

# 基于无人机倾斜摄影技术的多源遥感影像变化检测并行系统设计

王 颀<sup>1</sup>, 柳新强<sup>2</sup>, 刘 松<sup>3</sup>

1. 杨凌职业技术学院 交通与测绘工程学院, 陕西 杨凌 712100;
2. 陕西铁路工程职业技术学院 测绘与检测学院, 陕西 渭南 710049;
3. 中国长江三峡集团有限公司 移民工作办公室, 成都 610041

**摘要:** 为使无人机遥感图像的影像残差值得到有效控制, 提升多源遥感影像变化特征的检测精度水平, 设计基于无人机倾斜摄影技术的多源遥感影像变化检测并行系统; 在 C/S 框架体系中, 设置并行运作电路、像素点检测主机、HBase 存储结构与遥感影像显示器, 完成对多源遥感影像变化检测并行系统的硬件设计; 根据联合平差指标的数值水平, 计算密集度指标, 联合已知影像数据, 求解无人机倾斜摄影过程中的纹理映射条件, 实现对多源遥感影像的建模处理; 按照影像特征提取结果, 完善影像检测金字塔的构型模式, 将无人机数字影像与并行检测节点匹配起来, 再结合各级硬件应用结构, 完成基于无人机倾斜摄影技术的多源遥感影像变化检测并行系统设计; 实验结果表明, 设计的系统在无人机倾斜摄影技术的作用下, 遥感图像在  $x$  轴方向的影像残差指标平均值较低, 在  $y$  轴和  $z$  轴方向上的影像残差指标均出现明显下降趋势, 证明设计系统能够有效提升多源遥感影像变化特征的检测精度。

**关键词:** 无人机倾斜摄影; 多源遥感影像; 联合平差; 纹理映射; 金字塔构型; 影像残差

## Design of Parallel System for Multi-source Remote Sensing Image Change Detection Based on UAV Tilt Photography Technology

WANG Meng<sup>1</sup>, LIU Xinqiang<sup>2</sup>, LIU Song<sup>3</sup>

1. School of Transportation and Surveying Engineering, Yangling Vocational & Technical College, Yangling 712100, China;
2. School of Surveying and Testing, Shaanxi Railway Institute, Weinan 710049, China;
3. Immigration Office, China Three Gorges Corporation, Chengdu 610041, China

**Abstract:** In order to effectively control the image residual value of unmanned aerial vehicle (UAV) remote sensing image and improve the detection accuracy level of multi-source remote sensing image change characteristics, a multi-source remote sensing image change detection parallel system based on a UAV tilt photography is designed. In the C/S framework system, the parallel operation circuit, pixel detection host, HBase storage structure and remote sensing image display are set up to complete the hardware design of the multi-source remote sensing image change detection parallel system. According to the numerical level of the joint adjustment index, the density index is calculated, and the known image data are combined to solve the texture mapping condition in the process of the UAV tilt photography, so as to realize the modeling and processing of the multi-source remote sensing image. According to the image feature extraction results, improve the configuration mode of image detection pyramid, match the UAV digital image with the parallel detection node, and then complete the design of multi-source remote sensing image change detection parallel system based on the UAV tilt photography technology in combination with the hardware application structure at all levels. The experimental results show that under the action of the UAV tilt photography technology, the average value of the image residual index of the remote sensing image in the  $x$ -axis direction is low, and the image residual index in the  $y$ -axis and  $z$ -axis directions has a significant downward trend, which proves that the design system can effectively improve the detection accuracy of the change characteristics of the multi-source remote sensing image.

**Keywords:** UAV tilt photography; multi-source remote sensing image; joint adjustment; texture mapping; pyramid configuration; image residual

收稿日期: 2022-06-29; 修回日期: 2022-08-15。

基金项目: 杨凌职业技术学院自然科学基金项目(A2019023)。

作者简介: 王 颀(1991-), 男, 河南南阳人, 硕士, 讲师, 主要从事无人机摄影测量、三维激光扫描技术方向的研究。

引用格式: 王 颀, 柳新强, 刘 松. 基于无人机倾斜摄影技术的多源遥感影像变化检测并行系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(2): 91-96, 103.

