

# 基于 MPI 并行计算的卫星遥感数据 变化监测系统设计

叶应辉

(吉林大学 地球探测科学与技术学院, 长春 130026)

**摘要:** 为控制卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差, 实现对卫星遥感数据传输变化行为的准确监测, 设计基于信息传递接口 (message passing interface, MPI) 并行计算的卫星遥感数据变化监测系统; 建立模拟/数字 (analog/digital, A/D) 转换电路与 Zigbee 网络节点的匹配关系, 将所得卫星遥感数据按需分配给传感器模块与协调器设备, 完成数据采集与监测终端的硬件设计; 按照并行拓扑结构连接形式, 实施 MPI 的基本调用, 再联合数据进程编写原则, 实现对 MPI 并行计算的完善; 根据传感器几何校正原理, 求取遥感数据度量值, 再分析核函数表达式, 完成对卫星遥感数据的处理; 利用 MPI 并行计算, 控制数据采集与监测终端的硬件执行设备, 完成卫星遥感数据变化监测系统设计; 实验结果表明, 所设计系统的卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差的均值为 0.36 像素/s, 与对照组相比, 明显缩小了 2.42 像素/s, 能够准确监测卫星遥感数据传输变化行为。

**关键词:** MPI 并行计算; 卫星遥感; 数据监测; A/D 转换; 数据进程; 传感器校正

## Design of Satellite Remote Sensing Data Change Monitoring System Based on MPI Parallel Computing

YE Yinghui

(College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** In order to control the real-value error between the change indicators and non-change indicators of satellite remote sensing data, and to achieve accurate monitoring of the transmission and change behavior of satellite remote sensing data, a satellite remote sensing data change monitoring system based on message passing interface (MPI) parallel computing is designed. Establish the matching relationship between the analog/digital (A/D) conversion circuit and the Zigbee network node, distribute the obtained satellite remote sensing data to the sensor module and the coordinator device as needed, and complete the hardware design of the data acquisition and monitoring terminal. According to the connection form of the parallel topology, the basic call of MPI is implemented, and the principle of data process writing is combined to realize the improvement of the parallel computing of MPI. According to the principle of sensor geometric correction, the metric value of remote sensing data is obtained, and then the kernel function expression is analyzed to complete the processing of satellite remote sensing data. Using MPI parallel computing to control the hardware execution equipment of the data acquisition and monitoring terminal, the design of the satellite remote sensing data change monitoring system is completed. The experimental results show that, the average value of the real-valued error between the change indicators and non-change indicators of the satellite remote sensing data of the designed system is 0.36 pixels/s, compared with the control group, it is significantly reduced by 2.42 pixels/s, which can accurately monitor the change behavior of satellite remote sensing data transmission.

**Keywords:** MPI parallel computing; satellite remote sensing; data monitoring; A/D conversion; data process; sensor calibration

## 0 引言

遥感卫星是指可对外层空间进行监控的人造卫星设备, 常以遥感平台作为基础应用结构。一般情况下, 一颗稳定的遥感卫星可在同一轨道上运行数年。对于地球遥感卫星来说, 其在规定时间内能够完全覆盖地球表面的任意指定区域, 在卫星设备沿地球同步轨道运行时, 其对于指定地

域的遥感探测行为也可以保持连续状态<sup>[1]</sup>。在卫星遥感任务中, 所得数据变化指征与非变化指征之间始终存在一定的数值误差, 且这种误差的实际取值越大, 卫星主机对于遥感数据传输变化行为的监测准确性也就越低。

为避免上述情况的发生, 相关领域学者针对卫星遥感数据变化监测进行研究, 毋琳<sup>[2]</sup>等设计了河流径流雷达卫星遥感监测系统。该系统以雷达高度计和 SAR 遥感技术为

收稿日期: 2022-05-09; 修回日期: 2022-06-29。

基金项目: 国家自然科学基金 (42171407, 42077242)。

作者简介: 叶应辉 (1988-), 男, 河南周口人, 硕士, 讲师, 主要从事卫星遥感图像数据处理, 卫星遥感数据变化监测, 卫星遥感数据应用方向的研究。

引用格式: 叶应辉. 基于 MPI 并行计算的卫星遥感数据变化监测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(11): 32-37.

