

Overview of satellite positioning system

Lin Zhaokai ,Zhou Chunjie , Lin Zehong , Wu Longtian , Wu Weibing

Guangdong University of Technology, Guangzhou, China, 510006

Email: Jackie_Lin415@139.com

Abstract

This paper introduces the development of the world's major satellite positioning system, the basic structure, positioning algorithm principle, and its performance in different aspects of the advantages and disadvantages demonstrated by comparing the results of multi-dimensional strengths of different satellite systems, and to be a comprehensive analysis of mining , weaknesses, and further explore the possibility to improve the accuracy of satellite positioning, the operation speed and other performance indicators.

Keywords

satellite positioning system; algorithm; Strengths and weaknesses

Subject Areas: Information & Communication

卫星定位系统概述

林昭凯, 周春杰, 林泽宏, 巫堃添, 吴伟兵

广东工业大学, 中国广州, 510006

Email: Jackie_Lin415@139.com

收稿日期: 2016年6月17日; 发布日期: 2016年6月20日

摘要

本文介绍了世界主要卫星定位系统的发展历程、基本结构、定位算法原理、性能及其在不同方面表现出的优缺点, 通过多维度的对比得出不同卫星系统的长处, 并加以综合的分析挖掘, 扬长避短, 进而探索提高卫星定位精度、运算速度等性能指标的可能性。

关键词

卫星定位系统; 算法; 优缺点

1. 引言

当今世界存在着四大卫星定位系统, 即美国的 GPS(Global Positioning System)、中国自主研发的北斗导航定位系统、欧洲的伽利略卫星定位系统以及俄罗斯的 GLONASS 定位系统。卫星定位系统的研究与应用始于 20 世纪冷战时期, 其在军事国防方面的重大作用以及巨大的经济利益, 日益受到世界各国的重视。1991 年, 美国的 GPS 工作卫星使用了选择可用性技术, 人为引入干扰以降低非授权用户的测量精度。这一行为使得各国普遍不满。尽管美国政府后来取消了 GPS 选择可用性限制, 但此举无疑引起各国担忧并激发了世界各国研发卫星定位系统的热潮。

时至今日，卫星定位系统的应用已不仅仅局限于军事领域，更是无处不在渗透于我们的生活中，在生产生活、抗险救灾中发挥着巨大的作用。例如，汶川大地震发生后，在震区通信中断、道路阻塞，震区受灾情况无法为外界所知的情况下，利用卫星系统拍摄、航天遥感、地理信息系统等高科技手段在紧急关头发挥了重要作用。卫星定位系统需要巨大的科技基础和金钱投入，它的发展，是一个国家的科研能力、经济实力、军事实力等方面的综合体现。

本文介绍了世界各大卫星定位系统的发展历程、基本组成部分、定位算法原理及其在不同方面上的优缺点，并对不同卫星定位系统进行多维度的比较。本文分为四个部分，前四部分分别介绍一个卫星系统的发展历程、算法原理和优缺点，最后一部分将各自优缺点进行对比。

2. 全球定位系统 (GPS)

2.1 基本介绍及发展历程

全球定位系统 (Global Positioning System)，英文简称是 GPS。在地球的每个角落，GPS 都能为每个用户提供精度高，可靠性强的实时三维导航数据。

美国军方在 1958 年开始研制 GPS 的前身——子午仪卫星导航系统，并在 1964 年投入使用。但是由于子午仪定位精度方面的缺陷，美国军方不得不采取改进措施。在 1967 年至 1974 年间，美国海军发射了 3 颗试验卫星，初步试验了原子钟计时系统，这标志着 GPS 精确定位的初步形成。同时美国空军也提出了星群计划，应用伪随机码来传播卫星测距信号。美国军方将两种计划合并，开始研制 GPS。直至 1994 年，布设完成了 24 颗 GPS 卫星星座。

2.2 组成部分及工作原理

GPS 主要由三大部分组成，分别是空间星座部分，地面控制部分和信号接收机部分。空间星座向信号接收机发送载波信号和伪距。地面控制主要是实现时间同步，和调整卫星的运转。信号接收机则主要是接收卫星发送的数据进行导航定位。

GPS 的基本原理是将已知的多个卫星的位置数据综合起来，利用空间距离后方交会来计算信号接收机（也就是用户）的具体位置。其中，卫星的位置可以查卫星星历得出；接收机到卫星的距离由光速乘以卫星信号传播到接收机所用的时间得到。

