

吴起县黄土高原退耕还林区时间序列正射产品

ISSN 2096-2223
CN 11-6035/N

龙腾飞^{1,2}, 何国金^{1,2*}, 焦伟利^{1,2}

1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094
2. 海南省地球观测重点实验室, 海南三亚 572029

摘要: 针对 2013–2018 年黄土高原退耕还林区 (陕西省延安市吴起县及其周边地区) 的 130 景高分一号宽幅卫星遥感数据, 以 Landsat 8 全色正射镶嵌影像作为参考影像, 通过影像自动匹配方法获取影像控制点, 采用 L1 范数约束的最小二乘法对影像自带 RPC 模型进行修正, 然后基于修正后的 RPC 模型和 DEM 数据对原始影像进行正射校正, 得到吴起县及其周边地区的时间序列正射产品。影像数据包含可见光及近红外波段, 空间分辨率为 16 m, 平面几何精度优于 2 个像元。本数据集将持续更新, 可为深入研究黄土高原地区退耕还林还草成效及其生态、经济效应等提供数据支撑。

关键词: 黄土高原; 退耕还林; 吴起县; 正射影像; 时间序列



文献 DOI:
10.11922/csdata.2020.0014.zh
数据 DOI:
10.11922/sciencedb.968
文献分类: 地球科学

收稿日期: 2020-04-06
开放同评: 2020-04-08
录用日期: 2020-11-19
发表日期: 2020-12-30

数据库 (集) 基本信息简介

数据库 (集) 名称	吴起县黄土高原退耕还林区时间序列正射产品
数据作者	龙腾飞、何国金、焦伟利
数据通信作者	何国金 (hegj@radi.ac.cn)
数据时间范围	2013–2018年
地理区域	地理范围包括 34°56'26"N–38°45'5"N, 105°31'54"E–110°24'19"E。地理区域范围包括延安市吴起县及其周边地区。
空间分辨率	16 m
数据量	258 GB
数据格式	*.tif, *.jpg, *.xml, *.txt
数据服务系统网址	ftp://124.16.184.141/csdata/Yanan-GF1WFV/ http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/968
基金项目	国家自然科学基金项目 (61731022、61701495); 中国科学院 A 类战略性先导科技专项 (XDA19090300)。
数据库 (集) 组成	本数据集包括 130 景数据, 每景影像存放在独立文件夹中, 以传感器名称、景中心经纬度及成像日期命名。每个文件夹内包括 4 个文件: 正射影像文件, 格式为 tif; 元数据文件, 格式为 xml; 缩略图文件, 格式为 jpg; 精度评价文件, 格式为 txt。

* 论文通信作者

何国金: hegj@radi.ac.cn

引言

黄土高原气候干燥、生态系统脆弱，是世界上水土流失最为严重的地区之一^[1-2]。为了修复黄土高原地区生态环境，我国于 1999 年启动了退耕还林还草工程^[1]。工程实施 20 年来取得了巨大成效，植被面积大幅度提高，有效遏制了黄土高原土壤侵蚀，过去荒山秃岭、水土流失、风沙肆虐的面貌得到明显改观。然而也有不少学者认为 2015 年前后黄土高原地区的退耕还林草已经处于饱和状态，进入自然演替阶段，继续实施退耕还林还草工程在粮食供应、土壤干旱化、植被退化、水资源平衡、可持续对策等方面存在一定争议^[2-3]。

陕西省延安市曾是黄河中上游水土流失最严重的地区之一，也是退耕还林工程的第一批实践区。1998 年延安市吴起县首开全国封山禁牧先河，到 1999 年在全国率先开展大规模退耕还林成为最早试点，再到 2013 年启动实施的新一轮退耕还林，延安市始终走在退耕还林工程的第一线^[4-5]。

目前对黄土高原的卫星观测数据大多来源于国外，缺乏高空间、高时间分辨率的即得即用遥感产品集，本文利用国产高分卫星多光谱数据制作了延安市吴起县地区 2013–2018 年的密集时间序列正射影像产品（并将持续更新），对于黄土高原退耕还林还草的科学研究具有重要价值。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据源

