接收大约 -130dBm (或 -160dBm)的信号功率水准,也就是伪卫星发射的功率决定了远场与伪卫星的距离。然而远场距离和近场距离的比率只取决于接收机抗干扰的能力和动态范围,不受伪卫星发射的功率影响。而提高远近场距离比,也就相当于增大了伪卫星正常工作的范围,所以在研究伪卫星信号和接收性能时可以将远近场的距离比作为一个参考要素。

远近场的距离比可以估算出,通过考虑最坏条件下两个 C/A 码间的互相关,已经给定为 -21.6dB^[3]。这样,如果一个 GPS 接收机被设计成能接收 -160dB 的信号,接收到的伪卫星信号为 -138dB(强 21.6dB),那么在 GPS 卫星和 C/A 码之间就会发生相关,这些关系可以被表示成方程 $P_{\text{rec}} = P_{\text{dec}} + 20\lg(\frac{d_0}{d})$ 。这里, P_{rec} 是指 GPS 接收机接收到的信号功率。 P_{dec} 是指 GPS 接收机被设计所能接受的功率标准,采用典型值 -160dB。 $\frac{d_0}{d}$ 是指两者距离的比率。其中, d_0 是以设计功率标准 P_{dec} 接收的信号所传送的距离, d 是实际接收信号(功率为 P_{rec}) 传送的距离。

由于远近场的问题,伪卫星信号不仅对该区域范围内的接收机不能准确同时接收 GPS 信号和伪卫星信号,而且会影响进入伪卫星作用范围内的单独接收 GPS 信号的接收机。这样,伪卫星就成为一种干扰机。因此,有效解决伪卫星的远近效应是伪卫星技术发展的一个关键问题。

2 伪卫星远近效应解决方案的介绍

当前所存在的几种常用的解决伪卫星远近效应的方案,包括调谐功率电平、修改硬件设施、修改伪卫星信号格式及其涉及的多址技术^[1]。文中结合课题的开发与应用需求出发,重点介绍码分多址、频率偏值和时分多址技术。

(1)CDMA 码分多址技术。

利用不同 C/A 码进行码间互相关,只能分离 25dB。如果用伪随机码来分离 60dB,则必须使此码率比 C/A 码率提高若干倍,以降低伪卫星信号的噪声电平。根据不同的假定和试验,此码速率必须达到 25~50MHz,并具有类似的带宽。提高码元的速率可以解决信号干扰问题,但将无法实现和 GPS 信号的兼容性,将显著增加接收机的成本,在硬件开发上也存在着困难。因此,利用一种新码来解决远近效应似乎是不现实的。

(2)FDMA 频率偏值技术。

频率偏移包括在 GPS 信号频段内偏移和偏移到频段外两种方法,因为 GPS 卫星码是用二进制的移相键控(BPSK)来调制的,调制信号占用相当宽的频谱。但是其中有些频点却是不发射能量的空洞频点,这些空洞频点在载波的两侧都有,并以位传输率或码传输率为系数。接收机内相应的解调器只注意信号中有能量的部分,忽视空洞频点。建议在卫星复合码的空洞频点上传输伪卫星信号,可以认为在卫星信号空洞频点上的伪卫星信号将被接收机忽略,从而减少或消除远近效应问题^[3]。

在 GPS 频段外发射,伪卫星可以被设计成在射频段以外任何频率发射信号。如果伪卫星的发射信号偏离 GPS 卫星波段足够远,那么它的信号将被接收机的带通滤波器衰减,从而避免了和 GPS 卫星信号的相互干扰。如果伪卫星信号偏离标称值 1575.42MHz 约 10~20MHz,那么可以与 GPS 卫星码之间产生 25dB 的隔离。当偏离到 20MHz 时,可能产生 60dB 的隔离。显然,这一技术是具有吸引力的。表 1 列出了干扰衰减与频率分离的关系。

必须注意到,由于伪卫星和 GPS 卫星信号是通过不同通道进入接收机的,需要仔细控制两通道间的相对时延,以避免组合误差。于是在接收机中改善滤波器和内部校准技术,从而会增加接收机的成本。