2.3 服务与应用

精密定位服务 (PPS) 和标准定位服务 (SPS) 是 GPS 提供的两种服务。其中，一般只有军事和选定的政府部门才可以使用 PPS，因为它通过加密而受控的；而对于全球用户来说，SPS 都是可以使用的，它的使用并未受限。

GPS 的应用很广泛，主要有定位导航、时间同步和测量等。定位导航方面用于飞机航路引导、汽车自主导航和卫星定轨等；时间同步有电力、邮电和通讯等网络的时间同步。测量方面则有水文地质测量和建筑物变形监测等。

2.4 定位方法和算法

GPS 卫星系统的空间部分由 24 颗卫星组成，其中有 21 颗可供用户定位使用，另外 3 颗为备用卫星，这 24 颗卫星分布在 6 个圆形轨道上，每个轨道分布 4 颗卫星，因此可确保在地球上的任意一点上观测到 4 颗卫星。当用户站同时接收到 4 颗卫星发来的信号时，便可以将用户的位置相对于地心的三维空间的加上时间总共 4 个未知数联立方程组，解出相关未知数即可得到用户的准确位置。

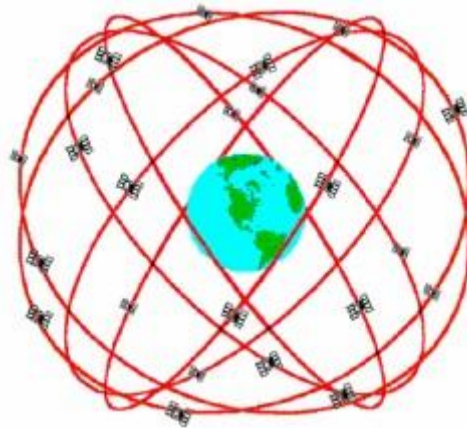


图 1GPS 的 24 颗卫星图

GPS 定位方法主要有伪距测量和载波相位测量。伪距测量是在 GPS 定位时，用卫星发送的伪随机码与接收机复制码的相关技术，测出 4 颗及以上 GPS 卫星之间的距离的位置，采用距离交会的方法求解接收机位置的方法。载波相位测量是利用接收机产生的参考载波信号与其测定的载波相位观测值之间产生相位差，通过相位差来求解接收机位置的方法。

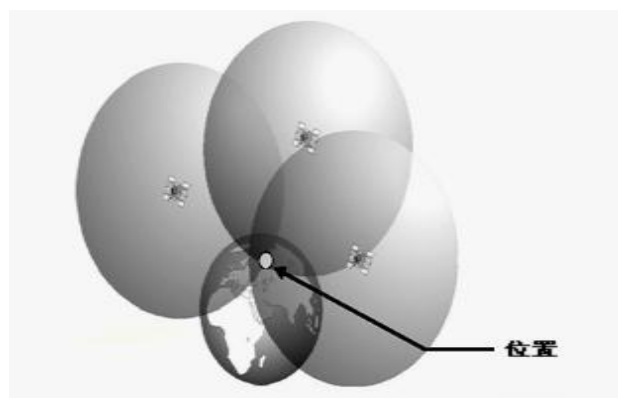


图 2 距离交会法

由此可得出求解用户位置的步骤：

1. 利用 GPS 卫星广播星历计算 GPS 卫星的空间位置

根据数据要求，应求解以下各个数据：

卫星运行的平均角速度 n ； 归化观测时间 t_k ； 观测时刻的卫星平近点角 M_k ； 观测时刻的偏近点角 E_k ； 真近点角 V_k ； 升交点角距 Y_k ； 摄动改正项 G_u 、 G_r 、 G_i ； 经摄动改正后的升交点角距 u_k 、卫星矢径 r_k 、轨道倾角 i_k ； 卫星在轨道坐标系的坐标 (x_k, y_k, z_k) ； 观测时刻 t 的升交点经度 L_k 。最后计算卫星在地心地固坐标系的坐标 (X_j, Y_j, Z_j) 。

$$\begin{aligned} X_j &= x_k \cos L_k - y_k \cos i_k \sin L_k \\ Y_j &= x_j \sin L_k + y_k \cos i_k \sin L_k \\ Z_j &= y_k \sin i_k \end{aligned} \tag{1}$$