高分一号（GF-1）卫星于 2013 年 4 月 26 日在酒泉卫星发射中心成功发射，是国家高分辨率对地观测系统重大专项中的首颗卫星。高分一号卫星宽视场（Wide field of view, WFV）传感器的主要载荷技术指标如表 1 所示。GF-1 WFV 原始数据由中国遥感卫星地面站接收、中国资源卫星应用中心分发，影像数据自带有理函数模型（RPC 模型）参数，但由于自带 RPC 模型存在一定误差，无法直接用于正射影像的生产。影像的覆盖范围及时相信息如图 1 和表 2 所示。数据集覆盖范围约 135 842.3 平方公里，其中吴起县约 3791.5 平方公里。

表 1 GF-1 卫星 WFV 传感器主要载荷技术指标

GF-1 WFV 技术指标	指标范围
波段范围/ μm	B1: 0.45–0.52
	B2: 0.52–0.59
	B3: 0.63–0.69
	B4: 0.77–0.89
空间分辨率/m	16
幅宽/km	800（4 台相机组合）
轨道周期/d	4

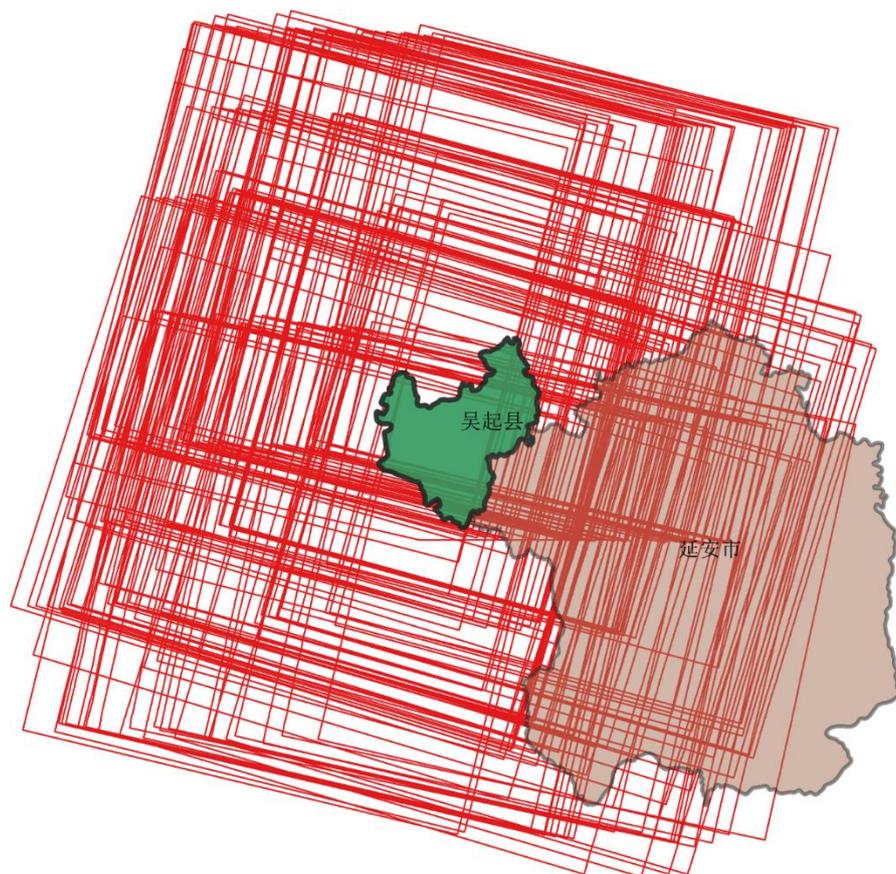


图1 GF-1 WFV 时间序列影像覆盖范围

表2 GF-1 WFV 影像获取时间

年度	日期
2013 年	5.3, 5.10, 6.28, 7.2, 8.3, 9.13, 10.19, 10.23, 11.20, 11.24, 11.29, 12.3, 12.11, 12.27, 12.31
2014 年	1.4, 1.8, 1.12, 1.16, 1.20, 4.8, 4.28, 5.7, 5.11, 5.19, 5.19, 6.8, 6.17, 6.21, 6.29, 7.24, 7.27, 7.28, 7.31, 8.1, 10.14, 10.14, 10.21, 11.2, 11.3, 11.11, 11.19, 11.28, 12.2, 12.22, 12.26, 12.30
2015 年	1.8, 1.11, 1.12, 2.9, 2.14, 2.21, 3.6, 3.14, 4.16, 4.28, 5.15, 5.18, 5.23, 6.8, 7.11, 8.5, 8.17, 8.25, 8.25, 9.6, 9.14, 10.1
