

EOS-MODIS 数据格式与应用

王正兴，陈文波，邓芳萍，曹云刚

中国科学院地理科学与资源研究所
全球变化信息研究中心

2004 年 11 月 2 日，兰州

报告提纲

- 1、 必要的声明：MODIS 1B 数据与 MODIS 1B 有关资料的不一致问题
- 2、 广义的 MODIS 产品：44 种产品，4 个等级，2 种数据格式
- 3、 狭义的 MODIS 数据：1B 的结构，HDF 与 HDF-EOS 的简单介绍
- 4、 从 HDF/HDF-EOS 的 Swath 到 GRID: Bow-tie 现象与处理工具

1. 必要的声明 :MODIS 1B 数据与 MODIS 1B 有关资料的不一致问题

- **MODIS 参考资料** :现在 ,国内接收的所有 MODIS 1B 数据 ,都来自美国 Terra 和 Aqua 2 颗卫星。美国对 MODIS 传感器的前期研究、产品的算法开发、验证、各种处理软件等 ,大部分在 15 年前就开始了。所以 ,不难理解 ,目前我们能够在网上看到的技术资料、科学算法、免费程序等 ,主要来自美国 NASA 下属的机构以及与 NASA 有合同关系的大学、研究机构、和公司。从某种意义上说 ,许多资料就是事实上的标准 ,这些标准主要用于支持 NASA 自己开发的 MODIS 数据格式。当然 ,这样的资料也在不断更新 ,包括各种参数 ,查找表 ,程序版本等。
- **MODIS 1B 数据** :与 MODIS 资料 “ 事实上的标准 ” 不同 ,MODIS 1B 数据至少在格式上有多种。概括地讲 ,在美国有两大类 :NASA 的 MODIS 1B ;和 Wisconsin 大学 IMAPP (The International MODIS/AIRS Processing Package, IMAPP) 处理系统生产的 MODIS 1B。这两种系统的差别 :前者是我们能看到的各种 NASA 的资料所定义的 (最典型如 :5 分钟的 Granule , HDF-EOS 2.X 格式); 而后者是整个轨道 (HDF 4.X 格式)。虽然二者的科学数据本身可能完全一样 ,但是 ,由于 NASA 已经有大量的前期研究 ,能够使用的免费资源比较多 ,如免费软件等。(IMAPP 也可能转换为 HDF-EOS 格式)。
- **数据格式不一致问题的可能影响** :科学院地理科学与资源所 ,2001 - 2003 年的 MODIS 1B 数据接近 NASA 的标准 (2.5 分钟的 Granule,其它结构相同); 2004 年 8 月以后采用国产化的系统。 这里提到这些重大差别的目的 ,是提醒用户 ,由于数据格式本身有差别 ,在选择处理软件时 ,可能会有差别。(本

