

УДК 524.5:520.82/88

КРОСС-ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ БОЛЬШИХ ОБЗОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖЗВЕЗДНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

© 2012 С. В. Карпов¹, О. Ю. Малков^{2,3}, А. В. Миронов⁴

¹Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Институт астрономии РАН, Пятницкая ул. 48, Москва 119017, Россия

³Физический факультет МГУ, Ленинские горы, Москва 119991 ГСП-1, Россия

⁴Государственный астрономический институт им. Штернберга МГУ, Университетский просп. 13, Москва 119992, Россия

Поступила в редакцию 03 октября 2011 г.; принята в печать 26 октября 2011 г.

Появление больших фотометрических обзоров и средств кросс-отождествления их объектов дает принципиальную возможность получить информацию о многоцветной фотометрии сотен миллионов объектов. Это, в свою очередь, позволяет не только классифицировать и определять параметры объектов, но и измерить межзвездное поглощение до них для построения карты поглощения в Галактике. Целью настоящего исследования является разработка инструмента для кросс-отождествления объектов в наиболее известных обзорах и его апробация в нескольких площадках неба. Для этого был реализован алгоритм быстрого позиционного отождествления больших астрономических каталогов в площадках малого (до градуса) размера с фильтрацией ложных сопоставлений. В результате работы для семи площадок радиусом 0.1 градуса была проведена выборка объектов из обзоров DENIS, 2MASS, SDSS, GALEX, UKIDSS и осуществлено кросс-отождествление этих обзоров. Созданы соответствующие подкаталоги в формате VOTable. Созданный в работе инструмент может использоваться для кросс-отождествления объектов в произвольных областях неба для последующей классификации и определения параметров звезд, включая измерение величины межзвездного поглощения.

Ключевые слова: *межзвёздная среда: общие вопросы*

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение строения, происхождения и эволюции Галактики — основная задача звездной астрономии, а одним из мощных инструментов исследования является моделирование пространственного распределения различных населений Галактики, в частности — моделирование распределения межзвездной среды. Знание межзвездного поглощения позволяет правильно интерпретировать наблюдательные данные и корректно оценивать параметры наблюдаемых объектов.

Трехмерные модели межзвездного поглощения создаются уже около полувека. Для этого использовались различные методики, такие как звездные подсчеты [1], данные по рассеянным скоплениям [2], модели распределения пыли в Галактике [3, 4], сравнение результатов популяционного синтеза с каталогизированными данными (например, [5] для Безансонской модели). Однако наиболее распространенным подходом является использование спектральных и фотометрических данных о звездах. Этот метод применялся, в

частности, в [6, 7] и других работах. При этом небесная сфера была поделена на площадки, и из данных о звездах в каждой площадке определялась величина поглощения как функция расстояния. Размеры площадок варьировались от исследования к исследованию, хотя обычно эти размеры подбирались достаточно большими, чтобы площадки содержали необходимое для статистики число звезд на различных расстояниях.

Полученные этим методом трехмерные модели поглощения базировались на данных о десятках и сотнях тысяч звезд. Современные же большие обзоры содержат фотометрические (обычно 3–5 полос) данные для десятков и сотен миллионов звезд. Однако при использовании этих данных для построения модели требуется корректно провести кросс-отождествление объектов в обзорах. Решению этой задачи посвящено данное исследование.

Принципы выбора обзоров и площадок для апробации метода описаны в разделе 2, методика кросс-отождествления — в разделе 3. В разделе 4 обсуждаются результаты, а в разделе 5 приведены заключительные замечания.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе ставилась задача провести кросс-отождествление объектов из больших фотометрических обзоров в избранных площадках на небесной сфере. Основной целью работы было создание каталогов звезд в данных площадках, содержащих всю полученную из обзоров информацию, необходимую для определения параметров звезд, включая межзвездное поглощение. Кроме того, решалась проблема определения оптимального радиуса отождествления.

2.1. Выбор обзоров

При выборе фотометрических обзоров мы руководствовались следующими критериями: обзор должен покрывать значительную часть неба и содержать фотометрические измерения, по крайней мере, десятков миллионов объектов.

Информация об использованных обзорах приведена в Табл. 1 и на Рис. 1.