2016 年	1.15, 1.28, 2.9, 2.29, 5.17, 10.8, 11.2, 11.14, 12.29
2017 年	1.14, 1.19, 1.22, 1.27, 2.4, 2.12, 3.1, 4.2, 4.23, 4.27, 5.6, 5.26, 7.6, 7.30, 8.3, 8.8, 8.16, 9.29, 10.20, 11.2, 11.14, 11.22, 11.30, 12.4, 12.5, 12.8, 12.21
2018 年	1.10, 1.11, 2.4, 2.24, 2.28, 3.12, 3.13, 3.29, 4.3, 4.18, 4.19, 5.17, 5.25, 5.30, 6.28, 7.26, 8.24, 9.21, 10.8, 10.25, 10.29, 11.2, 11.6, 11.18, 11.22

1.2 数据处理

以 Landsat 8 全色正射镶嵌影像（空间分辨率为 15 m）作为参考影像，利用影像自动匹配方法^[6]从参考影像提取地面控制点，并利用地面控制点对影像自带 RPC 模型进行修正，然后基于修正后的 RPC 模型和 DEM 数据对原始影像进行正射校正，最后采用自动匹配方法从正射校正结果和参考影像采集检查点进行精度评价。本数据集采用的 DEM 数据为 SRTM DEM V3 数据，空间分辨率约为

30 m。数据处理流程如图 2 所示。

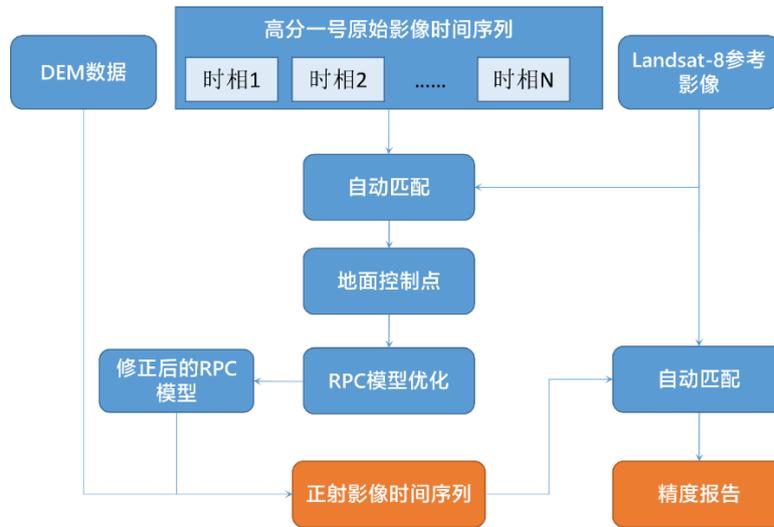


图 2 高分一号 WFV 数据正射校正处理流程

1.2.1 影像自动匹配

影像自动匹配是高效获取地面控制点的有效方法。为保证采集到的控制点在空间上分布均匀，我们将高分一号 WFV 原始影像划分为 256×256 的规则格网，然后在每个格网内利用 SIFT 算法^[7]自动匹配一个控制点。另一方面，通过划分格网也可得到大小合适的影像块，从而提高 SIFT 匹配算法的速度和成功率^[6]。借助待匹配影像的初始 RPC 模型，参考影像块的范围可以根据待匹配影像块的影像坐标近似计算得到。此外，我们还可以将参考影像块重采样成与待校正影像块相近的分辨率，从而让 SIFT 匹配更加稳健。

