

УДК 520.88:524.827

## UNIVIEWER - УТИЛИТА ДЛЯ БЫСТРОЙ ИНТЕРАКТИВНОЙ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАРТ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПИКСЕЛИЗАЦИИ HEALPix

© 2010 Ш.М. Мингалиев<sup>1</sup>, В.А. Столяров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия<sup>1</sup>

<sup>2</sup>Astrophysics Group, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, JJ Thomson Avenue, Cambridge, CB3 0NE, UK<sup>2</sup>

Поступила в редакцию 8 декабря 2009 г.; принята в печать 12 марта 2009 г.

Описывается утилита **Univiewer**, предназначенная для визуализации небесных карт в пикселизации *HEALPix*, которая широко используется при обработке данных в различных экспериментах по наблюдению реликтового излучения (РИ). Утилита позволяет просматривать карты формата FITS, содержащие одну или несколько карт в формате *HEALPix* со значениями температуры, интенсивности, параметров Стокса, величины накопления в пикселях и т.д., интерактивно изменять параметры визуализации, накладывать координатную сетку, проектировать участки небесной сферы на плоскость для подробного анализа, рассчитывать спектры мощности. Утилита использует межплатформенные библиотеки OpenGL и wxWidgets.

Ключевые слова: *методы астрономических наблюдений*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

С момента открытия космического микроволнового реликтового излучения (РИ) астрофизики постоянно совершенствовали методы его регистрации, вследствие чего объём получаемой в результате наблюдений информации вырос на много порядков. Одним из последних инструментов для наблюдения РИ является запущенный в мае 2009 года спутник с телескопом Planck<sup>1</sup> [1] на борту; карты распределения анизотропии РИ, которые планируется получать в этом эксперименте, будут содержать до 50 миллионов точек. Для хранения и обработки таких объемов информации предлагались различные алгоритмы и форматы данных.

В настоящее время особенно широкое распространение получил формат *HEALPix*<sup>2</sup> [2], описывающий способ разбиения сферы на пиксели. В астрофизике и космологии этот формат используется для хранения результатов наблюдений в радиодиапазоне. Например, результаты эксперимента *WMAP*<sup>3</sup> [3] почти полностью представлены

картами в пикселизации *HEALPix*, хранящимися в файлах формата FITS<sup>4</sup> [4].

В процессе обработки и анализа карт анизотропии РИ возникает необходимость быстрого просмотра обрабатываемой карты, визуального сравнения двух карт, изменения выводимого на экран диапазона значений температуры и т.д. Существующие средства визуализации карт не обладают достаточной скоростью вывода на экран и/или не реализуют требуемую функциональность. Также, большинство существующих средств не функционирует в win32/win64 среде.

Из существующих средств визуализации карт *HEALPix* стоит отметить SkyViewer<sup>5</sup>. Функциональность SkyViewer практически идентична функциональности Univiewer, однако предоставляемая первой из них скорость построения и вывода на экран изображения (вследствие особенности используемых структур данных) недостаточна для быстрой работы с большими (более 12 миллионов пикселей) картами.

Было решено, что оптимальным (с точки зрения быстродействия) способом интерактивной визуализации является построение цилиндрической эк-

<sup>1</sup>E-mail:shem@sao.ru, vlad@sao.ru

<sup>2</sup>E-mail:vlad@ast.cam.ac.uk

<sup>3</sup><http://www.rssd.esa.int/index.php?project=Planck>

<sup>4</sup><http://healpix.jpl.nasa.gov/>

<sup>5</sup><http://map.gsfc.nasa.gov/>

<sup>4</sup><http://lambda.gsfc.nasa.gov/>

<sup>5</sup>[http://lambda.gsfc.nasa.gov/toolbox/tb\\\_skyviewer\\\_ov.cfm](http://lambda.gsfc.nasa.gov/toolbox/tb\_skyviewer\_ov.cfm)

видистантной проекции карты в формате *HEALPix* и последующий вывод на экран этой проекции методами OpenGL. Данный способ позволяет просматривать большие, вплоть до  $N_{side} = 2048$  (50 млн. пикселей размером около 1.7 угл. минут, для чего требуется минимум 192 Мб оперативной памяти) карты в интерактивном режиме.

