

机载多角度电力巡线系统数据结构的设计与实现

颜凯¹ 王鹏新¹ 刘峻明¹ 阎广建²

(1. 中国农业大学 信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要 应用层次数据格式(HDF)的文件格式与 HDF 应用编程接口,设计了机载多角度电力巡线系统三级数据产品的逻辑结构与物理结构,实现了其系统文件的创建、写入、读取等基本功能,在 HDF 科学数据集 API 基础上实现了栅格图像金字塔管理和多种数据类型转换等功能,并在此基础上完成了机载多角度电力巡线系统的开发。该系统采用一套对 HDF API 函数进行了封装的数据接口类库,用户通过调用接口类库中简单的读写函数可实现对复杂的系统 HDF 文件的读写操作,为不熟悉 HDF API 函数的用户操作 HDF 文件提供了方便。该系统的开发过程对于利用 HDF 数据格式处理和管理海量图像数据和属性数据具有一定的借鉴作用。

关键词 层次数据格式(HDF); HDF API; 机载电力巡线; 多角度遥感

中图分类号 TP 751.1; TM 75

文章编号 1007-4333(2006)06-0100-06

文献标识码 A

Design and implementation of data structure in an airborne multi-angle power line inspection system

Yan Kai¹, Wang Pengxin¹, Liu Junming¹, Yan Guangjian²

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract The Hierarchical Data Format, HDF, is a multi-object file format for sharing scientific data in a distributed environment. The file logistic structure of an airborne multi-angle power line inspection system was designed by using HDF and its Application Programming Interface (API). Based on HDF scientific data API, the HDF data interface library was established to create, write and read files of the system. A power line inspection system was developed by integrating the HDF API and the library. The airborne multi-angle power line inspection system adopted a set of libraries with HDF API for easy use of customers. The developing procedure of this system gives a good example for application of HDF data format processing and management of huge amounts of raster image data and attribute data.

Key words hierarchical data format; API; airborne power line inspection; multi-angle remote sensing

机载多角度电力巡线系统(airborne multi-angle power line inspection system, AMPL I)使用直升飞机巡线获取电力线走廊的多角度遥感图像数据,并生成数字地面模型(digital surface model, DSM);同时提取高压线路、杆塔数据、间隔棒数据等信息,依据这些信息获得架空线路与周围物体间之的距离,进行安全预警。数据结构和文件格式是整个系统的基础,决定了该系统的整体框架,决定着整个系统设计的成败。

现有空间数据管理方式一般有 2 种,一种是使用关系型数据库管理系统,如 Oracle、SQL Server 等,这种方式有标准的数据管理功能,方便的查询接口,但对于空间数据管理中涉及的大量空间关系特征和复杂的空间数据实体类型都不能提供很好的解决方案;另一种是使用文件系统,典型的如 Coverage、Shapefile、CAD 等,这种方式针对空间数据特点设计,易于实行,但普遍存在可扩展性较差、属性和图形分开管理、数据查询检索效率低等问题^[1-2]。

收稿日期: 2006-03-03

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2003AA134040); 博士点基金资助项目(20030019032)

作者简介: 颜凯, 硕士研究生; 王鹏新, 副教授, 博士生导师, 通讯作者, E-mail: wangpx@cau.edu.cn

层次数据格式 (hierarchical data format, HDF) 是美国国家高级计算应用中心 (NCSA) 于 1987 年研制开发的一种文件格式, 1993 年美国国家航空航天局 (NASA) 把 HDF 格式作为存储和发布 EOS (earth observation system) 数据的标准格式^[3-4]。在 HDF 标准的基础上, NCSA 和 NASA 还开发了一种专门化的 HDF 格式, 即 HDF-EOS, 用于处理各种 EOS 数据及其产品。它使用标准的 HDF 数据类型定义了点、条带、栅格这 3 种特殊数据类型, 并且引入了元数据 (metadata), 简化了空间数据的访问过程, 提高了访问速度。HDF 遵从面向对象的编程原则, 在同一个 HDF 文件中可以保存多维数组、表、图像等, 可以随机访问其中的某一个对象, 而不是以数据流的方式保存和访问数据, 具有良好的通用性、灵活性和可扩展性^[5-9]。