2. 计算卫星在坐标系中的速度 X_v 、 Y_v 、 Z_v 。

3. 计算用户的坐标 (X_u, Y_u, Z_u) 。

先测量卫星到用户的伪距 ρ_j

$$\rho_j = \sqrt{(X_j - X_u)^2 + (Y_j - Y_u)^2 + (Z_j - Z_u)^2} + ct_u \tag{2}$$

其中 t_u 为时间偏移量， c 为光速。

利用相关数学知识，使 j 取 1-4 的值，合并成一个由 4 个方程组成的方程组，由此可以解方程组得用户坐标。

4. 将得到的卫星坐标与设定的用户坐标生成坐标矩阵。编写函数代码，利用 MATLAB 软件进行仿真计算，得出用户坐标与设定的坐标相比较。

卫星坐标（一共 24 个坐标值，最后一列为 1，代表可见；为 0，代表不可见） 单位：km	18740	17563	7349	1
	13236	-9736	21074	1
	12465	-18183	14392	1
	14000	-13093	19083	1
	19482	-15773	-7834	1
	0	0	0	0
			
用户坐标	6400	0	0	0

表 1 用户坐标与设定的坐标

利用 MATLAB 软件仿真结果如下：

```
ans =

1.0e+03 *

6.4000    -0.0000    -0.0000
0.0010     0.0010     0.0010
7.4344    -0.0132     0.0327
6.3472     0.0001     0.0016
6.3973     0.0000     0.0002
6.4002    -0.0000    -0.0000
6.4000    -0.0000    -0.0000
```

图3 仿真过程的中间值与最终值

由结果可知，仿真最终值与近似值相差不大。

2.5 GPS 的优点及缺点

GPS 的主要优点是能够全天候，全时段，全方位，可进行高精度的三维定位；而且其速度快，效率高，在许多方面都有应用。例如在工程测量领域中，为了增强适应性，用 GPS 技术测设方格网；为了有效地提高点位趋近速度，用 GPS 方法布设大地控制网等。但其缺点是：GPS 接收器必须接收 4 颗及以上 GPS 卫星的信号，才能确定位置。一旦接收不到信号，将无法实现定位。这意味着需要发射卫星的数目大大增加。当前 GPS 所有在轨卫星数目达到 24 颗。

3. 北斗卫星导航系统

3.1 基本介绍及发展历程

北斗卫星导航系统 (BeiDou (COMPASS) Navigation Satellite System) 是中国自主研发的全球卫星导航系统，是继美国 GPS、俄罗斯格洛纳斯 (GLONASS)、欧洲伽利略 (Galileo) 之后的全球第四大卫星导航系统。从 2000 年中国建成北斗导航试验系统，到 2012 年北斗导航系统实现对亚太地区的覆盖，再到现如今成功发射的第五颗新一代北斗导航卫星，北斗导航系统不断地向覆盖全球的方向迈进，到 2020 年将建成空间星座由不同轨道性质的卫星组成的 COMPASS 卫星导航系统，空间星座将包括 5 颗 GEO 卫星和 30 颗 Non-GEO 卫星，从而实现全球覆盖。

图表 2-1 为已发射卫星明细：

卫星	发射时间	运载火箭	轨道
第 1 颗北斗导航试验卫星	2000. 10. 31	CZ-3A	GEO

第 2 颗北斗导航试验卫星	2000. 12. 21	CZ-3A	GEO
第 3 颗北斗导航试验卫星	2003. 05. 25	CZ-3A	GEO
第 4 颗北斗导航试验卫星	2007. 02. 03	CZ-3A	GEO
第 1 颗北斗导航卫星	2007. 04. 14	CZ-3A	MEO
第 2 颗北斗导航卫星	2009. 04. 15	CZ-3C	GEO
第 3 颗北斗导航卫星	2010. 01. 17	CZ-3C	GEO
第 4 颗北斗导航卫星	2010. 06. 02	CZ-3C	GEO
第 5 颗北斗导航卫星	2010. 08. 01	CZ-3A	IGSO
第 6 颗北斗导航卫星	2010. 11. 01	CZ-3C	GEO
第 7 颗北斗导航卫星	2010. 12. 18	CZ-3A	IGSO
第 8 颗北斗导航卫星	2011. 04. 10	CZ-3A	IGSO
第 9 颗北斗导航卫星	2011. 07. 27	CZ-3A	IGSO
第 10 颗北斗导航卫星	2011. 12. 02	CZ-3A	IGSO
第 11 颗北斗导航卫星	2012. 02. 25	CZ-3C	GEO
第 12、13 颗北斗导航卫星	2012. 04. 30	CZ-3B	MEO
第 14、15 颗北斗导航卫星	2012. 09. 19	CZ-3B	MEO
第 16 颗北斗导航卫星	2012. 10. 25	CZ-3C	GEO
第 17 颗北斗导航卫星	2015. 03. 30	CZ-3C	IGSO
第 18、19 颗北斗导航卫星	2015. 07. 25	CZ-3B	MEO
第 20 颗北斗导航卫星	2015. 09. 30	CZ-3B	IGSO
第 21 颗北斗导航卫星	2016. 02. 01	CZ-3C	MEO