### 0 引言

无人机倾斜摄影是一种新兴的影像测量技术<sup>[1]</sup>，通过无人机倾斜摄影所得数据能够准确标记出影像节点的空间位置信息，并可以按照信号波段分配形式的不同，生成多种不同格式的输出数据<sup>[2]</sup>。多源遥感技术以光学、微波、热红外等多项应用技术为基础，能够利用卫星传感器对地物景观进行观测，并可以根据时相、光谱及分辨率标准的不同，将所得测量信息划分成多个不同的数据存储结构。与单源型遥感影像相比，多源遥感影像能够更加准确地反映出数据特征的变化形式，并可以剔除所得信息中的冗余成分，大大减轻运行主机所承担的数据处理压力<sup>[3]</sup>。由于无人机飞行器的运动行为并不能保持绝对稳定的状态，故而所得遥感影像在 X 轴、Y 轴、Z 轴方向上的残差指标也很难完全处于既定数值标准之内。

为更好应对上述问题，国内专家对此进行深入研究。戴媛<sup>[4]</sup>等提出基于改进旋转区域生成网络的遥感图像目标检测方法，以 Faster R-CNN 网络为基础，对待检测遥感图像目标进行标记，根据旋转因子表达式，计算特征图参量的具体数值。该方法检测效率较高，但检测精度较低。徐志京<sup>[5]</sup>等提出基于快速区域卷积神经网络的检测方法，通过双路网络提取目标特征，利用金字塔网络与目标特征融合，采用改进的损失函数优化网络。该方法可有效提升检测的精度，但检测图像的影像残差的单位增幅较大。

针对上述研究现状，设计基于无人机倾斜摄影技术的多源遥感影像变化检测并行系统。

## 1 多源遥感影像变化检测并行系统硬件设计

### 1.1 C/S 架构

多源遥感影像变化检测并行系统沿用传统的 C/S 架构设计模式，始终以客户端主机作为主体对象，以运行主机作为受体对象（服务器与数据管理体系）。随着无人机倾斜摄影图像的不断累积，客户端主机中待处理数据的瞬时累积量也会不断增大，为避免错误检测行为的出现，客户端主机会将暂存数据信息参量反馈给下级应用设备，从而保障系统运行环境的绝对稳定性<sup>[6]</sup>。C/S 架构组成形式包括分列式、统一式两种类型，具体连接结构如图 1、图 2 所示。

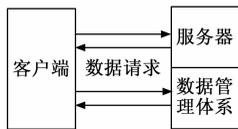


图 1 分列式 C/S 架构

1) 分列式 C/S 架构：一个客户端设备同时对一个服务器主机和一个数据管理体系，前者负责分析由无人机设备采集到的摄影信息，后者负责对已成型遥感影像检测指令进行整理与调试，并可以从中提取未完全利用的多源遥感影像信息参量，以供客户端主机的二次调取与利用<sup>[7]</sup>。

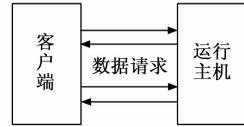


图 2 统一式 C/S 架构

2) 统一式 C/S 架构：一个客户端设备只对应一台运行主机，该模式可以调度处于散乱分布状态的多源遥感影像信息参量，并可以帮助数据请求指令在客户端主机与运行主机之间进行往复传输。

### 1.2 并行运作电路

并行运作电路决定了系统主机对于多源遥感影像变化行为的检测能力。在 C/S 架构体系中，并行运作电路可以根据三相调压交流电源中电量信号的实时输出水平，对下级 U 线路、V 线路、W 线路的接入状态进行调试，一方面使得电压表能够准确监测出三相调压交流电源结构两端的实时电压，另一方面也可以保障 X1、X2 线圈组织之间电量映射关系的连续稳定性，并最终促进无人机航摄主机能够对多源遥感影像的变化行为进行准确感知<sup>[8]</sup>。完整的并行运作电路连接形式如图 3 所示。

