

# 广义控制点影像库构建与影像几何校正应用

孔祥杰<sup>1</sup>, 刘春<sup>1</sup>, 辛亮<sup>2</sup>, 吴杭彬<sup>1</sup>

<sup>1</sup>同济大学测绘与地理信息学院, 上海

<sup>2</sup>上海市测绘院, 上海

收稿日期: 2023年2月15日; 录用日期: 2023年4月4日; 发布日期: 2023年4月12日

## 摘要

传统控制点影像数据库控制点特征单一, 在卫星影像几何校正应用中容易出现在待校正影像上控制点不易分辨与定位情况, 无法为地物光谱信息多样化卫星影像提供相适应的控制信息。本文提出广义控制点影像概念, 并提出三层C/S模式的广义控制点影像库构建方法, 包括广义控制点影像检索, 最后完成多源卫星影像几何校正应用。以某城市为例, 利用三种类型卫星影像数据进行可行性实验。实验结果表明: 本文方法可以为多源卫星影像几何校正检索出准确的广义控制点影像数据, 检索结果最邻近指数总体大于1, 且校正精度可达1像素以内。本文方法可以实现特征更高级的控制信息的存储与检索, 以及多源卫星影像高效统一式几何校正。

## 关键词

广义控制点影像, 数据库, 几何校正

# Construction and Application for Image Geometric Correction of Generalized GCP Chip Database

Xiangjie Kong<sup>1</sup>, Chun Liu<sup>1</sup>, Liang Xin<sup>2</sup>, Hangbin Wu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Surveying and Geographic Informatics, Tongji University, Shanghai

<sup>2</sup>Shanghai Municipal Institute of Surveying and Mapping, Shanghai

Received: Feb. 15<sup>th</sup>, 2023; accepted: Apr. 4<sup>th</sup>, 2023; published: Apr. 12<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The GCP feature of traditional GCP chip database is single. It is difficult for geometric correction to

distinguish and locate GCP and it is unable to provide appropriate control information for satellite images with diverse spectral information. This paper proposes the concept of generalized GCP chip, the construction method of GCP chip database system based on three-tier Client/Server mode and the retrieval method for generalized GCP chips, and finishes the geometric correction of multi-source satellite images. Taking a city as an example, the feasibility test is carried out by using three types of satellite image data. The experimental results show that the proposed method can retrieve accurate generalized GCP chips. The nearest neighbor index of Retrieving result is greater than 1, and the correction accuracy is less than 1 pixel. The proposed method of this paper can realize the storage and retrieval of more advanced control information, and efficient unified geometric correction of multi-source satellite images.

## Keywords

Generalized GCP Chip, Database, Geometric Correction

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国卫星遥感技术日益成熟, 国产卫星遥感影像在测绘、资源环境、城市规划等领域应用需求逐渐增大[1], 所需生产处理的卫星影像种类与数量显著增加, 而几何校正是卫星影像必不可少的处理流程, 传统做法是基于整幅参考影像, 人工选取影像控制点, 借助成熟遥感软件完成[2], 此方法复杂繁琐, 效率低下, 因此越来越多的学者进行了提高影像校正自动化相关研究。

控制点影像[3]概念的提出, 为卫星影像几何校正提供了新方法, 出现了许多基于控制点影像库的卫星影像校正方法。文献[4]通过影像采集和野外实测两种方式获取大量控制点影像数据, 基于 SQL Server 数据库, 开发了福建省海岛海岸带控制点影像数据库系统, 验证了构建控制点影像库的可行性, 实现了对几何校正所需大量控制点数据的科学管理, 以及控制点数据的可重复利用。文献[5]通过人工选取控制点影像数据并设置控制点影像库的表结构, 建立了控制点影像库, 利用 SURF 匹配算法、RANSAC 算法获取匹配控制点, 从而验证了基于控制点影像库的卫星影像校正的可行性, 并且有效地提高了影像校正的精度和效率。但是目前研究所构建的控制点影像数据库只包含点状控制地物, 特征比较单一, 对影像校正畸变约束能力不强。现有卫星影像数据地物光谱信息具有一定不确定性, 点状地物与周围环境光谱信息容易变化不明显, 不利于被识别和提取[6], 需要引入包含高级特征控制信息的控制点影像数据, 例如线特征控制要素和面特征控制要素。

本文提出含有更高级特征控制信息的“广义控制点影像”概念, 研究广义控制点影像采集与编码方法; 基于三层 C/S 模式, 研究广义控制点影像库构建方法; 基于网格采样思想和最远点采样法, 研究广义控制点影像空间检索方法, 确保校正所需广义控制点影像空间质量, 为待校正影像提供相适应可靠的高级控制信息; 并基于广义控制点影像库实现多源卫星影像几何校正。

