

文章编号: 1672-8785(2023)11-0036-06

基于分布式处理平台的光测交会 数据实时处理方法

郭 灏 王 琪 宋聪聪 吴 冬 齐东浩 郭 鑫*

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 针对实时高效处理经纬仪交会数据的问题, 提出了一种基于改进分布式处理平台的实时测角数据对齐及异步计算方法。分析了交会算法的耗时原理。根据交会数据实时性高、对时间复杂度过高的算法应用困难的特点, 利用分布式平台对实时测角数据进行异步处理, 并改进了传统同步交会数据处理流程。试验结果表明, 改进分布式平台处理数据效率高, 性能稳定, 能够满足高时间复杂度算法的嵌入和实时处理需求。

关键词: 分布式处理; 交会; 实时处理; 异步计算

中图分类号: V556 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2023.11.006

Real-Time Processing Method for Optical Rendezvous Data Based on Distributed Processing Platform

GUO Hao, WANG Qi, SONG Cong-cong, WU Dong, QI Dong-hao, GUO Xin*

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese
Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Aiming at the problem of real-time and efficient processing of theodolite intersection data, a method of real-time angle measurement data alignment and asynchronous calculation based on improved distributed processing platform is proposed, and the time-consuming principle of rendezvous algorithm is analyzed. According to the characteristics of high real-time performance of rendezvous data and the difficulty of applying algorithms with high time complexity, the distributed platform is used to process the real-time angle measurement data asynchronously, and the traditional synchronous rendezvous data processing flow is improved. The experimental results show that the improved distributed platform has high data processing efficiency and stable performance, and can meet the requirements of embedding and real-time processing of algorithms with high time complexity.

Key words: distributed processing; rendezvous; real-time processing; asynchronous computing

收稿日期: 2023-07-03

作者简介: 郭灏(1994-), 男, 内蒙古人, 硕士研究生, 主要从事光测设备数据实时处理研究。

*通讯作者: E-mail: 1475941274@qq.com

0 引言

近年来, 靶场光学测量领域的需求已由原来单一化的测控图像输出终端转变为更加多元化的测控信息多源数据输出终端。这对靶场中心数据处理站(以下简称“中心站”)的实时数据处理能力提出了新的要求(快速处理、准确计算、多源数据显示、深度数据挖掘等)。随着设备传感器数量不断增加, 使各分站通过实时处理中心进行快速的统一数据处理评估成为了新的测控任务需求。

为保证跟踪目标在实时中心数据处理站中被准确识别和定位, 必须要引入高时间复杂度的交会算法。但在高实时性要求的处理系统中引入复杂算法则会带来处理时延的上升。由于外推滤波算法能力有限, 从理论上讲, 更为精确的复杂算法不一定能带来更准确的实时定位精度。此外, 中心站需要同时负责处理设备健康管理信息、评价设备链路状态等任务, 集中式处理系统的性能瓶颈同样会影响交会算法的处理时延。因此, 本文分析了复杂交会算法的应用特点, 提出了一种基于改进分布式处理平台的靶场测量设备交会数据实时处理方法。通过实验分析可知, 该方法能够充分利用计算机的计算性能, 为高精度交会算法在实时处理平台的应用提供了理论基础。

1 实时数据处理

1.1 交会定位

由于简化计算的要求, 实时外引导源计算时通常采用两站交会方法。多站交会则对两站间进行排列组合以获得多种引导源。一般将空间内的计算方法投影成平面向量进行交会。计算依据为两站距离长度与测量指向数据。针对经纬仪的主要方法有投影法、异面直线交会法等^[1]。

投影法一般分为水平投影法“L”公式与垂直投影法“K”公式。将空间交会点(即假定目标所在点 M)投影至 xoz 平面进行计算, 即为“L”公式。在 xoz 平面中计算目标点的