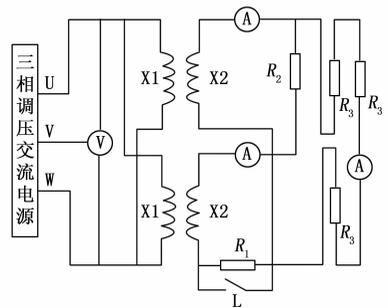


图 3 并行运作电路的结构简图

在并行运作电路中，X1 线圈的内阻数值较高，而 X2 线圈的内阻数值则相对较低，前者能够承担三相调压交流电源结构输出的所有交流电量信号，并可以根据 R<sub>1</sub> 与 R<sub>2</sub> 电阻已接入部分的阻值水平，对已输入电量信号进行调制处理<sup>[9]</sup>；后者只可以被动接受直流状态的电量信号，但因其直接与 R<sub>1</sub> 电阻、R<sub>2</sub> 电阻相连，故而为使 X2 线圈两端的负载电压保持相对稳定的数值状态，要求 R<sub>1</sub> 电阻、R<sub>2</sub> 电阻已接入部分阻值不得存在过大的数值差。

### 1.3 像素点检测主机

在多源遥感影像变化检测并行系统<sup>[10]</sup>中，像素点检测主机负载于 C/S 架构的中部位置，可以同时调节并行运作电路、HBase 存储结构与遥感影像显示器元件的实时连接状态。当 C/S 架构处于分列式连接形式时，像素点检测主机需要处理的多源遥感影像信息量相对较小；而当 C/S 架构处于统一式连接形式时，像素点检测主机需要处理的多源遥感影像信息量则相对较大<sup>[11-12]</sup>。在设置像素点检测主

机时, 各个并行节点之间的作用关系如表 1 所示。

表 1 像素点检测主机中的并行节点作用关系

并行节点名称	作用行为
Edit input	控制无人机多源遥感影像信息的输入速率
Edit output	与 Edit input 节点具有互为相反的作用能力
Properties	控制无人机设备在进行摄影时的飞行倾斜程度
Orcad 1	提升无人机航摄影像信息在系统检测主机中的传输速率
Orcad 2	抑制无人机航摄影像信息在系统检测主机中的传输速率
Bidirectional	更改多源遥感影像信息的传输形式,使其由单向传输状态转换成双向传输状态

飞机绕纵轴转动的角度为飞行倾角。为保证像素点检测主机的执行能力, 在设置并行节点时, 必须将无人机设备在进行摄影时的飞行倾角数值控制在  $15 \sim 135^\circ$  的区间之内。

### 1.4 HBase 存储结构

与像素点检测主机相比, HBase 存储结构在多源遥感影像变化检测并行系统中所处的连接等级更低。在执行并行检测指令的过程中, 该元件可以在数据信息存储数据库与遥感影像存储数据库两类应用设备的作用下, 对待传输信息参量进行去噪与几何处理, 并可以将满足系统主机检测需求的数据信息提取出来, 以供遥感影像显示器设备的直接调取与利用<sup>[13]</sup>。HBase 基础存储单元位于 HBase 存储结构最上端, 内部所包含的传输参量包含多源遥感影像信息、无人机航摄影像信息、影像分割标准信息三类。其中, 多源遥感影像信息是数据信息存储数据库对于影像噪点参量的几何处理结果; 影像分割标准信息是遥感影像存储数据库对于影像噪点参量的去噪处理结果。HBase 存储结构连接模型如图 4 所示。

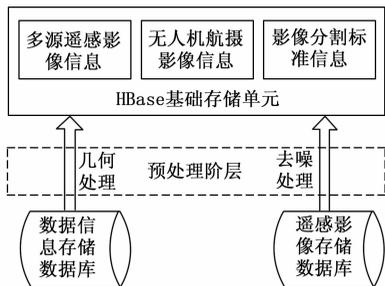


图 4 HBase 存储结构连接模型

在经过 HBase 存储结构的初步筛选后, 无人机多源遥感影像数据的聚合等级得到大幅提升, 能够完全满足系统检测指令的实时执行需求<sup>[14]</sup>。预处理阶段将底层数据库主机与顶层 HBase 基础存储单元分割开来, 故而系统主机在选取影像信息时并不需要考虑数据参量所处的实时存储状态, 这也是 HBase 存储结构应用能力可以长期保持稳定的