培训班使用的 ENVI3.6 模块，可以同时处理这 2 种格式的 1B 数据 。

- 本培训班的主要技术资料，来自 NASA 的相关资料。

2. 广义的 MODIS 产品： 44 种产品，4 个等级，2 种数据格式

(1). 广义的 MODIS 数据或产品包括 44 种。产品的命名、内容、负责的科学家和数据存档中心如下表。

<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/description.html>

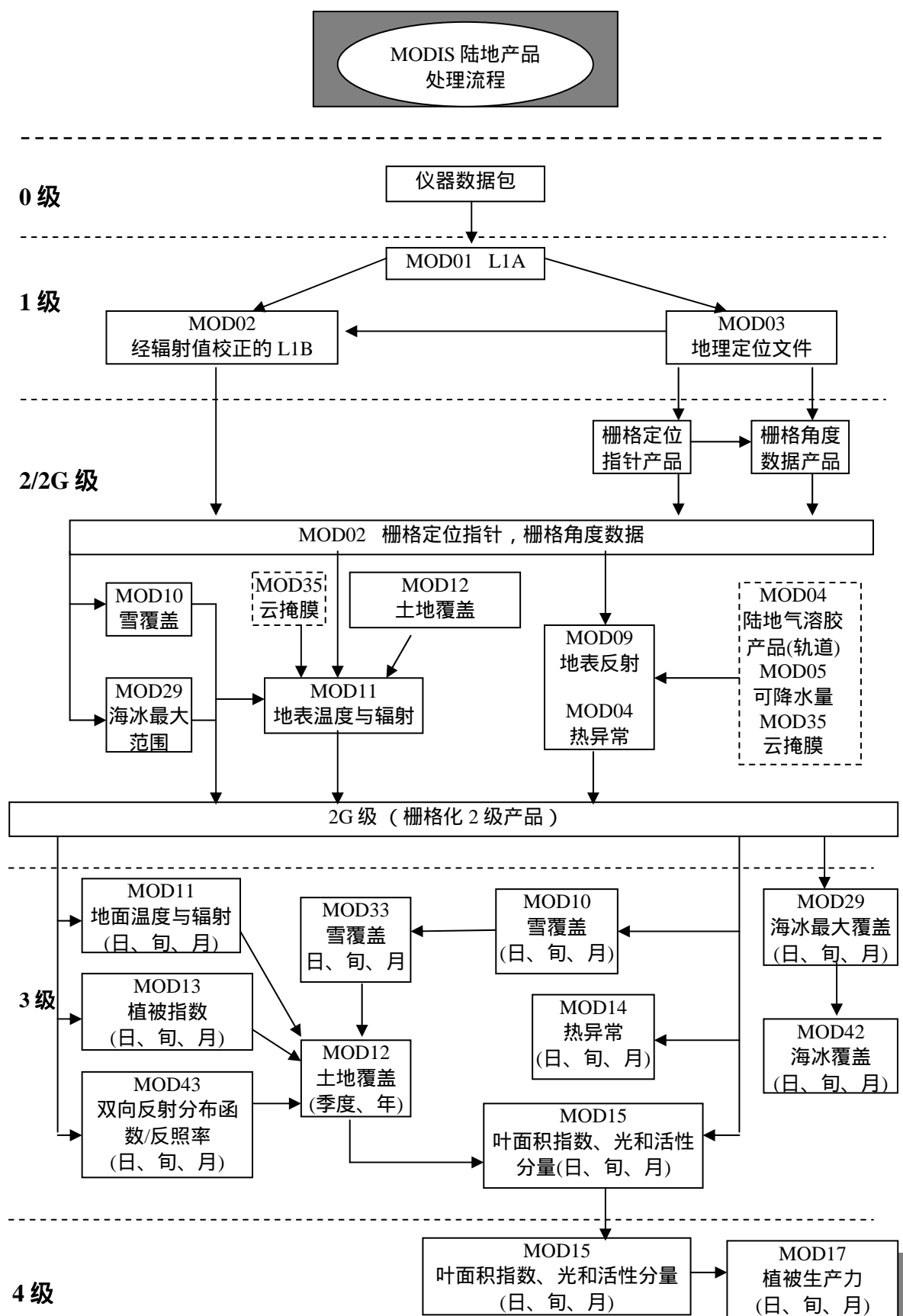
Product ID	MODIS 44 种产品名称 (缺 6 种) Product Name	产品名称 / 描述 (中文)	Affiliated Science Team Member	DAAC description
MOD01	Level-1A Radiance Counts	辐射率记数	V. Salomonson	GES DAAC
MOD02	Level-1B Calibrated Geolocation Data Set	经过辐射校正与地理定位	**	GES DAAC
MOD03	Geolocation Data Set	地理定位数据	V. Salomonson	GES DAAC
MOD04	Aerosol Product*	气溶胶	Y. Kaufman, D. Tanré	GES DAAC
MOD05	Total Precipitable Water	总的可降水量	B. Gao, Y. Kaufman D. Tanré, P. Menzel	GES DAAC
MOD06	Cloud Product	云	P. Menzel, M. King	GES DAAC
MOD07	Atmospheric Profiles	大气剖面 / 断面	P. Menzel	GES DAAC
MOD08	Gridded Atmospheric Product	栅格化大气产品	M. King	GES DAAC
MOD09	Surface Reflectance; Atmospheric Correction Algorithm Products*	经过大气校正的地面反射值	E. Vermote	EDC DAAC
MOD10	Snow Cover*	雪	D. Hall	NSIDC
MOD11	Land Surface Temperature (LST) and Emissivity	地表温度和发射率	Z. Wan	EDC DAAC
MOD12	Land Cover/ Land Cover Change*	土地覆盖/土地覆盖变化	A. Strahler, A. Huete S. Running, C. Justice	EDC DAAC
MOD13	Gridded Vegetation Indices (NDVI & EVI)	栅格化植被指数	A. Huete	EDC DAAC
MOD14	Thermal Anomalies - Fires and Biomass Burning	热异常-火、生物燃烧	Y. Kaufman, C. Justice	EDC DAAC
MOD15	Leaf Area Index (LAI) and Fractional Photosynthetically Active Radiation (FPAR)*	叶面积指数、有效光和辐射分量	S. Running, R. Myneni	EDC DAAC
MOD16	Evapotranspiration	土壤水分蒸发蒸腾损失总量	S. Running	EDC DAAC
MOD17	Vegetation Production, Net Primary Productivity (NPP)	植被净第一性生产量	S. Running	EDC DAAC
MOD18	Normalized Water-leaving Radiance	归一化水离开辐射	H. Gordon	GES DAAC
MOD19	Pigment Concentration	色素浓度	D. Clark	GES DAAC
MOD20	Chlorophyll Fluorescence	叶绿素荧光	M. Abbott	GES DAAC
MOD21	Chlorophyll_a Pigment Concentration	叶绿素 a 色素浓度	K. Carder	GES DAAC
MOD22	Photosynthetically Available Radiation (PAR)	光 and 有效辐射	K. Carder, D. Tanré W. Esaias, M. Abbott	GES DAAC
MOD23	Suspended-solids Concentration	固体悬浮物浓度	D. Clark	GES DAAC
MOD24	Organic Matter Concentration	有机物浓度	D. Clark	GES DAAC