机载多角度电力巡线系统涉及大量的栅格数据和属性数据, 处理层次较多, 数据结构复杂, 需要自定义其数据结构, 因此选用具有灵活的二次开发接口 API 的 HDF 数据格式。本研究利用 HDF 提供的 API 函数开发一套 HDF 数据接口类库, 实现其系统文件的创建、写入、读取等功能, 在此基础上完成了机载多角度电力巡线系统的开发。

1 数据结构设计

1.1 数据产品层次划分

在飞行试验中, 应用机载多角度电力巡线系统获取高压电力线路 23 个杆塔之间的数据, 长度约 10 km, 原始影像数据容量 40 GB。为实现预警功能设计的系统数据处理流程见图 1。

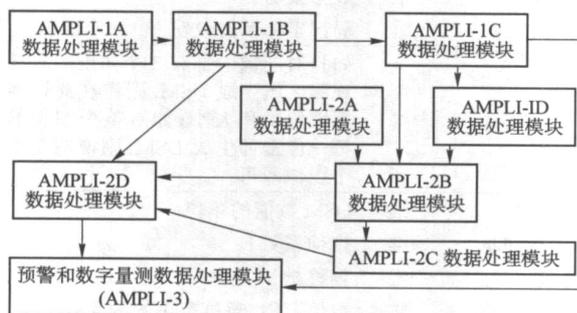


图 1 机载多角度电力巡线系统数据处理流程图

Fig. 1 Flowchart of AMPLI data processing

数据处理涉及到多个步骤, 根据各个数据处理流程将系统数据产品分为 3 级:

1) 一级数据产品。经 AMPL F1A、AMPL F1B、

AMPL F1C、AMPL F1D 数据处理模块处理后的数据为一级数据产品。AMPL F1A 进行数据的预处理, AMPL F1B 进行角度订正, AMPL F1C 生成粗 DSM, AMPL F1D 生成多角度同名点集。

2) 二级数据产品。经 AMPL F2A、AMPL F2B、AMPL F2C、AMPL F2D 数据处理模块处理后的数据为二级数据产品。AMPL F2A 识别线路及间隔棒, AMPL F2B 进行空中三角测量, AMPL F2C 生成区域树冠尺度 DSM 及正射影像, AMPL F2D 生成树枝匹配及正射影像。

3) 三级数据产品。AMPL F3 数据处理模块处理后的数据为三级数据产品。AMPL F3 基于 2C 和 2D 数据产品进行系统集成和数字量测, 实现高压线路横端面和剖面图的显示以及系统查询、显示、预警等功能。

根据飞行方案, 数据的处理分测区进行。由若干个连续且近似在一条直线上的杆塔连成的电力线路所在区域为 1 个测区。为与飞行方案统一, AMPL I 系统基于测区来定义各级 HDF 文件结构, 同一测区的相关 HDF 文件存储在同一工程文件夹的不同处理级别文件夹中, 通过一定的文件命名规则实现调用。

1.2 AMPLI 系统文件结构

HDF API 中针对栅格数据管理提供 2 种不同类型, 分别为科学数据集数据类型 (scientific data set, SDS) 和栅格图像 (raster image) 数据类型^[10]。AMPLI 系统中不仅需要显示正射影像和 DSM 信息, 而且要实现具体量化的预警信息的生成和显示。AMPLI 系统中 3 种数据, 即正射影像栅格数据、DSM 栅格数据、预警栅格数据, 都采用类似的数据结构, 即完全相同的坐标系统、栅格原点和栅格大小。由于原始影像数据空间分辨率很高, 线路较长, 数据量巨大, 为了提高数据显示速度, 影像栅格和预警栅格采用金字塔结构, 并存贮到文件中, 以提高相关信息的显示速度。

AMPLI 系统中, 影像栅格金字塔的生成和读写都涉及到大量栅格数据操作, 而在 HDF 中针对栅格图像的 API 接口并没有针对“金字塔”读写提供的现成的函数。在 HDF 中 SD (scientific data) API 提供了大量针对多维数组操作的函数, 能方便地实现大量栅格数据的读写操作, 因此对于栅格数据, AMPLI 系统选用科学数据集数据类型。

对于 AMPLI 系统中需要存储的点信息, 如杆

塔、间隔棒等的坐标和高程,均定义一系列相关属性信息,然后将具体坐标信息作为其对应 SDS 的一行记录进行存储。尽管 HDF 可提供一套存储表格的 Vdata API,但是为了便于二次开发和用户操作简便,选用 SD API 实现数据表格的管理操作。对于本系统中的线数据,如电力线信息,定义一系列相关

