

文章编号: 1000-6893(2001) 02-0175-02

三星定位原理研究

张常云

(北京航空航天大学 自动控制系, 北京 100083)

APPROACH TO POSITIONING WITH THREE GEOSTATIONARY SATELLITES

ZHANG Chang-yun

(Department of Automatic Control, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

摘 要: 双星定位系统只需要两颗同步卫星便可以为用户提供定位服务, 但却存在着用户位置易暴露和用户数量易饱和这两大缺陷。建议采用三颗同步导航卫星像 GPS 卫星那样向用户播发导航电文, 用户接收机根据这些导航电文信息以及气压高度表信息, 像 GPS 接收机那样解算用户位置, 从而克服了双星定位的两大缺陷。仿真表明本定位原理行之有效。

关键词: 双星定位; 全球定位系统; 导航

中图分类号: V 249.3 文献标识码: A

Abstract: The GEOSTAR system uses only two geostationary satellites to provide positioning service for a certain user, while there are two great drawbacks in it, *i. e.*, the position of the user is liable to be detected by enemy and the number of users is liable to be saturated. This paper suggests a brand new positioning system which employs three geostationary satellites emitting radio signals to users just like the GPS satellites do, and allows the user's receiver to solve position based on the received radio signal as well as the reading of barometer; hence, the drawbacks of GEOSTAR are overcome. Simulation results show that the principle of this new positioning system is correct and effective.

Key words: GEOSTAR; GPS; navigation

双星定位系统的初期投资少, 但却存在着用户位置易暴露和用户数量易饱和等两大缺点^[1]。本文提出的三星定位系统是在双星定位系统的基础上再增加 1 颗同步导航卫星而成。3 颗同步卫星同时向用户发送导航电文, 用户接收机则像 GPS 用户接收机那样处理发自这 3 颗卫星的导航电文, 再结合用户自带气压高度表提供的高度信息即可自行解算出用户的位置, 并可使双星定位的上述两大缺点得到克服, 因而具有较高的经济和军事价值。

1 三星定位原理

和 GPS 一样, 三星定位系统由地面站、导航卫星和用户接收机三部分共同构成。为了使用户接收机能同时接收到来自 3 颗导航卫星的信号, 要求这 3 颗地球静止同步卫星之间相对于地心的夹角不能太大, 例如相邻 2 颗星相对于地心的圆心角可取为 30°。地面站的工作是对 3 颗同步导航卫星的位置进行监测以便对这些卫星的星历进行修正。3 颗同步导航卫星像 GPS 导航卫星一样向

用户播发导航电文, 用户接收机也像 GPS 用户接收机一样利用无线电信号的时间延迟来确定用户与第 j 颗同步导航卫星之间的伪距 ρ_j , 其公式如下

$$\rho_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 + c^2 \Delta t^2}, \quad j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

其中: x, y, z 是用户在地球坐标系中的三维坐标; x_j, y_j, z_j 是第 j 颗同步导航卫星在地球坐标系中的三维坐标; Δt 为用户的时钟误差; c 为光速。

在式(1)中共有 4 个未知数, 但却只有 3 个观测方程, 因此还需要利用用户自带的高度测量装置来测量用户的海拔高度以构造第 4 个观测方程。地球表面可以拟合为一个椭球面, 因此当用户的海拔高度值不是很大时, 用户的三维坐标近似满足以下方程

$$\frac{x^2 + y^2}{(R_e + h)^2} + \frac{z^2}{(R_p + h)^2} = 1 \quad (2)$$

其中: R_e 为地球赤道半径; R_p 为地球极半径; 根据 WGS-84 模型, $R_e = 6\,378\,137\text{m}$, $R_p = R_e(1 - f)$; $f = 1/298.257$, f 为地球的椭圆度; h 为用户的海拔高度, 由气压高度表测得。而当用户为舰船