MOD25	Coccolith Concentration	球石浓度	H. Gordon	GES DAAC
MOD26	Ocean Water Attenuation Coefficient	海水衰减系数	D. Clark	GES DAAC
MOD27	Ocean Primary Productivity	海洋第一生产力	W. Esaias, M. Abbott	GES DAAC
MOD28	Sea Surface Temperature (SST)	大海表面温度	O. Brown	GES DAAC
MOD29	Sea Ice Cover	海冰覆盖	D. Hall	NSIDC
MOD30				
MOD31	Phycoerythrin Concentration	藻红蛋白浓度	F. Hoge	GES DAAC
MOD32	Processing Framework and Match-up Database	处理结构和配套数据库 ***	R. Evans, H. Gordon	GES DAAC
MOD33				
MOD34				
MOD35	Cloud Mask	云掩膜	P. Menzel	GES DAAC
MOD36	Total Absorption Coefficient	总吸收系数	K. Carder	GES DAAC
MOD37	Ocean Aerosol Properties	海洋气溶胶特征	H. Gordon	GES DAAC
MOD38				
MOD39	Clean Water Epsilon	清水的	K. Carder	GES DAAC
MOD40	Gridded Thermal Anomalies	栅格化热异常	Y. Kaufman, C. Justice	EDC DAAC
MOD41				
MOD42				
MOD43	Surface Reflectance BRDF/Albedo Parameter*	地面双向反射分布函数 / 反照率参数	A. Strahler, J. Muller	EDC DAAC
MOD44	Vegetation Cover Conversion	植被覆盖变化	J. Townshend	EDC DAAC

(2) MODIS 数据的 4 个等级和依赖关系 (图. 以陆地产品为例)

- 在 NASA 的 MODIS 产品计划中，共有 44 种标准产品。该计划在 1990 年代初期开始酝酿，在 2000 年初期实际生产时，只做了少量修改。如增加了 250m 连续植被覆盖率的连续场表达等。MODIS 1B 只是其中 1 个产品。它的产品编号为 MOD02。
- 但是 MODIS 1B 有特殊性：它是几乎所有陆地、海洋、大气产品生产的主要输入；此外，MODIS 1B 本身的 36 个波段和其它辅助数据，还可能提供其它标准产品所没有的信息。
- MODIS 的 44 种产品，根据数据特性，分为 4 个层次；这 4 个层次，按照数据格式的不同，采用了 2 种数据格式：Swath 和 GRID。其

中 Level 1~Level 2 采用 Swath; Level 2G~Level 4 采用 GRID.



(3) 2 种数据格式：

- MODIS level 1-2 数据采用 HDF / HDF-EOS 格式;
- MODIS level 2G-4 数据采用 GRID 格式;
- Swath 和 GRID 的区别：

(1) Swath：以“卫星”为参照系，主要是通过时间和时间间隔描述空间位置。它采用的时间系统为“国际原子时间 (International Atomic Time, TAI 93)”。该系统的开始时间为 1993 年 1 月 1 日，负值表示此前的时间，用时间间隔描述卫星每扫描一次 (一个 Swath) 的位置。

(2) GRID：以“地球”为参照系。GRID 总是与特定的地球投影联系，MODIS 采用了 SIN(ISIN) 地球投影系统。全球陆地被分割为 600 多个 Tile。与 Swath 的 Granule 类似。(本文此后不再讨论 GRID)。

