第21卷 第4期 空 间 科 学 学 报 Vol.21, No.4
2001 年 10月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 2001

基于 GEO/HEO 混合星座的区域卫星定位系统性能分析*

刘会杰 张乃通
(哈尔滨工业大学通信技术研究所 150001)

摘 要

星座方案选择对卫星定位系统的性能具有很大影响. 本文结合 GNSS-2 星座方案中的阿基米德计划, 设计了针对我国区域的 HEO/GEO 混合星座. 首先从可见性角度对 GEO 卫星定点参数和 HEO 卫星轨道参数进行了优选, 之后, 以 GDOP 和 PDOP 因子为衡量标准, 在选定覆盖区域内, 对混合星座的定位性能进行了分析, 仿真结果表明, 在覆盖区域内, 该星座能够达到与 GPS 相当的定位精度.

关键词 GEO/HEO — GPS — GDOP/PDOP —可见性

1 引言

GPS 和 GLONASS 是卫星定位系统的成功范例, 二者均以军事应用为出发点并且分属美国和俄罗斯. 因此, 其面向全球应用的可靠性和可用性将无法保证, 这一方面限制了 GPS 和 GLONASS 的直接应用, 从而促进了 GPS 和 GLONASS 在具体领域中的应用研究 [1,2]; 另一方面也促使不同国家和地区纷纷研究自己的卫星定位系统 [3,4].

在 GPS 和 GLONASS 以外的卫星定位系统开发中, 差分 GPS 系统和技术的提出是卫星定位系统发展的一个重要步骤, 它可显著地提高定位精度, 与伪卫星技术结合还可增加定位可靠性和可用性 [4]. 在差分 GPS 研究方面, 除美国交通部、民航和地质测绘部门的 LADGPS 、 WADGPS 以及对应的 LAAS 和 WAAS 外, 欧共体还提出了 GNSS-1 计划, 它面向区域应用, 在 GPS 和 GLONASS 全球星座的基础上, 实现对 GPS 和 GLONASS 定位精度的改善. 然而, GNSS-1 的定位性能仍受到 GPS 和 GLONASS 民用 C/A 码可用性的限制, 为此, 在 GNSS-1 基础上, 欧共体又提出了 GNSS-2, 它具有独立设计的星座, 并且仍采用 4 星同步测距原理.

由于星座对卫星定位系统的重要性 [5], 因此在 GPS 系统建设中, 星座方案几易其稿, 在 GNSS-2 系统中, 围绕星座设计, 目前也已提出多种方案. 本文针对 GNSS-2 星座方案中的 GEO/HEO 混合星座的区域定位系统进行了研究, 并在文末给出了结论.

* 国家 863 计划资助 (863-2-5-2.1)
1999-11-08 收到原稿, 2001-08-20 收到修定稿

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 基础知识

2.1 GDOP(PDOP) 定义

根据 GDOP(PDOP) 定义 [6,7], 在测距定位系统中, 设某时刻用户同时观测到 n 颗卫星, 并建立了如下伪距方程:

$$\rho_i = R_i + c\cdot(\tau-\tau_i) + d_{\text{pheride}} + d_{\text{inon}} + d_{\text{trop}} + d_{\text{multi}} + \nu, \qquad i=1,2,\cdots,n.$$

其中, R_i 为用户到卫星的几何距离, τ 为用户接收机钟差, τ_i 为卫星时钟偏差, c 为光速, d_{pheride} 为星历误差, d_{inon} 、 d_{trop} 和 d_{multi} 分别为电离层误差、对流层误差和多径误差, ν 为接收机噪声误差.