Обзоры семейства GSC (<http://archive.stsci.edu/gsc/>) и USNO-A,B (<http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/ua2.html>, <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/ub1.html>) не рассматривались в данном исследовании, поскольку представленные в них фотометрические данные обладают относительно невысокой точностью. Мы также не рассматривали яркие и сравнительно небольшие обзоры Tycho-2 [8] / ASCC [9] и WBVR [10], лишь незначительно пересекающиеся по количеству объектов с обзорами, приведенными в Табл. 1. Впрочем, в некоторых из упомянутых обзоров содержится информация о наличии взаимных отождествлений. Так, 2MASS содержит информацию о наличии близких объектов из Tycho-2 или каталогов семейства USNO, расстояние до них, их количество и звездные величины. При этом радиус отождествления составлял 5 секунд, и на поле 0.1 градуса большая часть однозначно отождествляется с ошибками не более 1.5–2 секунд. Каталог USNO-B1 содержит однозначные отождествления с Tycho-2, при этом координаты объектов практически (до десятой доли секунды) совпадают. Каталоги GALEX и UKIDSS не содержат информации об оптических отождествлениях.

2.2. Выбор площадок

Для апробации методики на небесной сфере был выбран ряд площадок. При этом выборе принимались во внимание следующие соображения:

- площадки должны быть расположены не дальше 30 градусов от галактического экватора (поглощение должно быть заметно), при этом для сравнения исследуется также и пара высокоширотных площадок;
- площадки должны быть расположены не ближе 5 градусов от галактического экватора (поглощение в УФ не должно быть слишком большим);
- хотя бы часть площадок должна попадать в область обзоров, не покрывающих всё небо (DENIS, SDSS, GALEX, UKIDSS);
- необходимо избегать областей звездообразования, в которых закон межзвездного поглощения отличается от стандартного (это затруднило бы дальнейшую работу процедуры параметризации объектов), для чего использовался каталог Аведисовой [11];
- в площадке не должно быть ярких (ярче 7 зв. вел.) звезд и протяженных объектов (скопления, близкие галактики).

Выбранные площадки перечислены и описаны в Табл. 2.

3. МЕТОДИКА КРОСС-ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ

Работы по кросс-отождествлению каталогов начали проводиться астрономами практически сразу после появления электронных версий больших каталогов. Кросс-отождествление каталогов — мощный инструмент для решения целого ряда задач, поэтому различными коллективами, работающими в рамках Виртуальной Обсерватории, был разработан ряд специализированных программ. Среди них можно упомянуть российские сервисы CATS [12, 13] (САО РАН) и SAI CAS Crossmatch [14] (ГАИШ МГУ), американский сервис OpenSkyQuery [15], а также немецкий проект Multi-Catalogue Multi-Cone Search [16]. Возможность кросс-отождествления списка объектов с различными каталогами также предоставляется базой данных внегалактических источников NED [17]. Существует также ряд инструментов для работы с локальными данными. Так, программа Topcat [18] имеет встроенный функционал для отождествления локальных данных, Aladin [19] также позволяет проводить отождествление списка объектов с каталогом. SDSS SkyServer [20] позволяет проводить отождествление собственных списков объектов с общим каталогом SDSS.