属性信息,而其具体坐标信息视为 SDS 的一行记录。

在 AMPLI 系统定义的 HDF 格式的文件中,包括测区信息、投影信息、栅格划分方式信息、预警距离栅格信息等。以 AMPLI 3 级数据产品为例,其具体文件结构描述见表 1。

表 1 AMPLI 3 级 HDF 文件结构描述

Table 1 HDF file structure of AMPLI at level 3

第 1 层次	第 2 层次	数据集/属性	数据类型	维数	说明
Product name		Attribute	Char	一维	产品名称
Product version		Attribute	Char	一维	版本号
Process level		Attribute	Char	一维	处理级别
Time of HDF file creation		Attribute	Char	一维	HDF 文件生成时间
Name list of operators and contact information		Attribute	Char	一维	操作人员姓名及联系方式
Block information		Attribute	Struct { Char Int Char int Char Char Int }	一维	测区信息描述 数据集名称 测区编号 测区名称 相片总数 测区内起始杆塔编号 测区内终点杆塔编号 飞行方向
Projection info		Attribute	Char	一维	投影信息
Pixel size		Attribute	Float	一维	像素大小
Image block size		Attribute	Float	一维	每个图幅的大小
Image block lines and pixels		Attribute	Int	一维	每个图幅的行列数
Region description		Attribute	Float	一维	记录测区的左上角坐标和宽度、高度
Image block indices		Data set	Int	二维	测区内有数据图幅的索引,二维图像,像素值为该图幅在下一个数据集中的索引
Delta height		Data set	Float	三维	高差
	Dataset name	Attribute	Char	一维	数据集名称
	Coordinate description	Attribute	Char	一维	局部坐标系的说明
	Region description	Attribute	Char	一维	如只对图像中部有 3 个角度的重叠观测区域生成 DSM,则需在此说明区域位置和大小;如对整个图像的每一像素都生成 DSM,则说明是整个图像即可
	Unit	Attribute	Char	一维	DSM 数值的单位
	Scale	Attribute	Double	一维	拉伸系数
	Offset	Attribute	Double	一维	偏移量
	Valid range	Attribute	Char	一维	取值范围,超过范围的为无效数据
	Method to derive DSM	Attribute	Char	一维	数据生成方法的描述
	Key parameters for the method	Attribute	Char	一维	图像匹配和光滑 DSM 生成算法中使用的关键参数(用于结果不好时追溯原因)
	Stereo image pair	Attribute	Char	一维	立体像对的文件名

续表 1

第 1 层次	第 2 层次	数据集/ 属性	数据类型	维数	说明
Ortho image blocks		Data set	Int	三维	正射影像块,BSQ 排列,第 3 维从 1 到 N 表示图幅索引
	Dataset name	Attribute	Char	一维	数据集名称
	Pixel size	Attribute	Float	一维	像素大小
	Unit	Attribute	Char	一维	高差数值的单位
	Valid range	Attribute	Char	一维	取值范围,超过范围的为无效数据
Delta height pyramid1		Data set	Float	三维	高差金字塔第 1 层
Delta height pyramid2		Data set	Float	三维	高差金字塔第 2 层
Delta height pyramid3		Data set	Float	三维	高差金字塔第 3 层
Synthetic color images		Data set	Int	三维	伪彩色预警图像
	Dataset name	Attribute	Char	一维	数据集名称
	Coordinate description	Attribute	Char	一维	局部坐标系的说明
	Unit	Attribute	Char	一维	数值的单位说明
	Scale	Attribute	Double	一维	拉伸系数
	Offset	Attribute	Double	一维	偏移量
	Valid range	Attribute	Char	一维	取值范围,超过范围的为无效数据
	Method to derive synthetic color images	Attribute	Char	一维	数据生成方法的描述
Synthetic color images pyramid1		Data set	Int	三维	伪彩色预警图像金字塔第 1 层
Synthetic color images pyramid2		Data set	Int	三维	伪彩色预警图像金字塔第 2 层
Synthetic color images pyramid3		Data set	Int	三维	伪彩色预警图像金字塔第 3 层

将第 1 层次中的 Block info、Projection info、Pixel size、Image block size、Image block lines and pixels 以及 Region description 等属性结合起来定义为一个结构体,将 Image block indices、Delta height、Delta height pyramid1、Delta height pyramid2、Delta height pyramid3 等数据集分别定义为结构体。