基础，对河流宽度、水位和径流进行了计算，实现了参数计算功能。该系统的推广和应用，可以为河道径流雷达卫星遥感的实时监控提供技术支持。但系统对于指征参量的实际控制能力有限，并不能完全满足准确监测卫星遥感数据传输变化行为的实际应用需求。尤淑撑<sup>[3]</sup>等设计了自然资源卫星遥感常态化监测框架。通过对一系列关键技术的突破，包括卫星遥感的常规监测，对全国的全要素进行了定期的季度监测，重点地区的高频率、高精度的实时监控，以及“量—质—生态”的实时监控，服务于自然资源普查、监督等方面，建立全方位、多层次的卫星遥感监测系统。该系统能够加强对自然资源卫星遥感数据的支撑、常规监测、信息服务、决策支持等方面的综合应用。但该系统的监测准确性较低。

MPI 是一种可进行跨语言传输的通讯连接协议，常用于编写并行代码指令，同时支持点对点、面对面等多种协议连接形式<sup>[4]</sup>。从作用机制的角度来看，MPI 连接协议同时具有可移植性、大规模性、高性能性等多重作用能力，故而在数据处理、互联网部署等多个领域中都具有极强的执行能力<sup>[5]</sup>。因此，为解决上述问题，设计基于 MPI 并行计算的卫星遥感数据变化监测系统。通过与 Zigbee 网络的节点进行 A/D 变换电路的匹配，根据需要传感器和协调器设备分配卫星遥感数据，完成系统的硬件设计。将 MPI 的基本调用与数据进程编写原则结合起来，以此完善 MPI 并行计算。在此基础上，利用传感器的几何校正原理，计算出遥感数据的度量值，并对其核函数进行配置，从而实现了卫星遥感数据的处理，完成卫星遥感数据变化监测系统设计。由此减小卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差，准确监测卫星遥感数据传输变化行为。

### 1 数据采集与监测终端硬件设计

基于 MPI 并行计算的卫星遥感数据变化监测系统流程，将 A/D 变换电路与 Zigbee 网络节点进行匹配，利用传感器模块和协调器设备，分配卫星遥感数据。设计并行拓扑结构，结合 MPI 调用与数据进程编写原则，完善 MPI 并行计算。利用传感器几何校正原理，计算遥感数据度量值，并核函数进行配置，完成卫星遥感数据变化监测系统设计。整体监测系统架构如图 1 所示。

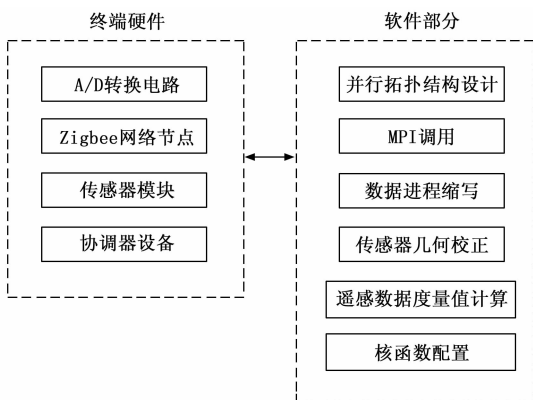


图 1 整体监测系统架构

卫星遥感数据采集与监测终端的硬件执行环境，由 A/D 转换电路、Zigbee 网络节点、传感器模块、协调器设备四部分共同组成，具体设计方法如下。

#### 1.1 A/D 转换电路

A/D 转换电路负责为卫星遥感数据变化监测系统提供数字电量传输信号，可以在正负极端口节点之间，实现对电信号参量的按需调节，从而将正向点电荷、负向点电荷反馈至既定电量消耗设备之中。为维持 A/D 转换电路的实时连接能力，正极端口节点与卫星遥感数据变化监测系统的高压输入端相连，负极端口节点与低压输出端相连，随着电信号输入量的增大，两个端口呈现出交替闭合的连接状态，直至完成对剩余电量信号的按需转存与处理<sup>[6]</sup>。CD4051 芯片、TLPS21-2 芯片作为 A/D 转换电路中的核心应用结构，前者负责记录点电荷的实时传输总量，后者负责感知卫星遥感数据的定向传输行为，在外部负载电压数值不发生改变的情况下，点电荷与卫星遥感数据相互交换，并可以借助多个连接电阻，实现对电量信号传输行为的按需调控。A/D 转换电路的结构如图 2 所示。

