

# Курс «Космическая картография»

## Лекция 11

### Формат астрономических файлов данных FITS. Эфемеридное обеспечение наземных наблюдений планет (JPL HORIZONS)

ver. 2013.11.19-2

Корохин Виктор Валентинович

[v.v.korokhin@gmail.com](mailto:v.v.korokhin@gmail.com)

Institute of Astronomy,  
Kharkiv V.N. Karazin National University, Ukraine

2013.11.19, Харьков

# План лекции

1. Краткий обзор формата FITS
2. Примеры FITS-файлов, используемых системой XIRIS
3. Пример FITS-заголовка файла космических данных (LRO WAC)
4. Эфемеридное обеспечение наземных наблюдений планет (HORIZONS system)
5. Пример обработки наземных фотометрических наблюдений Луны

# Краткий обзор формата FITS

# FITS

**FITS** (англ. **Flexible Image Transport System** – гибкая система передачи изображений) – цифровой формат файлов используемый в науке для хранения, передачи и редактирования изображений и их **метаданных** (сопроводительной информации).

Чаще всего FITS используется в астрономии. В отличие от других форматов изображений, FITS разработан специально для научных данных и потому, помимо собственно изображения, включает в себя **метаданные**, описывающие информацию, например, о фотометрической и пространственной калибровке, обстоятельствах наблюдений, историю обработки и проч.

Первый стандарт FITS опубликован в 1981 г. Последняя версия 3.0 (июль 2008). Официальный сайт FITS: <http://fits.gsfc.nasa.gov/>

FITS принят как международный астрономический стандарт, и используется большим количеством организаций. В том числе, он является основным форматом для нашей программной системы xIRIS.

## Изображение в FITS-файле

Под "изображением" понимается набор двоичных данных, расположенных на одной или более координатных осях, и имеющих общие параметры (такие, как наименование объекта, наблюдатель и т.д.).

Например, это может быть прямоугольная матрица. Элементом матрицы может быть целое или вещественное число. Или даже произвольно интерпретируемая байтовая запись.

Например, в FITS-файл может быть записано изображение, занимающее 999 координатных осей в стандартной или нестандартной системе координат.

В FITS-файле блока с изображением может и не быть.

## Метаданные (FITS-заголовки)

Каждый заголовок должен содержать минимальное количество параметров, необходимых для описания двоичных данных в файле, и представления их в виде массива (обязательные поля).

Кроме того, особенностью FITS есть то, что метаданные хранятся в удобочитаемом заголовке, формата ASCII. Это сделано для того, чтобы эти данные могла прочитать не только программа, но и любой пользователь, даже не имеющий специального программного обеспечения. Т.е. FITS-заголовки легко интерпретируются человеком.

Заголовок FITS состоит из ASCII строк фиксированной длины в 80 символов. Каждая строка состоит из пар ключ/значение. В парах ключ/значение записана информация о размере, происхождении, координатах, формате двоичных данных, комментариях в свободной форме, истории изменений данных и о всём что автор посчитал нужным: в дополнение к зарезервированным ключам, можно произвольным образом использовать не занятые названия ключей.

# Пример FITS-заголовка

```

SIMPLE = T / FILE CONFORMS TO FITS STANDART
BITPIX = -32 / FITS BITS/PIXEL
NAXIS = 2 / NUMBER OF AXES
NAXIS1 = 1178 / NUMBER OF POINTS ALONG AXE 1
NAXIS2 = 1300 / NUMBER OF POINTS ALONG AXE 2
EXTEND = F / FILE MAY CONTAIN EXTENSIONS
BUNIT = 'W/(M^2 SEC)' / PHYSICAL UNITS OF THE DATA
BSCALE = 1.0 /
BZERO = 0.0 /
CDELT1 = 3.27119607411228 /
CDELT2 = 3.27119607411228 /
CRPIX1 = 584.1 / X-COORDINATE OF THE REFERENCE PIXEL
CRPIX2 = 663.1 / Y-COORDINATE OF THE REFERENCE PIXEL
CRVAL1 = 0.0 / REAL X-COORD. OF THE REFERENCE PIXEL
CRVAL2 = 0.0 / REAL Y-COORD. OF THE REFERENCE PIXEL
CTYPE1 = 'X' /
CTYPE2 = 'Y' /