Анонсируемая утилита **Univiewer** предназначена для визуального просмотра карт в формате *HEALPix* с различной степенью детализации. Карта выводится на экран в виде сферы, которую пользователь может вращать, “приближать” и “удалять” стрелками или мышью. Дополнительные возможности программы включают в себя синхронное вращение нескольких карт, изменение диапазона выводимых значений температуры излучения, наложение координатной сетки, расчёт спектра мощности и его вывод в ASCII-файл, создание гномонической (центральной) проекции части сферы на плоскость и сохранение её как в FITS-формате, так и в виде графического файла, а также расчёт спектра мощности по данной части сферы.

Программа работает с FITS файлами с одним или несколькими binary table XTENSION в которых хранятся *HEALPix* карты. Добавление поддержки иного метода хранения *HEALPix* карт в FITS файлах (Basic FITS и т.д.) в данный момент не планируется. Также, в существующей версии программы (v1.7) не планируется добавление формата *GLESP*<sup>6</sup>.

Для работы с FITS файлами используются библиотеки *cfitsio*<sup>7</sup> [5] и *CCfits*<sup>8</sup> [6].

Программа реализована на языке C++. Для реализации графического интерфейса используется межплатформенная библиотека *wxWidgets*<sup>9</sup>, что позволяет программе функционировать на MacOS, любой OS Linux и любой OS Windows [7].

Утилита **Univiewer**<sup>10</sup> может использоваться как демонстрационный инструмент при проведении семинаров по теме микроволнового реликтового излучения.

## 2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

### 2.1. Интерфейс

Графический интерфейс с пользователем реализован вызовами к библиотеке *wxWidgets*. Основное окно программы разделено на две части.

В верхней части выводится древовидный список выведенных объектов - открытых карт в формате *HEALPix*, графиков со спектрами мощности, участков карты в центральной проекции. В нижней части выводится служебная информация о текущем объекте, с которым работает пользователь, для карт *HEALPix* это параметр разрешения  $N_{side}$ , связанный с числом пикселей на сфере как  $N_{pix} = 12 \times (N_{SIDE})^2$ , а также тип размещения пикселей (кольцевая **ring** или вложенная **nested** схема), система координат (галактическая, экваториальная или эклиптическая) и некоторые другие параметры.

Каждая карта *HEALPix* выводится в отдельном окне, где пользователь может её поворачивать, изменять масштаб, диапазон выводимых значений, накладывать координатную сетку и изменять её шаг, запускать расчёт спектра мощности. Скриншот окна с картой можно сохранить в виде графического файла в формате JPEG<sup>11</sup>, что полезно при подготовке статей и презентаций. Допускается синхронное вращение нескольких карт путём выделения их названий в верхней части основного окна. Это очень полезно, например, при сравнении интенсивности астрофизических компонент на различных частотах наблюдений.

Пользователь может увеличить интересующий участок сферы и создать его центральную проекцию на плоскость для подробного изучения. В открывшемся окне допускаются те же операции, что и с картой *HEALPix* — изменение масштаба, изменение диапазона выводимых значений температуры, расчёт спектра мощности. Кроме того, карту можно сохранить в виде 2D Basic FITS файла или в виде графического файла.

При расчёте спектра мощности по всей карте *HEALPix* или по спроецированному участку он выводится в отдельное окно, где можно менять нормировку - обычные  $C_l$ , COBE-нормировка  $l(l+1)C_l/2\pi$  или квадратный корень этих значений  $\sqrt{l(l+1)C_l/2\pi}$ . Если расчёт проводится по участку сферы, то результатом вычисления является осреднение по азимуту в uv-плоскости фурье-спектра выбранной площадки. Полученный спектр мощности можно вывести в ASCII-файл для последующего анализа.

### 2.2. Вывод карт

В утилите **Univiewer** карты *HEALPix* выводятся в виде OpenGL-текстуры на сфере. Для этого карта *HEALPix* перепроецируется в эквидистантной цилиндрической проекции (ECP) на плоскость.