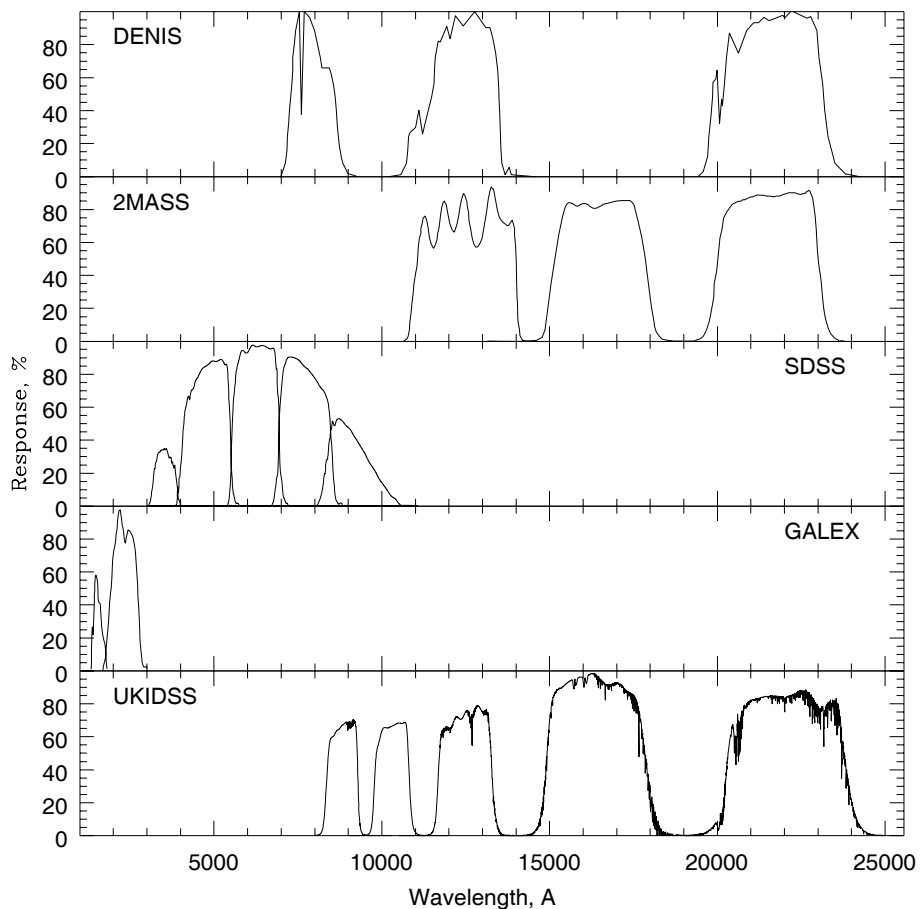


Рис. 1. Кривые реакции фотометрических полос исследуемых обзоров.

Таблица 1. Большие фотометрические обзоры

Обзор	Число объектов	Покрытие неба	Фотометрические полосы	Предельная величина	Ссылка
DENIS	355 млн.	южн. полусф.	Gunn-i, J, K _S	18.5, 16.5, 14.0	cdsweb.u-strasbg.fr/denis.htm
2MASS	300 млн.	все небо	J, H, K _S	15.8, 15.1, 14.3	www.ipac.caltech.edu/2mass/
SDSS	500 млн.	25% неба	u, g, r, i, z	g,r = 22.2	www.sdss.org/
GALEX (AIS)	90 млн.	90% неба	FUV, NUV	~25	www.galex.caltech.edu/
UKIDSS (LAS+GPS)	40 млн.	15% неба	Z, Y, J, H, K	K = 18.3	www.ukidss.org/

Однако существующие публично доступные сервисы не подходят для решения нашей задачи, поскольку не включают в рассмотрение ряд необходимых нам обзоров. Так, большая часть этих систем не работает с данными GALEX, а OpenSkyQuery — вообще с неамериканскими обзорами. Потому мы решили использо-

вать собственную реализацию алгоритма кросс-отождествления.

В целом, задача кросс-отождествления объектов в разных каталогах состоит в поиске проявлений одного и того же источника в двух или более списках координат. При этом приходится иметь дело со следующими проблемами:

- плохая координатная точность, разные си-

Таблица 2. Площадки (радиус 0.1 градуса) для апробации методики кросс-отождествления. Приведены количества каталожных объектов, попадающих в каждую из них

No	Координаты центра площадки				Созвездие	Обзоры				
	α (h,m)	δ (deg)	l (deg)	b (deg)		D	2	S	G	U
1	18 22	+51.5	79.8	+25.3	Draco		153		174	
2	8 56	0.0	228.3	+27.4	Hydra	27	104	2029	980	722
3	20 52	0.0	47.8	+26.5	Aquarius	299	204	1884	988	
4	18 56	-13.0	21.8	-6.9	Scutum	2122	1702			
5	15 05	-51.6	323.0	+6.0	Lupus	1228	1735			
6	14 00	+12.0	353.0	+67.9	Bootis		50	967	261	561
7	0 04	-1.0	98.2	-60.6	Pisces	115	60	858	1022	670

Обозначения обзоров: D – DENIS, 2 – 2MASS, S – SDSS, G – GALEX, U – UKIDSS

стемы координат каталогов, разные эпохи наблюдений (для случаев большого собственного движения), что приводит к тому, что координаты одного и того же объекта в разных списках в общем случае не совпадают либо систематически, либо случайным образом;

- разные чувствительности и, следовательно, разные предельные величины в каталогах. В итоге объект может присутствовать только в одном из списков; а в более глубоких каталогах будут присутствовать объекты, которых нет в других списках.