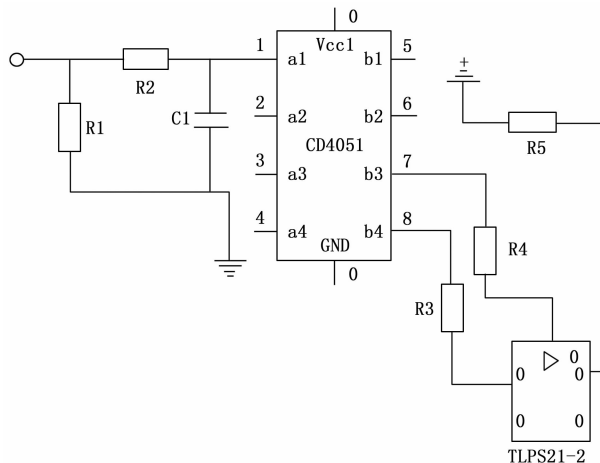


图 2 A/D 转换电路的结构示意图

在 A/D 转换电路中，处于不同连接位置处 R 电阻所承担的电量信号处理行为也有所不同。

#### 1.2 Zigbee 网络节点

在卫星遥感数据变化监测系统中，Zigbee 网络节点负责协调 A/D 转换电路与传感器模块及协调器设备间的实时连接关系，可以根据射频信号的输入形式，规划卫星遥感数据的后续传输行为，从而使得主控器元件能够准确感知网络节点与监测主机之间的遥感数据传输情况<sup>[7]</sup>。CC2530 控制器作为 Zigbee 核心控制单元中的主控器元件，能够与 A/D 转换设备、I/O 负载结构建立实时连接关系，随着 Zigbee 射频元件中卫星遥感数据输出量的不断增大，主控单元与下级设备之间的连接关系也在逐渐趋于紧密，这也是系统监测主机能够实时准确掌握卫星遥感数据传输变化行为的主要原因<sup>[8]</sup>。完整的 Zigbee 网络节点布置形式如图 3 所示。

节点接入区域位于 Zigbee 核心控制元件旁侧，由电源节点、传感器节点、遥感数据接入节点、数据监测节点、MPI

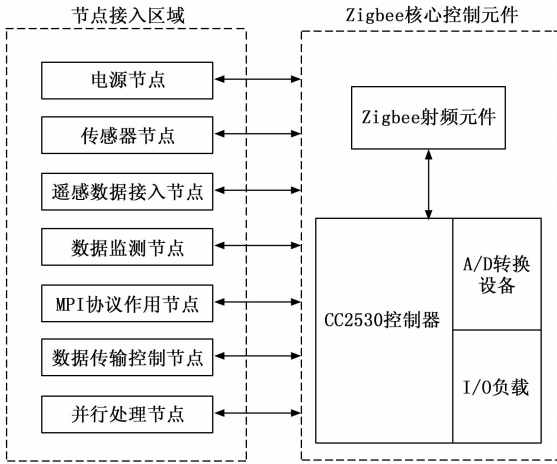


图 3 Zigbee 网络节点布置形式

协议作用节点等多个端口机制共同组成。当 Zigbee 核心控制元件进入完全闭合状态后，所有网络节点在同一时间呈现定向连接行为，此时卫星遥感数据经由传输网络进入 CC2530 控制器，并可以在 A/D 转换设备、I/O 负载结构的作用下，将这些数据信息参量反馈给系统核心监测主机。

### 1.3 传感器模块

卫星遥感数据变化监测系统的传感器模块由卫星遥感数据采集、数据变化行为感知、电量控制、MPI 协议作用、数据并行运算 5 个单元共同组成，其组成形式及具体作用能力如表 1 所示。

表 1 传感器模块组成

名称	组成元件	作用能力
卫星遥感数据采集	DATA 芯片	选择卫星遥感数据变化指征，并将其存储于系统数据库主机之中
数据变化行为感知	微控制器	分析卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的监测差异
电量控制	CD4051 芯片、TLPS21-2 芯片	调节 A/D 转换电路中电量信号的输出能力
MPI 协议作用	二进制编码器	将 MPI 协议与卫星遥感数据匹配起来
数据并行运算	DHT11 处理设备	计算卫星遥感数据变化指征参量在监测系统主机中的传输能力

为使传感器模块的执行能力能够匹配卫星遥感数据变化监测系统的实时运行状态，DATA 芯片、微控制器元件、CD4051 芯片、TLPS21-2 芯片、二进制编码器、DHT11 处理设备之间的实时连接关系不会受到其他系统应用结构的影响<sup>[9-10]</sup>。作为 A/D 转换电路与 Zigbee 网络节点的下级附属结构，传感器模块也具备调度系统协调器设备的处理能力。