主要原因。

### 1.5 遥感影像显示器

为保障无人机倾斜摄影技术的顺利实施, 遥感影像显示器结构必须起到承上启下的作用<sup>[15]</sup>, 向上获取 HBase 存储结构中的多源遥感影像变化行为参量, 向下则可以对已获取数据信息进行整合处理, 并将其反馈给检测并行系统的核心运行主机<sup>[16-17]</sup>。与其他硬件应用结构相比, 遥感影像显示器元件具有多个管脚节点, 能够联合系统并行传输信道, 更改多源遥感影像变化行为参量的传输形式, 并可以借助 S 级管脚与 R 级管脚, 生成完整的无人机多源遥感影像。遥感影像显示器连接原理如图 5 所示。

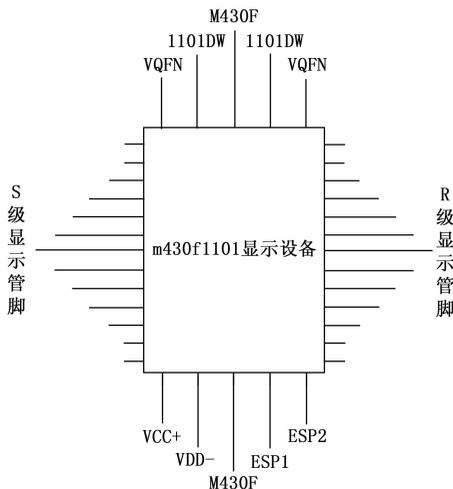


图 5 遥感影像显示器连接原理

在遥感影像显示器结构中, 各个连接元件的执行作用能力如下:

- 1) S 级显示管脚: 负责显示高对比度的多源遥感影像;
- 2) R 级显示管脚: 负责显示低对比度的多源遥感影像;
- 3) M430F 管脚: 可以根据无人机倾斜摄影技术的实践强度, 更改 m430f1101 设备的显示状态;
- 4) 1101DW 管脚: 调节 S 级显示管脚与 R 级显示管脚之间的实时连接关系;
- 5) VQFN 管脚: 控制多源影像信息的传输状态;
- 6) VCC+ 管脚: 与系统正极输入端节点相连;
- 7) VDD- 管脚: 与系统负极输出端节点相连;
- 8) ESP 管脚: ESP1、ESP2 作为两个下级附属管脚, 负责疏导无人机多源遥感影像变化信息的传输行为。

## 2 多源遥感影像建模

### 2.1 联合平差

在无人机倾斜摄影技术的作用下, 联合平差描述了真实影像参量与多源遥感影像参量之间的差异性, 由于大多数遥感节点都可能出现畸变表现行为, 所以联合平差指标的计算数值越大, 所选取检测节点与真实影像节点之间的差异化程度也就越大<sup>[18]</sup>。像方系数是影响联合平差指标计

算数值的关键物理参量, 在进行求解运算的过程中, 为使联合平差指标数值完全符合实际检测需求, 必须使其取值结果保持动态变化状态。由于无人机倾斜摄影测量中总是包含大量的非摄影测量信息, 故而在选取像方系数时, 也要允许一定物理误差值的存在<sup>[19]</sup>。设  $a$  为系统主机选取的多源遥感影像检测参量,  $a_x$  为  $x$  轴方向上的物理分量,  $a_y$  为  $y$  轴方向上的物理分量,  $a_z$  为  $z$  轴方向上的物理分量,  $\chi$  为像方系数。

基于无人机倾斜摄影技术的多源遥感影像联合平差求解表达式为:

$$D(a) = -\frac{\chi(a_x + a_y + a_z)\vec{X}\vec{Y}\vec{Z}}{s_x \cdot s_y \cdot s_z} \quad (1)$$

其中:  $s_x$  为  $x$  轴方向上的遥感节点畸变特征,  $s_y$  为  $y$  轴方向上的遥感节点畸变特征,  $s_z$  为  $z$  轴方向上的遥感节点畸变特征,  $\vec{X}$ 、 $\vec{Y}$ 、 $\vec{Z}$  分别为多源遥感影像变化行为信息在  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴方向上数值分量。为获得更为精准的多源遥感影像建模条件, 求解联合平差条件时, 要求  $\vec{X}$  分量、 $\vec{Y}$  分量、 $\vec{Z}$  分量不能完全相等。

