

航海天文定位绘算系统设计

彭赐龙^{1,2}, 王国林¹, 陈希真², 罗从文², 文明²

(1. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 镇江船艇学院, 江苏 镇江 212003)

摘要:采用传统高度差原理,整理归纳了天体真高度、天体恒星格林时角与赤纬和天文船位的解算模型,使用C#编程工具,设计出天文定位绘算系统,并进行了误差分析.该系统经过实际航海应用和软件测试,将自动计算结果与手工计算进行对比,可知该系统计算迅速、结果准确,能够满足航海要求,并且避免了在最通常情况下手工计算所不可避免的误差或错误,证明了系统的实用性和可靠性.

关键词:天文定位;算法模型;自动计算;系统设计

中图分类号:U666.13 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-9102(2013)04-0082-04

天文航海中利用天体定位时,通常采用高度差法进行.其基本步骤分为3个部分^[1]:第一步,使用六分仪测量天体高度,经高度改正后求得天体真高度;第二步,记下观测时刻,查《航海天文历》和《天体高度方位表》得相关数据,计算天体高度差和方位;第三步,利用高度差法画出天文船位线得出船位^[2].虽然手工绘算一直以来是天文航海的传统手段,但是这种手工绘算费时、费力,而且容易出错.因此,航海界也提出了不少天文定位自动绘算的方法,笔者通过研究归纳了大量的计算模型,设计了天文定位绘算系统.下面将部分模型和设计流程列出以供大家探讨交流.

1 系统设计

天文定位绘算系统是当船舶远离海岸航行时,使用测量工具测定天体高度,经绘算模块综合运算,解决定位导航问题的计算机程序.系统主要包括:测量数据输入、模块综合运算、定位数据输出3部分^[3],程序逻辑如图1.其运算流程描述如下:

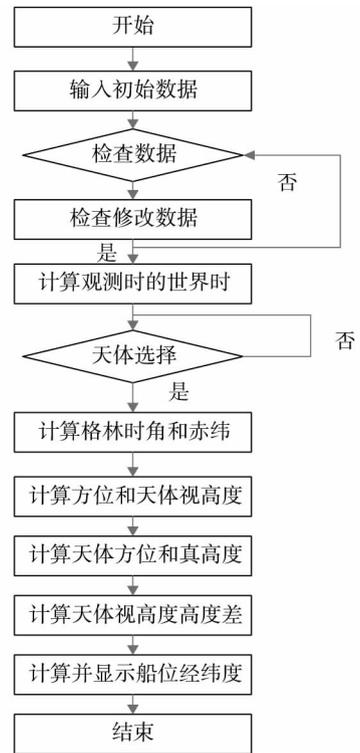


图1 天文定位绘算逻辑流程图

Fig.1 Astronomical orientation logic chart

收稿日期:2013-05-08

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAG01A07)

通信作者:陈希真(1963-),男,湖南株洲人,教授,主要从事指挥信息化方向研究. E-mail:zjcxz2013@126.com

1) 测量数据输入. 测量数据输入包括: 测量时间、推算船位经纬度、航向、航速、眼高、天体、六分仪读数、指标差、器差.

2) 模块综合运算. 将测量天体的高度修正指标差、器差、眼高差、蒙气差、视差和半径差后化为天体真高度. 根据观测时间计算天体视位置; 根据推算船位、天体视位置和天体真高度计算船位线; 根据多条船位线计算最或然船位.

3) 定位数据输出. 显示船位经纬度, 界面如图 2.



图 2 天文定位绘算程序界面

Fig. 2 Astronomical orientation program interface

2 天文定位模型解算

2.1 太阳真高度

太阳真高度 $h = h_s + i + s + d + p + P + SD^{[4]}$.