### 1.4 协调器设备

协调器设备以微控制器、DM9000 协调芯片作为核心调控装置，可以联合 MT8389、RJ45、SDRAN、SPI 等多个通信接口，判断监测主机对于卫星遥感数据变化行为的感知能力<sup>[11]</sup>。微控制器装置分别与 PL2303 接口、JTAG 接

口、MT8389 接口、SDRAN 接口相连，负责确定卫星遥感数据的实时传输位置，其作用能力会随着卫星遥感数据输入量的增大而不断增强，当数据信息累积量达到微控制器元件的上限承载条件之后，4 个通信接口同时进入开启状态，并可暂存的卫星遥感数据传输回系统监测主机。DM9000 协调芯片与 RJ45 接口、串行外设接口 (serial peripheral interface, SPI) 接口相连，能够预判卫星遥感数据的后续传输行为，并可以判定当前运行指令是否满足提取数据变化指征的应用需求<sup>[12]</sup>。完整的协调器设备连接结构如图 4 所示。

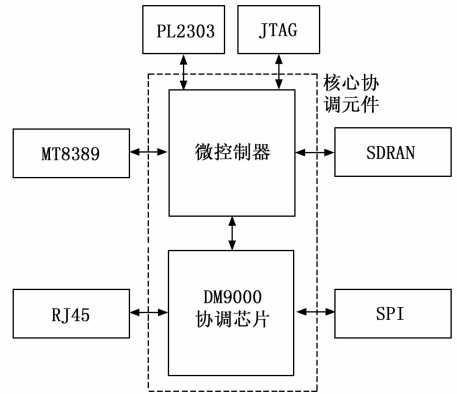


图 4 协调器设备连接结构

对于协调器设备而言，微控制器元件与 DM9000 协调芯片之间存在一种不可逆的映射连接关系，且只有当 PL2303 接口、联合测试工作组 (joint test action group, JTAG) 接口、MT8389 接口、同步动态随机存储器 (synchronous dynamic random access memory, SDRAN) 接口、RJ45 接口、SPI 接口同时处于开启状态时，协调器设备对于卫星遥感数据传输变化行为的感知能力才能够达到最强。

## 2 MPI 并行计算

MPI 并行计算作为卫星遥感数据变化监测系统的约束标准，其搭建流程由并行拓扑结构设计、MPI 调用、数据进程编写三部分共同组成。

### 2.1 并行拓扑结构

并行拓扑结构反映了 MPI 协议的作用能力，属于一种映射型连接判别条件，可用来查询卫星遥感数据传输行为的变化形式，其连接框架中包含多个协议管脚，分别用来监测不同的卫星遥感数据对象，并可以根据 MPI 协议的执行需求，调整数据信息之间的关联特征<sup>[13-14]</sup>。协议管脚与 MPI 协议主体之间的连接需要借助并行映射条件，前者作为客体对象能够准确记录卫星遥感数据的实时传输位置，并可以在映射条件的作用下，将已记录信息聚合成数据包结构，以供 MPI 协议主体的直接调取与利用。MPI 协议主体作为并行拓扑结构的核心管控单元，可以借助映射连接通路管控协议管脚，并对其中存储的卫星遥感数据进行管理。并行拓扑结构连接原理如图 5 所示。

在并行拓扑结构中，MPI 协议、协议管脚、并行连接映

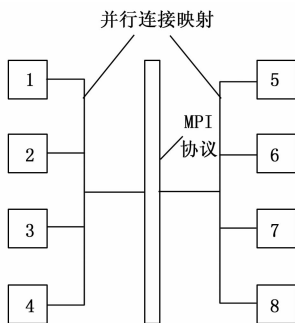


图 5 并行拓扑结构连接原理

射作为 3 个相关管理的作用结构，其连接形式保持独立，但对于卫星遥感数据而言，这些连接结构之间存在明显的信息互通行，且随着数据信息传输量的增大，关联拓扑结构与系统核心监测主机之间的连接关系也会逐渐趋于稳定。

