

利用相关逼近法建立定位与姿态数据的同步模型

齐 珺^{1,2}, 暴景阳¹, 周丰年³, 崔 扬¹, 冯金涛^{1,4}

(1. 海军大连舰艇学院 海测工程系, 辽宁 大连 116018; 2. 92292 部队, 山东 胶南 266405;
3. 长江水利委员会 长江口水文资源勘测局, 上海 200136; 4. 92488 部队, 广东 湛江 524064)

摘要: 根据海道测量精密测量的需求, 对姿态与定位数据融合的同步方法进行了研究。通过 GPS 大地高数据和升沉数据, 建立了一种基于相关逼近原理的定位与姿态数据同步模型。该模型能够确定定位与姿态数据的相对延时, 实现两类数据在同一时间基准下的同步。实例计算表明, 定位与姿态数据的相对延迟时间已成为两类数据融合应用中必须考虑的因素。由同步模型解算后, GPS 大地高数据与总升沉数据体现了更好的一致性, 由此也验证了模型的有效性。

关键词: 海道测量; 数据同步; 相关逼近法; 总升沉; RTK 高程; 相关系数

中图分类号: P229.2

文献标识码: B

文章编号: 1671-3044(2010)02-0028-04

1 引言

精密动态定位、测深、水位控制是航海图海道测量的基本技术内容^[1]。定位结果的精度决定着海洋深度及其他各种属性测量成果的精度。海道测量精密动态定位中, 姿态已成为不容忽视的因素, 因此如何实现定位与姿态数据同步是解决高精度定位问题的前提。这一问题主要体现为定位系统和姿态传感器两种设备各自信号的处理以及测量数据的传输相对独立, 最终由计算机记录的定位和姿态数据并非严格意义上的同一时间基准的同步数据^[2~4]。一方面, 定位系统和姿态传感器两种设备存在着自身的固定延时, 即某一观测量从观测开始, 到其结果传输至数据采集系统进行时间打标并记录所需的时间周期; 另一方面, 两种测量设备之间又存在着相对延时。即同一时刻的两种观测量在不同时刻到达数据采集系统, 任意选取某一测量数据为基准, 其他测量数据相对于该测量数据存在一定的时间延迟。

实际工作中, 由于准确测定任一测量要素自身的固定延时较为困难, 且对于实际工作意义不大, 因此, 海道测量往往更多考虑测量各要素间的相对时间延迟^[3]。通常, 测定相对延时的方法是以某一观测量为基准, 其余观测量相对于该观测量进行延迟改正, 以使各测量要素实现同步。

在测量要素时间延时的确定方面, 多名学者和专家做了大量细致深入的工作^[3~7]。本文在多名学者

研究的基础上, 提出了一种利用相关逼近法实现定位与姿态数据同步的模型, 并应用 GPS RTK 大地高数据和升沉数据验证所建模型的正确性和有效性。

2 基于相关逼近法的定位与姿态数据同步模型

2.1 基本思想

本文认为使数据记录文件中定位与姿态数据同步可归纳为解决两方面问题。即为使定位与姿态数据统一于同一时间基准下而进行的相对延时确定问题, 以及同一时间基准下两类不同频率数据的匹配问题。

如图 1, GPS 大地高和姿态测量时间分别为 MT_1 、 MT_2 , 记录 GPS 大地高和姿态数据的计算机时间分别为 CT_1 、 CT_2 。由于固定延时 $\Delta t_1 \neq \Delta t_2$, 记录 GPS 大地高和姿态数据 $h_M(CT_1)$ 、 $L_M(CT_2)$ 两类数据处于不同时间基准下, 两者无法进行数据的融合处理。而经固定延时改正的数据 $h_M(CT_1 - \Delta t_1)$ 、 $L_M(CT_2 - \Delta t_2)$ 得以统一于同一时间基准下。

