



文献 DOI:

10.11922/csdata.2020.0032.zh

数据 DOI:

10.11922/sciencedb.984

文献分类: 地球科学

收稿日期: 2020-04-30

开放同评: 2020-06-01

录用日期: 2020-12-25

发表日期: 2020-12-29

中国区域 Landsat 地表反射率产品

彭燕^{1,2,3}, 何国金^{1,3*}, 张兆明^{1,3}, 尹然宇^{1,2}

1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094

2. 中国科学院大学, 北京 100049

3. 海南省地球观测重点实验室, 海南三亚 572029

摘要: Landsat 数据是记录着人类活动和自然变化最长时间序列的遥感数据集, Landsat 系列卫星数据长时序地表反射率产品在森林、水资源、气候变化等领域长时序信息挖掘分析方面具有广泛的用途。本数据集采用基于 6S 辐射传输模型的大气校正方法, 通过辐射定标、模型参数获取、大气校正等数据处理流程, 生产了中国 1980s–2019 年的 Landsat 系列卫星遥感地表反射率产品, 可为遥感用户和科研工作者提供即得即用的高质量地表反射率产品。最终结果以 GeoTIFF 格式保存, 并附带相应的质量文件和元数据文件。

关键词: Landsat 5/7/8; 大气校正; 6S 模型; 地表反射率

数据库 (集) 基本信息简介

数据库 (集) 名称	中国区域 Landsat 地表反射率产品
数据作者	彭燕, 何国金, 张兆明, 尹然宇
数据通信作者	何国金 (hegj@radi.ac.cn)
数据时间范围	1980s–2019年
地理区域	中国陆地区域
空间分辨率	30 m
数据量	50 TB
数据格式	*.tiff (GeoTIFF, 16bit interger)
数据服务系统网址	http://databank.casearth.cn http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/984
基金项目	中国科学院A类战略性先导科技专项 (XDA19090300); 国家自然科学基金 (61731022)。
数据库 (集) 组成	数据集包括147 970景地表反射率产品, 以景为单位存放文件夹, 每个文件夹中包括每个波段的地表反射率结果、QA文件、缩略图、元数据文件。

引言

Landsat 系列卫星自 1972 年发射以来, 已获取了大量中空间分辨率的卫星影像, 这些影像记录着人类活动和自然变化, 成为最长时间序列的星载陆地观测数据集^[1]。地表反射率常用于土地覆盖及变化研究, 是很多地表地球物理参数 (如叶

* 论文通信作者

何国金: hegj@radi.ac.cn

面积指数、叶绿素和生物量)反演的关键输入参数。同时,随着对地观测领域进入大数据时代,卫星遥感数据应用用户和研究者不仅希望遥感数据在几何位置上具有一致性,同时也对遥感数据的辐射一致性提出了更高的要求,以更好地进行遥感数据应用和信息挖掘分析。由于卫星遥感数据的大气校正是一项繁琐而专业的工作,因此,研究生产高质量中国区域的 Landsat 地表反射率产品并公开共享,具有重要的现实意义。

本文提供 30 m 空间分辨率的中国区域 Landsat 系列的地表反射率产品,给出了中国区域 Landsat 数据地表反射率产品生产的技术流程:首先采集覆盖中国区域的 Landsat 正射影像,然后经过辐射定标,获取 6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum) 辐射传输模型所需要的几何参数和大气参数并进行大气校正,生成中国区域 Landsat 地表反射率产品。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据采集方法

本文所生产的中国区域地表反射率产品主要是在 Landsat 系列正射影像数据的基础上进行生产的,1980s–2012 年为 Landsat 5 数据,2000–2003 年期间为无条带的 Landsat 7 数据,2013–2019 年采用 Landsat 8 数据,这些数据主要由中国遥感卫星地面站接收。对于太阳天顶角大于 76°的 Landsat 数据不进行大气校正处理。