## 2. 广义控制点影像库构建

广义控制点影像库是对大量广义控制点影像数据进行统一存储、管理、可视化等操作的应用系统, 提高广义控制点影像数据重复利用率, 同时包括广义控制点影像检索, 为后续卫星影像几何校正提供可

靠控制信息。本章给出广义控制点影像库具体构建方法。

## 2.1. 广义控制点影像采集与编码

### 2.1.1. 广义控制点影像采集

广义控制点影像是指在严格几何精校正后的高分辨航天或航空影像上采集得到大小适中的矩形影像图元, 具体可分为控制点影像、控制线影像、控制面影像。控制点平面坐标采用 CGCS2000 坐标系, 高程采用 1985 国家高程基准。

控制点影像包含易于分辨的固定点状特征, 可适用于含有丰富明显点状地物的卫星影像几何校正, 主要针对固定点状特征地物, 如城市道路交叉点、主干道交通标线交叉点、铁路交叉点、标志性建筑等, 在数据源影像上利用 SURF 点特征提取算法[7], 结合人工判读实现控制点影像半自动化采集, 分辨率为 0.5 m, 大小为 256 像素\*256 像素, 如图 1(a)所示。

控制线影像主要是由固定线状地物两个端点处的控制点影像数据组成的长度、坡度适中的直线矢量影像对, 可适用于具有丰富线几何特征地物的卫星影像几何校正, 控制点影像对组成的固定矢量直线长度以 500 m 为主, 长度控制在 100 m 到 1000 m, 采集方法为选取城市固定道路上的两个交叉路口, 且道路坡度要求小于 5%, 分别截取 256 像素\*256 像素影像块, 组成为控制线影像, 分辨率为 0.5 m, 同时截取包含整体道路且大小适当的矩形影像作为示意图, 如图 1(b)所示。

控制面影像则包含大小适中明显固定的规则几何多边形地物, 可适用于存在大量面状固定地物的卫星影像几何校正。主要针对固定面状几何地物, 如城市建筑物、耕地地块等, 在数据源影像上以面状地物几何中心坐标为中心, 以面状地物几何多边形外接矩阵边长两倍大小, 利用 Canny 边缘检测算子[8], 结合人工判读实现控制面影像半自动化采集, 分辨率为 0.8 m, 如图 1(c)所示。



(a) 控制点影像



(b) 控制线影像

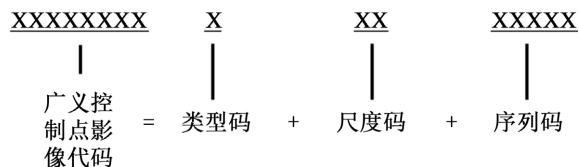


(c) 控制面影像

**Figure 1.** Example of generalized GCP chips**图 1.** 广义控制点影像示例

### 2.1.2. 广义控制点影像编码

为方便广义控制点影像数据的组织存储、管理、检索等操作，以及保障广义控制点影像数据完整性，本文设计了广义控制点影像数据编码方法。广义控制点影像数据统一采用八位数编码。第 1 位为类型码，表示广义控制点影像特征类型，其中“P”代表控制点影像数据，“L”代表控制线影像数据，“A”代表控制面影像数据；第 2~3 位为尺度码，表示广义控制点影像空间分辨率，尺度码第一位为空间分辨率米位数值，第二位表示空间分辨率分米位数值；第 4~8 位为序列码，表示广义控制点影像数据采集序号；例如“L0500234”表示 0.5 米空间分辨率第 234 个控制线影像。广义控制点影像编码见图 2。

**Figure 2.** Code of generalized GCP chips**图 2.** 广义控制点影像编码

## 2.2. 广义控制点影像库架构

广义控制点影像库系统架构采用三层结构 C/S 模式[9]。底层为数据库及数据访问层，其中封装了访问数据库函数，实现对广义控制点影像数据定义、储存、访问和管理，并响应上一层数据请求；中间层为业务逻辑层，接收、处理用户请求，并按要求与底层数据库交互以及反馈信息给上一层，其中封装所需业务逻辑，包括数据入库组件(用于广义控制点影像属性数据和图像数据入库)，数据库操作管理组件(用于对数据进行增、删、改、查)，ArcGIS Engine 组件(用于遥感影像和控制点影像数据可视化显示，如放大、缩小、漫游、选择等操作)；最外层为表示层，包括控制点影像库系统各种功能模块，仅实现用户界面展示以及与中间业务逻辑层的紧密联系。影像库系统架构见图 3。