等载体时,用户的海拔高度就是接收机相对于海平面的安装高度。

用户在地球坐标系内的三维坐标和时钟误差可根据式(1)和式(2)联立迭代解出,再按式(3)和式(4)求出其纬度 φ 和经度 λ ^[2]。

$$\varphi = \arctan \left[\left(\frac{R_e + h}{R_p + h} \right)^2 \frac{z}{x^2 + y^2} \right] \quad (3)$$

$$\lambda = \arctan(y/x) \quad (4)$$

2 仿真验证

在仿真中用户的纬、经、高度分别为 φ 、 λ 和 h ,利用式(5)可算出其在地球坐标系中的三维坐标^[2]

$$\left. \begin{aligned} x &= (R_N + h) \cos\varphi \cos\lambda \\ y &= (R_N + h) \cos\varphi \sin\lambda \\ z &= [R_N(1-f)^2 + h] \sin\varphi \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

为确保三星定位系统覆盖我国领土及周边地

区,仿真时3颗地球同步卫星的经度分别取为70度,100度和130度,纬度均为0度,卫星圆轨道相对于地心的高度为36 000km。依照式(5)可分别求出各卫星在地球坐标系中的三维坐标,再按式(1)求出用户到各卫星的伪距以代表用户接收机解算伪距的过程。仿真时假设用户带有惯导系统(INS)及气压高度表,以惯导提供的纬度 φ 、经度 λ 及气压高度表提供的 h_B 代替式(5)中的 φ 、 λ 和 h ,从而求出用户三维坐标的初始估计值,利用迭代法一般迭代6~7次即可求出用户在地球坐标系中三维坐标的最终估计值和用户时钟误差估计值 Δt ,进一步计算出用户纬、经度估计值 $\hat{\varphi}$ 、 $\hat{\lambda}$ 。按纬度方向误差1角分对应1853m,经度方向误差1角分对应1853m/cos φ 算出东向定位误差 δE 和北向定位误差 δN 如表1所示。

从表1可见,三星定位精度与位置初始估计值无关,但与海拔高度测量精度有关。

表1 三星定位仿真结果

Table 1 Simulation results of geostar system with 3 satellites

		例1	例2	例3	例4	例5	例6
用户真实位置及 时钟误差	$\varphi/(\circ)$	40	40	40	40	50	50
	$\lambda/(\circ)$	122	122	122	122	100	100
	h/m	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
	$\Delta t/s$	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001
惯导提供位置及 气压高度	$\varphi/(\circ)$	40.2	40.2	50	50	45	45
	$\lambda/(\circ)$	122.3	122.3	130	130	110	110
	h_B/m	10 000	10 100	10 000	9 900	10 000	10 100
三星定位结果	$\hat{\varphi}/(\circ)$	40.0000	40.0010	40.0000	39.9990	50.0000	50.0007
	$\hat{\lambda}/(\circ)$	122.0000	122.0000	122.0000	122.0000	100.0000	100.0000
	$\Delta t/m$	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0001	0.0001
东向及北向 定位误差	$\delta E/m$	0.0000	-0.0015	0.0000	0.0015	0.0000	-0.0121
	$\delta N/m$	-0.0056	115.0035	-0.0056	-115.0213	-0.0211	80.9313

* 惯导误差通常为几个角分,但这里故意夸大到十几角分甚至几度以验证三星定位算法的收敛性。

参 考 文 献

- [1] 倪海明. NAVSTAR/GPS、GLONASS、NAVSAT、GRANAS 和 GEOSTAR 等卫星导航系统关键技术问题的分析[D]. 北京:北京航空航天大学,1990.
- [2] 袁信,俞济祥,陈哲. 导航系统[M]. 北京:航空工业出版社,1993,8~9.

作者简介:



张常云 1955年生,现为北京航空航天大学副教授,1978~1982年为山东矿业学院机电系本科生,毕业后获工学学士学位;1982~1984为北京航空学院自动控制系硕士研究生,毕业后获工学硕士学位;此后为北京航空航天大学自动控制系教师;1988年~1994年为北京航空航天大学自动控制系在职博士生,毕业后获工业博士学位。本人专业为精密仪器与机械;本人感兴趣的研究领域为惯性技术和导航系统等。