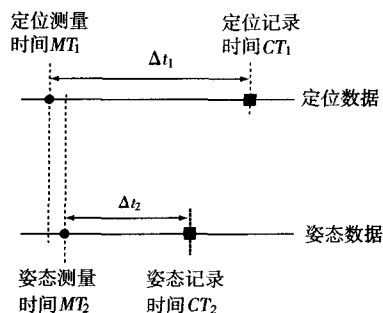


图 1 不同时间基准姿态与定位数据的延时示意图

收稿日期: 2009-09-10; 修回日期: 2009-12-21

基金项目: 大连舰艇学院科研发展基金(20090602)。

作者简介: 齐 珺(1979-), 男, 山西太原人, 助理工程师, 博士研究生, 主要从事海洋大地测量研究。

以姿态数据 $L_M(CT_2 - \Delta t_2)$ 为基准,将定位与姿态数据记录时间均加上延时 Δt_2 ,则数据 $h_M(CT_1 - (\Delta t_1 - \Delta t_2))$ 、 $L_M(CT_2)$ 仍处于同一时间基准下。由于 $\Delta t_1 - \Delta t_2$ 正是定位与姿态数据的相对延迟时间 Δt ,因此,若使两类数据统一于同一时间基准下,只需求出定位与姿态数据的相对延时,而无需确定两者各自的固定延时。

在确定两类数据相对延时后,定位数据与姿态数据已处于同一时间基准下。由于通常姿态传感器数据输出频率(可达数百 Hz^[8-9])明显高于由 GPS 输出的定位数据的频率(通常 1Hz),即姿态传感器数据采样周期 dt_1 明显小于 GPS 输出的定位数据的采样周期 dt_2 ,因此定位与姿态数据即使在同一时间基准下,两类数据要实现匹配,仍需进行进一步同步处理。

2.2 数据选取及预处理

考虑到 GPS 大地高和升沉数据分别源于定位与姿态测量设备,两者均体现了测船的垂向信息变化,因此选取两者作为基础数据。由于短期内潮位可视为线性变化,因此,利用扣除潮位线性变化项的 GPS 大地高与 GPS 总升沉曲线具有较强相关性的特点,作为确定相对延时的依据。

数据的预处理包括两个步骤。

(1)定位数据的预处理。即获得去除潮位影响的大地高数据。通常 GPS 大地高除包括载体升沉外,还包括测区内的潮位变化部分。鉴于短时间(2~3min)内潮位可视为线性变化,因此可通过多项式拟合求出线性项,得到去除潮位变化的 GPS 大地高为:

$$h_i = h_{Mi} - \Delta h_i \quad (1)$$

式中, $i=1,2,\dots,n$, n 为测线测量 GPS 大地高的点数; h_{Mi} 为测量所得的 GPS 大地高; Δh_i 为测量所得 GPS 大地高的线性部分; h_i 为去除潮位影响的 GPS 大地高。

(2)姿态数据的预处理。即获得 GPS 位置的总升沉。由于姿态传感器与 GPS 天线的安装位置往往存在一定偏移,因此姿态传感器测得的升沉仅为自身安装位置的升沉,而非 GPS 信号接收中心的总升沉。受海上风、浪、流等因素作用, GPS 天线中心的总升沉为:

$$H_{Ti} = H_{Mi} + H_{Ri} \quad (2)$$

式中, $i=1,2,\dots,m$, m 为测线测量的升沉数据个数; H_{Ti} 为瞬时 GPS 的总升沉; H_{Mi} 为 GPS 垂向的平移升沉部分,即测量升沉; H_{Ri} 为 GPS 的旋转升沉部分,需通过姿态角等参数计算得到^[10]。

2.3 同一时间基准下的数据匹配模型

鉴于姿态数据采样频率较高,两相邻姿态数据可

认为呈线性变化,因此本文采用拉格朗日一次插值法,根据采样频率较低的 GPS 定位数据插值出对应时刻的虚拟姿态观测值。由虚拟姿态观测值与定位数据完成定位与姿态数据的同步过程。具体插值模型为:

$$L_{Mi} = \frac{t_k - T_i}{t_{k+1} - t_k} L_M(t_k) + \frac{t_{k+1} - T_i}{t_{k+1} - t_k} L_M(t_{k+1}) \quad (3)$$