设导航星 S 位置为 $X_i\ (x_i,y_i,z_i)$, 用户 U 位置为 $X(x,y,z)$, 则

$$R_i = \|SU\|_2 = \|X_i - X\|_2 = \sqrt{(x_i-x)^2+(y_i-y)^2+(z_i-z)^2}.$$

对伪距方程, 考虑星钟、电离层 /对流层误差校正, 在某一估计点 $U_0\ (x_0,y_0,z_0)$ 进行线性化, 可得:

$$\rho_i \approx \rho_{0i} + \frac{x_0-x_i}{\rho_{0i}}(x-x_0) + \frac{y_0-y_i}{\rho_{0i}}(y-y_0) + \frac{z_0-z_i}{\rho_{0i}}(z-z_0) + b + \varepsilon,$$
$$\rho_{0i} = \sqrt{(x_0-x_i)^2+(y_0-y_i)^2+(z_0-z_i)^2}.$$

其中, b 为接收机时钟偏差的等效测距误差, ε 为残差.

记 $$u_i = \frac{x_0-x_i}{\rho_{0i}}, \qquad \nu_i = \frac{y_0-y_i}{\rho_{0i}}, \qquad w_i = \frac{z_0-z_i}{\rho_{0i}}$$

为用户到导航卫星方向在选定坐标系中的方向余弦.

则对 $i=1$ 、 2 、 3 、 4 共 4 颗可见星, 其矩阵形式方程为

$$\begin{bmatrix}\Delta\rho_1\\ \Delta\rho_2\\ \Delta\rho_3\\ \Delta\rho_4\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}u_1 & \nu_1 & w_1 & 1\\ u_2 & \nu_2 & w_2 & 1\\ u_3 & \nu_3 & w_3 & 1\\ u_4 & \nu_4 & w_4 & 1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}x-x_0\\ y-y_0\\ z-z_0\\ b\end{bmatrix}$$

或 $$\Delta\boldsymbol{\rho} = \boldsymbol{G}\cdot\Delta\boldsymbol{X}.$$

若 $\boldsymbol{G}$ 为满秩, 则 $\Delta\boldsymbol{X} = \boldsymbol{G}^{-1}\cdot\Delta\boldsymbol{\rho}$.

对 4 颗以上的可见星, 利用最小二乘法, 有: $\Delta\boldsymbol{X} = (\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}\cdot\boldsymbol{G})^{-1}\cdot\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}\cdot\Delta\rho$.

令 $\boldsymbol{H} = \boldsymbol{G}^{-1}$ 或 $(\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{G})^{-1}\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}$, 取观测量的测量误差独立同分布, 方差为 σ_0^2, 根据误差的协方差传播规律, 定位结果误差协方差矩阵为

$$\begin{aligned}\mathrm{cov}(\delta\boldsymbol{X}) =& \sigma_0^2\cdot\boldsymbol{H}\cdot\boldsymbol{H}^{\mathrm{T}} = \sigma_0^2\cdot[(\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}\cdot\boldsymbol{G})^{-1}\cdot\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}]\cdot[(\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}\cdot\boldsymbol{G})^{-1}\cdot\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}]^{\mathrm{T}}\\ =& \sigma_0^2\cdot(\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}\cdot\boldsymbol{G})^{-1} = \sigma_0^2\cdot\boldsymbol{Q}.\end{aligned}$$

其中, $$\boldsymbol{Q} = \begin{pmatrix}q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14}\\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24}\\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34}\\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44}\end{pmatrix}.$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

定义几何精度衰减因子为

$$F_{\mathrm{GDOP}}=\frac{\sigma_{\Delta X}}{\sigma_\rho}=\frac{\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2+\sigma_z^2+\sigma_b^2}}{\sigma_\rho}=\sqrt{\mathrm{tr}(\boldsymbol{G}^{\mathrm{T}}\cdot\boldsymbol{G})^{-1}}.$$