(3) Swath 和 GRID 分别有不同的处理软件。

Level 1	Level 2	Level 2G	Level3	Level 4
以“卫星”为参照系： 数据结构：Swath 结构 数据实体： 5 分钟 Granule 2330 x 2340km (曲面) , 110 度扫描 有重复和遗漏		“地球”参照系：Integerized Sinusoidal projection 数据结构：GRID 数据实体：1200X1200 KM 的 Tile 10 x 10 度 (赤道) 全球 460 个 Tile, 其中陆地 326 个。		

3、狭义的 MODIS 数据：1B 的结构：HDF 与 HDF-EOS 的简单介绍

（1）主要信息源：MODIS 1B 标定工作组

MODIS Characterization Support Team (MCST) : <http://www.mcst.ssai.biz/mcstweb/index.html>

MCST 各工作组分类网站 : <http://www.mcst.ssai.biz/mcstweb/info/sitemap.html>

（2）. MODIS 1B 采用的标准数据格式（所有 EOSDIS 系统）：HDF-EOS

HDF 数据格式是 EOS 数据和信息系统核心系统（ECS—EOSDIS Core System）选用的数据格式。这种数据格式有利于不同计算机环境的科学数据共享。特点有：独立于操作平台，用户的可扩展性和内置元数据，如单元，标签及其它描述符号。数据可以是：多维矩阵、文本、表、光栅图、特定图形这 5 种数据类型的任意一种。C、FORTRAN 语言都可以访问和处理这种数据。

但是，EOS 工程数据有两个要求 HDF 数据格式不能直接支持：一是需要提供系统的整体搜索服务。EOS 平台所产生的数据量非常大，以至用户不能通过搜索众多文件，查询单个记录的方法来查找感兴趣的数据。因此，EOS 要求允许用户在没有读这些文件本身的情况下，能够搜索文件内容。二是需要有效的存储地理定位数据。科学数据可以不同的方法排列，如按卫星扫描的时间顺序排列，或地面的位置排列。HDF 数据对象没有一种简便的方法，使科学数据明确对应地面上的地理点。EOS 要求数据对象能以各种不同方式与地面上的地理点捆绑在一起。所以，EOSDIS（Earth Observing System Data and Information System）定义了一种扩展的 HDF 数据格式，称为 HDF-EOS 数据格式。HDF-EOS 与 HDF 主要区别在于 HDF-EOS 定义了 3 种地理定位数据类型 point、grid、和 swath，

使科学数据与地理点捆绑在一起。同时 HDF-EOS 也包含 ECS 核心元数据 ,ECS 核心原数据是 ECS 搜索服务的要素 , 满足了搜索服务的要求。

(3) HDF-EOS 中 , MODIS 1B 使用的扩展对象 : Swath.

下图 : 以卫星为参照系 , 以世界原子时间、卫星参数、传感器扫描角度等确定的坐标系统。在 Swath 系统中 , 虽然有定位坐标数据 , 但是还没有与地球上的位置配准。它对应的数据产品是 Granule 和数据轨道。在 Terra /Aqua-MODIS 系统中 , NASA 对 Granule 的定义为 “ 5 分钟内的数据 ” , 大约为 203 - 204 次扫描 , 对应的不同分辨率像元数目不同 : 1000m、500m、 250m 3 种分辨率 , 像元数分别为 2030 , 4060 , 8120。

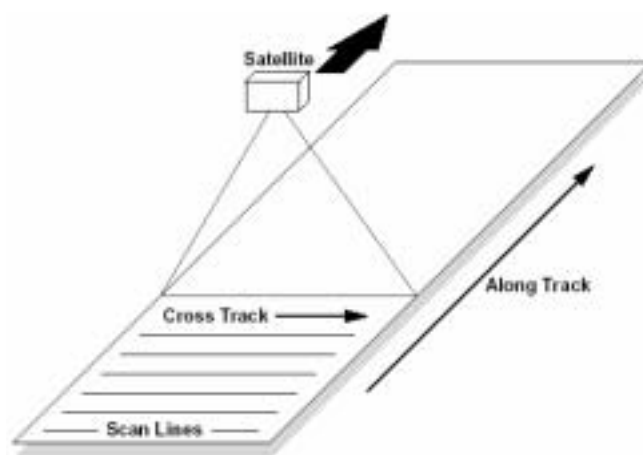


Figure 3.4. A Typical Satellite Swath: Scanning Instrument

(4) . HDF/HDF-EOS : 普通 MODIS 用户需要了解的知识 (下表)。

HDF 版本	HDF-EOS 版本	采用 HDF-EOS 的平台
HDF V4.X	HDF-EOS 2.X	Landsat 7 EOS-Terra/Aqua
HDF V5.X : 支持大数据量 , 并行处理等。	HDF-EOS 5.X	EOS-Aura