式中, $k=1,2,\dots,m$, m 为测线姿态测量数据个数; $L_M(t_k)$ 、 $L_M(t_{k+1})$ 分别为相邻两计算机时间 t_k 、 t_{k+1} 的姿态数据(包括横摇、纵摇、艏摇及升沉数据); T_i 为经相对延时改正的定位数据的计算机时间; L_{Mi} 为所求 T_i 时刻对应的虚拟姿态数据, $i=1,2,\dots,n$ 。由式(3)即可得到对应于定位时刻 T_i 的姿态数据 L_{Mi} ,结合式(2)可得对应于定位时刻 T_i 的总升沉数据 H_{Ti} 。此时, $i=1,2,\dots,n$, n 为测线 GPS 大地高测量个数。

2.4 不同时间基准下确定相对时延的相关逼近模型

通过数据预处理过程得到了去除潮位影响的 GPS 大地高数据和总升沉数据。取两者相对延时 Δt 适当的变化范围及变化步长,将不同相对延时 Δt 的定位中心大地高 $h(CT_1 - \Delta t)$ 与 GPS 位置总升沉进行相关系数 R 的解算。公式为:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})(H_{Ti} - \bar{H}_T)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2 \sum_{i=1}^n (H_{Ti} - \bar{H}_T)^2}} \quad (4)$$

式中, R 为测线定位与姿态数据的相关系数; h_i 、 H_{Ti} 为测线扣除潮位的 GPS 大地高、总升沉; $\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$ 、 $\bar{H}_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{Ti}$ 为测线 GPS 大地高、总升沉的平均值, n 为测线定位数据个数。

解算中,通过不同的 Δt 来逼近寻找两曲线最大的相关系数。当两曲线相关系数达到最大时,此时的相对延迟时间 Δt_{Rmax} 即为所求的相对延时时间。为提高解算的可靠性,取测区内多条测线相对时间延迟的加权平均值作为最终的相对延时 Δt ;同时考虑到高度相关的判断标准^[11],只选取测区中相关系数大于 0.85 的测线参与加权计算,以减小其对最终相对延时确定的影响。

在确定相对延时后,由同一时间基准下数据匹配模型(式(3))完成定位与姿态数据的同步。

3 实验分析

为验证上述同步模型的正确性,采用某次海上实测数据。测船 GPS 接收机采用 RTK 测量模式,定位时间间隔为 1s,姿态传感器安置在接近测船的质心位

置。测量的同时设立验潮站进行水位观测。以测线 1 为例,测量时间约 2min,测船流动站与基准站的最大距离为 2.9km,以使 RTK 保持较高的定位精度。由于测船在刚进入测线时航速、航向稳定性较差,易导致 GPS 大地高和升沉数据产生异常。因此,选取测线至少一分钟后的数据进行相对延迟时间的确定。

由该测线 GPS 定位中心大地高的变化曲线,经多项式拟合得线性变化趋势为-0.03m(与该时段验潮站潮位观测数据变化-0.04m 基本一致)。如图 2,图中粗斜线为该过程的总体趋势线性项。由此近似得到去除趋势项后定位中心 GPS 大地高的变化过程,如图 3。

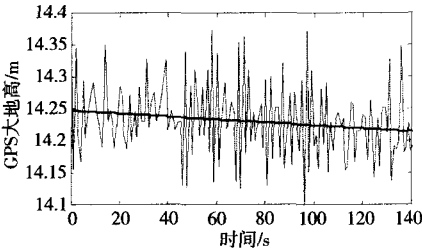


图 2 GPS 定位中心大地高变化曲线

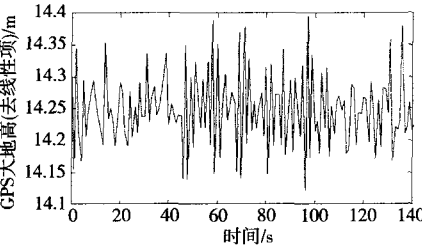


图 3 GPS 定位中心大地高变化曲线(去线性项)