1.2.2 RPC 模型优化

有理函数模型将像点坐标 (r, c) 表示为以相应地面点空间坐标 (X, Y, Z) 为自变量的有理多项式的比值。为了提高方程的数值稳定性，对两个像平面坐标和三个地面空间坐标进行平移和缩放，标准化为 $-1.0 \sim 1.0$ 之间。基本方程为如下形式：

$$\begin{aligned} x_n &= \frac{p_1(X_n, Y_n, Z_n)}{p_2(X_n, Y_n, Z_n)} \\ y_n &= \frac{p_3(X_n, Y_n, Z_n)}{p_4(X_n, Y_n, Z_n)} \end{aligned} \quad (1)$$

其中 x_n 和 y_n 是像素在像平面上的行列值标准化后的结果， (X_n, Y_n, Z_n) 是物方点空间坐标标准化后的结果，坐标的标准化通过下式计算：

$$x_n = \frac{x - x_0}{x_s}, y_n = \frac{y - y_0}{y_s}, X_n = \frac{X - X_0}{X_s}, Y_n = \frac{Y - Y_0}{Y_s}, Z_n = \frac{Z - Z_0}{Z_s} \quad (2)$$

其中 x_0 和 y_0 是两个像平面坐标的平移量， x_s 和 y_s 是两个像平面坐标的缩放比例；类似的， X_0 ， Y_0 和 Z_0 是三个地面坐标的平移量， X_s 、 Y_s 和 Z_s 是三个地面坐标的缩放比例。

$p_i(X_n, Y_n, Z_n)$ 为普通多项式 ($i=1, 2, 3, 4$)，最高不超过三次，如下式所示：

$$\begin{aligned}
 & p_i(X_n, Y_n, Z_n) \\
 &= \sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k \\
 &= a_0 + a_1 Z_n + a_2 Y_n + a_3 X_n + a_4 Z_n Y_n + a_5 Z_n X_n + a_6 Y_n X_n + a_7 Z_n^2 + a_8 Y_n^2 + a_9 X_n^2 \\
 &+ a_{10} Z_n Y_n X_n + a_{11} Z_n^2 Y_n + a_{12} Z_n^2 X_n + a_{13} Z_n Y_n^2 + a_{14} Y_n^2 X_n + a_{15} Z_n X_n^2 + a_{16} Y_n X_n^2 \\
 &+ a_{17} Z_n^3 + a_{18} Y_n^3 + a_{19} X_n^3
 \end{aligned} \quad (3)$$

其中，多项式系数 a_{ijk} 称为有理函数系数（RPC 参数）。

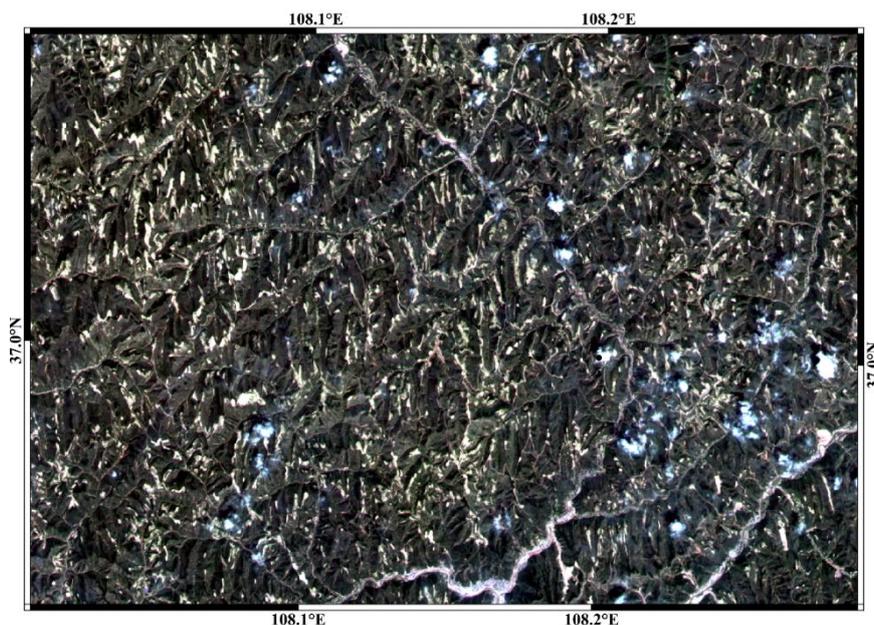
采用 L1 范数约束的最小二乘法^[8]对初始 RPC 参数进行改正，得到修正后的 RPC 模型。