表 1 干扰电平与频率偏移的关系

| 信号描述 | dB/1kHz | 说明 |
|---------------------|---------|-------------|
| 参考卫星 C/A 码 | 0 | 参考电平 |
| 其它卫星 C/A 码 | -23 | 基本码隔离 |
| 伪卫星 C/A 码(偏离 10MHz) | -58 | 3dB,取决于假定条件 |
| 伪卫星 C/A 码(偏离 15MHz) | -60.5 | 3dB,取决于假定条件 |
| 伪卫星 C/A 码(偏离 20MHz) | -63 | 3dB,取决于假定条件 |

(3)TDMA 时分多址技术。

TDMA,也就是用占空比低的短脉冲来传送伪卫星信号。如果伪卫星发射占空比为 10%,就足够强到被轻易接收,而它的干扰仅为 10%,接收机的 GPS 平均信号功率损耗不大于 1dB。在脉冲间隙,剩下 90%的时间,接收机收到全部是不被干扰的卫星信号。在这种情况下,绝大部分接收机能同时跟踪 GPS 卫星和伪卫星信号。伪卫星和用户设备造价都很低,具有巨大的吸引力。

3 基于 TDMA 设计伪卫星信号的分析

如果伪卫星信号采用 TDMA 来避免远近效应问题,为了简化接收机设计,基本信号格式必须与 GPS 卫星信号尽可能地一样^[4]。因此,伪卫星电文的传输

速率也为每秒 50bit,这和 GPS 卫星电文传输率一样。伪卫星采用的伪随机码以及位初相准确地与 GPS 时间对准,以便进行伪卫星的伪距测量。

除了电文内容有差别外,伪卫星信号与 GPS 卫星信号还有其它一些重要差别。首先,伪卫星使用由 51 种与 GPS 不同的 1023 位 1 毫秒的 GOLD 码中选出的伪随机序列。因为伪卫星电文的传输率也为每秒 50bit,所以每个数据为 20ms^[5]。把每个毫秒分成 11 个时隙,每个 90.91 毫秒(1 毫秒的 1/11 中有 C/A 码的 1023/11 码位,即 93 个码位),而在每 10 个毫秒(半个 bit)中只选择 11 个时隙发射信号,所以产生的脉冲波形具有 10% 的占空比^[6]。伪卫星只在不大于 10% 的时间里与所需的 GPS 信号产生干扰。这样,即使接收机离伪卫星很近时,所接收的平均 GPS 信号功率也最多损失 1dB。发射信号的时隙脉冲位置在每毫秒都发生变化,这既为了使频谱随机化,也确保每 10ms 传送一个完整的码序列。所有脉冲位置在 10 个数据位(200ms)的间隔期间从一位至下一位时发生变化,这样当 10 位数据传送后,所有脉冲位置都将发送一次。

表 2 和表 3 说明了发送的脉冲位置是如何在与 GPS 时间同步校准的 200 毫秒间隔(10 位数据位)中逐毫秒逐位调制的。表 2 和表 3 又说明了 10 个数据位的前四个毫秒的脉冲位置分布(表的横向是每个毫秒的 11 个脉冲位置,其中脉冲位置 10 用 0 表示,表的纵向是 10 个数据位)。小黑点“●”表示每毫秒要发射的脉冲位置,在每毫秒中有 11 个可能的脉冲位置,记 0 为 10。例如,表 3 中在 10 位数字序列的头一位的头一毫秒,脉冲位置是 5。在第二个数字的头一毫秒发送的脉冲位置是 9。这个过程一直进行,直到 10 位数据后所有 11 个脉冲位置在第一个毫秒都已填满,这个序列每 200 毫秒重复一次。

表 2 十个数据的第一和第二毫秒的发射脉冲的位置

| | MSCE1 | | | | | | | | | | MSCE2 | | | | | | | | | | | |
|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | |
| 1 | | | | | | ● | | | | | | ● | | | | | | | | | | ● |
| 2 | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | ● | | |
| 3 | | | | | | | | | ● | | | | | | | ● | | | | | | |
| 4 | | ● | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | |
| 5 | ● | | | | | | | | | | ● | | ● | | | | | | | | | |
| 6 | | | ● | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | ● | | | |
| 8 | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | ● |
| 9 | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | ● | | |
| 10 | | | | | | | ● | | | | | | ● | | | | | | | | | |