1.2 数据处理方法

中国区域地表反射率产品基于 6S 辐射传输模型进行大气校正获得。6S 模型是目前比较完善的大气校正模型之一,由 Vermote 等人在 5S 模型的基础上改进而来^[2],适用于 0.25–4 μm 波长范围内电磁波的大气辐射传输的模拟。假设气溶胶类型为大陆型,并将地表视为平面朗伯体,则其地表反射率可根据表观反射率计算而得到。其公式为^[3]:

$$\rho_{TOA} = T_g(OG) \times [\rho_{R+A} + T_{R+A}T_g(H_2O) \frac{\rho_s}{1-S_{R+A}\rho_s}] \quad (1)$$

式中, ρ_s 为地表反射率; ρ_{TOA} 为表观反射率,通过辐射定标可计算得到; $T_g(OG)$ 为 O_2 、 O_3 、 CO_2 、 NO_2 、 CH_4 气体总的透过率, $T_g(OG) = T_g(O_2) \times T_g(O_3) \times T_g(CO_2) \times T_g(NO_2) \times T_g(CH_4)$; ρ_{R+A} 为瑞利和气溶胶的反射率; T_{R+A} 为瑞利和气溶胶透过率; $T_g(H_2O)$ 为水汽的透过率; S_{R+A} 为瑞利和气溶胶球面反照率。而 $T_g(OG)$ 、 ρ_{R+A} 、 T_{R+A} 、 $T_g(H_2O)$ 、 S_{R+A} 等大气相关系数均可通过调用 6S 模型计算得到。而基于 6S 模型进行大气校正的关键和难点在于大气参数的获取。本数据集是基于公式 (1) 的计算原理和 6S 辐射传输模型^[1,3-4]进行生产的,首先需要进行辐射定标,然后获取 6S 模型所需要的大气参数、DEM 以及几何参数进行大气校正,其技术路线如图 1 所示。

1.2.1 辐射定标

表观反射率与大气顶层进入卫星传感器的光谱辐射亮度、日地间距离、大气顶层的平均太阳光谱辐照度,以及太阳的天顶角有关。Landsat 5/7 的表观反射率计算公式为:

$$\rho = \frac{\pi L_\lambda d^2}{ESUN \cos(\theta_z)} \quad (2)$$

式中, ρ 为表观反射率, d 为日地距离, θ_z 为太阳天顶角(单位为度,与元数据文件中给出的太

阳高度角互为余角), $ESUN$ (Mean solar exoatmospheric spectral irradiances) 是大气层顶平均太阳光谱辐照度, L_λ 为光谱辐射亮度, 单位为 $w/(m^2 \cdot \mu m \cdot sr)$, 利用定标系数进行线性计算得到。

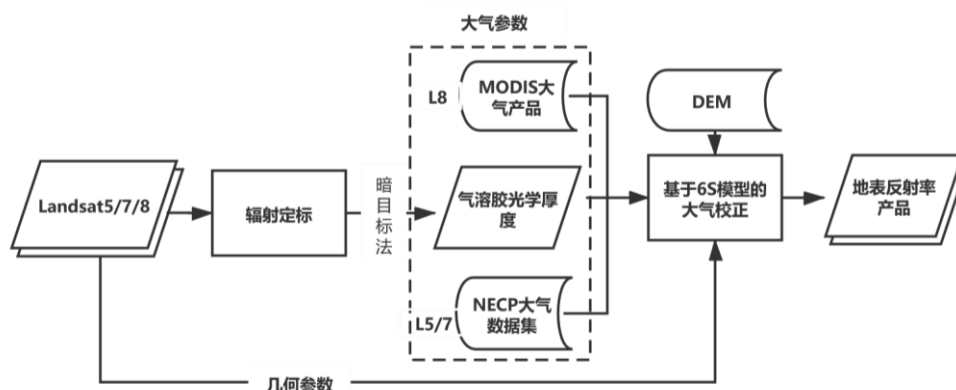


图1 地表反射率产品生产技术路线图

Landsat 8 的表观反射率计算公式为:

$$\rho = \frac{M_\rho \times DN + A_\rho}{\cos(\theta_z)} \quad (3)$$

式中, M_ρ 和 A_ρ 可从元数据文件中获取, 分别为 $M_\rho = \text{REFLECTANCE_MULT_BAND_x}$, $A_\rho = \text{REFLECTANCE_ADD_BAND_x}$, x 为波段号。

