

УДК 520, 523.9

Анализ на IDL солнечных данных КрАО

А.В. Борисенко

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, Крым, 298409
sunw77@mail.ru

Поступила в редакцию 1 октября 2016 г.

Аннотация. В 90-е годы в лаборатории физики Солнца КрАО разработана программа CARD (язык IDL, Widget) для обработки и анализа спектральных наблюдений, выполненных на универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2. CARD-программа дополнена процедурами работы с солнечными данными (космические и наземные инструменты): калибровка SDO/HMI-доплерограмм с учетом лучевых скоростей дифференциального вращения Солнца и движения спутника, получение гелиографических координат из FITS-изображений (SDO, SOHO, BBSO и др.) для построения синоптических карт, FITS-просмотрщик изображений SDO.

IDL-BASED SOLAR DATA ANALYSIS CARRIED OUT AT CRAO, by *A.V. Borisenko*. In the 90s at the Laboratory of Solar Physics (CrAO) the CARD software (IDL language, Widget) was developed to process and analyze spectral observations obtained with a universal spectrophotometer at the BST-2 telescope. The CARD software was supplemented with procedures to improve work with solar data (space and ground-based instruments): calibration of SDO/HMI dopplergrams taking into account radial velocities of the differential solar rotation and satellite motion; it became possible to determine the heliographic coordinates from FITS-images (SDO, SOHO, BBSO, etc.) to construct synoptic maps; a FITS-viewer for SDO images was developed.

Ключевые слова: Солнце, вращение, лучевая скорость, SDO, IDL, доплерограмма

1 Введение

Более 30 лет язык программирования IDL широко используется для обработки, анализа, визуализации данных наблюдений благодаря простоте программирования, развитым возможностям (множество библиотек, написанных для разных научных областей), быстрому получению результатов (в интерактивном режиме).

Библиотека ASTROLIB, разработанная NASA/GSFC в 90-е годы для работы с FITS-файлами, сыграла решающую роль в популярности IDL в астрономии, в частности, в солнечной физике. Большинство процедур и функций для работы с FITS-файлами в современной библиотеке SOLARSOFT (обработка и анализ солнечных данных множества космических и наземных инструментов) основаны на ASTROLIB. Как и во многих других научных учреждениях, сотрудники лаборатории физики Солнца КрАО все чаще используют IDL для решения научных задач.

Программное обеспечение CARD разработано на IDL в 90-е годы сотрудниками лаборатории физики Солнца КрАО под руководством Н.Н. Степанян.

CARD применяется для обработки и анализа спектральных наблюдений, выполненных на универсальном спектрофотометре телескопа БСТ-2. Для работы с FITS-файлами используется библиотека ASTROLIB, которая предъявляет меньше требований к современному программному и аппаратному обеспечению, чем SOLARSOFT. К настоящему времени сотрудниками лаборатории программный комплекс CARD дополнен разными процедурами для обработки, калибровки, анализа современных наземных и космических солнечных данных.

Для определения лучевых скоростей по SDO/HMI-доплерограммам возникла необходимость внедрить в программный комплекс CARD процедуры, учитывающие вращение Солнца и движения спутника.

Целью настоящей работы является дополнение программы CARD соответствующими процедурами калибровки SDO/HMI-доплерограмм.