```

SWAPPED = F /  
BLANK = 0.0 /  
CFORM1 = 'G8' /  
CFORM2 = 'G8' /  
BFORM = 'G8' /  
RAW\_TYPE= 'CRW' /  
DATE-OBS= '2006-10-07T23:02:20.000' / DATE AND TIME OF OBSERVATION  
EXPOSURE= 0.0125819557183535 /  
ISO = 100 /  
X\_OFFSET= 64 /  
Y\_OFFSET= 12 /  
HISTORY Converted from Canon raw image  
COMMENT Color system is Bayer RGGB



# Физическая организация FITS-файлов

Общий размер FITS-файла всегда кратен 2880 восьмибитовых байт (сложилось исторически).

Каждый FITS файл имеет один или несколько заголовков, содержащих ASCII строки (фиксированной длины в 80 символов). Заголовок обязательно заканчивается ключевым словом **END**.

После заголовка идет блок (блоки) двоичных данных. Изображения всегда начинается с начала 2880-байтового блока. Пространство между концом заголовка и началом изображения заполняется нулями.

FITS также часто используется, чтобы хранить просто информацию без изображений (данные о спектрах, матрицы, или даже структурированную информацию, типа баз данных). FITS файл может содержать несколько блоков, и каждый из них может содержать по объекту. Например, в одном файле можно хранить обычную фотографию, рентгеновские и инфракрасные снимки.

Стандартное расширение FITS-файлов: **.fits**, **.fit**, **.fts**.

# Минимальный FITS-заголовок

```

SIMPLE =                               T / FILE CONFORMS TO FITS STANDART
BITPIX =                               -32 / FITS BITS/PIXEL
NAXIS  =                               2 / NUMBER OF AXES
NAXIS1 =                               1178 / NUMBER OF POINTS ALONG AXE 1
NAXIS2 =                               1300 / NUMBER OF POINTS ALONG AXE 2

END

```

BITPIX	Название	Байт	Тип
-64	Вещественное двойной точности	8	double
-32	Вещественное одинарной точности	4	single
8	Целое однобайтовое	1	byte
16	Целое двубайтовое	2	Int16
32	Целое четырехбайтовое	4	Int32

# Вещественные оси

CDELTA1 = 3.27119607411228 / KM PER PIXEL  
CDELTA2 = 3.27119607411228 / KM PER PIXEL  
CRPIX1 = 584.1 / X-COORDINATE OF THE REFERENCE PIXEL  
CRPIX2 = 663.1 / Y-COORDINATE OF THE REFERENCE PIXEL  
CRVAL1 = 0.0 / REAL X-COORD. OF THE REFERENCE PIXEL  
CRVAL2 = 0.0 / REAL Y-COORD. OF THE REFERENCE PIXEL  
TUNIT1 = 'KM' / THE PHYSICAL UNIT OF X-COORDINATE  
TUNITY = 'KM' / THE PHYSICAL UNIT OF Y-COORDINATE

# **Примеры FITS-файлов, используемых системой XIRIS**

# Поля, определяющие обстоятельства наземных наблюдений (эфемериды)

DATE-OBS= '2006-10-07T23:25:14.000' / DATE AND TIME OF OBSERVATION

GEO\_LAT = 38.6722 / GEO. LAT. OF OBSERVER (DEG)

GEO\_LONG= 66.8972 / GEO. LONG. OF OBSERVER (DEG)

GEO\_HGHT= 2565.0 / GEO. HEIGHT OF OBSERVER (M)

RA\_OBJ = 20.941087603569 / OBJ. RA (DEG)