1.2.2 模型参数获取

6S 模型的输入参数主要包括太阳天顶角、方位角和观测天顶角、观测方位角等观测几何参数以及水汽、臭氧、气溶胶、气压等大气参数和海拔高度信息。在本文中, 观测几何参数可根据元数据文件获取, 海拔高度信息则是利用 0.05° 空间分辨率的 GCM DEM (Global Climate Model Digital Elevation Model) [5] 得到的 (<https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=ASTER&ok=ASTER>)。对于 Landsat 5/7 数据而言, 大气校正所需要的水汽数据以及气压数据均来自于 NCEP (NOAA National Centers for Environmental Prediction) 再分析数据 (<http://dss.ucar.edu/>), 空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 臭氧数据来自 TOMS (Total Ozone Mapping-Spectrometer) 数据 (<https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/data/ozone/#>), 空间分辨率为 $1.25^\circ \times 1.00^\circ$, 气溶胶光学厚度则是利用暗目标法反演得到的[3,6]。而对于 Landsat 8 数据而言, 大气校正所需要的水汽数据、臭氧数据、气溶胶光学厚度 (AOT) 来自于 0.05° 空间分辨率的 MODIS09CMA (MODIS Aerosol Optical Thickness Climate Modeling Grid) 和 MODIS09CMG (MODIS surface reflectance Climate Modeling Grid) 数据[7] (<https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/download-nrt-data/modis-nrt>)。

2 数据样本描述

本数据集是以景为单位存放文件夹, 由每个波段的地表反射率产品、质量文件 (Quality Assessment, QA)、元数据、缩略图组成。

(1) 文件夹的命名规则为卫星-传感器-path-row-成像日期-LSR, 如 L5-TM-115-026-19840418-LSR。

(2) 每个波段的地表反射率产品: Landsat 5/7 包括波段 1, 2, 3, 4, 5, 7 (即分别为蓝、绿、

红、近红、中红外 1、中红外 2)，Landsat 8 包括波段 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7（即分别为深蓝、蓝、绿、红、近红、中红外 1、中红外 2）。命名规则为卫星-传感器-path-row-成像日期-LSR-BX（X 表示第几个波段）。TIF，如 L5-TM-115-026-19840418-LSR-B1.TIF。影像的空间分辨率为 30 m，投影坐标系是 WGS84 UTM。为了降低存储空间，地表反射率结果由原本的 0-1 范围内的浮点型均乘以 10000 变成 16 位整型，背景填充值为-9999，并进行了“LZW”的无损压缩。

（3）质量文件（QA）：包括在原始数据的基础上生成的 QA，为 PIXEL-QA，主要是对填充值（Fill）、晴空（Clear）、云（Cloud）、云置信度（Cloud Confidence）、云阴影（Cloud Shadow）、冰雪（Snow/Ice）以及水（Water）等信息进行标识，命名规则为：卫星-传感器-path-row-成像日期-PIXEL-QA.TIF。和在地表反射率的基础上生成的 QA，主要是对气溶胶相关的信息进行标识，Landsat 5/7 为 LSR-CLOUD-QA，命名规则为卫星-传感器-path-row-成像日期-LSR-CLOUD-QA.TIF；Landsat 8 为 LSR-AEROSOL，命名规则为卫星-传感器-path-row-成像日期-LSR-AEROSOL.TIF。Landsat 5/7 和 Landsat 8 的 QA 的属性分别如表 1-4 所示。

表 1 Landsat 5/7 的 PIXEL-QA 属性表

位	位值	累计和	属性	像素值
0	1	1	Fill	1
1	2	3	Clear	66,130
2	4	7	Water	68,132
3	8	15	Cloud Shadow	72,136
4	16	31	Snow/Ice	80,112,144,176
5	32	63	Cloud	96,112,160,176,224
6	64	127	Cloud Confidence 00 = None 01 = Low 10 = Medium 11 = High	Low Cloud Confidence: 66,68,72,80,96,112
7	128	255		Medium Cloud Confidence: 130,132,136,144,160,176 High Cloud Confidence: 224