### 2.2 MPI 的基本调用

MPI 调用也叫 MPI 协议调试。对于并行拓扑结构而言，在制定 MPI 并行计算制度时，由于无法控制相关卫星遥感数据之间的信息互传关系，所以要以 MPI 协议为基本原则，对这些待存储数据信息参量进行调试与整合处理<sup>[15-16]</sup>。规定  $a, s$  表示两个随机选取的 MPI 协议并行拓扑向量，且  $a \neq s$  的不等条件恒成立。 $d_a$  表示与系数  $a$  相关的 MPI 协议调度权重指标， $d_s$  表示与系数  $s$  相关的 MPI 协议调度权重指标， $k_{a,s}$  表示 MPI 协议的并行变分处理系数，当向量  $a$  取值不等于向量  $s$  时，该项物理指标的最小值定义结果也始终大于物理自然数“1”。联立上述物理量，可将 MPI 协议的基本调用表达式定义为：

$$g_{a,s} = \frac{d_a \cdot d_s}{\frac{1}{a-s} \times \left[ \frac{k_{a,s}^2}{\alpha_a \cdot \alpha_s} \right]} \quad (1)$$

式中， $\alpha_a$  表示与系数  $a$  相关的 MPI 协议并行运算强度， $\alpha_s$  表示与系数  $s$  相关的 MPI 协议并行运算强度。在对向量  $a$ 、向量  $s$  进行取值时，要求两者不能同时等于最大值或最小值条件，即在调用 MPI 协议时，至少有一个并行拓扑向量的取值结果不等于极限值。

### 2.3 数据进程编写

数据进程决定了 MPI 并行计算的作用能力。在卫星遥感数据变化监测系统中，为实现对数据变化指征与非变化指征的准确辨别，要求数据进程的编写必须以 MPI 并行计算作为基础，在度量卫星遥感数据之间关联特性的同时，将 MPI 协议的作用范围限制在既定数值区间之内，一方面缩小卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差，另一方面也可以避免 MPI 并行计算的的实际作用能力预期作用效果出现偏差<sup>[17-18]</sup>。设  $c$  表示卫星遥感数据编码特征的初始取值， $n$  表示特征指标  $c$  的最大取值结果， $k_1, k_2, \dots, k_n$  表示  $n$  个不同的 MPI 协议并行计算系数。在上述物理量的支持下，联立公式 (1)，可将基于 MPI 并行计算的数据进程编写法则定义为：

$$h = \frac{\sum_{c=1}^n (n-c)^2 \cdot (k_1 + k_2 + \dots + k_n)}{g_{a,s} \times |f \times (\delta_n - \delta_1)|} \quad (2)$$

其中： $\delta_1$  表示第一个编写的卫星遥感数据指标， $\delta_n$  表示第  $n$  个编写的卫星遥感数据指标， $f$  表示基于 MPI 并行计算的卫星遥感数据编码参数。根据并行拓扑结构排列方式，对 MPI 协议进行调用处理，再以此为基础，建立完整的数据进程编写原则，实现对 MPI 并行计算的约束与完善。

## 3 基于 MPI 并行计算的卫星遥感数据处理

在 MPI 并行计算原则的作用下，按照传感器几何校正、遥感数据度量值计算、核函数配置的执行流程，实现对卫星遥感数据的按需处理，再联合各级硬件执行结构，完成基于 MPI 并行计算的卫星遥感数据变化监测系统设计。

### 3.1 传感器几何校正

传感器几何校正是针对传感器模块进行的卫星遥感数据调度处理行为，其应用指令的制定受到 MPI 并行计算原则的直接影响，能够根据数据信息的传输总量，制定多种不同的监测模式，并以此来适应卫星遥感数据变化监测系统多种不同的运行状态<sup>[19-20]</sup>。设  $\epsilon$  表示针对卫星遥感数据变化行为所选取的校正向量， $\gamma$  表示校正系数的初始取值， $X(\epsilon)$  表示基于校正向量  $\epsilon$  的几何定义式。对于卫星遥感数据变化监测系统而言， $X(\epsilon)$  定义式的取值完全遵循 MPI 并行计算原则。 $\dot{V}$  表示卫星遥感数据变化指征的取值条件， $\dot{B}$  表示卫星遥感数据非变化指征的取值条件。在上述物理量的支持下，联立公式 (2)，可将基于 MPI 并行计算的传感器几何校正表达条件定义为：

$$l(\epsilon) = \frac{h \cdot \sum_{j=1}^{+\infty} j \cdot \dot{M}}{X(\epsilon) \times (\dot{V}^2 - \dot{B}^2)} \quad (3)$$

式中， $\dot{M}$  表示针对传感器模块所定义的卫星遥感数据变化行为监测特征， $j$  表示卫星遥感数据的并行传输参量。为保证传感器模块得到准确校正，在设计卫星遥感数据变化监测系统时，所选取数据信息参量必须满足 MPI 并行计算原则的约束要求，且关联遥感数据参量之间不得存在明显的制约影响关系。