Для отождествления списков объектов могут применяться следующие способы:

- *Структурный.* Выделяются некоторые характерные множества объектов — геометрические конфигурации, и сопоставляются такие конфигурации из разных списков. Основная область применения этого метода — первичная астрометрическая привязка при наблюдениях, сопоставление звезд с кадра (координаты на ПЗС-матрице) и из каталога (координаты на небе). Обычно используется метод треугольников (их углы или отношения сторон инвариантны относительно масштабирования и поворота), однако встречаются алгоритмы, работающие с более сложными конфигурациями.
- *Координатный.* Сопоставляются все объекты разных каталогов, имеющие взаимные расстояния меньше некоторого предела. Это

самый простой и часто используемый на практике вариант. Проблемы возникают, если в рассматриваемой окрестности объекта (задаваемой, скажем, точностью определения координат или величиной ожидаемого собственного движения) оказывается несколько объектов-кандидатов из другого каталога — получается неоднозначное сопоставление.

- *Координатное сопоставление с фильтрацией объектов.* Основная идея заключается в использовании дополнительной информации об объектах и введении основанного на ней критерия, позволяющего выбрать из всех возможных кандидатов наиболее подходящий. Так, если в каталогах имеются измерения в близких спектральных диапазонах, то величины объекта в них будут совпадать (в границах соответствующих погрешностей). Если полосы каталогов существенно различны, можно использовать информацию об ожидаемых показателях цвета объектов — вычислять эти показатели всех пар-кандидатов и отбирать физически разумные либо совпадающие с основной массой показателей цвета всех получаемых пар в исследуемой площадке после фильтрации отскоков (скажем, итеративный сигма-клиппинг на уровне 3 выборочных стандартных отклонений). Отметим, что показатели цвета могут вычисляться не только как разности звездных величин в полосах одного и того же обзора, но и как разности звездных величин в полосах разных обзоров.

В нашей работе мы пользуемся последним способом. После получения всех возможных пар звездных величин объектов из всех каталогов проводится моделирование их спектров с определением межзвездного покраснения. Пары, которые дают заведомо неразумные либо существенно отличающиеся от соседних замеров значения, очевидно, соответствуют неверному (случайному) отождествлению и должны отбрасываться.

Некоторая дополнительная фильтрация, впрочем, проводится и непосредственно на стадии сопоставления объектов. Некоторые пары каталогов имеют близкие спектральные полосы, соответственно, разумно ожидать, что в них будут близкие значения величин (с точностью до нуля-пункта и ошибок измерений). На Рис. 2 приводится изменение показателя цвета по полосам H обзора 2MASS и z обзора SDSS с ростом взаимного расстояния между объектами. Хорошо выделяется локализованная по показателю цвета группа с взаимным расстоянием меньше 1 угловой секунды — более широкие пары дают существенно больший разброс показателя цвета, более того, заметен провал между этой группой и остальными объектами. Можно считать, что эта группа соответствует “правильным” отождествлениям, и это позволяет, соответственно, выбрать радиус отождествления. Впрочем, это все равно не избавляет от многозначных отождествлений — на верхней панели того же рисунка приведена зависимость полного числа объектов, количества однозначных сопоставлений, сопоставлений с более чем одним кандидатом и т.д. от взаимного расстояния. Видно, что уже при радиусе около 0.3–0.5 секунды появляется несколько неоднозначных отождествлений, которые по показателям цвета отбросить не получается. В этом случае необходимо привлекать данные иных каталогов либо отсеивать их на финальной стадии работы.