## 2.3. 影像库内容与实现方法

### 2.3.1. 影像库内容

广义控制点影像库内容主要是广义控制点影像的属性数据和图像数据。对于控制点影像，属性数据主要包括控制点影像编码、控制点影像中心坐标、影像分辨率、存储路径、尺寸、控制点入库日期[10]；对于控制线影像，属性数据主要包括控制线影像编号、直线段左端点坐标、直线段右端点坐标、直线段中点坐标、直线段长度、直线段坡度数据；对于控制面影像，属性数据主要包括面状地物几何中心坐标、控制面影像左上端点坐标，控制面影像右下端点坐标，控制面影像区域面积数据。广义控制点影像图像数据统一采用 TIF 格式，方便统一存储管理。

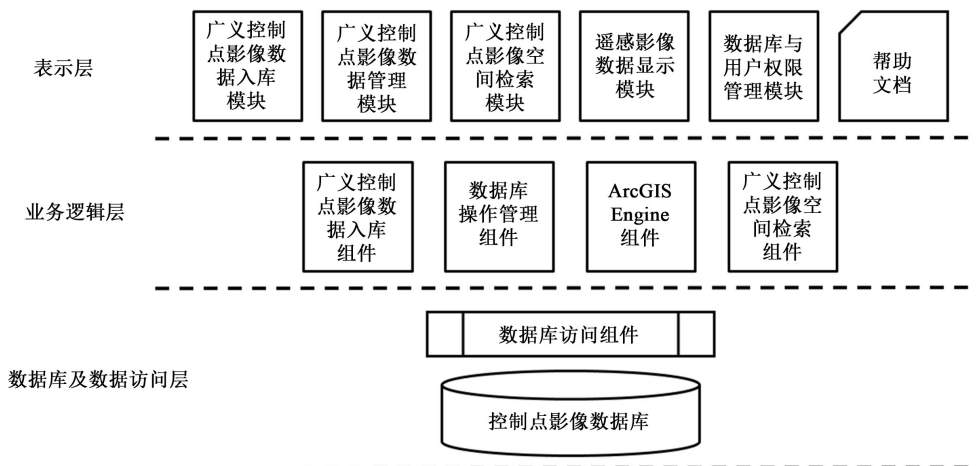


Figure 3. System architecture of generalized GCP chip database

图 3. 广义控制点影像库系统架构

### 2.3.2. 影像库实现方法

广义控制点影像库数据库平台选用 SQL Server 2008 数据库，广义控制点影像数据库表可以分为广义控制点影像数据表和数据库系统表两大类。其中广义控制点影像数据表为与广义控制点影像自身直接相关的数据库表，主要用于存储广义控制点影像属性数据和图像数据；其中数据库系统表与广义控制点影像间接相关，主要用于方便控制点影像数据库后期运行维护和更新，如城市行政区划表等。控制点影像数据库表设计见图 4。广义控制点影像数据表和数据库系统表之间主要通过构建主键与外键建立关联。

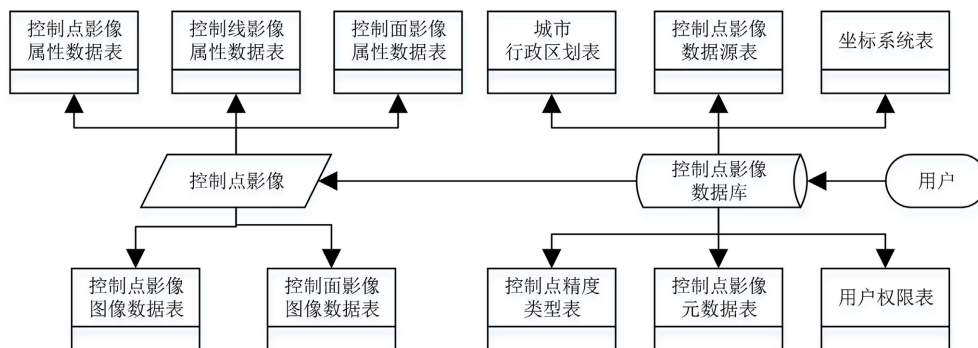


Figure 4. Database table

图 4. 数据库表

广义控制点影像库选用 Visual Studio 2012 为开发工具，利用 ArcGIS Engine10.2 控件创建数据库系统地理信息功能，实现遥感影像数据查看。访问数据库组件采用 ADO (ActiveX Data Objects)技术，采用 ADO.NET 对象实现数据库访问与管理操作。广义控制点影像属性数据可采用 TXT 文本文件或 Excel 表格进行单个或者批量数据入库，广义控制点影像图形数据采用二进制格式，以流(Stream)的方式存储在 SQL Server 数据库 Blob 字段中。