DEC\_OBJ = 10.8767499923706 / OBJ. DECLINATION (DEG)

PA\_OBJ = -20.4942436218262 / OBJ. POSITION ANGLE (DEG)

HA = 338.567562103271 / OBJ. REFRACTED HOUR ANGLE (DEG)

ZD = 33.7250747680664 / OBJ. REFRACTED ZENITH DISTANCE (DEG)

OBJ\_PHAS= 9.24219799041748 / OBJ. PHASE ANGLE (DEG)

OBJ\_OLAT= -2.66905117034912 / PLANETOCENTRIC OBSERVER LAT. (DEG)

OBJ\_OLON= 2.64756274223328 / PLANETOCENTRIC OBSERVER LONG. (DEG)

OBJ\_OD = 353424.71875 / PLANETOCENTRIC OBSERVER DISTANCE (KM)

OBJ\_SLAT= -0.537781774997711 / PLANETOCENTRIC SUN LAT. (DEG)

OBJ\_SLON= -6.34959125518799 / PLANETOCENTRIC SUN LONG. (DEG)

OBJ\_SD = 149838368.0 / PLANETOCENTRIC SUN DISTANCE (KM)

# Поля, задающие перспективную проекцию

```
PROJECTN= 'perspective' / PROJECTION NAME
PRJ_B0 = -2.66905117034912 / LATITUDE OF PLANET CENTER (DEG)
PRJ_L0 = 2.64756274223328 / LONGITUDE OF PLANET CENTER (DEG)
PRJ_PA = -19.3619849949382 / PLANET POSITION ANGLE (DEG)
PRJ_R = 1737.4 / SPHERICAL PLANET RADIUS (KM)
PRJ_D = 353424.71875 / PLANET DISTANCE (KM)
PRJ_PSI = 0.0 / AZIMUTH OF POINTING DIR. DECLIN. (DEG)
PRJ_RHO = 0.0 / POINTING DIRECTION DECLINATION (DEG)
```

# Поля, задающие цилиндрическую проекцию

```
CDELTA1 = 0.0025 / DEG PER PIXEL
CDELTA2 = 0.0025 / DEG PER PIXEL
CRPIX1 = -11965.0 / X-COORDINATE OF THE REFERENCE PIXEL
CRPIX2 = -12886.0 / Y-COORDINATE OF THE REFERENCE PIXEL
CRVAL1 = 0.0 / REAL X-COORD. OF THE REFERENCE PIXEL
CRVAL2 = 0.0 / REAL Y-COORD. OF THE REFERENCE PIXEL
CTYPE1 = 'Lon      '
CTYPE2 = 'Lat      '
PROJECTN= 'cylindrical'
```

# Пример FITS-заголовка файла космических данных (LRO WAC)

Data\Space\_Data\LRO\WAC\M1444.01-WT-DEMO CP TC\  
**Alb.M144422278CC-56.7 SL0-604.FTS**



# **Эфемеридное обеспечение наземных наблюдений планет**


# HORIZONS system

Эфемеридная служба HORIZONS предоставляется  
Solar System Dynamics Group  
лаборатории Jet Propulsion Laboratory.

Основной сайт: <http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>

Web-интерфейс: <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi#top>

# Основная страница Web-интерфейса




**Jet Propulsion Laboratory**  
California Institute of Technology

+ View the NASA Portal  
+ Near-Earth Object (NEO) Program

Search JPL

JPL HOME
EARTH
SOLAR SYSTEM
STARS & GALAXIES
TECHNOLOGY



Solar System Dynamics

BODIES
ORBITS
EPHEMERIDES
TOOLS
PHYSICAL DATA
DISCOVERY
FAQ
SITE MAP

## HORIZONS Web-Interface

This tool provides a web-based *limited* interface to JPL's [HORIZONS system](#) which can be used to generate ephemerides for solar-system bodies. Full access to [HORIZONS](#) features is available via the primary [telnet interface](#). [HORIZONS system news](#) shows recent changes and improvements. A [web-interface tutorial](#) is available to assist new users.