- HDF-EOS 已经被 EOSDIS 确定为 EOS 对地观测系统的标准。
- HDF 与 HDF-EOS 关系 : 后者是前者的扩展。HDF-EOS 2.X 是 HDF 4.X 的扩展 ; HDF-EOS 5.X 是 HDF 5.X 的扩展 ; 没有 HDF-EOS 3.X/4X。
- HDF 4.X 已经升级为 HDF 5.X , 以支持处理更大数据 (> 4GB) 和并行处理等 ; NASA 目前继续支持 HDF 4.X 格式 , 但是对其功能不做进一步开发。
- 某些数据格式之间有可能互相转换。
- 你可能检查你所使用数据的格式 : 如 , HDFExplorer.

(5) . HDF/HDF-EOS : 高级 MODIS 用户需要了解的知识 : 主要参考资料 :

- HDF-EOS Information Center: <http://hdfeos.gsfc.nasa.gov/hdfeos/index.cfm>

4、MODIS 1B : Bow-tie 现象与处理工具

(1) 什么是 Bow-tie , 为什么会有 Bow-tie ?

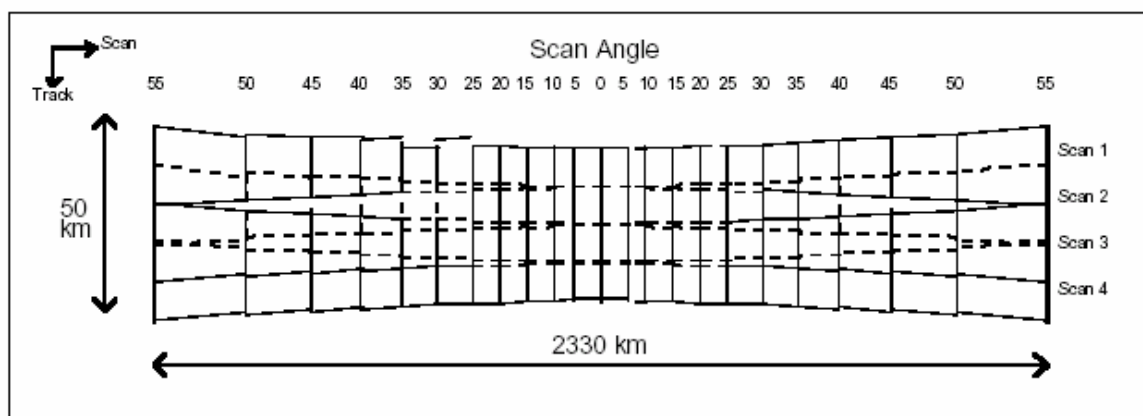


Figure 2-12. Panoramic Bow Tie Effect

Bow-tie 与卫星传感器的扫描方式有关。在与卫星行进方向垂直方向 ,传感器扫描范围 2330m , 偏离星下点的角度为 55 度。设想有个“正方体光柱”在星下点 (扫描角 0 度) 投影是边长为 250km 的正方形, 在 45 度时, 在卫星前进方向和垂直方向分别增大为 610x380m。重叠是很自然的: 角度越大, 重叠越严重。

(2) 去除 Bow-tie 的本质是 Swath – GRID 转换。

除了 ENVI 可以处理 Bow-tie 外, 还有其它软件也可以处理。需要指出的是, 许多软件并不是专门处理这一问题, 因为“Swath - Map”的转换本身就可以去除 Bow-tie。但是, 正如开始所指出的, 大部分这样的软件, 都是针对 NASA 的标准数据。有些 1B 数据, 可能需要首先转换格式才能执行。

(3) Swath 转换为 GRID 格式的软件工具。

主要网站: 浏览, 格式转换, 地图投影等工具。

美国:

<http://hdfeos.gsfc.nasa.gov/hdfeos/softwarelist.cfm>

<http://hdfeos.gsfc.nasa.gov/hdfeos/Info/index.cfm> (HDF/ HDF - EOS 资料大全: 从入门到专业级别都有)