<sup>6</sup><http://www.glesp.nbi.dk/>

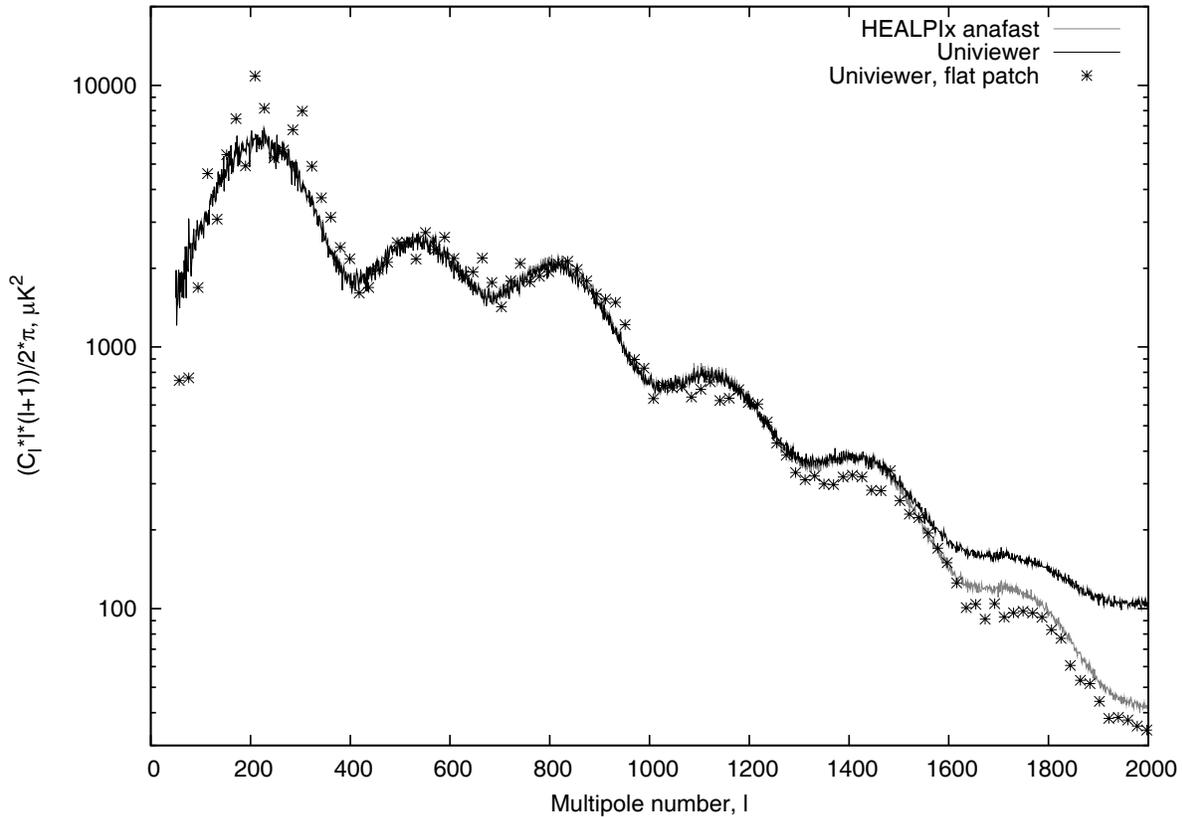
<sup>7</sup><http://heasarc.gsfc.nasa.gov/fitsio/>

<sup>8</sup><http://heasarc.nasa.gov/fitsio/CCfits/>

<sup>9</sup><http://www.wxwidgets.org>

<sup>10</sup><http://www.ast.cam.ac.uk/~vlad/univiewer/>

<sup>11</sup><http://www.jpeg.org/jpeg/index.html>



**Рисунок.** Пример расчёта спектра мощности РИ пакетом *HEALPix* и утилитой *Univiewer*. Звёздочками показан спектр мощности, рассчитанный по площадке  $19 \times 19$  градусов, имеющий большую дисперсию выборки. Расхождение в уровне спектров мощности *HEALPix* и *Univiewer* на мелких масштабах  $l \sim 2000$  связано с процедурой перепикселизации из схемы *HEALPix* в проекцию ЕСР.

Хотя детализация отдельных пикселей *HEALPix*, имеющих ромбическую форму, при этом обычно теряется, такой способ позволяет значительно увеличить скорость вывода информации на экран.

Пользователь имеет возможность выбирать используемый размер текстуры, вплоть до максимального, который для современных видеокарт может достигать  $8192 \times 8192$  пиксела. Однако при открытии сразу нескольких карт использование текстур большого размера замедляет работу библиотеки OpenGL. Компромиссным решением является использование текстур среднего размера  $2048 \times 2048$  для вывода карты всего неба, и проектирование интересующих участков на плоскость с полным разрешением для их детального изучения.

Полезной особенностью утилиты является возможность синхронного вращения нескольких карт, что позволяет, например, позиционировать карту по некоторому объекту, который хорошо виден на другой открытой карте, но не отождествляется глазом на первой карте. Также синхронное вращение нескольких карт полезно для сравнения протяжённых компонент на разных частотах.