### Current Settings


Ephemeris Type [\[change\]](#) : **OBSERVER**  
 Target Body [\[change\]](#) : **Moon [Luna]** [301]  
 Observer Location [\[change\]](#) : user defined ( **66°53'49.9"E, 38°40'19.9"N, 2565 m** )  
 Time Span [\[change\]](#) : discrete time(s)=**2006-10-07 18:25:20**  
 Table Settings [\[change\]](#) : QUANTITIES=**2,4,13-15,17,20,24**; angle format=**DEG**; range units=**KM**  
 Display/Output [\[change\]](#) : *default* (formatted HTML)

Generate Ephemeris

### Special Options:


- [set default ephemeris settings](#) (preserves only the selected target body and ephemeris type)
- [reset all settings to their defaults](#) (caution: all previously stored/selected settings will be lost)
- [show "batch-file" data](#) (for use by the [E-mail interface](#))

ABOUT SSD
CREDITS/AWARDS
PRIVACY/COPYRIGHT
GLOSSARY
LINKS



Your First Click to the U.S. Government

2013-Nov-18 17:08 UT  
(server date/time)



Site Manager: Donald K. Yeomans  
Webmaster: Alan B. Chamberlin

## Table Settings

- |  |  |  |
|--|--|--|
| 1. <input type="checkbox"/> Astrometric RA & DEC                         | 16. <input type="checkbox"/> Sub-Sun position angle & distance               | * 31. <input type="checkbox"/> Observer ecliptic lon. & lat. |
| * 2. <input checked="" type="checkbox"/> Apparent RA & DEC               | 17. <input checked="" type="checkbox"/> North Pole position angle & distance | 32. <input type="checkbox"/> North pole RA & DEC             |
| 3. <input type="checkbox"/> Rates; RA & DEC                              | 18. <input type="checkbox"/> Heliocentric ecliptic lon. & lat.               | 33. <input type="checkbox"/> Galactic longitude & latitude   |
| * 4. <input checked="" type="checkbox"/> Apparent AZ & EL                | 19. <input checked="" type="checkbox"/> Heliocentric range & range-rate      | 34. <input type="checkbox"/> Local apparent SOLAR time       |
| 5. <input type="checkbox"/> Rates; AZ & EL                               | 20. <input checked="" type="checkbox"/> Observer range & range-rate          | 35. <input type="checkbox"/> Earth->obs. site light-time     |
| 6. <input type="checkbox"/> Satellite X & Y, pos. angle                  | 21. <input type="checkbox"/> One-way (down-leg) light-time                   | > 36. <input type="checkbox"/> RA & DEC uncertainty          |
| 7. <input type="checkbox"/> Local apparent sidereal time                 | 22. <input type="checkbox"/> Speed wrt Sun & observer                        | > 37. <input type="checkbox"/> Plane-of-sky error ellipse    |
| 8. <input type="checkbox"/> Airmass                                      | 23. <input type="checkbox"/> Sun-Observer-Target ELONG angle                 | > 38. <input type="checkbox"/> POS uncertainty (RSS)         |
| 9. <input type="checkbox"/> Visual mag. & Surface Bright                 | 24. <input checked="" type="checkbox"/> Sun-Target-Observer ~PHASE angle     | > 39. <input type="checkbox"/> Range & range-rate 3-sigmas   |
| 10. <input type="checkbox"/> Illuminated fraction                        | 25. <input type="checkbox"/> Target-Observer-IB / IB_illum%                  | > 40. <input type="checkbox"/> Doppler & delay 3-sigmas      |
| 11. <input type="checkbox"/> Defect of illumination                      | 26. <input type="checkbox"/> Observer-Primary-Target angle                   | 41. <input type="checkbox"/> True anomaly angle              |
| 12. <input type="checkbox"/> Satellite angular separ/vis.                | 27. <input type="checkbox"/> Sun-Target radial & -vel pos. angle             | 42. <input type="checkbox"/> Local apparent hour angle       |
| 13. <input type="checkbox"/> Target angular diameter                     | 28. <input type="checkbox"/> Orbit plane angle                               | 43. <input type="checkbox"/> PHASE angle & bisector          |
| 14. <input checked="" type="checkbox"/> Observer sub-lon & sub-lat       | 29. <input type="checkbox"/> Constellation ID                                |  |
| 15. <input checked="" type="checkbox"/> Sun sub-longitude & sub-latitude | 30. <input type="checkbox"/> Delta-T (CT - UT)                               |  |