类似地，还可定义位置精度衰减因子为

$$F_{\mathrm{PDOP}}=\sqrt{q_{11}+q_{22}+q_{33}}.$$

2.2　可见性定义及判据

地面对卫星定位系统星座的可见性同卫星对地面的覆盖特性密切相关 [8]. 在某一时刻，卫星对地面的覆盖情况如图 1 所示. 其中，R_{e} 为地球半径，$R_{\mathrm{e}}=|OP_1|=|OP_2|$; h 为卫星轨道高度，$h=|SS'|$; d 为卫星覆盖角，且

$$d=\arccos\left(\frac{R_{\mathrm{e}}}{R_{\mathrm{e}}+h}\right).$$

考虑地面损耗以及因仰角不同所产生的大气影响，存在最小仰角 α 的限制，此时

$$d=\arccos\left(\frac{R_{\mathrm{e}}\cdot\cos\alpha}{R_{\mathrm{e}}+h}\right)-\alpha.$$

结合图 1, 地面点 A 对卫星 S 的可见性定义为：若 A 位于卫星 S 覆盖范围内，则 S 对 A 点可见. 由于该定义基于几何观点，故称几何可见性. 实际中，S 对 A“可见”指 A 点在满足最小仰角条件下能够可靠接收卫星 S 的信号.

为便于分析，此处在地心惯性坐标系中描述卫星运行情况，不失一般性，取参考点为北极点 N, 则在最小仰角 α 时，可得图 2.

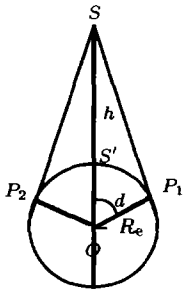


图 1　卫星覆盖示意图
Fig.1　Coverage of satellite

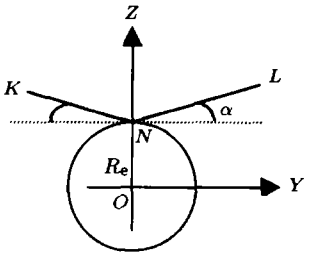


图 2　卫星对北极点 N 的可见性
Fig.2　Visibility of satellite to north pole N

由图并联系前文，则 N 对星座中卫星的可见性为：当导航星落入由锥形 KNL 绕 Z 轴旋转所形成的空间锥体内时，该卫星对 N 点可见. 对给定时刻，由星座中各卫星初始位置和运动方程可确定其相应位置，定义 $k=\tan\alpha$, 则圆锥面 KNL 的方程为

$$Z-R=k\cdot\sqrt{X^2+Y^2}.$$

对星座中某一卫星 $S_i\ (X_i,Y_i,Z_i)$, 其对 N 点的可见性判据取为

$$d=(Z_i-R)-k\cdot\sqrt{X_i^2+Y_i^2}.$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

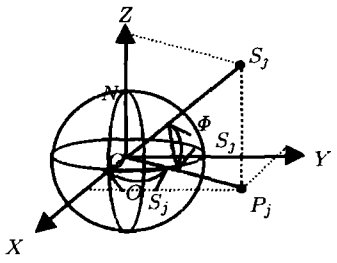


图 3 地面点 S_j 与 N 的转换
Fig.3 Transform between S_j and N

则当 $d \geqslant 0$ 时，卫星 S_i 落入锥体 KNL 之内，其对 N 点可见；当 $d < 0$ 时，对 N 点不可见.

对地面任一点 S_j (X_j, Y_j, Z_j)，如图 3 所示，P_j 为 S_j 在 X-Y 平面内的投影，Φ_j 为 OP_j 与 X 轴夹角，Ω_j 为 OE_j 与 X-Y 平面夹角，由几何关系可确定 S_j (X_j, Y_j, Z_j) 所对应的角度 (α_j, Φ_j)，从而，经坐标变换可将 S_j 变换为北极点，因此，可确定导航星座在任意时刻对地面任意一点的可见情况.

3 区域性 GEO/HEO 混合星座设计

由于 GEO 卫星和 HEO 卫星具有不同的运动特点，因此，以下分 GEO 和 HEO 两种轨道分别设计.