### 2.2 密集度指标

密集度指标是用来描述无人机多源遥感影像变化行为的系数参量, 对于按照倾斜摄影技术所采集到的数据信息来说, 密集程度越大, 系统主机对于并行节点的准确检测能力就越弱<sup>[20]</sup>。所谓密集度是指遥感影像信息的离散化分布状态, 对于无人机多源遥感影像而言, 在同一数据集合之内, 若关联检测指标之间存在明显的差异性, 则表示密集度指标的计算取值相对较大, 此时根据联合平差表达式的定义条件, 可以预测出并行系统主机对于多源遥感影像变化行为的检测能力, 且影像信息的分布形式越密集, 系统主机对于多源遥感影像变化行为的检测能力也就越强<sup>[21]</sup>。设  $f$  表示无人机倾斜摄影的倾斜度系数,  $\alpha$  表示影像信息分布密度的初始赋值,  $\beta$  表示多源遥感影像变化行为参量的并行化赋值系数,  $\hat{H}$  表示基于无人机倾斜摄影技术的遥感影像信息检测特征值。在上述物理量的支持下, 联立公式 (1), 可将多元遥感影像变化行为信息的密集度指标求解表达式定义为:

$$G = \frac{1}{\alpha |fD(a) - 1|} \beta \hat{H}^2 \quad (2)$$

给定在同一数据集合内, 同时增大并行化赋值指标与检测特征值参量的取值结果, 可以实现对密集度指标的准确求解。

### 2.3 纹理映射

纹理映射是指无人机多源遥感影像变化行为信息在目标曲面上的分布特征, 在已知密集度指标取值结果的前提下, 可以根据遥感节点与变化行为向量之间的数值映射关系, 判断当前求得的纹理映射值结果是否满足实际应用需求<sup>[22-23]</sup>。由于无人机多源遥感影像变化行为信息向量之间的数值映射关系并不唯一, 所以在建立纹理映射表达式时, 要求遥感节点并行检测指标的赋值必须时刻保持变化状态。

设  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$  表示  $n$  个不相等的遥感节点并行检测指标赋值结果, 且  $\epsilon_1 \neq \epsilon_2 \neq \dots \neq \epsilon_n \neq 1$  的不等式条件恒成立,  $\delta$  表示遥感节点与变化行为向量之间数值映射参量的初始取值。

具体的无人机多源遥感影像变化行为信息纹理映射关系求解表达式如下:

$$K = \sqrt{\frac{\sum_{\delta=1}^{+\infty} [\varphi(\Delta A)^2 - \bar{L}^2]}{(n^2 - 1)G}} \Big|_{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \dots + \epsilon_n} \quad (3)$$

式中,  $\varphi$  表示基础映射向量,  $\Delta A$  表示多源遥感影像变化行为信息的单位累积量,  $\bar{L}$  表示无人机倾斜摄影图像中的纹理特征均值。由于密集度指标的求解结果不具有全面性, 所以纹理映射表达式的定义条件也只针对区域性无人机倾斜摄影图像。

## 3 无人机数字影像匹配

### 3.1 影像特征提取

在无人机倾斜摄影技术的支持下, 可以将多源遥感影像特征提取看作是计算机视觉理论与图像处理思想的重合部分。对于独立的多源遥感影像而言, 只有准确把握影像特征提取结果才可以对并行节点处的影像变化行为进行准确检测, 这也是保障系统主机运行能力的必要实践环节<sup>[24-25]</sup>。设  $\kappa_1, \kappa_2, \dots, \kappa_n$  表示  $n$  个不同的无人机倾斜摄影遥感影像节点标度值,  $j_1, j_2, \dots, j_n$  表示  $n$  个不同的遥感影像并行化标记系数。在上述物理量的支持下, 联立公式 (3), 可将无人机倾斜遥感影像特征提取表达式定义为:

$$\tilde{M} = |n!| \cdot \begin{pmatrix} \kappa_1 \times j_1 \\ \kappa_2 \times j_2 \\ \vdots \\ \kappa_n \times j_n \end{pmatrix}^{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_n} \quad (4)$$