位置坐标(即 x 、 z 坐标), 从而确定其在空间中的 y 坐标。将空间交会点(即假定目标所在点 M)投影至 yoz 平面进行计算, 即为“K”公式。在 yoz 平面中计算目标点的位置坐标(即 y 、 z 坐标), 从而确定其在空间中的 x 坐标。“K”公式的计算过程与“L”公式相似, 只是将投影平面进行了转换。两者都是简单的目标交会方法^[1]。

上述的空间目标位置计算方式在理想的坐标系中有较高的计算精度, 但由于地球曲率影响, 存在固有的计算缺陷^[2,5-7,10]: (1)在“L”公式的计算中, 首先需计算出目标在 xoz 平面的误差。它会在 y 坐标中进行叠加计算, 从而影响 y 坐标的计算精度^[3]。在垂直投影法中, 同样会有以上问题。(2)在水平投影法与垂直投影法中, 由于地球曲率等因素影响, 对低空域的计算精度不高, 故两者均不适用^[1]。(3)两种方式交替使用时, 由于本身的计算方式不同, 精度会受到影响, 数据易出现抖动及跳动现象^[1]。

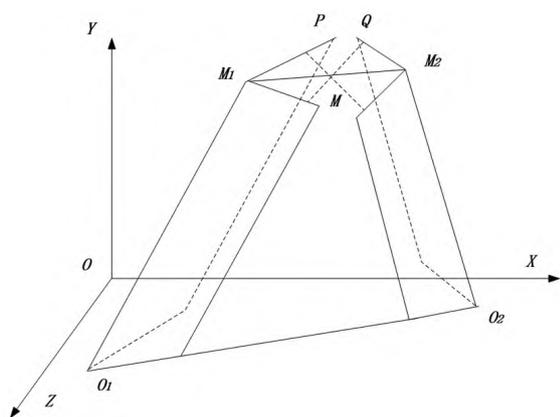
以上计算方法虽然效率较高, 但是会受到固有缺陷的限制, 因此目标的空间三维坐标计算中通常不采用这两种方式, 而采用异面交会算法^[4]。具体改进方式为简化多面交会法, 推导如下: 以两站交会为基础推导, 然后推广到多站交会。假设分站 n 位于 $O_n(x_n, y_n, z_n)$, 则方向向量 $O_1O_2 = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$ 。测量时获得目标 M 方位角高低角为 (α_n, λ_n) , 于是求出 O_nM_n 的方向向量为 $l_n = (\cos\alpha_n \tan\lambda_n, \sin\alpha_n)$ 。如图 1 所示, 空间两异面直线 O_1M_1 、 O_2M_2 的方程分别为

$$\frac{X_{m1} - X_{o1}}{\cos\alpha_1} = \frac{Y_{m1} - Y_{o1}}{\tan\lambda_1} = \frac{Z_{m1} - Z_{o1}}{\sin\alpha_1} = l_1 \quad (1)$$

$$\frac{X_{m2} - X_{o2}}{\cos\alpha_2} = \frac{Y_{m2} - Y_{o2}}{\tan\lambda_2} = \frac{Z_{m2} - Z_{o2}}{\sin\alpha_2} = l_2 \quad (2)$$

两个方程的解分别为

$$\begin{cases} X_{m1} = X_{o1} + l_1 \cos\alpha_1 \\ Y_{m1} = Y_{o1} + l_1 \tan\lambda_1 \\ Z_{m1} = Z_{o1} + l_1 \sin\alpha_1 \end{cases} \quad (3)$$

图 1 多面交会法示意图^[1]

$$\begin{cases} X_{m_2} = X_{o_2} + l_2 \cos\alpha_2 \\ Y_{m_2} = Y_{o_2} + l_2 \tan\lambda_2 \\ Z_{m_2} = Z_{o_2} + l_2 \sin\alpha_2 \end{cases} \quad (4)$$