表 2 已发射卫星明细

3.2 定位原理和算法

3.2.1 定位原理

北斗定位系统分为“北斗一代”和“北斗二代”，其中“北斗一代”采用双星定位原理，即以 2 颗在轨卫星的已知坐标为圆心，各以测定的卫星至用户终端的距离为半径，形成 2 个球面，用户终端将位于这 2 个球面交线的圆弧上。地面中心站配有电子高程地图，提供一个以地心为球心、以球心至地球表面高度为半径的非均匀球面。用数学方法求解圆弧与地球表面的交点即可获得用户的位置。如下图所示：

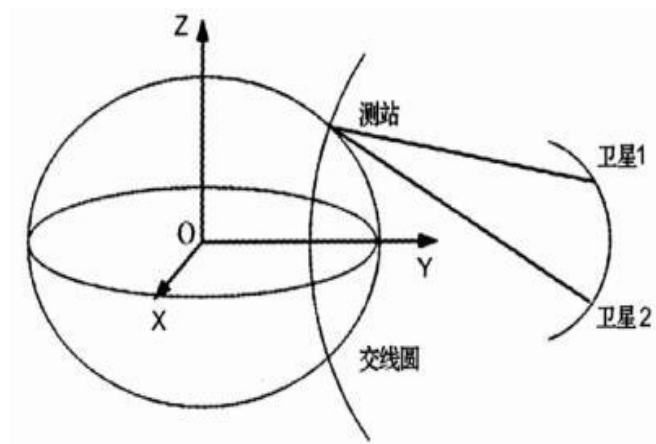


图 4 双星定位系统示意图

以及三星定位原理，即在二星（地球静止卫星）基础上加一颗备份星实现无源定位，接收机通过处理来自三颗卫星的导航电文和用户提供的高度信息得出用户位置。基于“北斗二代”是 RNSS 系统，故至少需要 4 卫星的观测量才能得到用户的位置，根据接收机和卫星间存在的钟差，在已知卫星位置和伪距值的条件下，由式子

$$P_i(u) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} + n_i + c * \Delta t \quad (3)$$

其中 $P_i(u)$ 为第 i 个伪距观测量; $u = [x, y, z]$ 为用户的坐标值; c 为光速, Δt 为钟差; (x_i, y_i, z_i) 为卫星的位置, $i = 1, 2, 3, 4$; n_i 为第 i 个观测量的伪距误差) 可得用户的位置。

3.2.2 算法

易知上式是非线性方程, 设用户的起始坐标和其与卫星的起始钟差为 $U = [x_0, y_0, z_0, \Delta t_0]$, 利用一阶泰勒级数展开式 2-1, 得

$$P_i(u) = P_i(U) + \frac{\partial P_i}{\partial x} \Big|_U (x - x_0) + \frac{\partial P_i}{\partial y} \Big|_U (y - y_0) + \frac{\partial P_i}{\partial z} \Big|_U (z - z_0) + \frac{\partial P_i}{\partial \Delta t} \Big|_U (\Delta t - \Delta t_0) \quad (4)$$