式中,  $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_n$  分别表示与  $j_1, j_2, \dots, j_n$  系数匹配的影像变化行为信息并行检测测量差值。对无人机数字影像进行匹配处理时, 为使多源遥感影像变化行为得到准确检测, 必须严格按照影像特征提取表达式, 完成对待测数据信息的查找与分类。

### 3.2 影像金字塔

影像金字塔思想主张按照无人机倾斜遥感影像变化行为对所得数据信息进行排列, 由于大级别检测节点始终存在于小级别检测节点下端, 所以重叠起来的并行影像特征点总是呈现出金字塔型表现状态<sup>[26]</sup>。由于并行影像特征点具有明显的独立性, 所以随着无人机倾斜遥感影像变化行为信息累积量的增大, 检测节点的层级数量也会不断增大。处于初级状态的影像金字塔只能对一类并行影像特征点进行检测, 而处于进阶状态的影像金字塔则可以对多种类型的并行影像特征点进行同步检测<sup>[27]</sup>。影像金字塔升级形式如图 6 所示。

由图 6 可知, 进阶状态增加了层级数量, 相较于初级状态, 可同时对待多类并行影像特征点进行检测, 提升了检测效率。根据无人机倾斜摄影技术的实施原则, 对影像金

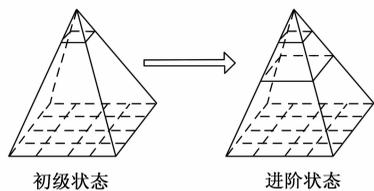


图 6 影像金字塔升级形式

字塔结构的作用能力进行识别, 在保障多源遥感影像变化行为信息稳定并行分布状态的同时, 实现对数据参量指标的准确检测。

### 4 实验分析

实验数据集为 DOTA 大型遥感图像数据集, 主要用于航拍图像的目标检测。采用 UX5 型专业航摄无人机为实验无人机, 采样频率为 1 575 MHz, 图像分辨率为 640 × 480PPI, 飞机的飞行姿态为横滚 roll, 飞行高度为 80 m。

无人机遥感图像的影像残差是一项全局性指标, 由于飞行器设备的行进状态并不能时刻保持稳定, 故而该指标在  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴方向上都存在一定数值水平的分向量。对于多源遥感影像来说, 全局影像残差指标的求解难度较大, 因此可以根据该指标在  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴方向上数值分量, 推断全局指标数值的基本变化规律。具体求解表达式如下:

$$I = i_x \cdot i_y \cdot i_z \quad (5)$$

式中,  $I$  为总残差指标数值,  $i_x$  为  $x$  轴上残差指标数值,  $i_y$  为  $y$  轴上残差指标数值,  $i_z$  为  $z$  轴上残差指标数值, 三者相乘得到总残差指标数值。无人机遥感图像的影像残差值指标数值, 能够反映出系统主机对于多源遥感影像变化特征的检测精确程度。通常情况下, 残差值指标的数值水平越低, 系统主机对于多源遥感影像变化特征的检测精确程度也就越高; 反之, 若残差值指标的数值水平较高, 则表示系统主机对于多源遥感影像变化特征的检测精确程度也就相对较低。

本次实验的具体实施流程如下:

步骤 1: 选择基于无人机倾斜摄影技术的多源遥感影像变化检测并行系统作为实验组应用方法;

步骤 2: 选择基于改进旋转区域生成网络的检测系统作为对照组应用方法;

步骤 3: 控制无人机飞行器, 使其在遥感观测区域内来回运动, 直至像素点检测主机能够显示出清晰的影像, 记录影像在各轴数据。

步骤 4: 记录在实验组、对照组检测系统的作用下,  $x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴方向上遥感图像影像残差指标分量的数值变化情况;

步骤 5: 对比所得数值结果, 总结实验规律;