表 3 十个数据的第三和第四毫秒的发射脉冲的位置

| | MSCE1 | | | | | | | | | | MSCE2 | | | | | | | | | | |
|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| 1 | | | | | | | ● | | | | | ● | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | ● | | | |
| 3 | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | |
| 5 | | | | ● | | | | | | | | | | ● | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | ● | | ● | | | | | | | | | | ● |
| 7 | | | | | | | ● | | | | | | ● | | | | | | | | |
| 8 | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | ● | | |
| 9 | ● | | | | | | | | | | ● | | | | | ● | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | ● | | | | | | | ● | | | | |

脉冲位置每个毫秒都不相同,这就可以使脉冲位置随机化,确保 GOLD 码的 11 个部分的每一个都在每 10 毫秒的时间间隔发送过^[7]。表 4 列出了所有 10 个数据的脉冲位置。这种模式对所有伪卫星都是固定的和一样的。伪卫星的 GOLD 码是连续发送的,脉冲用制定的时间选通信号来传连续发送的伪随机码的 93 个码位置。

表 4 在 10 个数据位上每毫秒伪卫星脉冲位置(200 毫秒)

| | 毫秒 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 数据位 | 脉冲位置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 0 | 6 | 1 | 7 | 2 | 8 | 3 | 9 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 6 | 2 | 9 | 5 | 1 | 8 | 4 | 0 | 7 | 3 |
| 3 | 7 | 4 | 1 | 9 | 6 | 3 | 0 | 8 | 2 | 5 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 0 | 2 | 0 | 6 | 8 |
| 4 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 3 | 7 | 0 | 4 | 8 | 1 | 5 | 9 | 2 | 6 |
| 5 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 7 | 4 | 1 | 9 | 6 | 3 | 0 | 8 | 5 | 2 |
| 6 | 2 | 5 | 8 | 0 | 3 | 6 | 9 | 1 | 4 | 7 | 4 | 9 | 3 | 8 | 2 | 7 | 1 | 6 | 0 | 5 |
| 7 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 8 | 4 | 9 | 3 | 8 | 2 | 7 | 1 | 6 | 0 | 5 | 8 | 6 | 4 | 2 | 0 | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 |
| 9 | 3 | 7 | 0 | 4 | 8 | 1 | 5 | 9 | 2 | 6 | 5 | 0 | 6 | 1 | 7 | 2 | 8 | 3 | 9 | 4 |
| 10 | 6 | 2 | 9 | 5 | 1 | 8 | 4 | 0 | 7 | 3 | 2 | 5 | 8 | 0 | 3 | 6 | 9 | 1 | 4 | 7 |

4 应用实例研究

本课题将对一个 1bit 的 A/D 转换率的接收机跟踪一个典型电平的 GPS 卫星信号。卫星信号是 -130dBm,热噪声信号为 -107dBm,热噪声会抖掉接收机的量化误差。在信号电平比噪声电平弱的时候,接收机的饱和电平可以设成噪声电平^[8]。一个由远处传

来的占空比为 10% 的同 GPS 信号相同码制的伪卫星信号到达接收机时,会有一个 -120dBm 左右的峰值功率,这个信号电平不会使接收机饱和。因为所有接收机合成出卫星相关码至少需要一个周期以上。所以伪卫星信号在一个周期之内的平均电平与 GPS 卫星信号电平几乎相等。理想化分析,该伪卫星信号应该可以与相同平均电平的卫星信号分开的。

当接收机靠近伪卫星时,信号脉冲峰值将上升,最终它会超过接收机的饱和电平,也就是 -107dBm 的热噪声电平。这之后,对于接收机的信号通道来说,无论接收机与伪卫星之间的距离如何变化,伪卫星的峰值电平将保持不变。这样可以认为,饱和电平可以使远近效应与一个可控制的比率联系起来,脉冲信号发射解决了单个伪卫星的远近效应问题。