### 3.2 遥感数据度量值

遥感数据度量值决定了 MPI 并行计算对于卫星遥感数据变化行为的监测处理能力。当 Zigbee 网络节点与传感器模块之间的连接稳定性不发生改变时，主机元件对于 MPI 协议的调用越频繁，遥感数据度量值指标的计算取值结果也就越大<sup>[21]</sup>。在传感器几何校正行为的作用下，若卫星遥感数据的排列状态满足单一集合的调度需求，则可认为当前情况下，MPI 并行计算对于遥感数据度量指标的影响能力越强<sup>[22]</sup>。设  $\omega, e$  表示两个不相等的卫星遥感数据节点标记度量值，但其取值结果均处于  $[1, +\infty)$  的物理区间， $R$  表示基于 MPI 并行计算的遥感数据筛选系数，且  $R \geq 1$  的不等式条件恒成立。在上述物理量的支持下，联立公式 (3)，可将遥感数据度量值表达式定义为：

$$p_{ur} = \sqrt{R^{-1} \frac{\beta \cdot l(\epsilon)^2}{\sum_{\substack{u \rightarrow +\infty \\ e \rightarrow +\infty}} [\lambda(\omega + e)^2]}} \quad (4)$$

式中,  $\beta$  表示卫星遥感数据变化行为的方向表现向量,  $\lambda$  表示监测指令的执行法向量。在已知传感器几何校正强度条件的情况下, 对于遥感数据度量指标的取值必须严格遵循 MPI 并行计算原理, 若  $\omega$  系数、 $e$  系数之间的差值水平较大, 则表示待处理卫星遥感数据相对较多, 为在单位时间内获得更加精准的监测执行指令, 应注重对  $\beta$  向量、 $\lambda$  向量进行区分。

### 3.3 核函数配置

核函数是卫星遥感数据变化监测系统的执行准则, 其定义过程同时对卫星遥感数据变化行为均值量、定向监测指标两项物理系数作出了要求<sup>[23-24]</sup>。卫星遥感数据变化行为均值量常表示为  $\bar{Q}$ , 在 MPI 并行计算的影响下, 其计算取值越大, 运行主机对于卫星遥感数据变化行为的监测能力也就越强。定向监测指标常表示为  $\varphi$ , 在核函数条件时, 该项物理系数的取值必须参考遥感数据度量值指标的实际计算结果。

具体的核函数表达式如下:

$$F = \frac{q_i \cdot |\bar{Q}|(u - i)^2}{q_u \times |\Delta T|} \quad (5)$$

其中:  $i, u$  表示两个非零函数基准值, 且  $u > i$  的不等式条件恒成立,  $q_i$  表示与基准值  $i$  相关的卫星遥感数据变化行为管控向量,  $q_u$  表示与基准值  $u$  相关的卫星遥感数据变化行为管控向量,  $\Delta T$  表示监测指令的单位执行时长。利用核函数标准对卫星遥感数据变化监测系统的执行能力进行约束, 既能满足 MPI 并行计算的应用需求, 也可以实现对数据变化指征参量的准确提取。

## 4 实验分析

为验证监测系统对于卫星遥感数据传输变化行为的管控能力, 设计如下对比实验。选择基于 MPI 并行计算的卫星遥感数据变化监测系统作为实验组方法, 选择河流径流雷达卫星遥感监测系统作为对照组方法, 在其他干扰条件不发生变化的情况下, 记录卫星遥感数据变化指征的实验数值。具体的实验参数配置情况如表 2 所示。

表 2 实验参数配置

项目	数值
卫星外形尺寸	2 220×2 200×1 720(mm)
翼展长度	18.096 m
卫星质量	1 206 kg
有效载荷波段个数	24 个
遥感图像大小	3 000×4 000(像素)
波段个数	7 个
量化形式	8 位

卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差, 可以用来描述主机元件对于卫星遥感数据传输变化行为的

监测准确性。在不考虑其他干扰条件的情况下, 变化指征与非变化指征之间的差值水平越小, 就表示主机元件对于卫星遥感数据传输变化行为的监测准确性越强。

误差值计算表达式如下:

$$\phi = |y_0 - (\theta_1 \times \sigma_1)| \quad (6)$$

式中,  $y_0$  表示卫星遥感数据的非变化指征,  $\theta_1, \sigma_1$  表示两个不相等的变化指征取值参量 ( $\theta_1 \times \sigma_1$  表示卫星遥感数据变化指征的计算取值)。