2 AMPLI 系统 HDF 数据接口的实现

2.1 AMPLI 系统 HDF 数据接口整体框架

在 AMPLI HDF 各级数据产品和 AMPLI HDF 数据产品各级处理模块之间,AMPLI 系统提供一整套用于读写 AMPLI HDF 各级数据产品的 AMPLI HDF 数据接口类库。该类库用于封装 HDF API 函数,用户通过直接调用类库提供的读写函数可方便地实现对 HDF 文件的各种操作。AMPLI 系统 HDF 数据接口整体框架见图 2。

各级 HDF 数据产品都对应各自相对独立的数据访问模块,同时各级 HDF 数据产品处理模块通过各级别数据产品访问模块实现对其数据产品的读写操作,而不需要直接处理 HDF 文件。

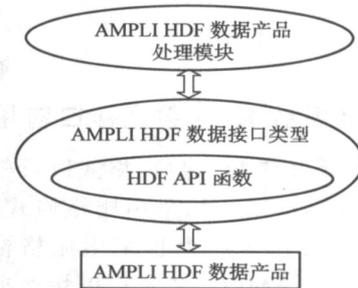


图 2 AMPLI 系统 HDF 数据接口整体实现框架

Fig. 2 Structure of AMPLI HDF API interface

2.2 AMPLI HDF 数据接口类的定义

根据数据产品层次的划分,AMPLI HDF 数据接口类库提供用于定义相关结构体、宏等的接口头文件以及对应的 C++ 类(Class CL * File,如 1 级 HDF 数据产品对应 Class CL1File)。各级 Class CL * File 都包含类似操作,Create()用于创建 HDF 文件,Open()用于打开 HDF 文件,Close()用于关闭 HDF 文件,Isopen()用于检测 HDF 文件是否打开,Read *Attr()用于读取结构体属性信息,Write *Attr()用于写入结构体属性信息,Read *Data()用于读取多维数组数据,Write *Data()用于写入多维

数组数据。每级数据产品对应各自不同的结构体和多维数组。另外,各级数据接口类中还有一些辅助函数,如提取间隔棒个数的函数 `GetSpacerNumber()` 和提取杆塔个数的函数 `GetTowerNumber()` 等。

2.3 AMPLI HDF 数据接口类库的读写实现

根据格式定义,AMPLI 系统将各级 HDF 数据

产品一一对应 C++ 的类,将格式定义中的一维属性数据性对应为结构体,二维数据属性对应为二维数组。AMPLI 系统利用 HDF SD API 实现上述功能。本文中利用 UML 2.0 的活动图表示创建和读取 HDF 文件的过程(图 3 和 4)。