其中 h_s : 六分仪读数, $i + s$: 指器差, d : 眼高差, p : 折光差, P : 天体视差, SD : 半径差.

$$h' = h_s + (i + s) - 0.0294\sqrt{e}. \quad (1)$$

$$h = h' - (0.0236 + 0.0119/\text{tgh}') +$$

$$0.0025\cosh' + 0.267/D_s // \text{太阳真高度}. \quad (2)$$

$$D_s = \sum_{i=1}^8 A_i \cos(B_i \cdot TD_{2000} + C_i) + \sum_{i=9}^9 A_i \cdot$$

$$TD_{2000} \cos(B_i \cdot TD_{2000} + C_i) // \text{向径}. \quad (3)$$

$$A_i = 1.00014, 0.016708, 0.000139, 0.000031, 0.000016, 0.000016, 0.000005, 0.000005, -0.000042;$$

$$B_i = 0, 35999.05, 71998.445267, 32964, 45038, 22519, 33718, 35999;$$

$$C_i = 0, 177.53, 175, 298, 68, 164, 233, 226, 178.$$

$$TD_{2000} = T/36525 // \text{以2000年为历元的儒略世纪单位的积日}^{[5]}. \quad (4)$$

$$T = \text{INT}[1461 \times Y/4] + \text{INT}[(153 \times M -$$

$$2)/5] + D + H/24 - 36557.5. \quad (5)$$

2.2 太阳赤经赤纬

1) 太阳黄经和黄道交角

$$\lambda = \sum_{i=1}^{17} D_i \cos(E_i \cdot TD + F_i) + \sum_{i=18}^{19} D_i \cdot TD \cos(E_i \cdot TD + F_i) // \text{太阳黄经}. \quad (6)$$

式中, $D_i = 280.4602, 1.9147, 0.02, 0.002, 0.0018, 0.0018, 0.0015, 0.0013, 0.0007, 0.0007, 0.0007, 0.0006, 0.0005, 0.0005, 0.0004, 0.0004, 0.0048, 36000.7695, -0.0048$;

$E_i = 0, 35999.05, 71998.1, 32964, 19, 445267, 45038, 22519, 65929, 3035, 9038, 33718, 155, 2281, 29930, 31557, 1934, 0, 35999$;

$F_i = 0, 267.52, 265.1, 158, 159, 208, 254, 352, 45, 110, 64, 316, 118, 221, 48, 161, 145, 0, 268$.

$$\varepsilon = 23^\circ.43928 - 0^\circ.01301 \cdot TD + \sum_{i=1}^2 G_i \cos(H_i \cdot TD + I_i) // \text{黄道交角}. \quad (7)$$

式中, $G_i = 0.00256, 0.00015$; $H_i = 1934, 72002$; $I_i = 235, 210$.

2) 太阳赤经赤纬及太阳时角

$$\alpha = \text{tg}^{-1}(\text{tg}\lambda \cos\varepsilon); // \text{太阳赤经}^{[6]}. \quad (8)$$

$$\delta = \sin^{-1}(\sin\lambda \sin\varepsilon); // \text{太阳赤纬}. \quad (9)$$

$$t = SG \pm \lambda_W^E - \alpha // \text{太阳时角}. \quad (10)$$

$$SG = SG' + \Delta\psi \cos\varepsilon + 15TG. \quad (11)$$

$$SG' = 100^\circ.4606184 + 36000.77006 \cdot TD_{2000} + 0.000387933333 \cdot TD_{2000}^2. \quad (12)$$

$$\Delta\psi = \sum_{i=1}^2 J_i \sin(K_i \cdot TD + L_i). \quad (13)$$

式中, $J_i = 0.0048, 0.0004$; $K_i = 1934, 72002$;

$$L_i = 235, 201.$$

2.3 天文船位解算

$$h_{c1} = \sin^{-1}(\sin\varphi_1 \cdot \sin\delta_1 + \cos\varphi_1 \cdot \cos\delta_1 \cdot \cos t_1). \quad (14)$$

$$h_{c2} = \sin^{-1}(\sin\varphi_2 \cdot \sin\delta_2 + \cos\varphi_2 \cdot \cos\delta_2 \cdot \cos t_2). \quad (15)$$

$$A_1 = \cos^{-1} \frac{\sin\delta_1 - \sin\varphi \cdot \sinh_{c1}}{\cos\varphi_1 \cosh_{c1}}. \quad (16)$$