3.1 GEO 卫星轨道参数的选择

本部分通过对 3 颗 GEO 卫星轨道参数的选择，使 3 颗 GEO 卫星对覆盖区域提供三重覆盖. 根据 GEO 卫星运动特点，在地心地固坐标系中，GEO 卫星处于静止状态，卫星与覆盖区域的关系同于地心惯性坐标系中赤道定点卫星同无旋地球上固定覆盖区域的关系，为方便起见，采用后者对 GEO 卫星覆盖情况进行分析.

本文考虑的覆盖范围取定为：北纬 0°—60°，东经 65°—155°. 对 GEO 卫星，其轨道高度为 35 863 km，轨道面倾角为 0°，轨道形状为圆形，惟一待定参数为卫星定点. 这里采用仿真方法进行分析设计.

按照前述的可见星定义可判据，当 3 颗 GEO 卫星之间在经度方向相差 15° 时，可保证对选定覆盖区域的三重覆盖. 此时，定点参数分别为 90°E 、105°E 和 130°E.

3.2 HEO 卫星的轨道参数

由于 HEO 卫星与覆盖区域间存在相对运动，因此，应在统一的坐标系中进行研究. 在惯性坐标系中，HEO 卫星与覆盖区域的动态关系可通过 HEO 卫星相对于惯性坐标系以及选定覆盖区域相对于惯性坐标系的运动复合而得出.

3.2.1 惯性坐标系中 HEO 卫星的运动

惯性坐标系中，卫星的运动 [8,9] 轨道可通过 6 个经典轨道要素表达，即 (1) 升交点赤径 Ω, (2) 轨道倾角 i, (3) 近地点中心角 ω, (4) 轨道长半轴 a, (5) 轨道偏心率 e, (6) 卫星飞过近地点的时刻 τ.

设地球为理想球形，半径 $\mathrm{R_e} = 6378.14\,\mathrm{km}$，地球常数 $\mathrm{G_M} = 3.986 \times 10^{14}\mathrm{m^2/s^2}$. 设 HEO 卫星轨道长半轴为 a，轨道偏心率为 e，由 Kepler 第三定律，则卫星的轨道周期为

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot a^3}{\mathrm{G_M}}}.$$

卫星绕地心运动的轨道方程为

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1 + e \cdot \cos f}.$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

其中，r 为卫星到地心距离，f 为卫星的真近点角.

对 HEO 卫星，定义轨道平面惯性坐标系为：以地心为原点，在轨道面内，从地心指向近地点方向为 Y 轴，Z 轴取为卫星运动的动量矩方向，X 轴取向与 Y 轴和 Z 轴服从右螺旋法则 (即 X 轴指向升交点方向).

由于 HEO 卫星非匀速运动，为在轨道平面惯性坐标系描述其运动规律，从真近点角 f 出发，又定义偏近点角 E 和平近点角 M，其中平近点角与卫星在椭圆轨道内运动的平均角速度 n 的关系为 $M = nt$，t 为从近地点起算的时间间隔.

对给定的椭圆轨道卫星，其偏近点角 E 和平近点角 M 之间有如下关系：

$$E = M + e \cdot \sin E,$$

且其真近点角为

$$f = 2a \tan\left[\left(\frac{1+e}{1-e}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \tan\left(\frac{E}{2}\right)\right].$$

因此，在轨道平面惯性坐标系中，某时刻 t 卫星的位置为

$$\begin{cases} x = r \cdot \cos f, \\ y = r \cdot \sin f, \\ z = 0. \end{cases}$$

利用上述方程以及轨道平面惯性坐标系和地心惯性坐标系的转换关系，可得 HEO 卫星在地心惯性坐标系中的运动方程.