Отметим также, что при кросс-отождествлении каталогов существенного объема становятся принципиальными и чисто техническое сложности. Действительно, проведение отождествления “в лоб” требует перебора всех возможных пар объектов из первого и второго каталогов, расчета их взаимных расстояний и отсеивания больших их значений — это требует порядка $N_1 \times N_2$ операций (где N_1 и N_2 — количество объектов), что делает такой подход практически непригодным для каталогов даже небольшого объема. Очевидным способом преодоления этого ограничения является использование позиционного индекса, существенно ускоряющего операции выборки объектов в заданных площадках. Это позволяет перебирать для каждого объекта первого каталога не все объекты из второго, а только находящиеся в некоторой достаточно

малой окрестности, что, для основных типов индексов, приводит к снижению числа операций до величины порядка $N_1 \times \ln N_2$. Это дает существенный выигрыш в скорости, даже с учётом времени, требуемого для построения индекса, и позволяет, в принципе, проводить за разумное время тотальные кросс-отождествления даже крупнейших современных каталогов между собой.

Основной проблемой построения требуемых пространственных индексов является то, что положения астрономических объектов задаются в подавляющем большинстве случаев в сферической системе координат — в виде двух углов на единичной сфере. Однозначная проекция этих данных на плоскость с сохранением свойств близости точек, очевидно, невозможна, что не позволяет использовать хорошо разработанные методики плоских пространственных поисковых деревьев, таких как R-tree или kd-tree (вернее, их использование ограничивается задачами кросс-отождествления в достаточно малых площадках, где возможна проекция сферы на плоскость с пренебрежимым уровнем дисторсии). Решением, используемым в большинстве современных программных систем, работающих со сферическими данными, является пикселизация сферы — разбиение её на достаточно малые участки, каждый из которых может быть пронумерован, — и, таким образом, осуществление неточной проекции сферы на числовой ряд, для которого может уже применяться быстрый бинарный поиск. Примерами такой пикселизации являются COBE Quad Sphere [21] (Quadrilateralized Spherical Cube), Icosahedron [22], IGLOO [23], HTM [24] (Hierarchical Triangular Mesh), HEALPix [25] (Hierarchical Equal Area isoLatitude Pixelization), GLESP [26] (Gauss-Legendre Sky Pixelization) и Q3C [27] (Quad-Tree Cube).

В нашей работе использовались следующие технологии:

- для поиска доступных каталогов были использованы средства Виртуальной Обсерватории — реестры ресурсов. Они позволили получить соответствующие сетевые адреса, предоставляющие доступ к данным в заданных площадках — интерфейсы радиальных запросов (conesearch). Был написан код, автоматически обращающийся по этим адресам, запрашивающий данные наших площадок и сохраняющий результаты в стандартном для Виртуальной Обсерватории формате таблиц — VOTable;
- для проведения собственно сопоставления каталогов использовался подход, основанный на построении пространственного ин-