1.2.3 正射校正

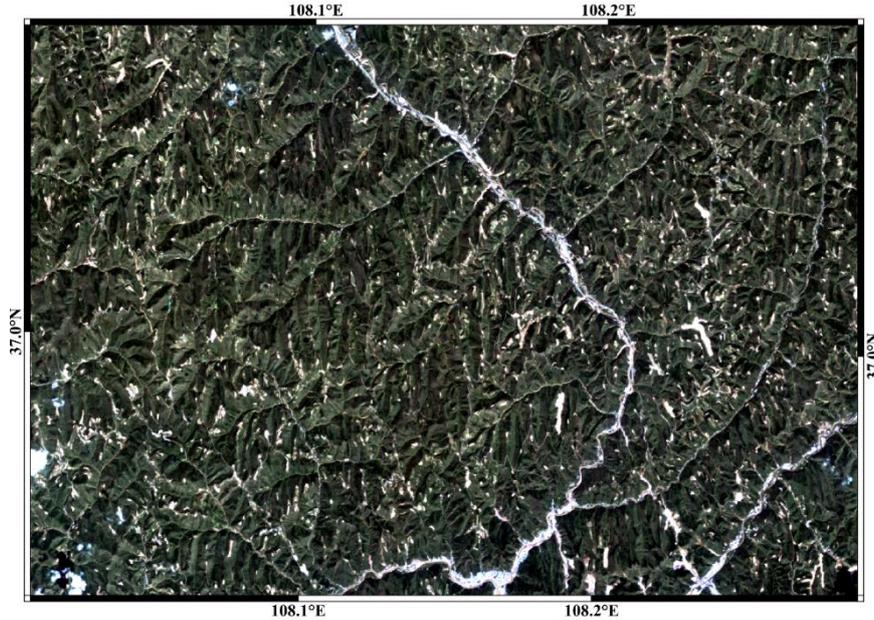
利用修正后的 RPC 模型和 DEM 数据，按 WGS84 坐标系 UTM 49 带投影和 16 m 分辨率建立输出正射影像的规则格网，然后计算输出影像格网中的每一点对应于原始高分一号 WFV 影像的像素坐标：根据输出影像左上角点的投影坐标及影像的空间分辨率计算输出格网点的投影坐标，并将投影坐标转换为地理坐标（经纬度），再利用修正后的 RPC 模型和 DEM 数据将经纬度和高程计算为对应的原始影像像平面坐标。一般地，计算得到的像平面点的坐标值不为整数，则需采用双三次卷积法插值得到相应灰度值填充到输出影像格网中。

2 数据样本描述

本数据集包括陕西省延安市地区 2013–2018 年共计 130 景高分一号卫星宽视场（WFV）正射影像数据，其空间分辨率为 16 m，坐标系为 WGS1984，投影方式为 UTM 49N，总数据量约为 258 GB。每景影像存放在独立文件夹中，以传感器名称、景中心经纬度及成像日期命名，文件夹内包括正射影像文件、元数据文件、缩略图文件、精度评价文件 4 个文件。延安市吴起县附近 2013 年 8 月和 2015 年 8 月的影像如图 3 所示。



(a) 2013 年 8 月 3 日



(b) 2018 年 8 月 24 日

图 3 2013 年和 2018 年吴起县 GF-1 WFV 影像

3 数据质量控制和评估

以 Landsat 8 全色正射影像为参考，采用自动匹配方法对每景正射影像采集 100 个左右均匀分布的检查点，计算每景影像所有检查点的均方根误差（RMSE）以得到该景影像的平均平面误差，然后对 130 景影像的平面误差进行直方图统计，结果如图 4 所示。由图 4 可知，大多数景的平面误差在 1 个像元以内，且所有影像的平面误差均小于 2 个像元。检查点的均方根误差的计算公式为：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_i^{chk})^2 + \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^{chk})^2}{N}} \quad (4)$$