将上式整理, 同时 $\Delta P = [P_i(u) - P_i(U)]^T$, $du = [u - U]^T$

$$H = [h_{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial x} \Big|_U & \frac{\partial P_1}{\partial y} \Big|_U & \frac{\partial P_1}{\partial z} \Big|_U & \frac{\partial P_1}{\partial \Delta t} \Big|_U \\ \frac{\partial P_2}{\partial x} \Big|_U & \frac{\partial P_2}{\partial y} \Big|_U & \frac{\partial P_2}{\partial z} \Big|_U & \frac{\partial P_2}{\partial \Delta t} \Big|_U \\ \frac{\partial P_3}{\partial x} \Big|_U & \frac{\partial P_3}{\partial y} \Big|_U & \frac{\partial P_3}{\partial z} \Big|_U & \frac{\partial P_3}{\partial \Delta t} \Big|_U \\ \frac{\partial P_4}{\partial x} \Big|_U & \frac{\partial P_4}{\partial y} \Big|_U & \frac{\partial P_4}{\partial z} \Big|_U & \frac{\partial P_4}{\partial \Delta t} \Big|_U \end{bmatrix} \quad (5)$$

将 ΔP 、 du 、 H 带入式 2-2 可得

$$\Delta P = H * du + n_i \quad (6)$$

利用最小二乘法可得式 2-3 的解为

$$du = (H^T H)^{-1} * H^T * \Delta P \quad (7)$$

式 (7) 是初始值与真实值的修正量, 故修正的解为 $u_1 = U + dU$

利用 u_1 重复 式 (5) 到 式 (6) 不断更新修正值, 从而更新上一次解, 运算停止条件为计算所得修正量达到预定值, 并将此次得到的结果作为最终结果。

3.3 北斗系统优缺点分析

北斗系统具有如下优点: 一是首次定位速度快。GPS 首次定位一般需要 1~3 min, 而北斗系统的用户定位、电文通信和位置报告可在几秒内完成。二是该系统增加了报文通信功能, 成为世界上第一个集定位、授时和报文通信为一体的卫星系统, 解决了“何人、何时、何处”的相关问题, 实现了位置报告、态势共享。三是授时精度高。GPS 的精密定位服务 (PPS) 授时精度为 200 ns, 北斗验证系统的单向授时精度达 100 ns, 双向定时精度达到 20 ns, 远远高于 GPS 的授时精度。四是北斗是我国自主研发的卫星系统, 具有独立的知识产权, 可为地区乃至全球用户提供高质量的服务。但北斗与世界主流卫星使用的是与相近的无线电频段, 存在频谱重叠, 面临着资源短缺的困境; 再者北斗起步晚, 基于国内国外市场已被 GPS、GLONASS 占领, 许多与卫星导航有关的先进设备进口相对困难, 所以北斗卫星导航系统的发展也面临严峻的挑战。

4. 格洛纳斯 (GLONASS)

4.1 基本介绍及发展历程

格洛纳斯 (GLONASS) 是俄语中“全球卫星导航系统 (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)”的缩写。苏联于 20 世纪 80 年代开始建设此卫星系统, 1995 年投入使用的卫星导航系统, 作用类似于美国的 GPS、欧洲的伽利略卫星定位系统。到 2009 年年底, 其服务范围将拓展到全球。该系统主要服务内容包括确定陆地、海上及空中目标的坐标及运动速度信息等。1996-1998 年间, 由于经济困难, GLONASS 星座得不到正常的维护, 导致系统性能衰退。2001 年底至 2002 年中旬期间, GLONASS 系统仅有 7 颗卫星在正常运行。俄罗斯曾经制定过一个 GLONASS 星座渐进增强计划, 计划在 2001 年有 12 颗全功能工作的卫星。2002 年底发射 3 颗卫星。2003 年发射 1 颗。2007-2008 年期间, 俄罗斯先后发射了 12 颗 GLONASS-M 卫星, 进行了第一期的地面控制部分现代化, 精确了其坐标系统 (PZ-90.02), 当时有 19 颗 GLONASS-M 卫星在轨工作。俄罗斯分别计划在 2009 年底和 2010 年春季各发射 3 颗 GLONASS-M 卫星, 并提出 GLONASS-K 计划 (2011) 等 GLONASS 升级计划。