$$A_2 = \cos^{-1} \frac{\sin\delta_2 - \sin\varphi \cdot \sinh_{c2}}{\cos\varphi_2 \cosh_{c2}}. \quad (17)$$

$$\Delta h_1 = h - h_{c1}. \quad (18)$$

$$\Delta h_2 = h - h_{c2}. \quad (19)$$

$$D_\varphi = \frac{\Delta h_1 \cdot \sin A_2 - \Delta h_2 \cdot \sin A_1}{\sin A_2 \cos A_1 - \sin A_1 \cos A_2}. \quad (20)$$

$$Dep = \frac{\Delta h_2 \cdot \cos A_1 - \Delta h_1 \cdot \cos A_2}{\sin A_2 \cos A_1 - \sin A_1 \cos A_2}. \quad (21)$$

2.4 观测船位经纬度

$$\varphi = \varphi_{c2} + D_\varphi. \quad (22)$$

$$\lambda = \lambda_{c2} + Dep \cdot \sec \varphi_{c2}. \quad (23)$$

3 误差分析

经过反复抽样对照,恒星视位置(t_G, δ)和太阳赤纬计算均准确无误,唯太阳赤经有时会产生 $\pm 0'.2$ 的误差(该误差随年限变化)。

太阳赤经 $\pm 0'.2$ 的误差使地方时角 t 产生同样的误差^[7]。

将公式: $\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$ 微分得

$$dh = -\Delta t \cdot \cos \varphi \sin F. \quad (24)$$

设 $\varphi = 0$,则: $dh = -\Delta t \cdot \sin F. \quad (25)$

由于太阳移线定位时机为方位 $F = 180^\circ$ 左右,故 Δt 为 $0'.2$ 时,所引起的高度差误差很小^[8]。在最不利的情况下,假定 $F_1 = 120, F_2 = 150^\circ$,则 $dh_1 = 0'.17, dh_2 = 0'.1$ 。

如图1,由此产生的船位误差为

$$C_1 C_2 = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2a_1 a_2 \cos(180 - \alpha)} = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos \alpha}. \quad (26)$$

式中:

$$a_1 = dh_1 / \sin \alpha,$$

$$a_2 = dh_2 / \sin \alpha.$$

设 $\alpha = 30^\circ$,

则: $a_1 = 0'.2, a_2 = 0'.34$;

代入上式得: $C_1 C_2 = 0'.52$ 。

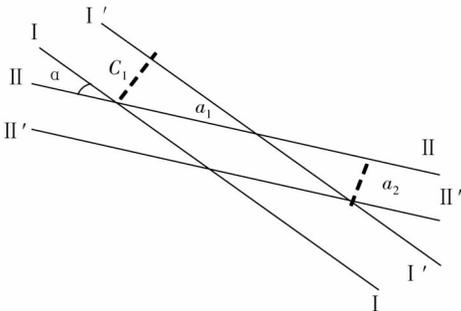


图3 太阳移线定位船位误差分析图

Fig.3 Sun ship position error analysis chart

可见,由于太阳赤经有时含 $\pm 0'.2$ 的误差,

在最不利的情况下,由此产生的误差为 $0'.5$ ^[9]。这一误差对于天文定位计算来说,不仅是完全允许的,而且这一误差值远小于传统的人工查表计算、绘图方法。因为查表法每计算一条船位线须查多次表格,而每次查表都含有 $0'.05$ 以上的误差,并且多次以线性乘积表作非线性函数的内插计算也会产生误差^[10]。综合起来,查表法在最不利的情况下,船位线高度差均方误差可达 $0'.5$,由此在两条船位线求船位的情况下,造成的误差达 $1'.8$ 。这还没有考虑计算方位误差和绘图误差。

4 结论

1) 运用本系统运算的结果,除太阳赤经在最不利的情况下产生 $0'.5$ 的误差外,不会产生其他不容忽视的误差。

2) 运用归纳整理后的算法模型设计的计算软件,通过实践验证和分析,所进行的自动计算与手工计算结果进行对照比较、逐项检查核实,该系统计算迅速、结果准确、界面友好,避免了在最通常情况下查表算法所不可避免的误差或差错。说明该系统有一定的实用性,可以提高天文定位计算速度和精度。