取 $m_1 m_2$ 的中点为目标实际位置,即认为两经纬仪测量精度相同,可得异面交会法公式(式(5))。

当有多个设备跟踪目标时,可以依据上述方法构建平面方程,所利用的测量信息增多,有利于提高定位精度和交会数据稳定性。

1.2 分布式处理平台

实验平台依靠开发框架集合(Spring Cloud)进行搭建。该框架是一系列分布式框架的有序集合,利用开发框架基础(Spring Boot)的开发便利性简化了分布式系统基础设施的开发,将服务发现注册、配置中心、消息总线、负载均衡、断路器、数据监控等集成为一个程序框架,并利用 Spring Boot 开发一键启动和部署功能。Spring Cloud 将各个成熟的、经得

起实际考验的服务框架组合起来,通过框架结构和语法进行再封装,屏蔽掉复杂的配置和实现原理。利用该平台搭建的实时分布式计算系统具有建立便捷、功能稳定、处理框架成熟和拓展简单的优势。

对于集中式部署的传统信息处理中心系统而言,分布式处理平台系统具有异地部署本地操控、多用户可同时对中心数据处理系统参数进行操控、可通过远程过程调用(Remote Procedure Call, RPC)实现远程数据处理服务等优势。

相对于传统静态编译语言,中心站具有准动态语言的便捷更新特性,在系统进行编解码类拓展时能够通过反射机制对程序进行不经过编译的敏捷化更新。而且客户端能够实时读取已有的编解码类和对应的接收发送结构体,对各分站上传的测量数据进行配置更新。

通过引入开发框架架构对传统数据处理中心系统进行了重写。在分布式集群部署方面,开发框架架构对多服务器拓展十分友好,能够在不进行大规模代码重构的情况下仅依靠配置文件的修改完成服务性能拓展。整体处理平台架构如图 2 所示。

对外通信接口异步套接字对外部测量分站进行实时监听。当有测量信息上报时,实时处理系统就分类接收并处理数据,包括解码、预处理、目标关联及理论引导计算等操作;同时触发异步存储服务对理论引导进行存储操作。生成的光学、雷达、遥测理论引导数据存储在

$$\begin{cases} m_1 = \cos\alpha_1(x_1 - x_2) + \tan\lambda_1(y_1 - y_2) + \sin\alpha_1(z_1 - z_2) \\ m_2 = \cos\alpha_2(x_2 - x_1) + \tan\lambda_2(y_2 - y_1) + \sin\alpha_2(z_2 - z_1) \\ K = [\cos(\alpha_1 - \alpha_2) + \tan\lambda_1 \tan\lambda_2]^2 - \sec^2\lambda_1 \sec^2\lambda_2 \\ l_1 = \frac{m_2 [\cos(\alpha_1 - \alpha_2) + \tan\lambda_1 \tan\lambda_2] + m_1 \sec^2\lambda_2}{K} \\ l_2 = \frac{m_1 [\cos(\alpha_1 - \alpha_2) + \tan\lambda_1 \tan\lambda_2] + m_2 \sec^2\lambda_1}{K} \\ x = 0.5(x_1 + l_1 \cos\alpha_1) + 0.5(x_2 + l_2 \cos\alpha_2) \\ y = 0.5(y_1 + l_1 \tan\lambda_1) + 0.5(y_2 + l_2 \tan\lambda_2) \\ z = 0.5(z_1 + l_1 \sin\alpha_1) + 0.5(z_2 + l_2 \sin\alpha_2) \end{cases} \quad (5)$$