4.2 定位方法和算法

4.2.1 时间系统转换

GLONASS 采用的时间系统是 GLONASS 时, 它属于 UTC 时间系统, 但是以俄罗斯维持的世界协调时 UTC 作为间

度量基准。UTC 存在闰秒现象 (Leap Second), GLONASS 属于 UTC(SU), 所以也存在闰秒。GLONASS 与 UTC 之间存在 3 个小时的整数差, UTC(SU) 是以原子时秒长为基础, 在时刻上尽量接近世界时的一种时间系统。由于有闰秒改正, 所以 GLONASS 与 UTC 不存在整秒差, 但是存在 3 个小时的时差:

$$\text{GLONASS} = \text{UTC} + 3^{\text{h}} 00^{\text{m}} \quad (8)$$

4.2.2 坐标系统的转换

GLONASS 采用的坐标系为 PZ-90。GLONASS ICD-1998 定义 PZ-90 坐标系如下:

坐标原点位于地球质心。

Z 轴指向 IERS(International Earth Rotation Service) 推荐的协议地极原点(Conventional Terrestrial Pole), 即平均北极。

X 轴指向地球赤道与 BIH 定义的 零子午线交点。

Y 轴满足右手坐标系。

由该定义可以看出, PZ-90 坐标系与国际地球参考框架 ITRF(International Terrestrial Reference Frame) 一致。

由空间的技术, 通过确定卫星在两个系统中的坐标, 从而求解坐标转换参数的方法。一般方法是从 GLONASS 卫星的导航电文中获取 GLONASS 卫星的 PZ-90 坐标, 利用地面测轨跟踪网获取 GLONASS 卫星在 WGS-84 坐标系中的坐标。美国麻省理工学院(MIT)Lincoln 实验室的 Misra 博士, 基于空间的技术方法, 直接把 GLONASS 卫星作为观测目标, 利用激光、雷达、光学跟踪测轨数据, 计算得到 GLONASS 卫星在 WGS-84 坐标系(World Geodetic System - 1984 Coordinate System) 坐标系中的坐标, 从而求取了 PZ-90 与 WGS-84 坐标转换参数。GLONASS 卫星在 PZ-90 中的坐标则直接从广播星历中获取。MIT Lincoln 实验室研究人员选择了位于 2 个轨道面上的 2 颗 GLONASS 卫星(GL-63 和 GL-67, 即 23 号和 14 号卫星)作为观测目标, 并对其进行跟踪测轨, 得到了在 WGS-84 坐标系中的轨道参数。求解坐标转换模型为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.5 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -1.9 * 10^{-6} & 0 \\ 1.9 * 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}_{\text{PZ-90}} \quad (9)$$

4.2.3 GLONASS 伪距定位

Glomass 定位算法综合了 GPS/GLONASS 的优点, 利用 GPS 的时钟数据, 设 GLONASS 组合接收机 I, 观测了 J 号卫星 (GLONASS), 则相应的伪距观测方程为:

$$PR_i^j = \rho_i^j + C\delta t_i - C\delta t^j + C\Delta T_i^{j, Trop} + C\Delta T_i^{j, Lono} \quad (10)$$

$$\text{其中, } \rho_i^j = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (11)$$

δt_i 为接收机钟差，当观测量为 GPS 伪距时为 $\delta t_{i, gps}$ ，为 GLONASS 伪距时候则为 $\delta t_{i, glo}$ ，设 $(X_i, Y_i, Z_i)^T$ ，为接收机坐标， $(X^j, Y^j, Z^j)^T$ 为卫星坐标，需要把 PZ-90 坐标转换为 WGS-84 坐标。当观测卫星数大于 5 颗时，采用最小二乘法进行数据处理。

4. 3GLONASS 载波相位测量

GLONASS 发射两种载波，但是由于采用频分多址的方式区分卫星信号，每个卫星发射的载波频率各不相同。这就造成了 GLONASS 载波相位测量与 GPS 载波相位测量之间有很大的区别。由于双差观测量中存在钟差参数的影响项，在双差解算中设计矩阵不满秩，所以导致法方程系数阵奇异，即整周模糊度数和钟差参数是相关的。

4. 4 数据，图像或仿真过程结果

根据以上算法及公式，设计程序并利用相关仿真软件，得到

点号		GPS/GLONASS 定位结果 (m)	精度 (m)	平面+高程精度 (m)
CP689	X	-2817925.5382	1.3697	2.3361
	Y	4668719.0987	1.5084	
	Z	3296945.3679	1.1427	
A10	X	-2817656.9433	1.3964	2.3820
	Y	4668671.6353	1.5414	
	Z	3297239.7846	1.1611	
A8	X	-2816870.4579	1.17751	2.8077
	Y	4668870.0986	1.9723	
	Z	3297629.5360	1.6164	
CP687	X	-2816579.1503	1.0589	2.0837
	Y	4669029.4218	1.3924	
	Z	3297649.4507	1.1321	
A6	X	-2814236.3606	1.6987	3.4011
	Y	4669968.7847	2.4887	
	Z	3298326.8081	1.5774	
A4	X	-2813135.1158	0.9804	2.5643
	Y	4670688.6303	1.7618	
	Z	3298236.9548	1.5844	
A1	X	-2811747.6443	0.9534	2.2248
	Y	4671802.9147	1.754	