参考文献:

- [1] 郁丰,熊智,屈蕾,等.基于多圆交汇的天文定位与组合导航方法[J].宇航学报,2011,32(1):88-92.
Yu F, Xiong Z, Qu Q, et al. Multiple circle intersection - based celestial positioning and integrated navigation algorithm [J]. Journal of Astronautics, 2011, 32(1): 88 - 92.
- [2] 张俊,完剑侠.天文定位方法及运用探讨[J].交通科技,2013(1):168-170.
Zhang J, Wan J X. Discussion on astronomical positioning method and its application [J]. Transportation Science & Technology, 2013 (1): 168 - 170.
- [3] 王光辉,郭正东,朱海,等.偏振光天文导航定位能力分析[J].光子学报,2012,41(1):11-14.
Wang G H, Guo Z D, Zhu H, et al. Capability analysis of polarized light celestial positioning [J]. Acta Photonica Sinica, 2012, 41(1): 11 - 14.
- [4] 王颖,李岁芳,张梦妮,等.长航时无人机惯性/天文组合导航算法研究[J].计算机仿真,2012,29(5):47-50.
Wang Y, Li S L, Zhang M N, et al. Study on long endurance UAV SINS/CNS integrated navigation algorithm [J]. Computer Simulation 2012, 29(5): 47 - 50.

- [5] 赖际舟,于永军,熊智,等. 惯性/天文深组合非线性定位算法[J]. 控制与决策,2012,27(11):1649-1652,1662.
Lai J Z, Yu Y J, Xiong Z, et al. SINS/CNS tightly integrated navigation positioning algorithm with nonlinear filter [J]. Control and Decision, 2012,27(11):1649-1652,1662.
- [6] 王解先,陈俊平. GPS 精密定位软件研制与应用[J]. 同济大学学报(自然科学版),2011,39(5):764-767.
Wang J X, Chen J P. Development and application of GPS precise positioning software [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2011,39(5):764-767.
- [7] 徐轩彬,梁琐桥,芮震峰,等. “北斗”与天文船位线联合定位研究[J]. 航海技术,2012(3):14-16.
Xu X B, Liang S Q, Rui Z F, et al. Study of location with Beidou satellites and astronomical line of position [J]. Marine Technology, 2012(3):14-16.
- [8] 朱长征,居永忠. 影响天文导航系统定位精度的两个因素分析[J]. 宇航学报,2010,31(10):2309-2313.
Zhu C Z, Ju Y Z. Analysis of two elements affecting positioning accuracy of celestial navigation system [J]. Journal of Astronautics, 2010,31(10):2309-2313.
- [9] 李启华,王锋. 天文导航定位的计算机决策选星[J]. 广州航海高等专科学校学报,2010,18(3):7-9.
Li Q H, Wang F. The research of selecting celestial bodies by computer in chronometer navigation [J]. Journal of Guangzhou Maritime College, 2010,18(3):7-9.
- [10] 贾海红,吴建华,赵薪,等. 计算机辅助单天体定位及精度分析[J]. 天津理工大学学报,2009,25(6):31-34.
Jia H H, Wu J H, Zhao X, et al. Computer-aided single celestial-body positioning and precision analysis [J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2009,25(6):31-34.

Design of automatic calculation system for navigation astronomical orientation

PENG Ci-long^{1,2}, WANG Guo-lin¹, CHEN Xi-zhen², LUO Cong-wen², WEN Ming²

(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Zhenjiang Watercraft College, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: By using C sharp tool to design the automatic calculation system of navigation astronomical orientation, base on altitude difference principle, and arithmetic models of aster true altitude, aster Greenwich hour angle, aster declination and ship position, were arrayed. After the practical application and software testing, in comparison with the hand-worked calculation, it concluded that this system enables the rapid calculation and reliable results, thus meeting the needs of navigation and avoiding the errors or mistakes that causing by hand-worked calculation. Thus the results prove its the practicability and reliability.

Key words: astronomical orientation; arithmetic model; automatic calculation; system design