### 2.4. 广义控制点影像检索

广义控制点影像检索，是利用广义控制点影像库实现卫星影像几何校正重要环节，是提供可靠控制信息关键，可分成初步查询和后期筛选两步，总体流程见图 5。

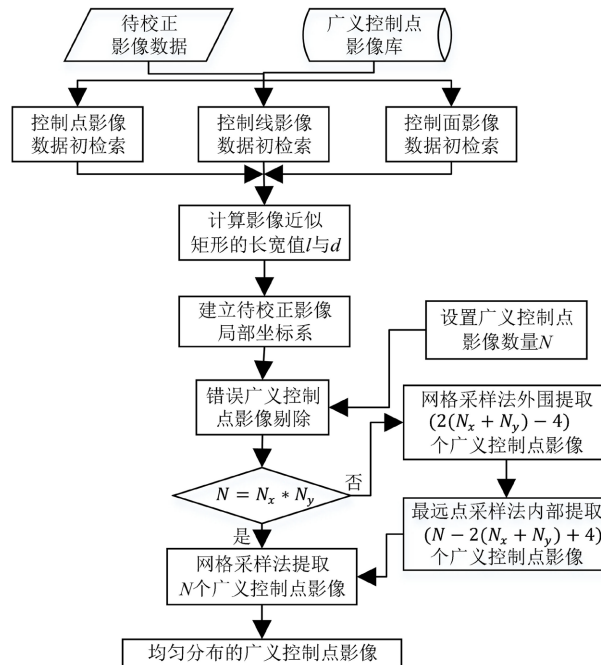


Figure 5. Retrieval process of generalized GCP chips

图 5. 广义控制点影像检索流程

初步查询是结合待校正影像所含地物光谱信息特点差异，根据本文 2.1 节广义控制点影像概念，选择查询相适应初始的广义控制点影像数据，具体过程是通过待校正影像元数据文件，获取影像角点投影坐标[11]，查询控制点影像中心投影坐标，或控制线影像直线段中点投影坐标，或控制面影像面状地物几何中心投影坐标满足此条件范围内的广义控制点影像数据，作为初步查询结果。

控制点分布情况会直接影响几何校正质量，均匀分布的控制点可有效保障校正精度，获得更好校正效果。本文在广义控制点影像初步查询结果上，进行后期筛选，算法原理(见图 5)如下：

1) 由待校正影像四个角点投影坐标  $(X_i, Y_i) (i=1,2,3,4)$  可得最小值坐标  $(X_{\min}, Y_{\min})$ ，以  $(X_{\min}, Y_{\min})$  和影像左下角点坐标  $(X_4, Y_4)$  为原点，分别建立影像局部坐标系  $O_1$  和  $O_2$ ，坐标系  $O_1$  的  $y_1$  轴与正北方向重合，坐标系  $O_2$  的  $y_2$  轴与待校正影像左边界线重合，见图 6。控制点投影坐标和以上两种影像局部坐标系之间转换见式(1)。

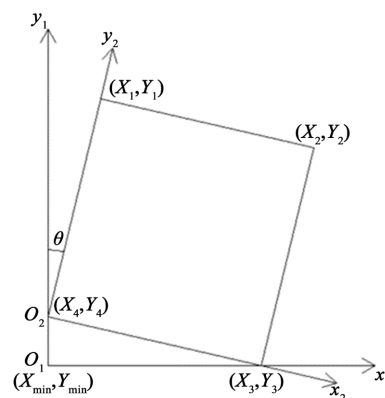


Figure 6. Local coordinate system of image

图 6. 影像局部坐标系

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{\min} \\ Y_{\min} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \\ R * \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_4 - Y_{\min} \\ 0 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \\ R &= \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \\ \theta &= \arctan \frac{X_1 - Y_4}{X_1 - Y_4} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中： $(X, Y)$  为控制点投影坐标； $(x_1, y_1)$  与  $(x_2, y_2)$  分别为该点在影像局部坐标系  $O_1$  和  $O_2$  下坐标； $(X_{\min}, Y_{\min})$  为由待校正影像角点投影坐标所得最小值坐标； $(X_1, Y_1)$  与  $(X_4, Y_4)$  分别为待校正影像左上和左下角点投影坐标。

2) 在影像局部坐标系  $O_2$  中取长  $l$  宽  $d$  的矩形区域近似代替待校正影像地理范围，矩形左下两条边分别与坐标轴  $y_2$  和  $x_2$  重合，如图 7 中大矩形所示， $l$  与  $d$  计算见式(2)。

$$\left. \begin{aligned} l &= \frac{l_1 + l_2}{2} \\ d &= \frac{d_1 + d_2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中： $l_1 = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$ ； $l_2 = \sqrt{(X_3 - X_4)^2 + (Y_3 - Y_4)^2}$ ； $d_1 = \sqrt{(X_1 - X_4)^2 + (Y_1 - Y_4)^2}$ ； $d_2 = \sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2}$ ， $(X_i, Y_i) (i=1, 2, 3, 4)$  为待校正影像角点投影坐标。