表 2 Landsat 5/7 的 LSR-CLOUD-QA 的属性表

位	位值	累计和	属性	像素值
0	1	1	Dark Dense Vegetation (DDV)	1,9
1	2	3	Cloud	2,34
2	4	7	Cloud Shadow	4,12,20,36,52
3	8	15	Adjacent Cloud	8,12,24,40,56
4	16	31	Snow/Ice	16,20,24,48,52,56
5	32	63	Water	32,34,36,40,48,52,56

表 3 Landsat 8 的 PIXEL-QA 属性表

位	位值	累计和	属性	像素值
0	1	1	Fill	1
1	2	3	Clear	322,386
2	4	7	Water	324,388,836,900
3	8	15	Cloud Shadow	328,392,840,904
4	16	31	Snow/Ice	336, 368, 400, 432, 848, 880, 912, 944
5	32	63	Cloud	352, 368, 416, 432, 480, 864, 880, 928, 944, 992
6	64	127	Cloud Confidence 00 = None 01 = Low 10 = Medium 11 =High	Low Cloud Confidence: 322, 324, 328, 336, 352, 368, 832, 836, 840, 848, 864, 880
7	128	255		Medium Cloud Confidence: 386, 388, 392, 400, 416, 432, 900, 904, 928, 944 High Cloud Confidence: 480, 992
8	256	511	Cirrus Confidence 00 = Not Set 01 = Low 10 = Medium 11 =High	Low Cirrus Confidence: 322, 324, 328, 336, 352, 368, 386, 388, 392, 400, 416, 432, 480
9	512	1023		High Cirrus Confidence: 832, 836, 840, 848, 864, 880, 900, 904, 912, 928, 944, 992
10	1024	2047	Terrain Occlusion	>=1024

表 4 Landsat 8 的 LSR-AEROSOL 属性表

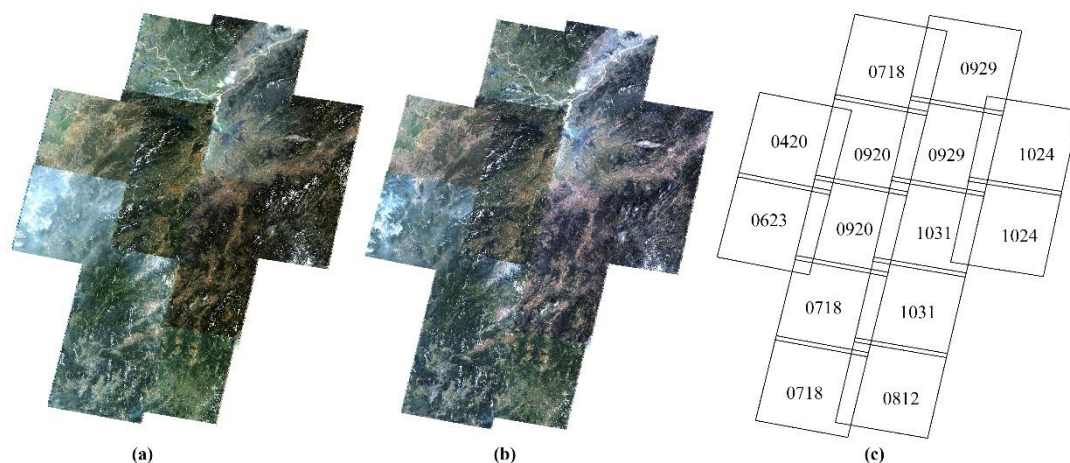
位	位值	累计和	属性	像素值
0	1	1	Fill Value	1
1	2	3	Aerosol Valid	1,20,66,74,130,138,194,202
2	4	7	Aerosol Interpolated	4,12,68,76,132,140,196,204
3	8	15	Water	8,12,24,40,56
4	16	31	Climatology Level Aerosol	2, 4, 8, 10, 12, 16, 24, 28
5	32	63	Low Level Aerosol	64, 66, 68, 72, 74, 76
6	64	127	Medium Level Aerosol	128, 130, 132, 136, 138, 140
7	128	255	High Level Aerosol	192, 194, 196, 200, 202, 204

