

· 学术论文与技术报告 ·

一种新的GPS导航卫星选择算法*

张贵明** 黄顺吉 张元莉

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】 针对利用全球定位系统(GPS)进行定位导航时对实时性的要求,提出了一种新的导航卫星选择算法。该算法比传统算法的计算量小得多。仿真结果表明,该算法所得出的结果与传统算法很接近,能满足导航定位的实时性精度要求。

关键词 全球定位系统; 几何衰减因子; 选择算法; 计算机仿真

中图分类号 TN967.1

全球定位系统(GPS)可为静止和运动的用户全天候提供精确的位置、速度和时间等信息,因此利用GPS进行定位导航得到了广泛关注和应用^[1,2]。在GPS导航定位中,为了保证定位精度,需要从多颗可观测导航星中选出具有最佳几何分布的4颗卫星组合,即存在最佳选星问题。传统的卫星选择算法虽能找出具有最小几何精度衰减因子(GDOP)的卫星组合,但计算量大,实时性较差。本文提出了一个实时性、计算结果都较好的新的导航卫星选择算法。

1 GDOP的定义^[1]

在GPS定位中,影响定位精度的关键因素之一是几何精度衰减因子GDOP值,即

$$GDOP = \sqrt{I_r (G^T G)^{-1}} \quad (1)$$

式中 G 表示用户至导航卫星的方向余弦矩阵; $GDOP$ 值描述了观测卫星几何形状对用户定位精度的影响程度,表明GPS的定位误差与导航星和用户之间的空间几何有密切的关系。为了提高用户定位精度,应使观测卫星具有良好的空间几何分布,即使GDOP值最小。

2 导航卫星选择算法

在伪距测量中,通常从导航星中选择4颗 j_1, j_2, j_3, j_4 进行观测,使其GDOP最小,故有

$$GDOP(j_1, j_2, j_3, j_4) = \sqrt{I_r (G^T G)^{-1}} \quad (2)$$

其中

$$G = \begin{bmatrix} I_1 & 1 \\ I_2 & 1 \\ I_3 & 1 \\ I_4 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{1x} & I_{1y} & I_{1z} & 1 \\ I_{2x} & I_{2y} & I_{2z} & 1 \\ I_{3x} & I_{3y} & I_{3z} & 1 \\ I_{4x} & I_{4y} & I_{4z} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

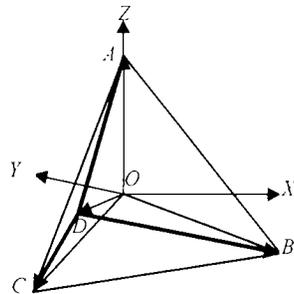


图1 最小GDOP的卫星几何分布

2.1 选择导航卫星的传统算法

选择导航星的传统算法是列出所有用户能观测到的导航星,对其进行4个一组的组合并计算GDOP,选出具有

最小GDOP的4星组合。具有最小GDOP的4颗导航星是组成四面体体积最大的组合,其几何形状

1999年12月13日收稿

* 电子部预研基金资助项目

** 男 28岁 博士

如图1所示。卫星A位于四面体的顶点，另外3颗卫星B、C、D在球面空间呈 120° 等间隔分布，与A相隔 109.47° ，其 $GDOP=1.5811$ [3,4]。

定义参考坐标系 $O-XYZ$ ：以用户卫星为原点 O ， OA 所在方向为 Z 轴， X 轴位于 A, B 所在的平面内并垂直于 Z 轴， Y 轴遵循右手正交定则。于是4颗卫星的方向矢量分别为

$$\begin{cases} \mathbf{u}_A = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \mathbf{u}_B = \begin{bmatrix} 2\sqrt{2}/3 \\ 0 \\ -1/3 \end{bmatrix} \\ \mathbf{u}_C = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/3 \\ \sqrt{6}/3 \\ -1/3 \end{bmatrix} \\ \mathbf{u}_D = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/3 \\ -\sqrt{6}/3 \\ -1/3 \end{bmatrix} \end{cases} \quad (4)$$

这种算法可以找出最佳的导航星组合，但其计算量大，实时性较差。本文根据传统算法中得出的具有最小 $GDOP$ 的4颗导航星组成的四面体的体积最大的原则，提出新的算法。