3) 对于控制线影像和控制面影像，判断控制线影像直线段左端点投影坐标和直线段右端点投影坐标，以及控制面影像左上端点投影坐标和控制面影像右下端点投影坐标是否满足步骤 3 中校正影像近似矩形区域内，剔除不满足的广义控制点影像。

4) 将所需广义控制点影像数量  $N$  进行拆分。当  $N = N_x * N_y$  时，其中  $N_x$  和  $N_y$  为等式成立下最大相等或相邻两个整数，将矩形区域进行等间距网格划分，形成  $N$  个网格点，如图 7(a) 中交叉点所示。按照控制点影像中心投影坐标，或控制线影像直线段中点投影坐标，或控制面影像面状地物几何中心投影坐标，矩形区域内查找与网格点最邻近的广义控制点影像即可，若筛选数量不足，需补充广义控制点影像。

5) 当  $N = N_x * N_y + n$  时，其中  $n$  为正整数， $N_x$  和  $N_y$  为等式成立下最大相等或相邻整数，为确保广义控制点影像在待校正影像边缘区域能够均匀分布，将待校正影像矩形区域划分为区域①和②，其中区域②为矩形区域，其边界与待校正影像矩形上下边界和左右边界分别相距  $\frac{l}{N_x - 1}$  和  $\frac{d}{N_y - 1}$ ，见图 7(b)。

在区域①中将矩形边界等间距划分  $(2(N_x + N_y) - 4)$  个网格点，如图 7(b) 中交叉点所示，与步骤 5 类似，查找与矩形边界网格点最邻近的广义控制点影像，在区域②中，利用最远点采样算法[12]，提取剩余  $(N - 2(N_x + N_y) + 4)$  个广义控制点影像即可。

### 3. 影像几何校正应用方法

利用本文 2.4 节广义控制点影像检索方法，结合待校正影像自身类型特点，检索待校正影像范围内所需数量相适应的广义控制点影像数据，采用人工判读方法实现广义控制点影像与待校正影像匹配。对于控制点影像，匹配获取同名控制点，采用有理函数几何校正模型进行校正[13]；对于控制线影像，通过匹配获取道路直线两端点坐标，进而得到控制线矢量，采用基于线模式的变换纠正模型[14]进行校正；对于控制面影像，获取待校正影像与控制面影像的匹配几何多边形，采用基于面特征的遥感图像几何校正模型[15]进行校正。

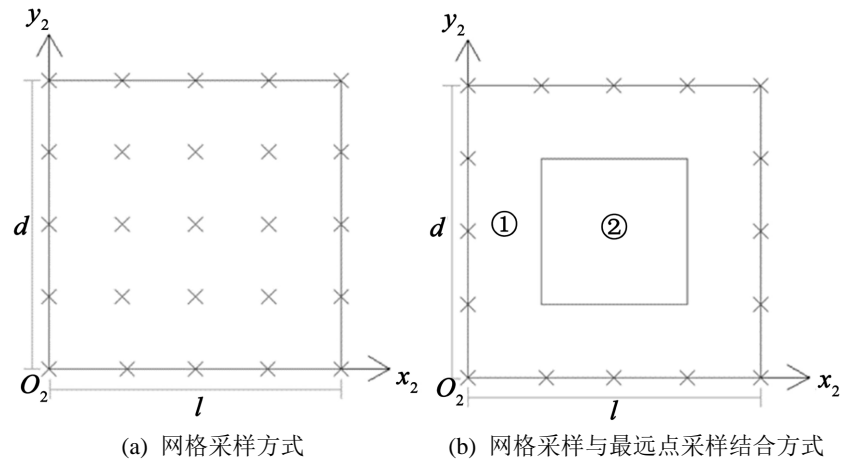


Figure 7. Screening mode of generalized GCP chips  
图 7. 广义控制点影像筛选方式

## 4. 实验与分析

### 4.1. 实验数据

本文广义控制点影像库构建与应用实验区域为我国东部某城市,面积约为  $6000 \text{ km}^2$ ,地势相对平缓。广义控制点影像数据源为 2020 年获取的航空正射影像,高程数据为 90 米分辨率的 SRTMDEM。本文在该城市范围内选取 2 m 分辨率  $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$  大小点状类型地物丰富的高分一号卫星全色影像用于控制点影像的几何校正,选取 2 m 分辨率  $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$  大小线状类型地物丰富的吉林一号卫星多光谱影像用于控制线影像几何校正,选取 2 m 分辨率  $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$  大小面状类型地物丰富的资源三号全色卫星影像用于控制面影像几何校正。三景影像附带元数据文件,实验数据具有良好代表性。