(4) 元数据文件：包括原始数据的元数据文件（MTL.txt 文件），命名规则为卫星-传感器-path-row-成像日期-MTL.txt；和地表反射率产品的 XML 元数据文件，命名规则为卫星-传感器-path-row-

成像日期-LSR.xml。XML 元数据文件描述了地表反射率产品的基本信息以及各个波段产品的相关信息。

(5) 缩略图：包括 512 像素大小和 1024 像素大小的缩略图，命名规则分别为卫星-传感器-path-row-成像日期-LSR-THUMB.JPG 和卫星-传感器-path-row-成像日期-LSR-BROWSER.JPG。

图 2 为 2005 年江西省的地表反射率结果示意图，其中图 2 (a) 为大气校正前的影像，图 2 (b) 为地表反射率结果，图 2 (c) 为每景数据的成像时间，如 0420 表示 2005 年 4 月 20 日的 Landsat5 数据。从图 2 中可以看出，经过大气校正后能较大地消除大气的影



(a) 大气校正前的影像；(b) 地表反射率结果；(c) 每景影像的成像时间示意图

图 2 江西省地表反射率产品示意图

3 数据质量控制和评估

为了评估本数据集的可靠性，在全国范围内均匀选取了 12 个轨道号如图 3 所示，每个轨道号分别选取了 Landsat5/7/8 地表反射率（具体的时间见图 3 的列表），同时每景影像均随机选取 50 个样本点，与 USGS 发布的地表反射率产品进行对比验证。结果显示本数据与 USGS 所发布的地表反射率产品的相关性系数 R^2 均在 0.99 以上，均方根误差（RMSE）均小于 1%，这表明本数据集与 USGS 所发布的地表反射率产品具有很好的一致性，如图 4 所示。Feng 等人将 USGS 发布的全球 2000 年和 2005 年的 Landsat 5/7 地表反射率产品分别与相应的 MODIS 地表反射率产品进行比较分析，结果表明 Landsat 5 TM 的均方根差（RMSD）约为 2.2%–3.5%，Landsat 7 ETM+ 的均方根差约为 1.3%–2.8%^[8]。同时利用 2014 年 6 月 11 日获取的南京地区的实测光谱数据对 Landsat 8 数据地表反射率产品进行验证，结果显示其地表反射率产品的 RMSD 约为 2%–4% 之间。并对 USGS 发布的 Landsat8 地表反射率产品进行验证，结果显示 USGS 发布的 Landsat8 地表反射率结果的 RMSD 分别为 4.07%、4.37%、3.49% 和 5.3%，而本产品的 RMSD 分别为 2.71%、3.1%、2.71%、2.08%，本产品的 RMSD 均低于 USGS 发布的地表反射率产品^[1]。