### 2.3. Расчет спектра мощности

Для быстрой оценки спектра мощности в сферических гармониках по картам всего неба применён алгоритм сферического преобразования непосредственно по ЕСР-проекции [8]. Для вычисления коэффициентов сферических гармоник в нём выполняются Фурье-преобразования групп пикселей, имеющих одинаковую широту и расположенных в виде одномерной полоски. Используется реализация быстрого преобразования Фурье из библиотеки *FFTW*<sup>12</sup>. Такой подход обеспечивает достаточно высокую скорость расчёта спектра и не вызывает больших проблем в случае протяженных компонент. Однако на мелких масштабах доминирует влияние эффектов перепикселизации, которое возникает из-за преобразования сетки *HEALPix* в ЕСР и вызывают нежелательные корреляции между пикселями, что отражается на спектре мощности.

Стоит, однако, отметить, что для быстрой визуальной оценки уровня спектра мощности этот

<sup>12</sup><http://www.fftw.org/>

алгоритм вполне справляется со своей задачей. На Рисунке приведён пример расчёта спектра мощности карты анизотропии РИ, выполненный как специализированной утилитой **anafast** из пакета *HEALPix*, так и встроенными средствами **Univiewer**. Так же для сравнения приведён пример расчёта спектра мощности по двумерной площадке  $19 \times 19$  градусов с использованием двумерного Фурье-преобразования по спроецированному участку сферы, который также выполнен утилитой **Univiewer**.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье кратко описана утилита **Univiewer**, предназначенная для просмотра карт неба в пикселизации *HEALPix*, последняя широко применяется для хранения данных в различных космологических экспериментах. Утилита позволяет быстро визуализировать одну или несколько карт неба, изменять параметры просмотра, выводить интересные участки в виде проекции в отдельных окнах, рассчитывать спектры мощности как по картам всей небесной сферы, так и по отдельным участкам.

В настоящее время утилита **Univiewer** применяется на различных этапах моделирования и редукции данных экспериментов *WMAP* и *Planck*. Она оказалась полезной для визуальной инспекции карт на этапах разделения компонент, расчёта спектра мощности РИ, отождествления компактных объектов, таких как точечные источники и области скопления галактик в которых наблюдается эффект Сюняева-Зельдовича.

В планах по модернизации приложения на первом месте стоит создание возможности работы с поляризационными картами *IQU*, модификация интерфейса, а также возможная замена внутренней реализации расчёта спектра мощности на внешнюю, предоставляемую пакетом *HEALPix*, который с недавнего времени стал open-source.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Ш.М. благодарит проф. Э. Лазенби и д-ра М. Эшдоуна (Кавендишевская лаборатория, Кембриджский университет) за организацию визита в Великобританию в 2004 г, во время которого была создана первая версия **Univiewer**. Авторы благодарят администрацию САО РАН за поддержку и предоставление необходимой для разработки **Univiewer** компьютерной базы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. Mandolesi, F. Villa, and L. Valenziano, *Advances in Space Research* **30**, 2123 (2003).
2. K. Gorski et al., *Astrophys. J.* **622**, 759 (2005).
3. C. Bennett et al., *Astrophys. J.* **583**, 1 (2003).
4. D. Wells, E. Greisen, and R. Harten, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **44**, 363 (1981).
5. W. Pence, *BAAS* **25**, 816 (1993).
6. A. Farris, *BAAS* **27**, 909 (1995).
7. J. Smart, K. Hock, and S. Csomor, *Cross-Platform GUI Programming with wxWidgets* (Prentice Hall PTR, 2005).
8. P. F. Muciaccia, P. Natoli, and N. Vittorio, *Astrophys. J.* **488**, L63 (1997).

## UNIVIEWER UTILITY FOR FAST INTERACTIVE 3D VISUALIZATION OF CMB MAPS IN HEALPIX PIXELIZATION

Sh.M. Mingaliev, V.A. Stolyarov

We describe the *Univiewer* utility for visualizing the celestial maps in the *HEALPix* pixelization scheme, which is widely used in data reduction for various experiments involving observations of the cosmic microwave background radiation (CMB). The utility can be used to view the FITS files containing one or several extensions containing *HEALPix* maps of temperature, intensities, Stokes parameters, integration time per pixel values, etc. The user can interactively change the visualization parameters, apply a coordinate grid, project sky areas onto a plane for further detailed analyses, and compute power spectra. The utility uses OpenGL and wxWidgets cross-platform libraries.

Key words: *Methods: numerical*