其中， N 为检查点的个数； x_i 和 y_i 分别为第 i 个检查点的像平面坐标； x_i^{chk} 和 y_i^{chk} 分别为第 i 个检查点的地面坐标 X_i 和 Y_i 投影在校正后影像上的像平面坐标，可由公式错误!未找到引用源。计算得到。

$$\begin{cases} x_i^{chk} = \frac{X_i - X_0}{r_x} \\ y_i^{chk} = \frac{Y_i - Y_0}{r_y} \end{cases} \quad (5)$$

其中， X_0 和 Y_0 为校正后影像左上角点所在的地面坐标， r_x 和 r_y 为校正后影像 X 方向和 Y 方向的地面采样间距。

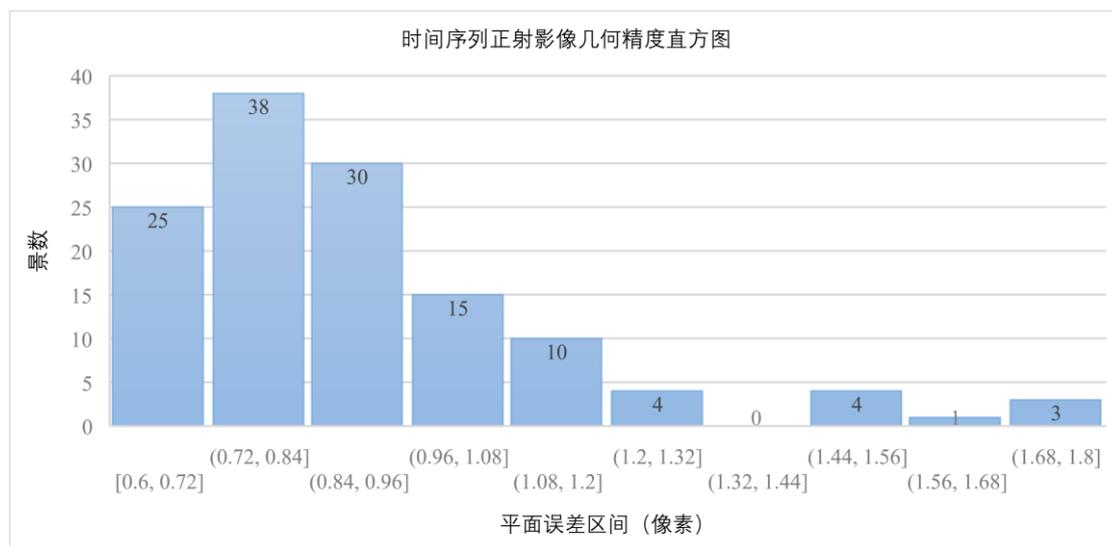


图4 GF-1 WFV 时间序列正射影像精度报告

4 数据价值

本数据集是延安市吴起县地区 2013–2018 年较完整的即得即用的高分卫星影像时间序列。本产品为多光谱数据，云量少、定位精度高，可直接用于植被指数计算、目视判别、影像自动分类或变化检测等遥感分析应用。本数据集包含影像数据、元数据、缩略图和精度评价报告，便于用户了解数据的属性及质量信息。本数据集可为深入研究黄土高原地区退耕还林还草成效及其生态、经济效益等提供数据支撑。

5 数据使用方法和建议

延安市吴起县地区时间序列正射影像数据集保存为 GeoTIFF 格式，包含 4 个波段，能够在 ENVI、PCI、ArcGIS 和 QGIS 等遥感和 GIS 主流软件中读取和操作。