4 数据价值

本文推出的 1986–2019 年中国区域 Landsat 系列卫星长时序地表反射率产品，采用目前国际上

较为成熟的地表反射率算法，精度较高，未来将持续更新，在森林、水资源、气候变化等领域长时序信息挖掘分析方面具有重要的应用价值。

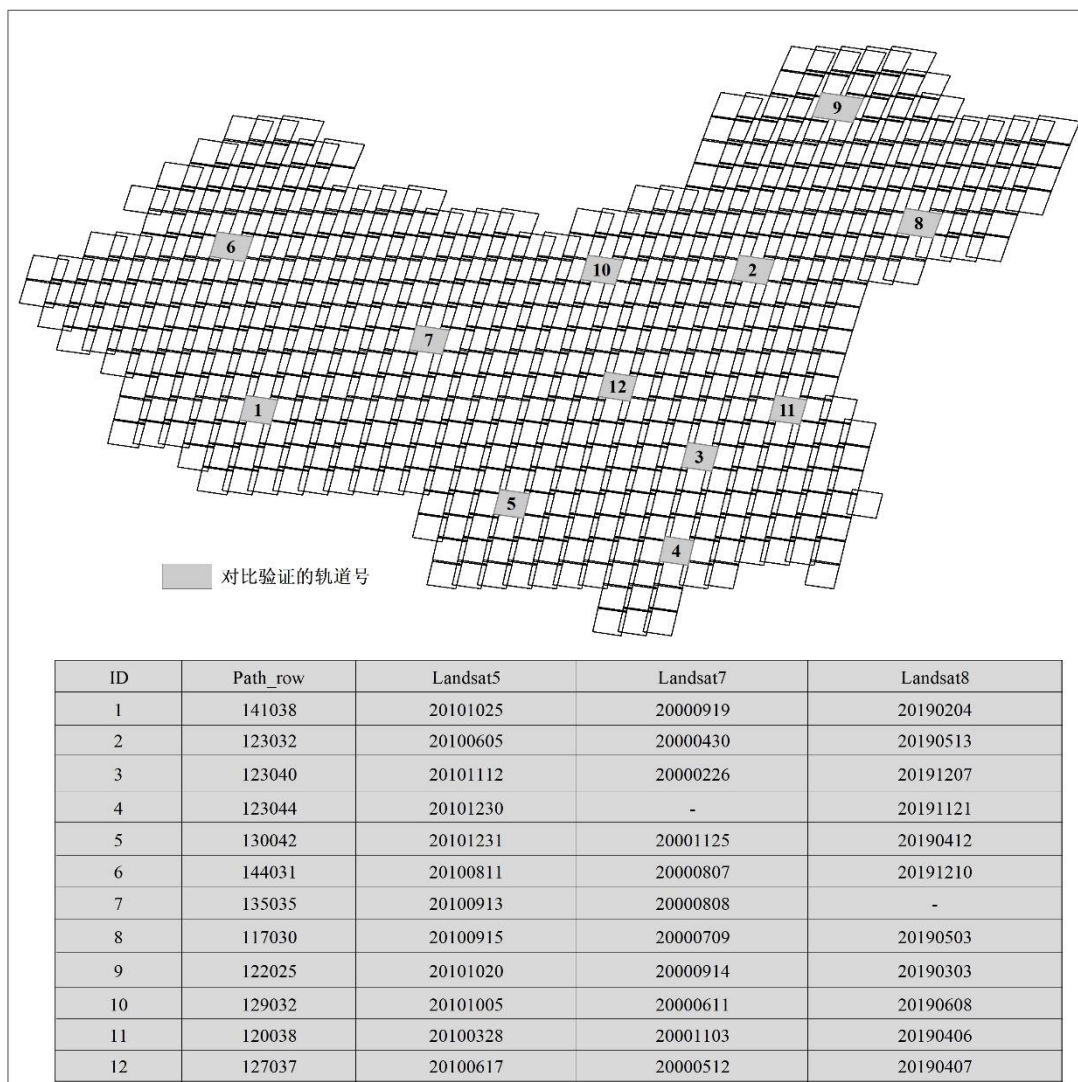


图3 对比验证的轨道号分布示意图

5 数据使用方法和建议

本数据集可通过地球大数据科学工程（CASEarth）Databank 在线服务网址（<http://databank.casearth.cn>）获取数据。用户注册成功并登录系统后，进入平台产品查询界面，产品类型选择“LSR”，然后在所需要的数据下点击下载，随后会弹出一个下载对话框，该框中列出了各波段的地表反射率结果、QA 文件和元数据文件，根据需要下载数据即可。用户可根据行政区、地图选择以及行列号等方式查询所需要的数据。目前共享的产品主要包括 1980s–2012 年云量小于 50% 的 Landsat 5、2000–2003 年云量小于 20% 的 Landsat 7 以及 2018–2019 年的全部 Landsat 8 的地表反射率产品，后续作者将持续生产我国区域云量大于 50% 的 Landsat 5、云量大于 20% 的 Landsat 7 和 2019 年以后的 Landsat 8 地表反射率产品，以提供更好的、持续的数据共享服务。若平台系统中暂时缺少用户所需的数据或者有与本数据相关的其他数据需求，可通过咨询本文作者进行申请。