实验组、对照组  $\theta_1$  参量与  $\sigma_1$  参量的实验数值如图 6 所示。

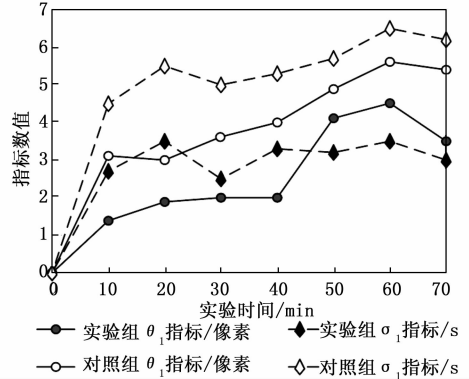


图 6 变化指征参量取值

分析图 6 可知, 当实验时间为 70 min 时, 对照组  $\sigma_1$  指标数值均值为 5.5 s, 实验组  $\sigma_1$  指标数值均值为 3.04 s, 而对照组  $\theta_1$  指标数值均值为 4.22 像素, 实验组  $\theta_1$  指标数值均值为 2.77 像素。由此可知, 在整个实验过程中, 变化指征取值参量均值的排列顺序为: 对照组  $\sigma_1$  指标 > 对照组  $\theta_1$  指标 > 实验组  $\sigma_1$  指标 > 实验组  $\theta_1$  指标。

卫星遥感数据非变化指征  $y_0$  的数值水平如图 7 所示。

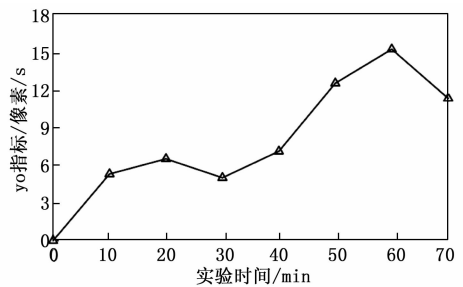


图 7 卫星遥感数据非变化指征 ( $y_0$ )

联立图 6 中的记录数值与公式 (6), 对实验组、对照组卫星遥感数据变化指征进行计算, 具体计算数值如表 3 所示。

表 3 误差值

实验时间/min	$y_0 / (像素/s)$	$\phi / (像素/s)$	
		实验组	对照组
10	5.71	0.15	2.52
20	6.93	0.17	2.57
30	5.45	0.45	2.70
40	7.02	0.48	2.98
50	12.78	0.52	2.83
60	15.47	0.19	3.14
70	11.04	0.54	2.73

分析表 3 可知，当实验时间为 70 min 时，实验组误差值  $\psi$  指标达到最大数值 0.54 像素/s；当实验时间为 60 min 时，对照组误差值  $\psi$  指标达到最大数值 3.14 像素/s，与实验组误差值最大数值相差 2.6 像素/s。在整个实验过程中，当实验时间达到 70 min 时，实验组误差值  $\psi$  指标均值为 0.36 像素/s，对照组误差值  $\psi$  指标均值为 2.78 像素/s，与对照组相比，实验组明显缩小了 2.42 像素/s。

综上所述，本次实验结论为：

1) 随着河流径流雷达卫星遥感监测系统的应用，卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差水平并不能得到有效控制；

2) 在基于 MPI 并行计算的监测系统的作用下，卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差出现了明显下降的数值变化状态；

3) 与河流径流雷达卫星遥感监测系统相比，MPI 并行计算更能控制卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差，实现对卫星遥感数据传输变化行为的准确监测。

## 5 结束语

本文设计的卫星遥感数据变化监测系统在 MPI 并行计算的基础上，设置了 A/D 转换电路、传感器模块、协调器设备等多个硬件应用结构，又通过编写数据进程的方式，计算得到准确的遥感数据度量值结果。与河流径流雷达卫星遥感监测系统相比，这种新型监测系统可以明显缩小卫星遥感数据变化指征与非变化指征之间的实值误差，在实际应用方面，能够满足准确监测卫星遥感数据传输变化行为的设计需求。

### 参考文献：

[1] 贾伯岩, 孙翠英, 李立学, 等. 基于兴趣区域匹配的输电线路双目监测系统研究 [J]. 高电压技术, 2020, 46 (10): 3630-3637.

[2] 毋琳, 王宁, 赵建辉, 等. 河流径流雷达卫星遥感监测系统的设计与实现 [J]. 河南大学学报 (自然科学版), 2020, 50 (4): 433-442.