后续本数据集将会定期补充新的时序产品，为延安地区退耕还林还草的遥感监测提供基础数据支撑。

致谢

感谢中国资源卫星应用中心提供的数据支持。

数据作者分工职责

龙腾飞（1986—），男，湖北省武汉市人，博士，助理研究员，研究方向为遥感图像智能处理。主要承担工作：数据收集、算法设计和数据处理。

何国金（1968—），男，福建省龙岩市人，博士，研究员，研究方向为遥感信息智能服务。主要承担工作：总体思路与方案设计。

焦伟利（1965—），女，辽宁省凤城市人，正高级工程师，研究方向为遥感图像处理与工程应用。主

要承担工作：数据处理流程设计。

参考文献

- [1] 李鹏飞. 黄土高原土壤含水量对退耕还林(草)的响应[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [2] CHEN Y, WANG K, LIN Y, et al. Balancing green and grain trade[J]. Nature Geoscience, 2015, 8(10): 739.
- [3] 梁海斌, 薛亚永, 安文明, 等. 黄土高原不同退耕还林植被土壤干燥化效应[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 77-85.
- [4] 白应飞. 延安市退耕还林工程效益调查分析[J]. 南方农业, 2019 (20): 31.
- [5] 李蕴琪, 韩磊, 朱会利, 等. 基于土地利用的延安市退耕还林前后生态服务价值变化[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 203-211.
- [6] LONG T F, JIAO W L, HE G J, et al. A fast and reliable matching method for automated georeferencing of remotely-sensed imagery[J]. Remote sensing, 2016, 8(1): 56.
- [7] LOWE DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International journal of computer vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [8] LONG T F, JIAO W L, HE G J. RPC Estimation via L1-Norm-Regularized Least Squares (L1LS)[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015, 53(8): 4554-4567.

论文引用格式

龙腾飞, 何国金, 焦伟利. 吴起县黄土高原退耕还林区时间序列正射产品[J/OL]. 中国科学数据, 2020, 5(4). (2020-06-08). DOI: 10.11922/csdata.2020.0014.zh.

数据引用格式

龙腾飞, 何国金, 焦伟利. 吴起县黄土高原退耕还林区时间序列正射产品[DB/OL]. Science Data Bank, 2020. (2020-04-06). DOI: 10.11922/sciencedb.968.

A time series orthophoto dataset of Wuqi County: a typical returning farmland to forest area on the Loess Plateau

Long Tengfei^{1,2}, He Guojin^{1,2*}, Jiao Weili^{1,2}

1. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, P.R. China

2. Key Laboratory for Earth Observation of Hainan Province, Sanya 572029, P. R. China

*Email: hegj@radi.ac.cn

Abstract: This dataset of a time series orthophoto products is based on the data from the 130-scene GF-1 WFV satellite of the Returning Farmland to Forest Area on Loess Plateau (Wuqi County and its surrounding areas, Yan'an City, Shaanxi Province) from 2013 to 2018. Firstly, we used landsat-8 full-color orthophotos

as reference images, and obtained image control points through automatic image matching. Secondly, we used the L1 norm-constrained least square method to modify the RPC model with the image. Finally, we orthorectified the original image based on the modified RPC model and DEM data and obtained the time series orthophoto dataset of Wuqi County and its surrounding areas. The image data (spatial resolution 16 m) include visible light and near-infrared bands and the plane geometric accuracy is higher than 2 pixels. This dataset will be kept updated, and can provide data support for in-depth research on the effects of returning farmland to forest and grassland on the Loess Plateau and its ecological and economic effects.

Keywords: Loess Plateau; returning farmland to forest; Wuqi County; orthophoto; time series

Dataset Profile

Title	A time series orthophoto dataset of Wuqi County: a typical returning farmland to forest area on the Loess Plateau
Data corresponding author	He Guojin (hegi@radi.ac.cn)
Data authors	Long Tengfei, He Guojin, Jiao Weili
Time range	2013–2018
Geographical scope	In and around Wuqi County, Yan'an, Shaanxi Province of China (34°56'26"N–38°45'5"N, 105°31'54"E–110°24'19"E).
Spatial resolution	16 m
Data volume	258 GB
Data format	*.tif, *.jpg, *.xml, *.txt
Data service system	ftp://124.16.184.141/csdata/Yanan-GF1WFV/ http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/968
Sources of funding	National Natural Science Foundation of China (61731022, 61701495); Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA19090300).
Dataset composition	This dataset includes 130-scene images. Each scene image is stored in a separate folder named after the corresponding sensor name, scene center latitude and longitude, and imaging date. Each folder contains 4 files: the orthoimage file of "tif" format, the metadata file of "xml" format, the thumbnail file of "jpg" format, and the accuracy evaluation file of "txt".