### 4.2. 广义控制点影像检索分析

采用本文 2.4 节中广义控制点影像检索方法,将广义控制点影像数量设定为 9、12、15、18 共 4 种,依次对三景待校正影像进行实验,三景影像的广义控制点影像检索结果编码分别见表 1~3,三景影像广义控制点影像初步查询结果空间分布情况见图 8,控制点影像检索结果空间分布情况如图 9(a)所示,控制线影像检索结果空间分布情况见图 9(b),控制面影像检索结果空间分布情况见图 9(c)。

利用最邻近指数[16] (nearest neighbor index, NNI),根据控制点影像中心投影坐标、控制线影像直线段中点投影坐标和控制面影像面状地物几何中心投影坐标,对广义控制点影像的检索结果空间分布进行定量化评价。NNI 值小于 1,广义控制点影像为聚集分布;NNI 值等于 1,广义控制点影像为随机分布;NNI 值大于 1,广义控制点影像为均匀分布。NNI 值统计结果见表 4。

Table 1. Code of GCP chips

表 1. 控制点影像编码

数量	控制点影像编号											
9	P0525711	P0525944	P0525991	P0525835	P0525811	P0525868	P0525872	P0525983	P0525926			
12	P0525711	P0525944	P0525991	P0525835	P0525811	P0525983	P0525910	P0525995	P0525881	P0525797	P0525887	
	P0525868											



Continued

15	P0525711	P0525944	P0525991	P0525835	P0525811	P0525983	P0525910	P0525995	P0525868	P0525797	P0525804
	P0525830	P0525874	P0525878	P0525997							
18	P0525711	P0525944	P0525991	P0525835	P0525910	P0525995	P0525868	P0525797	P0525824	P0525814	P0525960
	P0525983	P0525820	P0525970	P0525804	P0525999	P0525887					

Table 2. Code of linear control chips

表 2. 控制线影像编码

数量	控制线影像编号										
9	L0506706	L0506529	L0506884	L0506986	L0506720	L0506653	L0506686	L0506921	L0506855		
12	L0506706	L0506529	L0506884	L0506986	L0506653	L0506921	L0506712	L0506718	L0506672	L0506904	L0506869
	L0506685										
15	L0506706	L0506529	L0506884	L0506986	L0506653	L0506921	L0506712	L0506672	L0506685	L0506904	L0506861
	L0506654	L0506877	L0506721	L0506661							
18	L0506706	L0506529	L0506884	L0506986	L0506712	L0506672	L0506685	L0506904	L0506645	L0506595	L0506921
	L0506923	L0506655	L0506915	L0506714	L0506738	L0506724	L0506860				

Table 3. Code of areal control chips

表 3. 控制面影像编码

数量	控制面影像编号										
9	A0801525	A0801599	A0801571	A0801561	A0801553	A0801586	A0801543	A0801535	A0801579		
12	A0801525	A0801599	A0801571	A0801561	A0801586	A0801553	A0801582	A0801576	A0801542	A0801597	A0801535
	A0801558										
15	A0801525	A0801599	A0801571	A0801561	A0801586	A0801553	A0801582	A0801576	A0801535	A0801558	A0801533
	A0801595	A0801540	A0801543	A0801550							
18	A0801525	A0801599	A0801571	A0801561	A0801527	A0801588	A0801552	A0801562	A0801582	A0801576	A0801535
	A0801558	A0801533	A0801583	A0801597	A0801539	A0801543	A0801549				