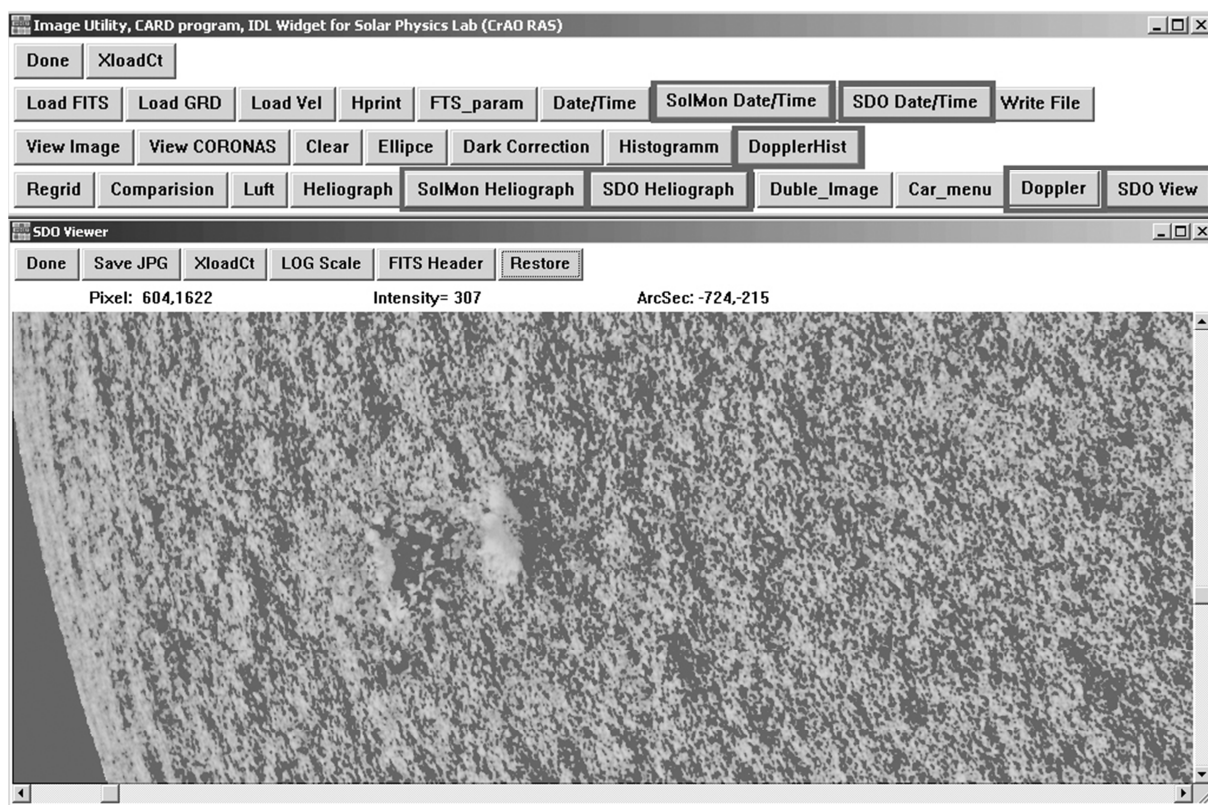


Рис. 1. IDL-программа CARD (лаборатория физики Солнца КрАО)

На рис. 1 показаны главное окно программы CARD (прямоугольниками выделены IDL-процедуры автора) и пример откалиброванной SDO/HMI-доплерограммы с помощью процедуры Doppler в окне FITS-просмотрщика изображений SDO.

Для программы CARD автором были разработаны следующие IDL-процедуры:

1. Процедура Doppler предназначена для калибровки SDO/HMI-доплерограмм с учетом лучевых скоростей дифференциального вращения Солнца и движения SDO-спутника.

2. Процедура SDO View является FITS-просмотрщиком изображений SDO и других инструментов с получением JPEG-файлов.
3. Процедура SolMon Date/Time вычисляет необходимые параметры из FITS-заголовка данных SolarMonitor (<https://www.solarmonitor.org/>), SOHO, BBSO и других инструментов для дальнейшего получения гелиографических координат областей на Солнце.
4. Процедура SDO Date/Time вычисляет необходимые параметры из FITS-заголовка данных SDO для дальнейшего получения гелиографических координат областей на Солнце.
5. Процедура DopplerHist строит гистограмму для анализа SDO/HMI-доплерограмм.
6. Процедура SolMon Heliograph получает гелиографические координаты областей на Солнце из FITS-изображений SolarMonitor (<https://www.solarmonitor.org/>), SOHO, BBSO и др. для построения синоптических карт.
7. Процедура SDO Heliograph получает гелиографические координаты областей на Солнце из FITS-изображений SDO для построения синоптических карт.