3.2.2　选定覆盖区域相对于惯性坐标系的运动

由于覆盖区域固定在地球上，而地球与地心惯性坐标系存在自转运动，因此，覆盖区域也呈现出一定的运动规律. 在某一时刻 t_0，设覆盖区内一点 A 在地心惯性坐标系中为 (x_0, y_0, z_0)，则在 $t = t_0 + \Delta t$，A 在惯性坐标系中的坐标 (x, y, z) 将发生变化.

为便于分析，设存在一个地心地固坐标系，并设 t_0 时地心地固坐标系与地心惯性坐标系重合，则在 t_0 时，A 点在地心地固坐标中的坐标亦为 (x_0, y_0, z_0)，在 $t = t_0 + \Delta t$ 时，A 点在地心地固坐标系中的坐标仍保持为 (x_0, y_0, z_0)，然而，由于地球自转，地心地固坐标系与地心惯性坐标系在绕 Z 轴方向存在夹角. 取地球自转周期为 $P_e = 24 \times 3\,600\,\mathrm{s}$，则地球自转角速度为 $\omega = 2P_i/P_e$，故 t 时刻二坐标系的夹角为 $\alpha = \omega(t - t_0) = \omega\Delta t$，由坐标变换，可得 t 时刻 A 点在地心惯性坐标系中的坐标.

3.2.3　HEO 卫星轨道参数选择

此处，HEO 卫星取周期为 12 h 的准同步轨道，其长半轴 a 为 26 595.7 km，偏心率 e 为 0.7132，轨道面倾角取为 63.4°，在此限制条件下，本部分的任务就是对 3 颗 HEO 卫星进行升交点赤经和卫星初始相位的选择.

由于本文星座需保证区域性连续覆盖，因此，应对 HEO 卫星的升交点赤经和卫星初相 (卫星的初始位置与近地点的角距) 进行综合考虑，使得 3 颗星的分布在时间上错开以提供对覆盖区域内连续定位所需的至少一重覆盖，为此，下文通过研究星下点轨迹以选择合适的升交点赤径和卫星初相.

由于地球自转，星下点轨迹是 HEO 卫星和地球自转运动的复合. 根据 3.2.1 和 3.2.2

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

节，则有旋地球上以经纬度表示的星下点轨迹为

$$\begin{cases} \alpha = \arctan(\cos i \cdot \tan u) - \omega_e t, \\ \beta = \arcsin(\sin i \cdot \sin u). \end{cases}$$

式中，i 为轨道面倾角，ω_e 为地球自转角速度，u 为卫星的瞬时位置与升交点的角距.

通过大量的仿真计算，当 3 颗 HEO 卫星的升交点赤经分别为 80° 、 50° 、 −160°，初相分别为 0° 、 120° 、 240° 时， 3 颗卫星的星下点轨迹如图 4. 如图 4 所示， HEO 卫星星下点轨迹仿真中，仿真周期取地球自转周期 $24 \times 3\,600$ s，时间间隔取 100 s，在前述给定轨道参数条件下， 3 颗 HEO 卫星星下点轨迹分别为图中第 1 、 2 、 3 条曲线，由于轨道面布置和各卫星初相选择不同，因此，各卫星在远地点时其星下点经度不同，当选择其他初相值时， HEO 星下点分布情况也不相同.