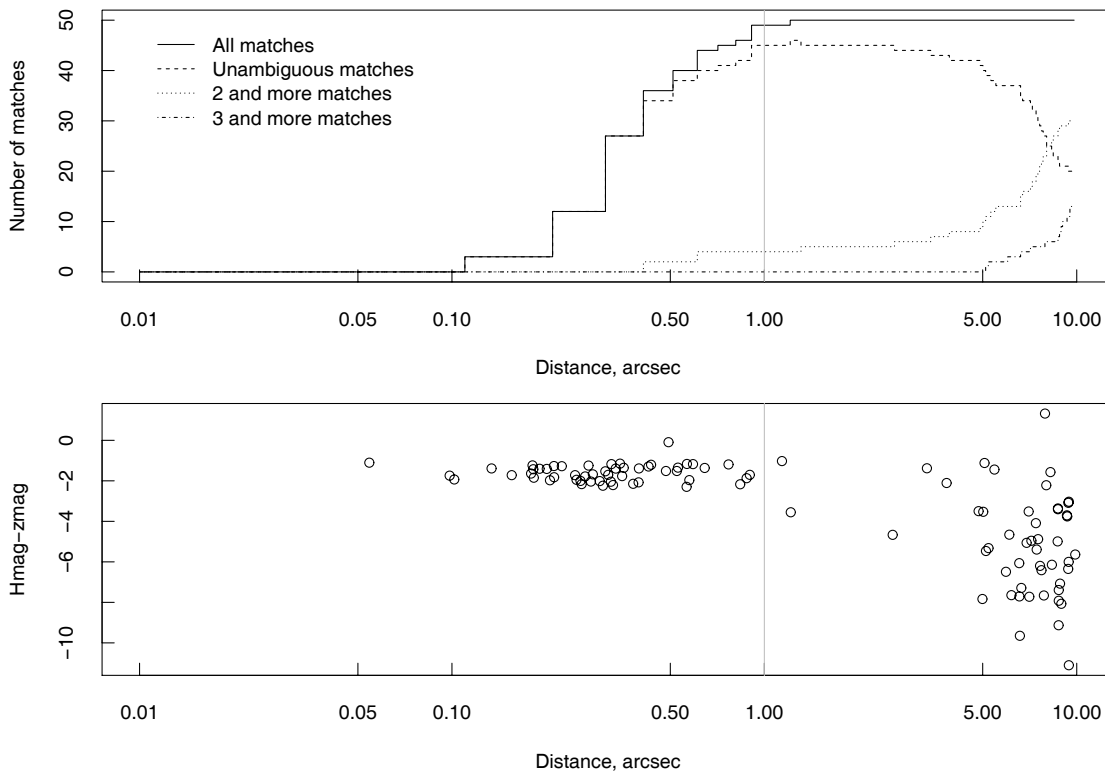


Рис. 2. Вверху: зависимость количества однократных и кратных отождествлений от радиуса отождествления. Внизу: изменение показателя цвета $H_{2\text{MASS}} - z_{\text{SDSS}}$ с ростом взаимного расстояния между объектами. Видно, что с увеличением взаимного расстояния между объектами резко возрастает разброс показателя цвета, также как и количество неоднозначных отождествлений, что свидетельствует о существенной доле неверных ассоциаций величин из различных каталогов. На данном примере очевидной границей взаимного расстояния, уже позволяющей верно отождествлять практически все объекты с минимальным уровнем ложных ассоциаций является величина около 1 угловой секунды.

декса для ускорения позиционного поиска. Мы использовали сферический индекс НТМ [24] — Hierarchical Triangular Mesh, разработанный в рамках проекта SDSS, а именно — его реализацию, взятую из программного пакета *esutil* [28];

- код кросс-отождествления, использующий этот сферический индекс, был написан на языке программирования высокого уровня Python. Скорость работы кода оказалась достаточной для отождествления каталогов в выбранных нами площадках не очень большого размера. Для доступа к каталогам в VOTable-формате применялась модифицированная версия пакета *ATPy*, для визуализации результатов — библиотека построения графиков *Matplotlib*. Также для визуальной проверки получающихся в результате отождествления таблиц использовался пакет *Topcat*.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По описанной в предыдущем разделе методике нами было проведено кросс-отождествление объ-

ектов из пяти обзоров (см. Табл. 1) в семи площадках (см. Табл. 2). Число успешных однозначных идентификаций для двух (самых представительных) из семи площадок представлено на Рис. 3.

Для каждой площадки и каждой пары каталогов подбирался радиус отождествления (*radius matching*, *RM*) согласно принципу, проиллюстрированному на Рис. 2. Результаты кросс-отождествления показали, что, если, например, для пары 2MASS-SDSS может быть достаточно радиуса отождествления около 1 (здесь и далее значение *RM* указано в угл. сек.), то для отождествления GALEX-SDSS задача существенно сложнее (прежде всего, из-за не очень высокой позиционной точности каталога GALEX). Работы по отождествлению GALEX-SDSS проводились и ранее [29], однако, опубликованные результаты не могут использоваться в данной задаче. Не только потому, что это отождествление предыдущих версий (GR2-3 для GALEX и DR6 для SDSS), а, главным образом, потому, что перед Будавари и др. [29] стояла другая задача, а именно — найти *все* общие объекты. Для нашей же задачи (параметризация звезд и определение межзвездного

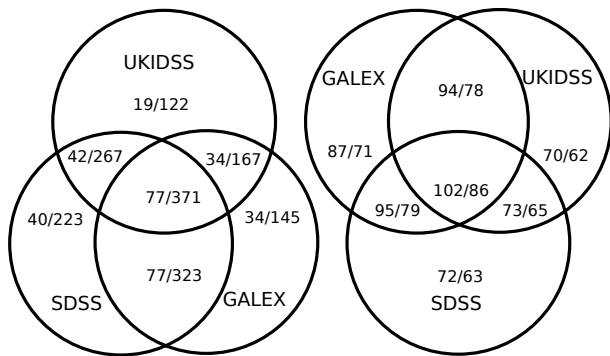


Рис. 3. Число успешных однозначных идентификаций различных каталогов с каталогом 2MASS. Слева от дроби — и с каталогом DENIS, справа от дроби — без DENIS. Левый трилистник — площадка 2 ($|b| = 27.4$), правый трилистник — площадка 7 ($|b| = 60.6$). Например: число идентификаций во всех пяти каталогах (2MASS+DENIS+SDSS+GALEX+UKIDSS) в площадке 7 = 102.