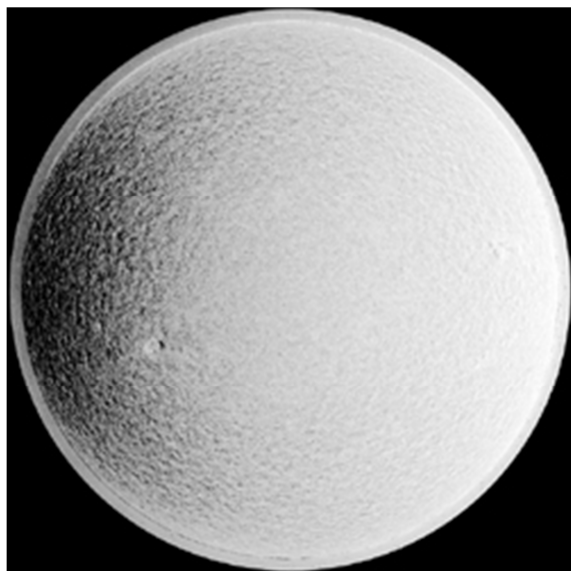


Рис. 2. SDO/HMI-доплерограмма (617.3 нм) до работы процедуры Doppler

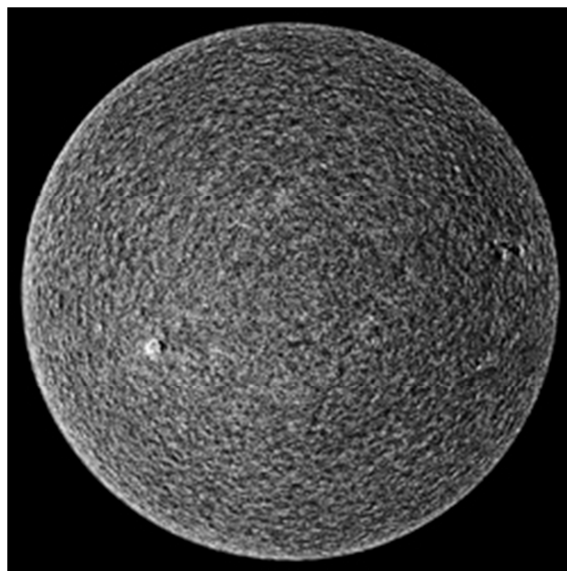


Рис. 3. SDO/HMI-доплерограмма (617.3 нм) после работы процедуры Doppler

2 Методы

Процедура Doppler служит для калибровки FITS-файлов SDO/HMI-доплерограмм (hmi.V_45s, hmi.V_720s, 4096 × 4096 pixels).

Для каждого FITS-файла SDO/HMI-доплерограммы калибровка включает: нахождение лучевой скорости дифференциального вращения Солнца (с помощью тригонометрических вычислений), получение лучевой скорости SDO спутника из FITS-заголовка (OBS_VR Key) и вычитание этих скоростей из исходного доплеровского сигнала с последующей записью в новый FITS-файл SDO/HMI-доплерограммы.

Скорость дифференциального вращения Солнца определялась по формуле (Говард, Харви, 1970; Кокс, 2002):

$$\omega = A + B \sin^2(\varphi) + C \sin^4(\varphi),$$

где ω – угловая скорость вращения Солнца (градусов/сутки), φ – солнечная широта (градусы), A, B, C – константы.

На рис. 2 представлена исходная SDO/HMI-доплерограмма полного диска Солнца. Доплеровский сигнал включает вращение самого Солнца и движение спутника вокруг Солнца. Темный цвет соответствует движению в направлении наблюдателя, светлый – от наблюдателя. Полученные изображения малопригодны для измерений лучевых скоростей собственных движений солнечного вещества.

После обработки данных процедурой Doppler получена доплерограмма, на которой стали отчетливо видны на диске Солнца крупномасштабные конвективные движения супергранул и 5-минутные волновые осцилляции (рис. 3).

На изображении Солнца темному цвету соответствует подъем вещества, светлому – опускание.

3 Выводы

В лаборатории физики Солнца КрАО были разработаны процедуры для обработки и анализа SDO/HMI-доплерограмм. Помимо решения задач гелиосейсмологии – основного направления продуктов SDO/HMI Dopplergrams – стало возможным получение новых научных результатов в изучении нестационарных явлений в солнечной атмосфере (вспышек, волокон, корональных дыр), а также магнитных образований солнечных активных областей.

Программа CARD дополнена новыми возможностями для обработки и анализа солнечных данных, получаемых с SDO (см. рис. 1):

1. Измерение лучевых скоростей подъема и опускания вещества по калиброванным SDO/HMI-доплерограммам после работы процедуры Doppler.
2. Получение гелиографических координат областей на Солнце для SDO, SOHO и других FITS-изображений космических и наземных инструментов с некоторыми ограничениями на пространственное разрешение на базе имеющихся программно-аппаратных средств лаборатории. Процедуры SDO Heliograph, SolMon Heliograph.
3. Получение JPEG-изображений FITS-файлов. Процедура SDO View.

Автор благодарит команду SDO за доступ к данным в сети Интернет, разработчиков замечательного языка программирования IDL, сотрудников лаборатории физики Солнца КрАО (Н.Н. Степанян, А. Куценко и др.) за советы и помощь, Е. Маланушенко за разработку программы CARD.

Литература

- Говард, Харви (Hovard R., Harvey J.) // Solar Phys. 1970. V. 12. P. 23.
Кокс (Cox A.N.) // Allen's Astrophysical Quantities. Springer. 2002. P. 362.