## Optional observer-table settings:

date/time format :	Calendar Date/Time ▼ -- display date/time in year-month-day and/or Julian-day format
time digits :	minutes (HH:MM) ▼ -- controls output precision of time
angle format :	decimal degrees ▼ -- select RA/Dec output format
output units :	km & km/s ▼ -- units for most output quantities
range units :	Kilometers ▼ -- units for range-type quantities
refraction model :	airless model (no refraction) ▼ -- select atmospheric refraction model
airmass limit :	<input type="text"/> -- suppress output when airmass is greater than this limit [1,38]
elevation cutoff :	<input type="text"/> (deg) -- suppress output when object elevation is less than this limit [-90,90]
solar elong. limits :	<input type="text"/> - <input type="text"/> (deg) -- suppress output when solar elongation is outside this range
hour angle cutoff :	<input type="text"/> (h) -- suppress output when the local hour angle exceeds this value [0,12]
suppress range-rate :	<input type="checkbox"/> -- suppress range-rate for range/range-rate output
skip daylight :	<input type="checkbox"/> -- suppress output during daylight
extra precision :	<input type="checkbox"/> -- output addition digits for RA/Dec quantities
RTS flag :	disable ▼ -- output data only at target rise/transit/set (RTS)
reference system :	ICRF/J2000.0 ▼ -- reference frame for geometric and astrometric quantities
CSV format :	<input type="checkbox"/> -- output data in Comma-Separated-Values (CSV) format
object page :	<input checked="" type="checkbox"/> -- include object information/data page on output

# Соответствие параметров FITS и эфемерид

RA\_OBJ = R.A.

DEC\_OBJ = DEC

PA\_OBJ = NP.ang; если NP.ang > 180°, то PA\_OBJ = NP.ang - 360°

HA =

ZD = 90° - Elev

OBJ\_PHAS= S-T-O

OBJ\_OLAT= Obsrv-lat

OBJ\_OLON= Obsrv-lon

OBJ\_OD = delta

OBJ\_SLAT= Solar-lat

OBJ\_SLON= Solar-lon

OBJ\_SD = r

## Соответствие параметров FITS и эфемерид (перспективная проекция)

PRJ\_B0 = Obsrv-lat

PRJ\_L0 = Obsrv-lon

PRJ\_PA = NP.ang; если NP.ang > 180°, то PA\_OBJ = NP.ang - 360°

PRJ\_R = 1737.4

PRJ\_D = delta

PRJ\_PSI = 0.0

PRJ\_RHO = 0.0

# Пример обработки наземных фотометрических наблюдений Луны

Data\Majd-2006.Obs\2006.10.07b\Ephem.Test\!CRW\_6460!!!.fts



## **Задания для самостоятельной работы**

- 1. Изучить, как можно в FITS хранить многомерные массивы с разной размерностью.**
- 2. Изучить FITS с EXTENSIONS.**
- 3. Найти способ получения часового угла объекта (параметр HA), используя HORIZONS.**

## Список источников

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/FITS>
2. The FITS Support Office: <http://fits.gsfc.nasa.gov/>
3. Программный комплекс xIRIS:  
<http://www.astron.kharkov.ua/dslpp/iris/xiris.htm>

**Ура! Это всё!**