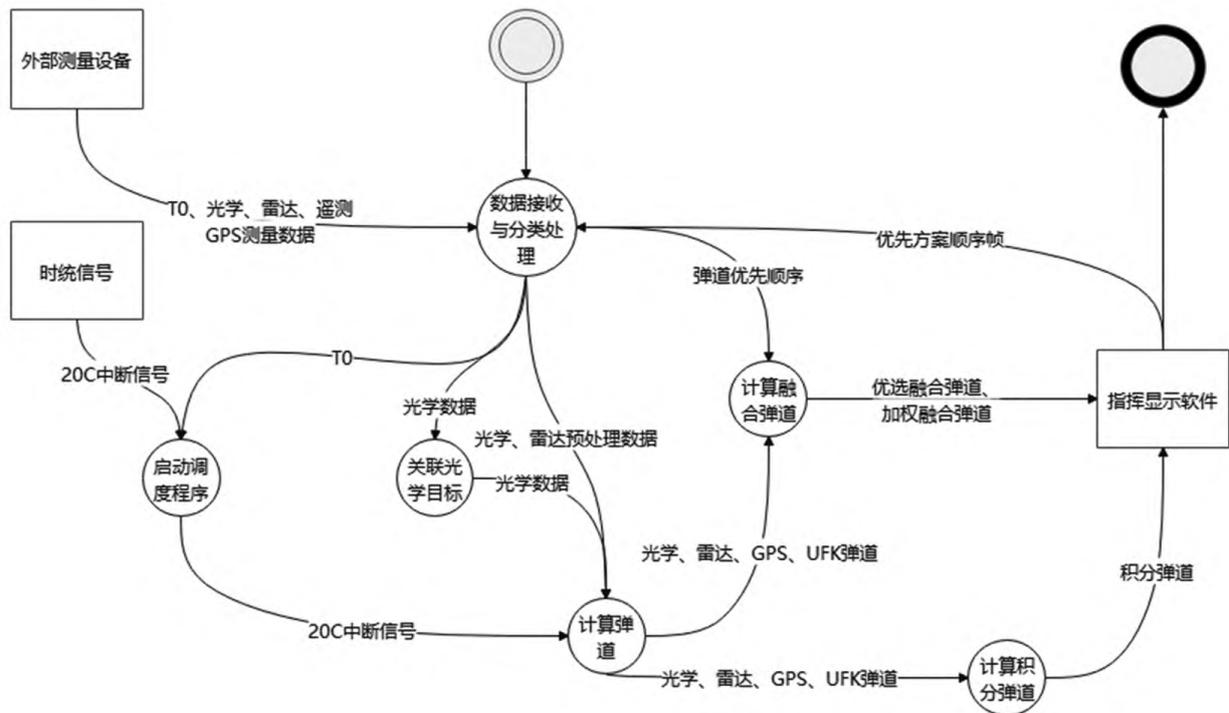


图 2 分布式处理平台架构

实时系统运行内存中，等待时统中断信号触发理论引导发送。

时统中断信号以 20 Hz 的固定频率进行不间断触发，使中心获得稳定的中断信号。该信号驱动理论引导融合服务对内存中的各测站数据进行读取。随后计算融合弹道并进行加权融合等操作。分频后送至显示终端，使操作员能够对生成的弹道进行优选发送；还可通过加载理论引导文件计算实时积分，将其显示至终端，同样提供理论引导备选项。

1.3 改进交会处理框架

中心站交会实验系统采用基于负载均衡形式的优化型轮询调用(见图 3)。由于算法的时间复杂度问题会导致在一个时间周期内无法完成对数据的处理，进而发生时间上的错帧现象，所以在传统的模块化调用中无法使用过于复杂的计算方法。一般的处理方式在图 3 中同样有所显示，就是将调用数据使用的接口进行降频调用，即采用多站交会的抽帧算法，在发送进程中再对数据进行外推以达到引导所需的实时性。这就引起了一个关键数据丢失的问题。随着抽帧的加重，数据失真现象会加剧。

中心站系统首先将计算模块分布式化，每次调用均可独立进行，免除了计算时间复杂度对时序的影响，计算速度不影响数据发送的帧频。但由于也无法获得同样时间复杂度下的计算结果，系统通过轮询调用各计算模块就可获得图 2 所示的几乎固定时延的正确交会结果。对此计算结果进行外推平滑即可在不丢失计算数据帧的前提下获得正确的目标位置。由于相对于传统的双站交会使用了更多的分站测角数据，可以选取更为精确的交会角和共面差下的交会结果作为最优的交会定位，同时可在此条件下进行链路连通性判断，避免链路连通性问题对交会结果造成的影响。