<http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/tools.html>

<http://hdfeos.gsfc.nasa.gov/hdfeos/forum/categories.cfm?catid=15> (各种 HDF 工具使用的问题和讨论)

<http://hdf.ncsa.uiuc.edu/hdfeoss.html>

<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/> (MODIS Swath Reprojection Tool (MRT Swath))

<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/> (工具清单。如：HEG,)

俄罗斯：

The International MODIS/AIRS Processing Package (IMAPP)

<http://www.scanex.ru/eosdb/eosdb.htm> (俄罗斯：ENVI [modistools_envi.zip](#) 的来源)

<http://www.scanex.ru/eosdb/imapp.htm> (俄罗斯：把 IMAPP 转化为标准的 HDF-EOS：[imapp2daac.zip](#))

http://www.scanex.ru/downloads/imapp/imappw_um.htm#faq (有关 IMAPP 的问答)

Format Converters

[HDF-EOS Binary Dumper](#)

bindmp creates an output file which contains binary data for a specified 10/27/2001



HDF-EOS object.

Platform(s): DEC, SGI

Data Application(s): All Data Applications, gridded data, point data, swath data

License: SESDA

This tool will convert many EOS products written in HDF-EOS to GeoTIFF, native binary or HDF-EOS Grid. It also has re-projection, resampling, subsetting, stitching (mosaicing), and metadata creation capabilities. New features implemented since v0.6

02/12/2003



Platform(s): Linux, SGI, Sun, Windows

Data Application(s): ASTER, MISR, MODIS

License: ECS

[hdf2bin](#)

converts HDF or HDFEOS file into binary format. Information about the05/03/2002
extracted science data sets is printed to standard output (screen) or can be
saved to an ASCII file.



Platform(s): SGI, Sun, Win98, Win2000, WinNT

Data Application(s): All Data Applications

License: DAAC

[hdfEOS2bin](#)

This tool extracts data arrays from an HDF-EOS file and writes the arrays to 5/6/2003
separate flat binary data files.

Not rated

Platform(s): Win98, Win2000, WinNT, Unix

Data Application(s): All Data Applications

License: DAAC

Visualization Applications

Date Updated **Rating**
(mm/dd/yyyy)

UPDATED [HDF Explorer v1.3](#)

HDF Explorer is a data visualization program that reads Hierarchical Data Format files (HDF, HDF-EOS and HDF5) and netCDF files. 09/21/2004 Not rated

Platform(s): Win95, Win98, Win2000, WinNT

Data Application(s): All Data Applications

License: Commercial

[MODIS Swath-to-Grid Toolbox \(MS2GT\) v0.5](#)

The MODIS Swath-to-Grid Toolbox (MS2GT) is a set of software tools that can be used to read HDF-EOS files containing MODIS swath data and produce flat binary files containing gridded data in a variety of map projections. 05/07/2002 Not rated