поглощения в Галактике) важнее выбирать только надежные отождествления, чем пытаться найти все возможные кандидаты. Другими словами, пропуск нескольких подходящих объектов является гораздо менее серьезной оплошностью, чем, наоборот, включение в финальную выборку неверно отождествленного объекта. Поэтому наши критерии кросс-отождествления жестче, в частности, RM может быть уменьшен.

Очевидно, что величина RM зависит не только от отождествляемых каталогов, но и от координат площадки: RM тем меньше, чем в более населенной звездами области (т.е. на более низких галактических широтах) мы работаем. Однако, наш анализ показал, что в качестве первого приближения можно (для всех площадок) использовать $RM = 3$ при кросс-отождествлении каталога GALEX с любым другим и $RM = 1$ для всех остальных пар каталогов. В дальнейшем для корректного отождествления в произвольной площадке необходимо будет эмпирически получить зависимость RM от галактической широты либо предварять каждый процесс кросс-отождествления вычислением соответствующего RM .

В процессе кросс-отождествления планируется также использовать информацию о типах объектов, содержащуюся в оригинальных каталогах. Так, в исходном каталоге GALEX есть указание на класс объекта, и эту информацию необходимо учитывать: галактик в каталоге GALEX в 1.5 раза больше, чем звезд.

Проблема неоднозначных отождествлений также подлежит дальнейшему исследованию. Как правило, если один объект каталога отождествляется с двумя и более объектами другого каталога, то такой объект в финальную выборку не

включается. Однако есть исключения: так, если два GALEX-объекта отождествляются с одним и тем же SDSS-объектом, и при этом у одного из них есть только данные в дальней ультрафиолетовой полосе FUV, а у второго — только данные из ближней ультрафиолетовой полосы NUV, то этот результат сохраняется в предположении, что это все — один и тот же объект, “недоотождествленный” (в смысле FUV-NUV) при создании каталога GALEX.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель межзвездного поглощения необходима для понимания строения и эволюции Галактики. Сейчас стало возможно построение трехмерной модели межзвездного поглощения по многоцветной фотометрии сотен миллионов звезд, содержащихся в современных больших фотометрических обзорах. В настоящей статье представлена методика кросс-отождествления наиболее популярных больших фотометрических обзоров и результаты ее апробации для ряда площадок, для которых созданы соответствующие сводные подкаталоги.

Фотометрические данные для отобранных для построения карты межзвездного поглощения объектов позволяют в дальнейшем (с помощью библиотек наблюдаемых и теоретических спектров, а также современных инструментов работы с данными, предоставляемых виртуальными обсерваториями) определить их параметры как для одиночных, так и для фотометрически неразрешенных двойных звезд [30]. Кроме того, определенные температуры и светимости звезд могут быть использованы для оценки фундаментальных звездных параметров: массы, возраста, металличности. Для этого, в частности, была модифицирована методика параметризации звезд с помощью определенным образом подготовленной системы эволюционных треков [31].

На основании этого в следующей статье будет построена трехмерная модель поглощения в Галактике, которая в дальнейшем может быть использована для решения ключевых задач звездной астрономии и планирования космических миссий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Лучану Бьянки за помощь в работе с данными GALEX и В. С. Аведисову за помощь в выборе тестовых площадок. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 09-02-00520 и 10-02-00426), Федерального агентства по науке и инновациям (02.740.11.0247), в рамках реализации ФЦП

“Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 годы (П1195), программы Президента РФ поддержки научных школ (грант НШ-4354.2008.2), а также гранта фонда некоммерческих программ “Династия”.