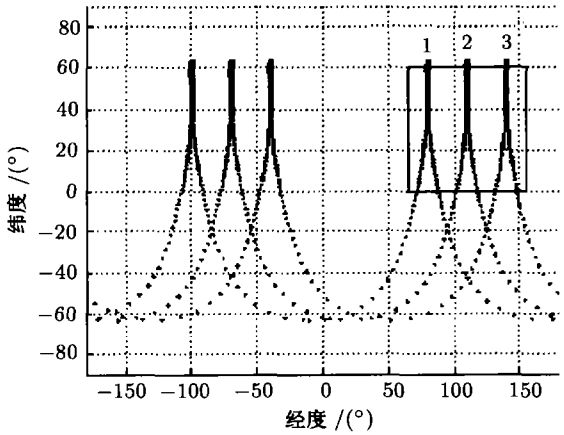


图 4 HEO 卫星的星下点轨迹

Fig.4 Subsatellite trace for HEO satellites

从动态仿真过程还可知，当选择不同初相值时，星下点轨迹的不同还使得对特定区域的覆盖特性不同. 对应上图，该组 HEO 轨道参数对 65°—155° 经度范围将具有较好的覆盖特性，此时，所选初相值可保证 3 颗卫星依次出现于覆盖区上空，并且每颗星将在 1/3 的地球自转周期内覆盖选定区域.

4 定位性能分析

由第 2 节可知，定位精度可表达为 F_{GDOP} 与用户等效测距误差 (UERE) 的乘积，也就是， F_{GDOP} 因子为误差放大倍数，在这个意义上，定位星座应使得 F_{GDOP} 数值在覆盖区域范围内最小化. 为衡量本文 HEO/GEO 混合星座的定位性能，首先对 GPS 系统中 5 星定位算法的 F_{GDOP} 因子给以计算. 在选定地心惯性坐标系中，不失一般性，任取地面一点为 (5 439.7, 3 140.6, 1 107.6)，在某一时刻可见的 9 颗 GPS 卫星的位置如表 1.

对 9 颗可见卫星， 5 星算法有 126 种组合计数，对其 F_{GDOP} 和 F_{PDOP} 的研究有：在所有的组合情况中， $F_{\mathrm{GDOP_{min}}} = 2.6027$, $F_{\mathrm{PDOP_{min}}} = 2.3439$, F_{GDOP} 对组合计数的平均

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

值为 4.5306, 方差为 3.4048, F_{PDOP} 对组合计数的平均值为 3.9121, 方差为 2.9536.

表 1　9 颗 GPS 卫星的位置

	地面点	GPS 卫星坐标								
	坐标	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	5 439.7	2 231	−20 413	−4 035	22 785	19 755	−11 584	20 031	−4 885	−18 530
Y	3 140.6	−12 102	14 327	17 023	−7 870	15 262	−18 688	1 573.3	6 472	−4 621
Z	1 107.6	23 592	9 279.3	20 050	11 267	9 211.7	14 987	17 445	25 343	18 530

在 0°—60° 纬度、 65°—155° 经度范围内, 本文 HEO/GEO 混合星座的 F_{GDOP} 和 F_{PDOP} 数值如图 5 所示, 并且, $F_{\mathrm{GDOP_{min}}}=2.1824$, $F_{\mathrm{PDOP_{min}}}=1.9531$, F_{GDOP} 对空间采样点的平均值为 3.0869, 方差为 0.8176, F_{PDOP} 对空间采样点的平均值为 2.6471, 方差为 0.6258.