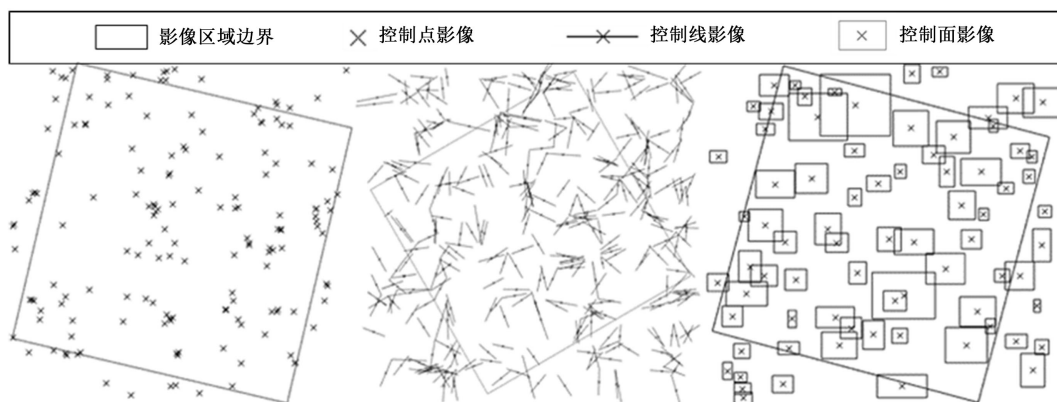
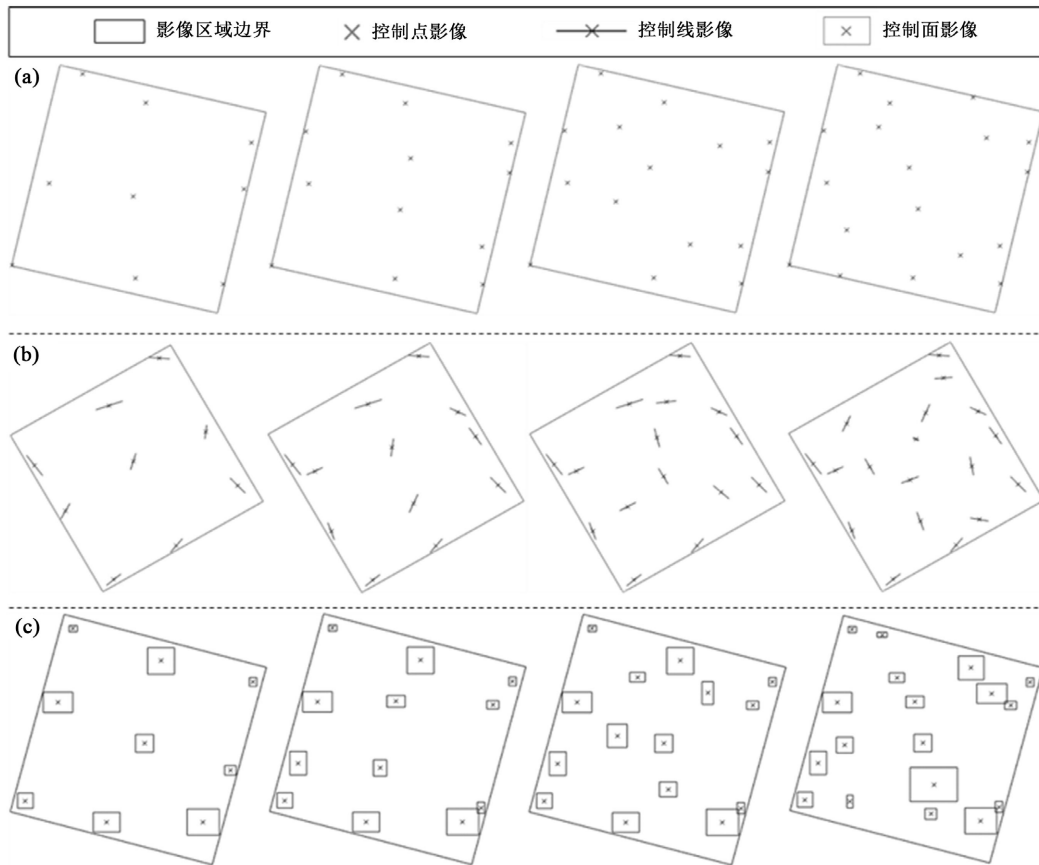


Figure 8. Preliminary inquiry result of generalized GCP chips

图 8. 广义控制点影像初步查询结果



**Figure 9.** Retrieving result of generalized GCP chips  
**图 9.** 广义控制点影像检索结果

**Table 4.** Statistical data of NNI  
**表 4.** 最邻近指数统计

广义控制点 影像数量	高分一号	吉林一号	资源三号	分布类型
9	2.103	2.079	2.247	均匀分布
12	1.750	1.725	1.493	均匀分布
15	1.811	1.646	1.567	均匀分布
18	1.678	1.682	1.306	均匀分布

从图 8 可看出, 对于高分一号影像, 初步查询结果共 176 个控制点影像, 其中 133 个满足影像范围内; 对于吉林一号影像, 初步查询结果共 290 个控制线影像, 其中 162 个满足影像范围内; 对于资源三号影像, 初步查询结果共 76 个控制面影像, 其中 47 个满足影像范围内。从图 9 可看出, 对于三景待校正影像, 本文提出的广义控制点影像空间检索方法能够准确检索出待校正影像范围内所设定数量的广义控制点影像数据, 有效剔除了冗余数据, 减少不必要工作量, 且检索结果在影像边缘区域也有较好覆盖。

由表 4 可知, 对于三景待校正影像, 广义控制点影像检索结果 NNI 值均大于 1, 表明所有广义控制点影像检索结果均为均匀分布, 本文提出的广义控制点影像空间检索方法能为影像校正提供相应可靠的控制信息。