表 3 GLONASS 单点定位解算结果

(1) GPS/GLONASS 单点定位, 可视卫星数最少 12 颗, 最多超过 20 颗, 而 GPS 单点定位可视卫星数最少 5 颗, 最多 11 颗; GPS/GLONASS 单点定位与 GPS 单点定位, 其定位原理、数据处理方法基本相同, 由实验表明, 可视卫星数目增加一倍, 定位精度从 20m 上升到 2-3m, 可见, 组合利用多系统, 增加可视卫星的数目, 有助于提高定位的精度

(2) GPS 取消 SA 后, 单点定位的精度在 20m 左右, 由实验数据表明, 组合 GPS/GLONASS 定位精度在 2-3m 之间, 得出, GPS/GLONASS 单点定位精度大大优于 GPS 单点定位。

(3 南北、东西、高程方向解算精度主要分布在 1-2m 之间, 小于 1m 精度的数据有 3 组, 大于 2 米精度的数据有 1 组; 点位解算精度, 除 A6 点外, 精度均分布在 2-3m 之间, 数据分析表明, 组合 GPS/GLONASS 单点定位的精度在 2-3m 之间。)

。

4.5 优缺点

(1) GLONASS 系统补星行动进展顺利, 至 2009 年底已经组成 24 颗星满星座, 具备全球无间隙导航能力;

(2) GLONASS 采用频分多址体制, 卫星靠频率不同来区分, 每组频率的伪随机码相同。基于这个原因, GLONASS 可以防止整个卫星导航系统同时被敌方干扰, 因而, 具有更强的抗干扰能力;

(3) GLONASS/“双星”组合系统与纯 GLONASS 系统相比, 理论可用性提高至 93%以上, 实际可用性提高至 70%以上。

(4) 当前纯 GLONASS 系统可用性较差, 对于我国用户无法满足连续导航要求。

5. 伽利略系统 (Galileo)

5.1 基本介绍

1999 年 2 月 9 日, 欧洲委员会做出了开发 Galileo 系统的决定。Galileo 系统被定义为一个开放的系统, 以全球民用为主要目的。2002 年 3 月, 欧盟正式启动 Galileo 计划, 并于次年完成了 Galileo 的系统定义。

建成后, Galileo 系统的卫星星座将由 30 颗地球中轨卫星组成, 其中工作卫星 27 颗, 备用卫星 3 颗, 总投资达 34 亿欧元。除了用户设备部分之外, Galileo 将其系统定义为三个基本组成部分: 全球部分、区域部分、局域部分。各部分之间的联系如图所示。

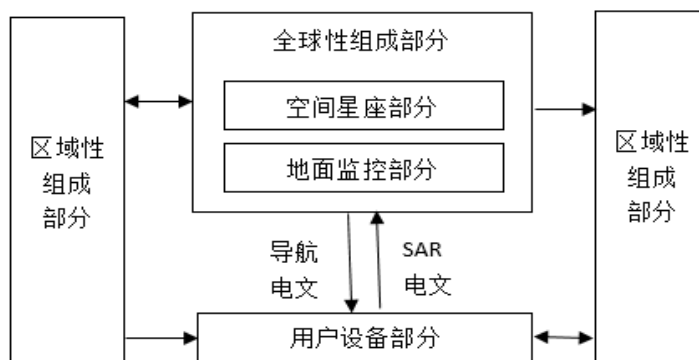


图 5 Galileo 系统结构

Galileo 系统采用了一种面向服务的设计方法，提供五类不同级别的服务，依次为：开放服务（OS）、生命安全（SOL）服务、商用服务（CS）、公共管制服务（PRS）以及搜寻与援救（SAR）服务。在不同的波段信号上，Galileo 提供的服务是不同的（见表 4）。