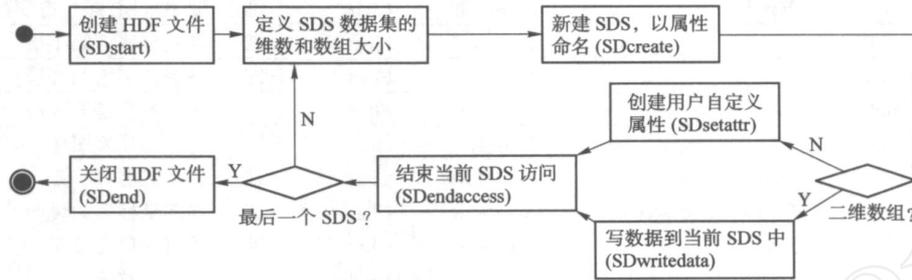


图 3 HDF 文件创建过程

Fig. 3 Process of creating a HDF file

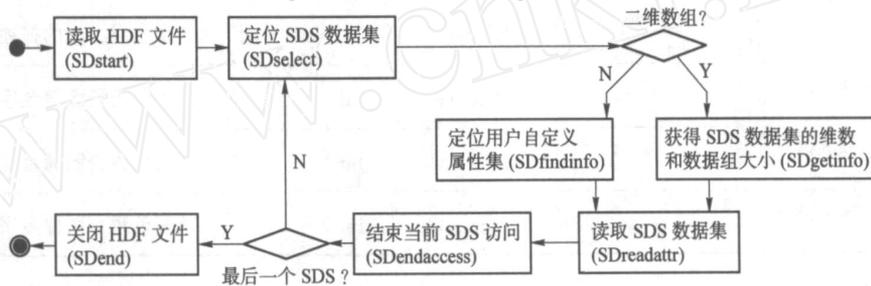


图 4 HDF 文件读取过程

Fig. 4 Process of reading a HDF file

3 AMPLI 系统 HDF 数据接口应用实例

AMPLI 系统中影像数据格式以及根据影像进行处理而生成的 DSM 均采用栅格格式表达,因此为了处理方便,预警结果也采用栅格格式。利用 HDF 数据接口,AMPLI 系统可以快速准确地完成大量栅格的读写操作。例如电力线路剖面图显示是 AMPLI 预警模块的主要功能之一,它显示电力线路弧垂上各点的高度,同时利用 HDF 数据接口读取相应的 DSM 中的高程信息(图 5),直观地呈现机载多角度电力巡线系统的预警结果。实现该功能所用的基础数据,如间隔棒的三维信息、DSM 高程值等,均存储在 AMPLI 系统 HDF 文件中。AMPLI 系统测试结果表明,HDF 数据接口能正确实现上述读写操作和显示功能。

4 结论

运用 HDF 提供的 API 函数能够提高程序编写效率。AMPLI 系统开发了一套 HDF 数据接口类

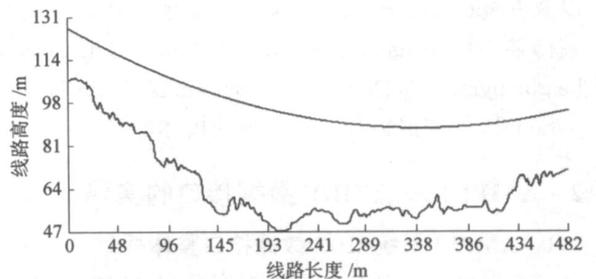


图 5 电力线路剖面图

Fig. 5 Power line profiles

库,该套数据接口类库对 HDF API 函数进行了封装,用户通过调用简单的读写函数就可实现对 HDF 文件的读写操作,为不熟悉 HDF API 函数的用户操作 HDF 文件提供了方便。AMPLI 系统的开发过程对于利用 HDF 数据格式处理和管理海量图像数据和属性数据具有一定的借鉴作用。

AMPLI 系统 HDF 文件中需要存储的点记录和线记录信息均采用 SDS 进行存取,用户二次开发接口简单,开发简便。AMPLI 系统接口程序中添加了

float、int 数据类型与 char 数据类型的转换函数,将点、线记录作为 char 数据类型存储在 HDF 文件中,当需要读取、写入 HDF 文件时,通过调用相关转换函数实现 char 与数值的自动转换,成功解决了多种数据类型同时在 SDS 数据集中存储的问题。AMPLI 系统利用 HDF SD API 实现了 HDF 文件的存储与读取,但 HDF 文件的修改功能还需进一步完善。

致谢:本研究使用了国家高技术研究发展计划“机载多角度多光谱成像技术在电力系统应用的研究”课题组提供的 DSM、正射影像和高压线路数据,在此谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] 李宗华,彭明军. 基于关系数据库技术的遥感影像数据建库研究[J]. 武汉大学学报:自然科学版, 2005, 30(2): 166-169
- [2] 龚健雅,杜道生. 当代地理信息技术[M]. 北京:科学出版社, 2004
- [3] 黄春林,李新. HDF-EOS 数据格式在处理空间数据中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(4): 252-259
- [4] 刘闯,葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. 遥感信息, 2000, (3): 46-48
- [5] 张莉,曾致远. 基于 HDF4 文件格式的 MODIS 1B 影像数据提取的研究与实现[J]. 国土资源遥感, 2004 (4): 27-32
- [6] McGrath R E. Conversion from HDF4 to HDF5: hybrid HDF-EOS files[J]. The Earth Observer, 2002, 14(2): 19-23
- [7] Yang Muqun, McGrath R E, Folk M. Atmospheric sciences and climate applications using HDF and HDF5[R]. University of Illinois at Urbana-Champaign: American Meteorological Society, 2005
- [8] NCSA. HDF4 User's Guide Release 2.0[M]. Urbana-Champaign: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2003
- [9] NCSA. HDF42r0. RefMan [M]. Urbana-Champaign: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2003
- [10] 王玲,龚健雅. 基于 HDF 文件的组织方式与影像提取[J]. 测绘通报, 2003 (4): 35-37