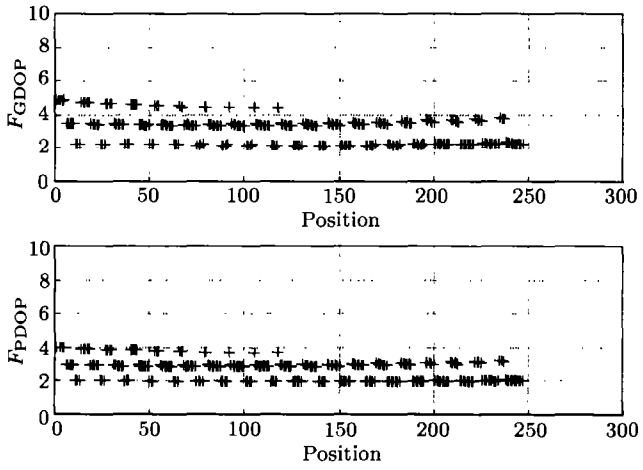


图 5　给定区域内本文混合星座的 F_{GDOP} 和 F_{PDOP}

Fig.5　F_{GDOP} and F_{PDOP} of the given constellation in certain region

设本文 HEO/GEO 混合星座定位系统 UERE 同于 GPS, 则在选定区域内, 该星座可获得与 GPS 星座相当的定位精度. 然而, 从动态仿真过程可知, 对本文星座, 在某些时刻, HEO 卫星运动使选定区域内部分采样点的同时可见星数少于 4. 进一步统计研究表明, 本文星座对选定的覆盖区域可保证 90% 的时间同时可见 4 颗卫星, 这是星数较少的必然结果, 为改善这一状况, (1) 可考虑增加 HEO 卫星的数量; (2) 研究基于 3 颗同时可见卫星的准实时定位算法.

5　结　　论

本文采用 3 颗 HEO 卫星和 3 颗 GEO 卫星, 设计了针对我国区域的 HEO/GEO 混合星座, 仿真结果表明, 在覆盖区域内, 本文混合星座能够达到与 GPS 相当的定位性能.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

通过本文工作，可得如下结论：(1) 采用混合星座设计区域性定位系统，有可能得到优良的定位性能而所需卫星数较少；(2) 对 HEO 卫星而言，初相和升交点赤径选择决定其在远地点时星下点的经度，采用多颗 HEO 卫星时，可依据星下点轨迹确定其相对相位关系，实现对特定区域的最优覆盖；(3) 利用 F_{GDOP} 和 F_{PDOP} 因子评价所给星座的定位性能，可以起到误差分解、简化系统设计的作用.

参 考 文 献

[1] 胡国荣，欧吉坤. 星载 GPS 低轨卫星几何法精密定轨研究. 空间科学学报， 2000, **20**(1):32—39
[2] 季善标，朱文耀，熊文清. 精密 GPS 卫星钟差的改正和应用. 空间科学学报， 2001, **21**(1):42—48
[3] 闫野，任萱，郗晓宁. 利用星间测距实现卫星网自主定位. 空间科学学报， 2000, **20**(1):54—60
[4] Parkinson B W, Stansell T, Beard R, Gromov K. A History of Satellite Navigation, Navigation. *J. Ins. Nav.*, 1995, **42**(1):109—164
[5] Perrotta G, Girolamo S D, Capus R, D'Andrea J, Pilla E. A Comparison Between Sveral Satellite Constellations for GNSS-2. In: 47th International Astronautical Congress, 1996, Beijing, 1—11
[6] 张守信. GPS 卫星测量定位理论与应用. 长沙：国防科技大学出版社， 1996
[7] Massatt P, Rudnick K. Gometric Formulas for Dilution of Precision Calculations, Navigation. *J. Ins. Nav.*, 1991, **37**(4):379—391
[8] 任萱. 人造地球卫星轨道力学. 长沙：国防科技大学出版社， 1988
[9] Bate R R. 航天动力学基础. 吴鹤鸣，李肇杰译. 北京：北京航空航天大学出版社， 1990

PERFORMANCE ANALYSIS FOR REGIONAL SATELLITE POSITIONING SYSTEM BASED UPON GEO/HEO HYBRID CONSTELLATION

LIU Huijie ZHANG Naitong

(*Communication Research Center, Harbin Institute of Technology,* 150001)

Abstract

As for satellite positioning system, selection of constellation type would greatly influence the performance of positioning. Connected with Archimedes plan among constellation schemes for GNSS-2, this paper presents a GEO/HEO hybrid positioning constellation by using three HEO satellites and three GEO satellites, here the objective region is chosen as our country. Firstly, the parameters for GEO and HEO satellites are optimized from regional visibility. Secondly, positioning performance analysis for the given hybrid constellation are provided in certain region measured by GDOP and PDOP. Simulation results show that we can expect similar accuracy with GPS in certain region by the hybrid constellation put forward here.

Key words GEO/HEO, GPS, GDOP/PDOP, Visibility

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com