对于多个伪卫星而言,GPS 的 C/A 码推荐使用占空比为 10% 的脉冲,而且已在实践中得以应用。可是,同样两颗伪卫星发射的信号将使占空比上升到 20%,从而使接收机难以忍受。对于多个伪卫星多脉冲的情况只能降低占空比才能被接收机接收。

5 结束语

对于采用伪卫星来增强 GPS 定位导航性能的研究,文中着重分析和研究了应用 TDMA 技术来改善远

近效应问题。在发挥 TDMA 优点的同时,发现伪卫星信号能够对不按伪卫星环境下设计的接收机进行脉冲干扰。因此,需要结合其它技术来深入研究。

参考文献:

- [1] 科布 S. GPS 伪卫星理论、设计与应用[M]. 北京:中国科技出版社,2005.
- [2] 周忠谟,易杰军,周 琪. GPS 卫星测量原理与应用[M]. 北京:测绘出版社,1997.
- [3] 陈秀万. 伽利略导航卫星系统[M]. 北京:北京大学出版社,2005.
- [4] Kee Changdon, Haeyoung, Yun Doohee. Development of Indoor Navigation System using Asynchronous Pseudolites[C]//ION GPS 2000. Salt Lake City, UT: [s. n.], 2000: 1038 - 1045.
- [5] 刘基余. GPS 卫星导航定位原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [6] Harrington R L, Dolloff J T. The Inverted Rang: GPS use Test Facility[C]//IEEE PLANS76. San Diego, California: [s. n.], 1976: 204 - 211.
- [7] Cobb H S. GPS Pseudolites: Theory, Design, and Applications [D]. California, America: Stanford University, 1997.
- [8] Morley T G. Augmentation of GPS with Pseudolites in a Marine Environment [D]. Calgary, Canada: Calgary University, 1997.

(上接第 166 页)

交互服务采用 SOA 的服务调用,其提供对多个系统服务的同步调用和调度,并支持服务之间的组合,是企业服务总线的框架和基础。

数据同步(Data Synchronization)采用 EDA 架构实现数据消息的同步和一致;更多体现数据层面的多系统数据的一致性维护,也是交互服务、主流程运行的基础,通过数据同步实现多系统间数据的一致性,如客户资料在多个系统之间的一致性实现。

概念架构提供框架(Framework)实现扩展流程、业务规则、数据模型和管理监控的扩展;而支撑 EAI 平台的基础服务包含事务服务、安全服务等。它们构成了 EAI 平台运行的基础。

4 结束语

随着电信 IT 发展规划要求,基于 SOA/EDA 的 EAI 平台是解决电信企业“信息孤岛”、“流程撕裂”、“业务流程全局不可见”等深层问题的核心基础平台。平台从功能上提供应用集成、数据集成和流程集成。其在整个企业系统中的基础定位,最终将集成电信的

BSS 系统、OSS 系统和 MSS 系统,支撑电信的资源共享、业务流程自动化以及业务创新,构成企业统一协同工作环境的软件基础。

参考文献:

- [1] 宋宇宁. 基于 SOA 的事件驱动企业应用集成技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [2] 刘伯超,马晓轩. 基于 Web 服务的软件服务体系结构的研究与实现[J]. 北京航空航天大学学报, 2004, 30(3): 264 - 265.
- [3] BROWN A, JOHNSTON S, KELLY K. Using Service Oriented Architecture and Component Based Development to Build WebService Applications[DB/OL]. 2003. <http://www.rational.com/media/whitepapers/TP032.pdf>.
- [4] 廖建军,胡宏涛. 基于 SOA 实现企业应用集成[J]. 微机发展, 2005, 15(9): 114 - 115.
- [5] 褚红伟,葛 玮. 一种新型的企业应用集成解决方案[J]. 微机发展, 2005, 15(2): 44 - 45.
- [6] 高波涌,宋宇宁. 基于 SOA 的事件驱动型金融业 EAI 技术研究[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(7): 1187 - 1188.