图4 与USGS地表反射率产品对比验证结果

致谢

衷心感谢王桂周和龙腾飞在产品生产时遇到的存储与效率问题给予的建设性意见。

数据作者分工职责

彭燕（1988—），女，湖南省郴州市人，在读博士，工程师，研究方向为遥感图像智能处理。主要承

担工作：算法集成程序编写，数据生产流程设计，论文撰写。

何国金（1968—），男，福建省龙岩市人，博士，研究员，研究方向为遥感数据智能处理与信息挖掘。

主要承担工作：总体思路与方案设计，论文修改。

张兆明（1980—），男，河南省郑州市人，博士，副研究员，研究方向为遥感数据智能处理与信息提取。主要承担工作：技术指导，论文修改。

尹然宇（1996—），男，山东省临沂市人，在读博士，研究方向为遥感图像智能处理。主要承担工作：数据挑选与整合。

参考文献

- [1] PENG Y, HE G J, ZHANG Z M, et al. Study on atmospheric correction approach of Landsat-8 imageries based on 6S model and look-up table[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2016, 10(4). DOI: 10.1117/1.JRS.10.045006.
- [2] VERMOTE E F, EL SALEOUS N, JUSTICE C O, et al. Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOS-MODIS data over land surfaces: background, operational algorithm and validation[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(D14): 17131–17141.
- [3] JEFFREY G M, VERMOTE E F, SALEOUS N E, et al. A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America, 1990-2000[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2006, 3(1): 68-72.
- [4] VERMOTE E, JUSTICE C, CLAVERIE M, et al. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 185: 46-56.
- [5] ETOPO5. Data announcement 88-MGG-02, digital relief of the surface of the earth[DB]. Boulder, Colorado: NOAA, National Geophysical Data Center, 1988.
- [6] Ouaidradi H, VERMOTE E. Operational Atmospheric Correction of Landsat TM Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1999, 70: 4-15.
- [7] GAO B C, AND KAUFMAN Y J. Water vapor retrievals using moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) near-infrared channels[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 2003, 108(D13).
- [8] FENG M, HUANG C Q, CHANNAN S, et al. Quality assessment of Landsat surface reflectance products using MODIS data[J]. Computers & Geosciences, 2012, 38(1): 9-22.

论文引用格式

彭燕, 何国金, 张兆明, 等. 中国区域 Landsat 地表反射率产品[J/OL]. 中国科学数据, 2020, 5(4). (2020-11-16). DOI: 10.11922/csdata.2020.0032.zh.

数据引用格式

彭燕, 何国金, 张兆明, 等. 中国区域 Landsat 地表反射率产品[DB/OL]. Science Data Bank, 2020. (2020-04-29). DOI: 10.11922/sciencedb.984.

Landsat surface reflectance products over China

Peng Yan^{1,2,3}, He Guojin^{1,3*}, Zhang Zhaoming^{1,3}, Yin Ranyu^{1,2}

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

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R. China

3. Hainan Key Laboratory for Earth Observation, Sanya 572029, P.R. China

*Email: hegj@radi.ac.cn

Abstract: Landsat satellite remote sensing data of long-time series have been used to record human activities and natural changes for a long time. And the surface reflectance products of Landsat series data have been widely applied to the long-time series information mining and analysis in many fields, such as forest monitoring, water resource management, and climate change study. By using atmospheric correction methods based on the 6S radiative transfer model, we produced the high-quality surface reflectance products over China from the 1980s to the year of 2019, which are ready to use (RTU) for remote sensing researchers and application users. The processing steps for the products include radiometric calibration, model input parameter acquisition and atmospheric correction, etc. The products are saved as a format of GeoTIFF with corresponding quality assessment files (QA) and metadata files.

Keywords: Landsat 5/7/8; atmospheric correction; 6S model; surface reflectance

Database Profile

Title	Landsat surface reflectance products over China
Data corresponding author	He Guojin (hegj@radi.ac.cn)
Data authors	Peng Yan, He Guojin, Zhang Zhaoming, Yin Ranyu
Time range	1980s–2019
Geographical scope	China
Spatial resolution	30 m
Data volume	50 TB
Data format	*.tiff (GeoTIFF, 16bit integer)
Data service system	< http://databank.csearth.cn > < http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/984 >
Sources of funding	Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA19090300); National Natural Science Foundation of China (61731022).
Database composition	The dataset consists of 147,970 surface reflectance products, which are stored in folders based on imageries. Each folder includes surface reflectance results of each band, QA files, thumbnails and metadata files.