2.2 选择导航卫星的新算法

设用户在地心坐标系中的单位矢量为 \mathbf{e}_{user} ， $\mathbf{e}_{\text{user}} = [e_x \quad e_y \quad e_z]^T$ ，用户可观测的所有GPS导航星到用户在地心坐标系中的单位矢量为 $\mathbf{l}_1, \mathbf{l}_2, \dots, \mathbf{l}_n$ ，其中 n 为可观测的导航星总数。为了从 n 颗导航星中选出 $GDOP$ 值小的4颗，其算法步骤如下：

1) 设地心与用户的连线为法线，导航星与用户之间的连线与法线之间的夹角为 β ，从 n 颗中选出 β 最小，也就是仰角最大的导航星作为 s_1 ，即

$$(\mathbf{l}_{s_1})^T \mathbf{e}_{\text{user}} = \max_j [(\mathbf{l}_j)^T \mathbf{e}_{\text{user}}] \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

2) 从余下 $n-1$ 颗导航星中选择与 s_1 有最大角距的卫星 s_2 ，即

$$(\mathbf{l}_{s_2})^T \mathbf{l}_{s_1} = \min_j [(\mathbf{l}_j)^T \mathbf{l}_{s_1}] \quad j = 1, 2, \dots, n \quad j \neq s_1 \quad (6)$$

3) 基于 s_1, s_2 ，建立如下参考坐标矢量

$$\begin{cases} \mathbf{k} = \mathbf{l}_{s_1} \\ \mathbf{j} = \frac{\mathbf{l}_{s_1} \times \mathbf{l}_{s_2}}{|\mathbf{l}_{s_1} \times \mathbf{l}_{s_2}|} \\ \mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{k} \end{cases} \quad (7)$$

根据图1定义四面体 R_A, R_B, R_C, R_D ，其顶点在地心坐标系中的方向矢量为 $\mathbf{u}_A, \mathbf{u}_B, \mathbf{u}_C, \mathbf{u}_D$ ，在参考坐标矢量中的投影为

$$[\mathbf{u}_{RA} \quad \mathbf{u}_{RB} \quad \mathbf{u}_{RC} \quad \mathbf{u}_{RD}] = [\mathbf{i} \quad \mathbf{j} \quad \mathbf{k}] \cdot [\mathbf{u}_A \quad \mathbf{u}_B \quad \mathbf{u}_C \quad \mathbf{u}_D] \quad (8)$$

从余下的 $n-2$ 颗导航星中选择 s_3 ，使 s_3 到 R_C 或 R_D 有最小的角距，即

$$\max_j [(\mathbf{l}_j)^T \mathbf{u}_{RC}, (\mathbf{l}_j)^T \mathbf{u}_{RD}] = \max_j \{ \max [(\mathbf{l}_j)^T \mathbf{u}_{RC}, (\mathbf{l}_j)^T \mathbf{u}_{RD}] \} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad j \neq s_1, s_2 \quad (9)$$

4) 从余下的 $n-3$ 颗导航星中选择 s_4 ，使 $GDOP$ 最小，即

$$GDOP(s_1, s_2, s_3, s_4) = \min_j [GDOP(s_1, s_2, s_3, j)] \quad j = 1, 2, \dots, n \quad j \neq s_1, s_2, s_3 \quad (10)$$

2.3 算法性能对比分析

1) $GDOP$ 值的大小

因为选择导航卫星的新算法是以能找出最佳 $GDOP$ 值的传统算法为基础和条件的, 所以最终求得的 $GDOP$ 值与传统算法接近, 是次优解。

2) 运算开销和时间开销

传统选星算法是对可观测的 n 颗星进行组合计算, 然后找出最佳值, 所以共需计算 C_n^4 次 $GDOP$ 。从新算法的选星步骤中可清楚地看到, 在前三步的选星中只需根据方向余弦进行角距计算, 而求角距时只需计算两个矩阵的乘积, 不需计算矩阵的逆, 计算一次角距的时间比计算一次 $GDOP$ 的时间少。在选择第四颗星时要求计算 $n-3$ 次 $GDOP$ 值。这样, 采用新算法求解最佳 $GDOP$ 的运算量必然少于计算 $n+(n-1)+(n-2)+(n-3)=4n-6$ 次 $GDOP$ 。

对于一般的地面用户来说, 能同时观测到的GPS卫星数为4~9颗, 采用传统算法与采用新算法的计算量相差不是很大。但对于在高空运动的高动态用户来说, 能同时观测到9~13颗导航星。若采用传统算法, 则需计算126~715次 $GDOP$ 值, 而采用新算法不会超过30~46次。因此, 用新算法计算 $GDOP$ 的次数远远小于采用传统算法的计算次数。而时间开销是和运算开销成正比的, 所以其时间开销也是很小的, 可满足高动态下的实时选星要求。