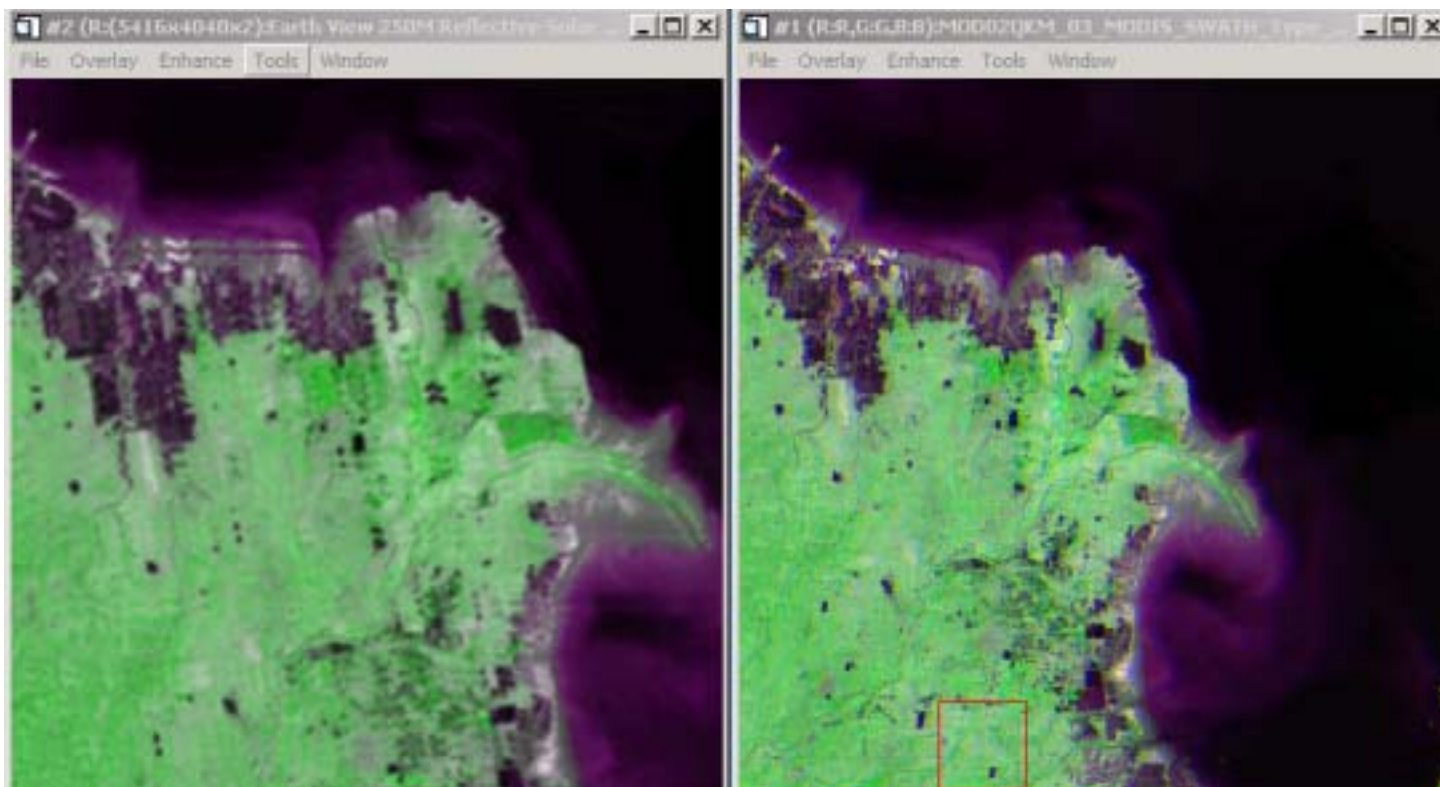
Platform(s): Linux, Unix

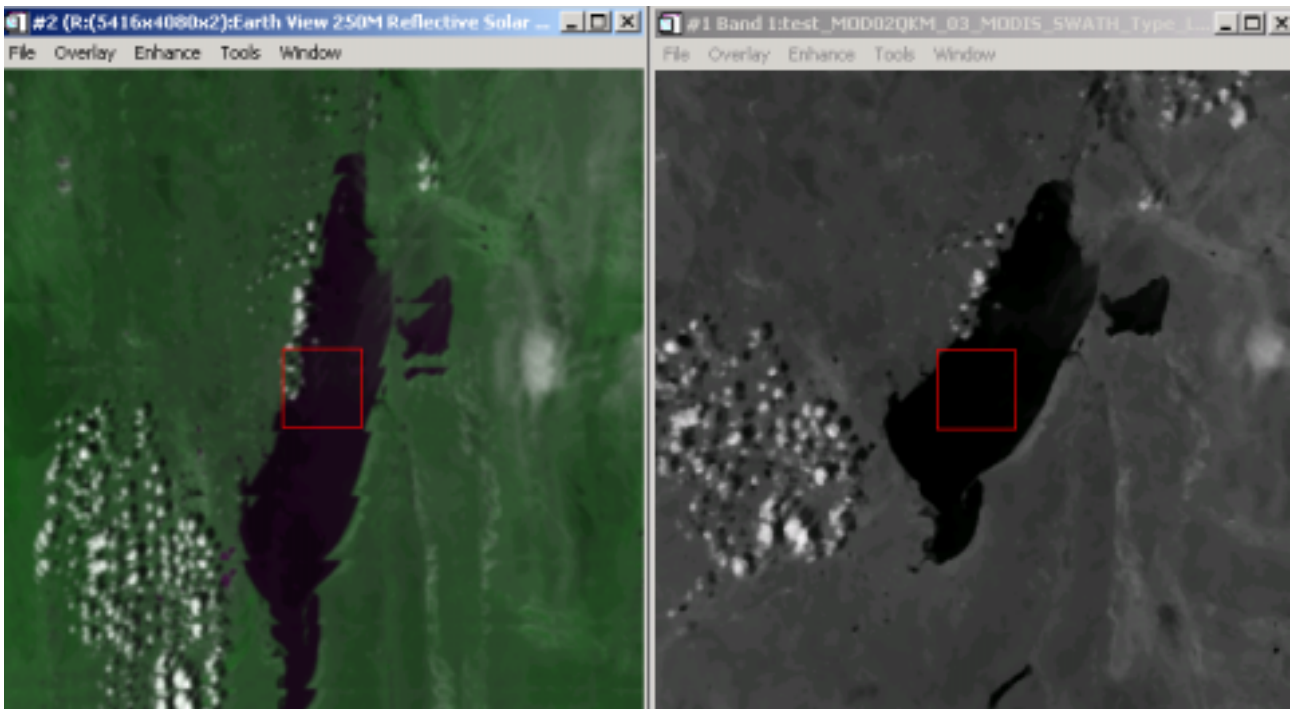
Data Application(s): MODIS, swath data

License: DAAC

(4) Swath-GRID 转换举例：Bow-tie 投影前后对比。

(黄河口与呼伦湖。原始数据格式为 HDF-EOS2.4，通过 HEG1.1 软件处理，MODIS 1~2 波段，250m)





HEG 软件是免费软件，目前的问题是，它只适用于 NASA 的 MODIS 数据标准（HDF-EOS 2.X 系列）。目前国内主要 MODIS 地面站提供的只是 HDF 4.X 版本的 1B 数据，可以用 ENVI 软件进行 Bow-tie 校正和地图投影转换。

有关 ENVI 3.4 版本以上附加的 MODIS Tools，实习课讲实际练习。

5、MODIS 1B 数据本身：MODIS 1B 用户手册摘要(下一讲)

MODIS 1B 数据用户指南（中文版）

第一章、序论

- 1.1 MODIS 1B 软件系统与本用户指南的目的
- 1.2 MODIS 1B 数据的生产

第二章、HDF-EOS 数据格式简介

- 2.1 MODIS 1B 文件中采用的 HDF 数据对象：科学数据集 (SDSs)；定长数据(Vdata)；文件(全局)属性。
- 2.2 从 HDF 到 HDF-EOS 的扩展：Swath 结构

第三章、MODIS 1B 地球视角数据产品

- 3.1 结构：文件分类
- 3.2 MODIS 1B HDF-EOS 地球产品的元数据
- 3.3 MODIS 1B 地球产品的科学数据
- 3.4 白天与夜间不同模式对产品的影响
- 3.5 地球视角数据量小结

第四章、程序与查找表版本号在元数据字段上的表达

- 4.1 PGEVERSION 元数据字段