服务 \ 信号	E5a-I	E5b-I	E6-A	E6-B	L6	E1-A	E1-B
	E5a-Q	E5b-Q		E6-C			
开放服务（OS）	✓	✓					✓
生命安全（SOL）服务		✓					✓
商用服务（CS）		✓		✓			✓
公共管制服务（PRS）			✓			✓	
搜寻与援救（SAR）服务					✓		

表 4 Galileo 系统在各个信号上提供的服务

2005 年 12 月 28 日，第一颗 Galileo 试验卫星 GIOVE-A 发射成功。2011 年 10 月 21 日，Galileo 系统第一颗真正意义上的卫星发射升空。目前，已有 12 颗 Galileo 卫星在轨道上运作。作为欧盟主导项目，欧盟并不排斥外国参与 Galileo 的研究。目前，中国、韩国、日本等国家也在参与该计划，这在一定程度上推动了 Galileo 的发展与完善。

Galileo 系统的定位方法与 GPS 类似，也有伪距测量法和载波相位测量法。其中，伪距测量法分为单差伪距测量和双差伪距测量。另外，还有一种方法就是结合 GPS 或者 GLONASS，利用它们的单差测量值之间的进一步差分来进行测量，这种方法称为混和双差法。载波相位测量法分为单差载波相位法和双差载波相位法。

Galileo 系统导航定位精度高，可提供可靠性高的服务。Galileo 可以分发实时的米级定位精度信息，而现

有的卫星导航系统是没有的。同时 Galileo 能够保证在很多特殊的情况下提供服务，如果失败也能够几秒钟内通知用户，对安全性有特殊要求的情况如飞机着陆等，Galileo 的应用就特别适合。

6. 结语

本文介绍了当今四大卫星定位系统，其中侧重介绍了 GPS 系统以及北斗卫星定位系统。GPS 采用了距离交会法，每次定位一个地点的三维位置加上时间参数需要列四个方程，因此需要同时四颗定位卫星的数据。为了确保在地球上任意一点上可以看见四颗卫星，GPS 总共在轨卫星达到 24 颗，其后期的维护支撑需要相当大的经济投入。GPS 能够全天候，全时段，全方位，可进行高精度的三维定位，而且其速度快，效率高，成为世界各国应用最广泛的定位系统。GPS 使用了十分精密的原子钟定时，但即使如此，由于受到相对论效应和电磁波传播的多径效应等因素影响，仍存在着一定的定位误差，这些误差可使用差分全球定位系统（DGPS）消除。北斗卫星定位系统使用双星交会法定位，相较于 GPS，其首次定位速度快，授时精度高，原因在于北斗算法引入了北斗算法引入了伪距误差，不断更新修正值，从而更新上一次解，运算停止条件为计算所得修正量达到预定值，并将此次得到的结果作为最终结果。此外并引入了全新的报文通信功能。北斗作为后起之秀，在不同方面都吸收了 GPS 设计的经验并不断加以改进，其性能相较于后者有所提升。

参考文献

- [1]毛敏. GPS 卫星定位系统简介[J]. 陕西国防工业职业技术学院学报, 2010(1): 39-42.
- [2]杨俊 武奇生. GPS 基本原理及其 Matlab 仿真[M]西安. 西安电子科技大学出版社, 2006.
- [3]常青 高晖 柳重堪 张其善. GPS 定位算法研究 [J]. 遥测遥控, 1998 (5): 6-11.
- [4]韩高楼. GPS 定位技术的优缺点[J]. 陕西建筑, 2010(2): 56-57. GLONASS.
- [5]隋艺. 北斗卫星和伪卫星组合定位系统研究[D]. 西北工业大学硕士学位论文. 2004: 38-38.
- [6]赵彦青. 北斗卫星导航系统定位算法研究和 GDOP 分析[D]. 哈尔滨工程大学, 2013.
- [7]任锴, 杨力, 黄建. GLONASS 单点定位及精度分析[J]. 测绘报. 2008(11): 4-6.
- [8]谢钢. 全球导航卫星系统原理— GPS、格洛纳斯和伽利略系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013. 9.
- [9] (奥) 霍夫曼—韦伦霍夫, (奥) 利希特内格尔, (奥) 瓦斯勒著; 程鹏飞等译. 全球卫星导航系统[M]. 北京: 测绘出版社, 2009. 8.