系统对一般的轮询式调用算法同样采取了优化策略，即考虑硬件状态的不一致以及环境条件等导致的数据计算模块在计算时间上的不确定性。这种固有状态和随机情况带来的时延具有累积性。采用一定时延统计的调度算法可尽量避免该时延带来的不确定性影响。

系统采用可拓展式负载均衡策略。根据目前的计算模块硬件状态对负载均衡器采用的调用策略进行修改，目的是给负载能力强的硬件

分配更多的计算任务。这种设计能够使各模块的计算时间趋近于相同，相对于随机轮询方式同样可使计算结果更为稳定。采用上述负载均衡式数据计算模块可在一定程度上利用系统的整体结构复杂度来降低整体的时间复杂度。

负载均衡策略通常用于应对高并发数据的冲击。我们将其应用在数据的实时处理中，可降低算法时间复杂度对计算实时性的影响，也能利用分布式处理的低需求优势对硬件进行合理的运用。具体设计如图 3 与图 4 所示。可以看出，系统整体分为以下几大部分：数据接收模块、数据发送模块、数据计算模块组、显示控制模块、调度模块等。各部分以数据接口形式独立存在，各模块独立运行。计算模块组除了能够实现对系统整体计算时间复杂度的横向降低之外，还能进行模块化实时拓展。在系统运行的过程中，可启动采用基于新算法的计算模块。如果对系统实时性无任何影响，对代码也无任何侵入，就可以在系统稳定的前提下完成对新算法的验证工作。