- 4.2 ALGORITHMPACKAGEVERSION 元数据字段

第五章、地球视角数据产品科学数据集

- 5.1 术语含义
- 5.2 科学数据集中波段的排列顺序
- 5.3 产品文件中探测器的排列顺序
- 5.4 科学数据集：几个反射太阳波段的技术含义（物理意义）
 - 用经过尺度转换的整型数（Scaled Integer，SI）表达 dn^{**} 。
 - 计算反射太阳波段的反射产品
 - 计算反射太阳波段的辐射产品
 - 反射太阳波段的单位和属性
 - 由高分辨率到低分辨率的集成（Aggregation）
- 5.5 热辐射波段科学数据集的技术含义
 - 5.5.1 把辐射值的尺度转换为 16-bit 整数型
 - 5.5.2 热辐射波段科学数据单位和属性
- 5.6 数据质量保证：无效数据数值的标定
- 5.7 科学数据集的不确定性的表达

第六章、星上定标文件结构

第七章、	缩写词
第八章、	属语表
第九章、	参考文献
第十章、	第十章、索引

附 录：

A . 可以使用的 HDF 和 HDF 工具 :(主要网址)

A.1 可用 HDF

A.2 科学数据处理软件包 (SDP Toolkit)

A.3 HDF-EOS

A.4 可以读写、显示 HDF - EOS 文件的工具

A.4.1 HDF-EOS 标准、工具、与信息中心

A.4.2 EOSVIEW 软件

A.4.3 交互式数据语言 (IDL)

A.4.4 其它工具 (Research Systems Inc. 公司)

B . HDF - EOS SWATH 结构举例

C . 反射太阳波段地球视角数据产品

C.1 在 1B 中计算 dn^{**} 的算法

C.2 在 1B 中计算反射波段转换尺度和偏移 (scales and offsets) 的算法

C.3 在 1B 中计算辐射波段转换尺度和偏移 (scales and offsets) 的算法

C.4 从 dn^{**} 中计算 dn^{*}