$x$  轴、 $y$  轴、 $z$  轴方向上遥感图像影像残差指标分量的具体记录数值如表 2 所示。

表 2 遥感图像的影像残差分量

(1) $x$ 轴		
航拍区域面积/ $m^2$	$x$ 轴方向上的影像残差指标/ppi	
	实验组	对照组
15	0.72	0.73
30	0.79	0.79
45	0.85	0.84
60	0.88	0.88
75	0.94	0.94
90	0.97	0.95
105	0.97	0.99
120	0.97	1.01
(2) $y$ 轴		
航拍区域面积/ $m^2$	$y$ 轴方向上的影像残差指标/ppi	
	实验组	对照组
15	0.86	1.13
30	0.85	1.15
45	0.88	1.18
60	0.86	1.20
75	0.92	1.20
90	0.91	1.20
105	0.87	1.22
120	0.88	1.25
(3) $z$ 轴		
航拍区域面积/ $m^2$	$z$ 轴方向上的影像残差指标/ppi	
	实验组	对照组
15	1.10	2.21
30	1.10	2.21
45	1.10	2.21
60	1.10	2.23
75	1.10	2.25
90	1.10	2.28
105	1.10	2.29
120	1.10	2.33

根据表 (1)  $x$  轴可知: 实验组在  $x$  轴方向上的影像残差指标在 0.72~0.97 之间, 对照组在  $x$  轴方向上的影像残差指标在 0.73~1.01 之间。实验组、对照组遥感图像的影像残差分量在  $x$  轴方向上的差值水平并不明显, 实验组分量呈现出先增大、再稳定的数值变化状态, 对照组分量则始终保持连续上升的数值变化状态。

根据表 (2)  $y$  轴可知: 实验组在  $y$  轴方向上的影像残差指标在 0.85~0.92 之间, 对照组在  $x$  轴方向上的影像残差指标在 1.13~1.25 之间。实验组遥感图像的影像残差分量在  $y$  轴方向上保持来回波动的数值变化状态, 其极大值 0.92 ppi 与极小值 0.85 ppi 之间的数值差仅为 0.07 ppi; 对照组遥感图像的影像残差分量在  $y$  轴方向上呈现出先增大、再稳定的数值变化状态, 但其整体均值水平明显高于实验组。

根据表 (3)  $z$  轴可知: 实验组在  $z$  轴方向上的影像残

差指标稳定在 1.10, 对照组在  $x$  轴方向上的影像残差指标在 2.21~2.33 之间。实验组遥感图像的影像残差分量在  $z$  轴方向上始终保持相对稳定的数值状态, 其均值水平略高于实验组残差分量在  $x$  轴与  $y$  轴方向上的平均数值; 对照组遥感图像的影像残差分量在  $z$  轴方向上保持先稳定、再不断上升的数值变化状态, 其整体均值水平依然明显高于实验组。

以表 2 中的记录数值为基础, 按照公式 (5), 对实验组、对照组无人机遥感图像的影像残差 ( $I$ ) 进行计算, 具体数值统计结果如图 7 所示。

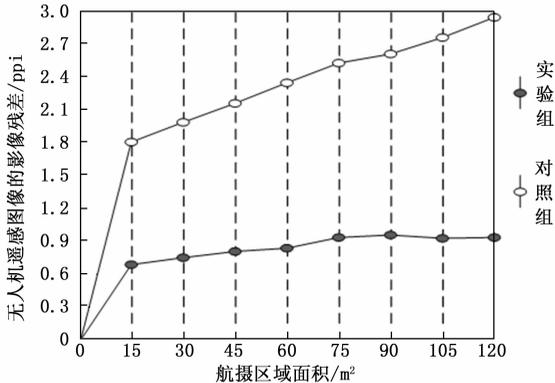


图 7 无人机遥感图像的影像残差

分析图 7 可知, 随着航摄区域面积的增大, 实验组、对照组  $I$  指标都呈现出不断增大的数值变化状态, 但明显对对照组指标的均值水平更高、单位增幅更大。

综合上述实验研究结果可知: 随着基于无人机倾斜摄影技术的多源遥感影像变化检测并行系统的应用, 遥感图像的影像残差水平得到了较好控制, 在提升多源遥感影像变化特征检测精度方面的应用能力更强。

## 5 结束语

设计的多源遥感影像变化检测并行系统, 联合无人机倾斜摄影技术, 确定并行运作电路、像素点检测主机、HBase 存储结构等多个硬件应用设备之间的连接行为。又根据联合平差表达式, 求取影像节点之间的纹理映射关系。再按照影像特征提取原则, 对影像金字塔的作用形式进行完善。随着这种新型系统的应用, 无人机遥感图像的影像残差值得到了有效控制, 符合提升多源遥感影像变化特征检测精度的实际应用需求。

## 参考文献:

[1] 康传利, 程 耀, 石灵璠. 无人机倾斜摄影建模技术在虚拟现实中的应用 [J]. 桂林理工大学学报, 2020, 40 (1): 138-142.