[3] 尤淑撑, 张锐, 董丽娜, 等. 自然资源卫星遥感常态化监测框架设计及关键技术 [J]. 地理信息世界, 2020, 27 (5): 115-120, 128.

[4] 王年华, 常兴华, 赵钟, 等. 非结构 CFD 软件 MPI+OpenMP 混合并行及超大规模非定常并行计算的应用 [J]. 航空学报, 2020, 41 (10): 190-204.

[5] 朱京乔, 赵永华. 基于分治法求解对称三对角矩阵特征问题的 MPI/Cilk 混合并行算法 [J]. 郑州大学学报 (理学版), 2020, 52 (1): 33-38.

[6] 李楠楠, 黄正波, 季惠才, 等. 用于高速模数转换器的电荷泵型低抖动时钟管理电路 [J]. 西安交通大学学报, 2020, 54 (1): 162-168.

[7] 杨书新, 梁文, 朱凯丽. 基于三级邻居的复杂网络节点影响力度量方法 [J]. 电子与信息学报, 2020, 42 (5): 1140-1148.

[8] 王鸿鹏, 王前, 张晓阳, 等. 基于 3D-Tabu 禁忌搜索的广域环境 MESH 网络节点部署优化算法研究 [J]. 传感技术学报, 2021, 34 (2): 261-267.

[9] 孙尚鹏, 杨庆, 何彦霄, 等. 适用于宽温区的 LiNbO<sub>3</sub> 体效应电光干涉型强电场传感器 [J]. 高电压技术, 2020, 46 (6): 1913-1921.

[10] 郭强, 李山, 谢诗云, 等. 多相交错并联 DC-DC 变换器单电流传感器控制策略 [J]. 电工技术学报, 2022, 37 (4): 964-975.

[11] 聂守成, 钱林方, 陈志群, 等. 基于干扰观测器的弹丸协调器电液伺服系统自适应滑模控制 [J]. 兵工学报, 2020, 41 (9): 1745-1751.

[12] 彭春华, 张金克, 陈露, 等. 计及差异化需求响应的微电网源荷储协调优化调度 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40 (3): 1-7.

[13] 杨德州, 任彦辉, 葛磊蛟, 等. 基于 N-1 安全约束的主动配电网拓扑优化控制方案 [J]. 电测与仪表, 2020, 57 (1): 49-54.

[14] 邹君, 姚卫星, 张悦超, 等. 基于渐进演化策略的增材制造自支撑结构拓扑优化算法 [J]. 计算力学学报, 2021, 38 (6): 704-711.

[15] 武林平, 景翠萍, 刘旭, 等. MPI 并行程序中通信等待问题的诊断及方法及其应用 [J]. 国防科技大学学报, 2020, 42 (2): 47-54.

[16] 张李梅, 牟永敏, 张志华, 等. 基于函数调用路径的测试用例混合优化方法 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (9): 3640-3647.

[17] 王涛, 马川. 基于 Pi 演算的 Android 多线程程序的数据竞争检测 [J]. 广西师范大学学报 (自然科学版), 2020, 38 (2): 29-42.

[18] 冯慧芳, 杨文亮. 融合 GPS 轨迹和 POI 数据关联规则的城市功能区识别 [J]. 测绘科学技术学报, 2020, 37 (4): 414-420.

[19] 苏少春, 谢施君, 丁卫东, 等. VFTO 传感器校准用 2 kV 亚纳秒级上升沿方波发生装置研制 [J]. 高电压技术, 2020, 46 (8): 2976-2983.

[20] 杨明, 蔡晨光, 刘志华, 等. 基于长冲程振动台导轨弯曲校正的低频振动传感器校准方法 [J]. 振动与冲击, 2022, 41 (1): 116-120.

[21] 晏磊, 姜凯文, 樊邦奎, 等. 遥感信息质量提升的源端方法及其地学—光电参量关联物理基础 [J]. 中国科学: 技术科学, 2021, 51 (1): 65-77.

[22] 周国华, 蒋晖, 顾晓清, 等. 自适应权重多视角度量学习的遥感图像场景分类方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2021, 33 (5): 755-764.

[23] 张跃, 梁智明, 胡波, 等. 采用混合核函数支持向量机算法的大型发电机定子线棒绝缘状态评估方法 [J]. 西安交通大学学报, 2020, 54 (6): 44-50.

[24] 鲍文霞, 王云飞, 王年, 等. 基于度量学习核函数的光学足迹图像识别算法 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2020, 48 (11): 11-16.