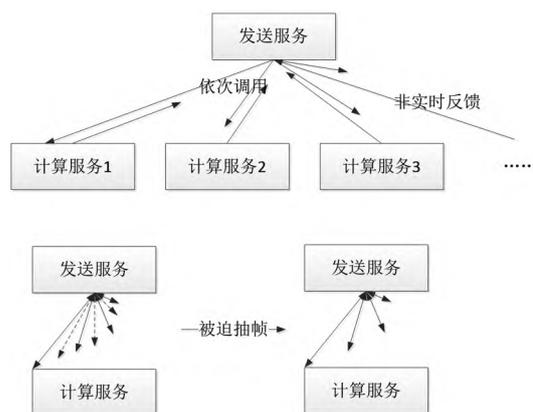


图 4 模块异步调用流程

算法对比



图 5 计算误差对比

抽帧对比

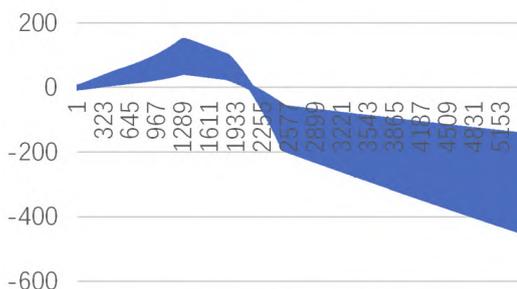


图 6 抽帧计算结构对比

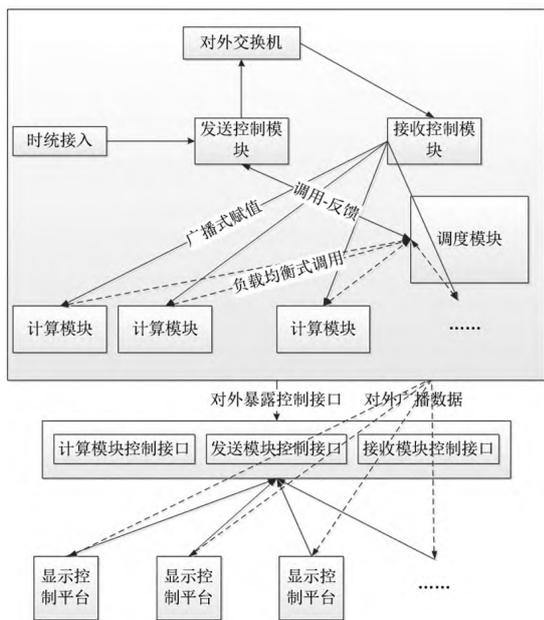


图 3 改进的交会处理框架

2 实验分析

本文使用 IntelliJ IDEA Community Edition 2022.1.4+ Spring 框架来搭建分布式计算中

心，编译程序运行在配置为 AMD Ryzen 7 5800H 3.2GHz、内存为 32GB DDR4 的便携式服务器上。选用连续采集的 20 Hz 频率光学测角数据作为实验数据，将本文提出的改进分布式交会算法、串行两站交会算法以及串行多站抽帧交会算法进行对比试验，最后得到这三种算法在整个试验过程中的定位情况(见图 5 与图 6)。

由图 5、图 6 容易看出, 本文算法的计算准确性高于传统的两站交会算法, 且能及时滤掉分站的测角抖动情况; 多站交会算法精度最高且鲁棒性最强, 但由于算法复杂度增加, 其计算时间同时也增加了, 因此耗时最长; 依据实时性要求采用的外推算法会随着计算时间的增大而导致计算结果不准确。

对于图 6 所示的抽帧算法, 由于计算中采取了 1:5 的采样比, 计算时间变为本身的 1/5。在交会过程中, 该算法因采样失真现象导致的抖动也是最明显的。

采用分布式计算的多站交会算法可兼顾以上两种算法的优点。该算法的交会结果本身的计算精度足够高, 且由于计算模块分布式化, 其平均耗时相当于多站抽帧交会算法的 $1/n$ (n 为计算模块数量), 处理速度差距明显。相比于多站抽帧交会算法, 采用服务化计算的方式无需舍弃数据真值, 外推步数也相应减少了。在算法拓展时, 该方法可进行外挂式的计算模块扩展, 整体上保持应用框架结构不变, 便于对新算法进行试验检测。此外, 该算法不受限于计算完成与否, 帧频十分稳定, 更加适用于高稳定性要求的应用场景。

3 结束语

为了解决实时数据处理系统中的高精度交会方法导致的高时延问题, 本文根据高精度算法的计算处理特点, 设计并实现了基于分布式处理平台的改进实时交会数据处理方法。试验结果表明, 相比于传统集中式单进程数据处理平台, 该方法对工作流程和处理结构进行了改进, 在计算速度和计算准确性上更均衡, 可满足中心站的实时性要求, 具有实际应用价值, 为光电测控设备高精度实时交会提供了技术基础。

参考文献

- [1] 吴能伟. 经纬仪实时引导的研究 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2003.
- [2] 吴静, 苏秀琴, 郭敏. 光电经纬仪多目标实时交会方法 [J]. 光子学报, 2017, 46(4): 114–120.
- [3] 吴能伟, 陈涛. 实时交会权值的自适应确定方法 [C]. 桂林: 第七届全国信息获取与处理学术会议, 2009.
- [4] 吴能伟, 陈涛. 异面交会法在光电经纬仪中的应用 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(S2): 1233–1235.
- [5] 刘令. 弹道数据事后处理分析与研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2005.
- [6] 蒋平. 光电测量系统实时综合处理技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2005.
- [7] 王凯. 空中飞行模型成像胶片数据处理方法的研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2008.
- [8] 张伟华. 基于千兆以太网的光电经纬仪分布式实时通讯系统的研究 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2011.
- [9] 陈霖. 靶场光测定位方法研究与应用 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2011.
- [10] 光电经纬仪实时引导的研究 [EB/OL]. www.doc88.com/p-3814240242391.html, 2020.
- [11] 崔艺涵. 大目标高精度位置姿态测量技术研究 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2019.
- [12] 王中科. 光电经纬仪的小型化研究与设计 [D]. 成都: 电子科技大学, 2008.
- [13] 甘戈. 落点实时光学测量系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2019.
- [14] 吴静. 可见光序列图像盲复原及质量评价方法研究 [D]. 西安: 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2018.
- [15] 乜铁宁. 靶场光测设备目标检测与定位定姿技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
- [16] 朱玲. 多基站无源定位系统关键技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.