[2] 毕卫华, 赵星涛, 杨化超, 等. 基于智能手机的无人机低空倾斜摄影测量系统及其应用研究 [J]. 国土资源遥感, 2021, 33 (2): 248-255.

[3] 郑 鑫, 潘 斌, 张 健. 可变形网络与迁移学习相结合的电

力塔遥感影像目标检测法 [J]. 测绘学报, 2020, 49 (8): 1042-1050.

[4] 戴 媛, 易本顺, 肖进胜, 等. 基于改进旋转区域生成网络的遥感图像目标检测 [J]. 光学学报, 2020, 40 (1): 270-280.

[5] 徐志京, 丁 莹. 自适应旋转区域生成网络的遥感图像舰船目标检测 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57 (24): 408-415.

[6] 龚钢军, 张哲宁, 张心语, 等. 分布式信息能源系统的耦合模型、网络架构与节点重要度评估 [J]. 中国电机工程学报, 2020, 40 (17): 5412-5426.

[7] 景维鹏, 张明伟, 林敬博. 一种神经网络架构搜索遥感图像分类方法 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2021, 26 (1): 25-29.

[8] 王俊杰, 万书芹, 季惠才, 等. 一种用于 JESD204B 协议的 8B/10B 并行编码电路设计与实现 [J]. 微电子学与计算机, 2020, 37 (6): 35-39.

[9] 黄先进, 李 鑫, 刘宜鑫, 等. 基于量化电压并行比较的 IGBT 状态监测保护电路 [J]. 电工技术学报, 2021, 36 (12): 2535-2547.

[10] 尚 晖. 可控遥感数据动态采集下临空高速目标探测系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (3): 108-113.

[11] 李舒航, 高 旭, 刘兆武, 等. 基于灰度插值的条纹图像位移亚像素检测算法 [J]. 光学学报, 2021, 41 (10): 133-141.

[12] 霍方宇, 何 宁, 吴 越, 等. 低空目标的图像灰度相似度投影检测方法 [J]. 广西大学学报 (自然科学版), 2020, 45 (5): 1189-1195.

[13] 李 琼, 宋振龙, 袁 远, 等. 一种基于 NVMeoF 存储池的分域共享并发存储架构 [J]. 计算机工程与科学, 2020, 42 (10): 1711-1719.

[14] 韦 彪, 刘天琪, 苏学能. 依托 Hadoop 架构的海量变压器实时监测与存储方案构建 [J]. 电测与仪表, 2020, 57 (10): 6-12, 75.

[15] 沈 川, 贾 渊, 杨珂珂. 基于高分遥感影像的断裂道路连接方法 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (2): 246-249.

[16] 肖进胜, 张舒豪, 陈云华, 等. 双向特征融合与特征选择的遥感影像目标检测 [J]. 电子学报, 2022, 50 (2): 267-272.

[17] 陈 楠, 张 标. 多尺度半耦合卷积稀疏编码的遥感影像超分辨率重建 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2022, 34 (3): 382-391.

[18] 唐新明, 刘昌儒, 张 恒, 等. 高分七号卫星立体影像与激光测高数据联合区域网平差 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2021, 46 (10): 1423-1430.

[19] 张鑫磊, 邢 帅, 徐 青, 等. ATLAS 数据与资源三号 02 星影像联合区域网平差 [J]. 红外与激光工程, 2020, 49 (S2): 155-162.

[20] 宋 晨, 周良将, 吴一戎, 等. 基于时频集中度指标的多旋翼无人机机动特征参数估计方法 [J]. 电子与信息学报, 2020, 42 (8): 2029-2036.

[21] 杨钰琪, 陈 驰, 杨必胜, 等. 基于 UAV 影像密集匹配点多层次分割的建筑物层高变化检测 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2021, 46 (4): 489-496.

(下转第 103 页)