取定位数据相对于姿态数据的相对延时 Δt 变化范围为 0 ~ 1s,变化步长为 0.005s,将去除趋势项后定位中心大地高与对应的总升沉数据进行相关系数 R 的解算。计算结果如表 1 所示。

表 1 相关系数及相对延时计算结果

测线号	R	$\Delta t / s$
1	0.8531	0.34
2	0.8801	0.26
3	0.8998	0.34
4	0.8608	0.28
5	0.9057	0.30
6	0.9027	0.23
7	0.8567	0.29
8	0.9107	0.32
9	0.8939	0.30
10	0.8691	0.31
11	0.9307	0.28
12	0.9328	0.28
13	0.9464	0.29
加权平均值		0.29

从表 1 可以看出,由模型计算的多条测线最大的相关数最高为 0.9464,各测线计算所得的相对延时 Δt 在 0.23 ~ 0.34s 之间,经加权平均计算得最终的相对延时时间 Δt 为 0.29s。

在确定定位与姿态数据的相对延时 Δt 后,两类数据统一于同一种时间基准下。根据同一时间尺度的数据逼近模型(式(3)),重新计算全部测线以完成姿态数据与定位数据的同步。为比较本文所建模型解算前后的差异,对各条测线的解算结果进行精度评定。原理公式为:

$$v_i = (h_i - \bar{h}) - (H_{Ti} - \bar{H}_T) \tag{5}$$

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{[vv]/(n - 2)} \tag{6}$$

式中, h_i 为该条测线去除潮位影响的 GPS 的大地高; H_{Ti} 为 GPS 总升沉数据; $\bar{h}$ 、 $\bar{H}_T$ 分别为整条测线 GPS 大地高、总升沉的平均值, $\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$, $\bar{H}_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{Ti}$; v_i 为两者的差值; n 为该条测线数据的个数; $\hat{\sigma}_0$ 为该条测线对应时刻大地高变化与总升沉变化差值的中误差。

由式(5)、(6)计算经同步模型解算前后的中误差,统计结果如表 2。

表 2 同步模型解算前后的中误差 单位:m

测线号	$\hat{\sigma}_0$ 解算前	$\hat{\sigma}_0$ 解算后
1	0.080	0.064
2	0.082	0.068
3	0.086	0.069
4	0.099	0.080
5	0.076	0.062
6	0.092	0.068
7	0.085	0.072
8	0.078	0.053
9	0.070	0.052
10	0.094	0.075
11	0.077	0.060
12	0.056	0.040
13	0.048	0.025

表 2 结果表明,经同步模型解算后,GPS 大地高变化与总升沉变化差值的中误差有明显减小。解算前两者差值的中误差变化在 4.8cm ~ 9.9cm;经同步模型解算后两者差值的中误差变化在 2.5cm ~ 8.0cm。为看出模型解算前后结果的差异,作某测线局部历元变化曲线,如图 4 所示。由图可以看出,经定位与姿态数据同步模型解算后,GPS 大地高数据与总升沉数据的相似性得到明显提高,两者体现了更好的一致性。图 4 曲线进一步说明了相对延迟时间改正