В работе была использована база данных ADPS (The Asiago Database on Photometric Systems). Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госконтракт 16.518.11.7073).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. A. Mendez and W. F. van Altena, *Astronom. and Astrophys.* **330**, 910 (1998).
2. A. K. Pandey and H. S. Mahra, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **226**, 635 (1987).
3. B. Chen, F. Figueras, J. Torra, et al., *Astronom. and Astrophys.* **352**, 459 (1999).
4. R. Drimmel, A. Cabrera-Lavers, and M. Lopez-Corroira, *Astronom. and Astrophys.* **409**, 205 (2003).
5. D. J. Marshall, A. C. Robin, C. Reyle, et al., *Astronom. and Astrophys.* **453**, 635 (2006).
6. А. С. Шаров, *Астрон. ж.* **40**, 900 (1963).
7. F. Arenou, M. Grenon, and A. Gomez, *Astronom. and Astrophys.* **258**, 104 (1992).
8. E. Hog, C. Fabricius, V. V. Makarov, et al., *Astronom. and Astrophys.* **355**, 27 (2000).
9. Н. В. Харченко, *Кинематика и Физика Небесных Тел* **17**, 409 (2001).
10. В. Г. Корнилов, И. М. Волков, А. И. Захаров и др., *Каталог WBVR величин ярких звезд северного неба*, под ред. В. Г. Корнилова (М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991), 400 с.
11. В. С. Аведисова, *Астрон. ж.* **79**, 216 (2002).
12. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, et al., *ASP Conference Series* **125**, 322 (1997).
13. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118 (2005).
14. <http://vo.astronet.ru/cas/crossmatch.php>
15. <http://www.openskyquery.net>
16. <http://www.g-vo.org/mcmcs/>
17. The NASA/IPAC Extragalactic Database, <http://ned.ipac.caltech.edu/>
18. <http://www.star.bris.ac.uk/mbt/topcat/>
19. <http://aladin.u-strasbg.fr/>
20. <http://cas.sdss.org/>
21. F. K. Chan and E. M. O'Neill, *Feasibility Study of a Quadrilateralized Spherical Cube Earth Database*, Computer Sciences Corp. EPRF Tech. Rep. (1976).
22. M. Tegmark, *Astrophys. J.* **470**, 81 (1996).
23. R. G. Crittenden, *Astrophysical Letters and Communications* **37**, 377 (2000).
24. P. Z. Kunszt, A. S. Szalay, I. Csabai, et al., *ASP Conference Proceedings* **216**, 141 (2000).
25. K. M. Gorski, E. Hivon, A. J. Banday, et al., *Astrophys. J.* **622**, 759 (2005).
26. A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, et al., *Int. J. of Modern Physics* **14**, 275 (2005).
27. S. Kopusov and O. Bartunov, *ASP Conference Series* **351**, 735 (2006).
28. <http://code.google.com/p/esutil/>
29. T. Budavari, S. Heinis, A. S. Szalay, et al., *Astrophys. J.* **694**, 1281 (2009).
30. O. Yu. Malkov, A. V. Mironov, and S. G. Sichevskij, *Astrophys. and Space Sci.* **335**, 105 (2011).
31. O. Yu. Malkov, S. G. Sichevskij, and D. A. Kovaleva, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **481**, 695 (2010).

CROSS-IDENTIFICATION OF LARGE SURVEYS FOR FINDING INTERSTELLAR EXTINCTION

S. V. Karpov, O. Yu. Malkov, A. V. Mironov

The publication of large photometric surveys and the tools for the cross-identification of their objects open up a possibility for obtaining multicolor photometry of hundreds of millions of objects. This, in turn, makes it possible not only to classify the objects and determine their parameters, but also to measure the interstellar extinction towards them and produce an extinction map for the Milky Way. The aim of this study is to develop a tool for the cross identification of objects in the most well-known surveys and test it in several sky areas. To this end, we implemented an algorithm of fast positional matching of large astronomical catalogs in small (up to one degree) sized areas with filtering of false identification. As a result, we drew in seven 0.1-degree radius areas samples of objects from the DENIS, 2MASS, SDSS, GALEX, and UKIDSS surveys, and performed the cross-identification of these surveys. We compiled the corresponding subcatalogs in the VOTable format. The tool developed as a result of this work can be used to cross-identify objects in arbitrary sky areas for the further classification and determination of stellar parameters, including the measurement of the amount of interstellar extinction.

Keywords: *ISM: general*