3 计算机仿真

以一轨道高度为600 km的航天器为仿真对象, 采用Matlab仿真模拟^[5], 将两种选星算法进行对比, 得出在同样条件下 $GDOP$ 值随时间变化的关系如图2、图3所示。从图中所示结果可看出, 用新算法所得出的结果(平均值为2.02)比传统算法(平均值约1.91)要差一些, 说明计算量的大幅度减小是以牺牲定位精度为代价的。但新算法的结果与传统算法差别并不是很大, 未超出不可接受的值(一般规定 $GDOP$ 不能大于6, 否则定位精度难以接受^[1])。假设伪距测量误差 $\sigma_\rho = 10$ m(不考虑SA的影响), 则用传统算法的平均定位误差为 $GDOP\sigma_\rho = 19.1$ m, 而采用新算法的平均定位误差为 $GDOP\sigma_\rho = 20.2$ m, 可见其差别并不大。

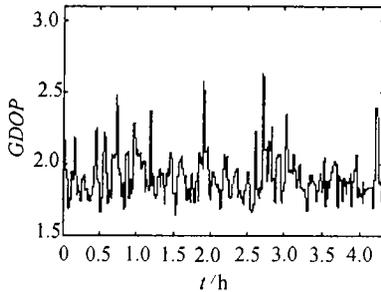


图2 用传统算法得出的关系

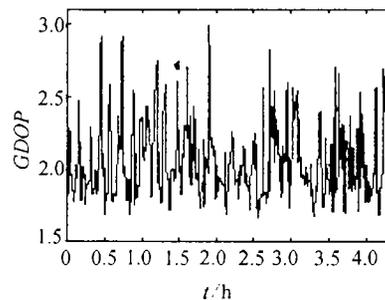


图3 用新算法得出的关系

综合精度及计算量两方面的因素, 可看出新算法的优越性要大得多, 在有效性和实用性方面不失为一种高效的算法。

4 结论

选择导航卫星的目的是使 $GDOP$ 最小, 从而提高用户GPS定位的精度。但计算最小 $GDOP$ 的导航星组合的传统算法的计算量大, 难以适应高动态用户的要求。本文提出的卫星选择新算法, 一方面使计算量大大减小, 另一方面又能得出良好的结果, 能满足高动态情况下对实时性的要求, 具有良好的性能。该算法对工程应用具有重要的参考价值。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 廖向前, 黄顺吉. 一种GPS动态解相位模糊的搜索算法. 电子科技大学学报, 1997, 26(4): 352~356
- 3 Kihara M, Okada T. A satellite selection method and accuracy for the global positioning system. Navigation, 1984, 31(1): 8~20
- 4 Spilker James J. Global positioning system: theory and applications (I). Washington DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics,
- 5 李洪涛, 许国昌, 薛鸿印, 等. GPS应用程序设计. 北京: 科学出版社, 1999

A New Satellite Selection Algorithm for GPS Navigation

Zhang Guiming Huang Shunji Zhang Yuanli

(College of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract This paper presents a new navigation satellite selection algorithm which meets the requirement of real time for navigation using GPS. The algorithm shows good performance with much less computations compared to that of traditional algorithm. The simulation results indicate that the new algorithm has approximate results with traditional algorithm, which satisfies the requirements of real time and positioning accuracy.

Key words global positioning system; geometric dilution of precision; selection algorithm; simulation

• 科研成果介绍 •

红外语音接收电路

主研人员: 唐 广 曾 洁 焦方华 王松梅 王兆明

红外无线耳机是以红外光为载体传递语音信号的电子系统, 包含红外语音传输系统以及具有接收部分全部功能的单片集成电路。

UE706红外语音接收电路采用移频解调技术, 有效地展宽了副载波工作频段; 采用高增益限幅放大电路, 提高了电路抗干扰能力; 增加了静噪功能; 采用片内稳压与对电压的不敏感设计, 保证低电压下能正常工作; 采用微电流设计, 实现低功耗要求。由于红外无线耳机不需要连接导线, 使用者可以在发射器的有效覆盖范围内自由活动。该产品外围设计简单, 调试方便, 适合批量生产。

• 科 卞 •