的必要性,同时也验证了本文相关逼近同步模型的有效性。

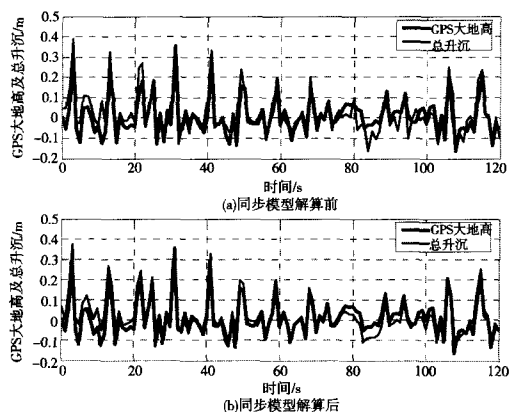


图4 GPS大地高与总升沉的比较

4 结束语

海道测量中,为综合有效利用定位与姿态数据,需进行定位与姿态数据的同步。同步处理中,为将定位与姿态数据统一于同一时间基准,需考虑定位与姿态数据的相对延时;为实现同一时间基准下的数据同步,需对两者进行数据匹配。

利用GPS RTK大地高和姿态测量数据,可实现定位与姿态数据的同步。本文基于相关逼近法建立定位与姿态数据的同步模型,在确定两类数据相对延时的同时,实现同一时间基准下两类数据的同步。实际测量数据表明两类数据的相对延时对数据的融合应用不容忽视,解算前后结果的比较证明了本文

参考文献:

- [1] 刘雁春,肖付民,暴景阳.海道测量学概论[M].北京:测绘出版社,2006.
- [2] 张红梅,赵建虎.精密多波束测量中GPS高程误差的综合修正法[J].测绘学报,2009,38(1):22~27.
- [3] 桑金.基于GPS技术的精密水深测量方法研究[D].天津:天津大学建筑工程学院,2006.18~32.
- [4] 阳凡林,赵建虎,张红梅,等.RTK高程和Heave信号的融合及精度分析[J].武汉大学学报·信息科学版,2007,32(3):225~228.
- [5] 刘雁春.海洋测深空间结构及其数据处理[D].武汉:武汉测绘科技大学,1998.
- [6] 金绍华,刘雁春,黄谟涛,等.海洋测量延时效应的研究[J].海洋测绘,2004,24(1):13~16.
- [7] 吴炳昭,张振艳.影响GPS PPK无验潮水深测量精度的几个因素[J].海洋测绘,2006,26(1):29~33.
- [8] David Parker. Motion Sensor Performance-Direct Comparison Using 2005 Common Dataset[J]. Hydro International,2006,(1):7~17.
- [9] IXSEA OCENO S. A. S. User Guide Octans Surface[R]. February 2003.1~45.
- [10] International Hydrographic Organization. Manual on Hydrography[R]. International Hydrographic Bureau, Monaco;2005.156~160.
- [11] 游玲杰.对于相关关系按程度分类的质疑[J].统计与信息论坛,1998,(2):17~19.

Synchronization Model Between Positioning and Attitude Data Based on the Correlative Approximation

QI Jun^{1,2}, BAO Jing-yang¹, ZHOU Feng-nian³, CUI Yang¹, FENG Jin-tao⁴

- (1. Department of Hydrography and Cartography Engineering, Dalian Naval Academy, Dalian, Liaoning, 116018;
2. 92292 Troops, Jiaonan, Shandong, 266405; 3. The Survey Bureau of the Hydrology and Water
Resources of Changjiang Estuary, Changjiang Water Resources Commission, Shanghai, 200136;
4. 92488 Troops, Zhanjiang, Guangdong, 524064)

Abstract: In terms of the requirements on the high-precision positioning for hydrographic survey, the method of the synchronization between the positioning and attitude data is studied. With the geodetic height data and the heave data measured, the synchronization model, is presented in the paper, based on the principle of the correlative approximation. The relative delay determination and the synchronization between the positioning and attitude data can be implemented. Numerical results indicate that the relative delay between the positioning and attitude data should be considered in these two data fusion. The validity of the synchronization model is also verified by the better consistency of the geodetic height and the total heave.

Key words: hydrographic survey; data synchronization; correlative approximation; total heave; real time kinematic height; correlative coefficient