### 4.3. 几何校正应用分析

根据本文 4.2 节广义控制点影像检索实验结果, 采用本文第 3 章影像校正方法, 对三景实验影像分别利用控制点影像、控制线影像、控制面影像进行校正应用分析。实验中, 利用航空正射影像获取几何校正的检查点, 采用总体点位均方根误差 RMSE 作为精度评价指标, 实验结果见表 5。

**Table 5.** RMSE statistics of geometric correction result

**表 5.** 几何校正结果 RMSE 值统计

影像类型	RMSE/m (9 个)	RMSE/m (12 个)	RMSE/m (15 个)	RMSE/m (18 个)	像素精度
高分一号	1.661	1.567	1.606	1.530	<1 像素
吉林一号	1.913	1.909	1.898	1.913	<1 像素
资源三号	1.888	1.686	1.708	1.679	<1 像素

从表 5 可看出, 对于三景待校正实验影像, 本文提出的广义控制点影像库在几何校正应用方面, 精度总体可达 1 像素以内。随着广义控制点影像数量增加, 校正精度略有改善, 且略微波动, 总体无太大变化。对于高分一号影像, 最高校正精度为 1.530 m, 平均校正精度为 1.591 m; 对于吉林一号影像, 最高校正精度为 1.898 m, 平均校正精度为 1.908 m; 对于资源三号影像, 最高校正精度为 1.679 m, 平均校正精度为 1.740 m, 总体精度可满足影像后期生产应用需求。

### 5. 结束语

针对传统控制点影像数据库控制点特征单一、控制点不易分辨与定位的缺陷, 本文提出广义控制点影像概念, 以及广义控制点影像库构建方法, 包括广义控制点影像检索方法, 以某城市为例, 利用三种类型卫星影像验证了本文方法可行性。结果表明本文提出的广义控制点影像库构建方法可实现特征更高级的控制信息存储管理与检索, 并且在卫星影像几何校正应用方面, 能够为多源待校正卫星影像提供相适应可靠的特征更高级控制信息, 有效解决了传统控制点影像库控制点特征较为单一的问题, 且校正精度能够满足一般影像的生产应用需求, 本文方法对控制点影像库构建及其影像校正应用方面研究具有一定指导和借鉴作用。

### 基金项目

上海市测绘院科研项目(Z20-6003-Z1)。

### 参考文献

- [1] 林利东. 基于影像纠正控制点影像库建设的影像快速纠正系统设计及实现[J]. 经纬天地, 2018(6): 63-67.
- [2] 吕璐凌. 一种基于地面控制点的遥感影像几何校正方法研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [3] Lee, Y.-R., Shin, D. and Lee, H.-Y. (1998) Construction, Search of Ground Control Point Database and Its Application for Satellite Image Correction. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 1, 8-17.
- [4] 周刚. 福建省海岛海岸带遥感影像数据库与控制点影像数据库构建与应用[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2011.
- [5] 王斯健. 控制点图元库的卫星影像高精度几何校正方法研究[J]. 测绘通报, 2021(S1): 183-187.
- [6] 谌一夫. 高分辨率遥感影像几何纠正方法[J]. 地理空间信息, 2012, 10(5): 5-7+20+8.
- [7] 罗楠, 孙权森, 耿蕾蕾, 等. 一种扩展 SURF 描述符及其在遥感图像配准中的应用[J]. 测绘学报, 2013, 42(3): 383-388.

- 
- [8] 吴俐民, 於雪琴, 黄亮. FCM 聚类算法协同 Canny 算子的遥感影像边缘检测方法[J]. 测绘工程, 2014, 23(12): 1-4.
- [9] 丁智刚. C/S 模式与 B/S 模式相结合的数据库系统技术研究[J]. 信息安全与技术, 2011(11): 41-44.
- [10] 卢刚, 赖震刚. 控制点影像库的设计与实现[C]//江苏省测绘学会. 江苏省测绘学会 2011 年学术年会论文集: 2011 年卷. 南京: 《现代测绘》编辑部, 2011: 156-158.
- [11] 李桂芬, 于爱洁, 王天明. 控制点影像数据库建库研究[J]. 经纬天地, 2021(1): 51-54.
- [12] 梁振明, 翟正利, 周炜. 基于多尺度动态图卷积网络的 3D 点云分类[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(5): 263-267+306.
- [13] 何海涛. 高分辨率遥感影像的几何校正方法研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2015.
- [14] 陈能, 施蓓琦, 刘春. 基于控制线模式的高分辨率遥感影像几何纠正模型[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(6): 547-551.
- [15] 龙腾飞, 焦伟利, 王威. 基于面特征的遥感图像几何校正模型[J]. 测绘学报, 2013, 42(4): 540-545.
- [16] 靳慧斌, 刘文辉, 陈健. 塔台管制中最邻近指数注视指数与情境意识的相关性研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(26): 135-139.