

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук «САО РАН»

УДК №520.88, 519.688  
Регистрационный №329  
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Директор «САО РАН»

\_\_\_\_\_ Ю.Ю. Балега

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

ОТЧЁТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Технология автоматической координатной привязки прямых изображений с использованием веб-сервисов IVOA»

(заключительный)

Руководитель НИР,  
с.н.с, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ В.Н. Черненко

## Список исполнителей

Научный руководитель,

с.н.с, к.ф.-м.н, В.Н. Черненко \_\_\_\_\_

с.н.с, В.С. Шергин \_\_\_\_\_

с.н.с, к.ф.-м.н, О.П. Желенкова, \_\_\_\_\_

## Реферат

Разработана технология автоматической координатной привязки прямых изображений с использованием программных средств для виртуальных обсерваторий. Для гидов БТА и Цейсс-1000: 145-мм и 200-мм реализован и внедрен программный комплекс экспресс-обработки изображений с использованием разработанного пакета программ по масштабно-инвариантному и корреляционному методам коррекции WCS-координат в соответствии с требованиями FITS-формата.

Система экспресс-обработки построена на принципах многослойной архитектуры для реализации взаимодействия в распределенной среде между клиентом – телескопом, сервером посредником – процессором изображений и сервером приложений, обеспечивающим доступ к базе данных астрономических каталогов.

Алгоритм потоковой обработки изображений протестирован в реальном времени на основе наблюдательного материала 145-мм и 200-мм вспомогательных телескопов и по архивным прямым снимкам БТА. Благодаря используемым последовательно локальному (корреляционному) и распределенному (масштабно-инвариантному) методам, он показывает устойчивые положительные результаты для снимков, содержащих разное количество отождествляемых объектов в поле зрения. Областью применения разработки могут быть автоматизированные телескопы, системы коррекции координат и контроля наведения телескопа.

Ключевые слова: астрометрия – WCS – телескопы – IVOA

## Содержание

Введение . . . . .	8
1 Информационные технологии виртуальной обсерватории. . . . .	9
1.1 Настройка VO Desktop . . . . .	14
2 Система экспресс-обработки прямых изображений вспомогательных телескопов .	16
3 Координатная привязка архивных прямых снимков БТА. . . . .	22
4 Модернизация ПО и Web-интерфейсов гидов БТА и Цейс-1000. . . . .	28
4.1 Модернизация программы webcam для гида Цейс-1000. . . . .	30
4.2 Модернизация программы webcam для гида БТА. . . . .	31
4.3 Доработка Web-интерфейса гида БТА: . . . . .	32
4.4 Доработка Web-интерфейса гида Цейс-1000: . . . . .	32
Заключение . . . . .	33
Список использованных источников . . . . .	34

## Нормативные ссылки

- a) Ochsenbein, F., et al., <http://cdsweb.-strasbg.fr/doc/VOTable/v1.09> (2004)
- б) M. Murata, D. Kohn, and C. Lilley, “Internet Drafts: XML Media Types”. IETF, <http://tools.ietf.org/html/draft-murata-kohn-lilley-xml-03> Retrieved 2010-06-10.
- в) R. Plante et al., IVOA Recommendation 14 March 2007, <http://www.ivoa.net/Documents/latest/IDs.html> (2007).
- г) K. Benson et al., IVOA Recommendation 04 November 2009, <http://www.ivoa.net/Documents/RegistryInterface/> (2009).
- д) R. Hanisch, IVOA Recommendation 02 March 2007 <http://www.ivoa.net/Documents/latest/RM.html> (2007).
- е) The Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting, Version 2.0, <http://www.openarchives.org/OAI/openarchivesprotocol.html> (2008).
- ж) Ochsenbein, F., et al., <http://cdsweb.-strasbg.fr/doc/VOTable/v1.09> (2004)
- з) L. Cambresy et al., <http://www.ivoa.net/Documents/latest/AstrObjectOntology.html> (2009).
- и) Derriere S., et al., <http://www.ivoa.net/Documents/UCD/WD-UCD-20040426.html> (2004).
- к) Hessman F., et al., <http://www.ivoa.net/internal/IVOA/IvoaSemantics/VOcabularies-20070903.htm> (2007).
- л) R. Williams et al., IVOA Recommendation 22 February 2008, <http://www.ivoa.net/Documents/latest/ConeSearch.html> (2008).
- м) D. Tody, R. Plante, IVOA Proposed Recommendation 08 October 2009, <http://www.ivoa.net/Documents/SIA/> (2009).
- н) J. Salgado et al., IVOA Proposed Recommendation 14 July 2009, <http://www.ivoa.net/Documents/SLAP/> (2009).
- о) D. Tody et al., IVOA Recommendation 01 February 2008, <http://www.ivoa.net/Documents/latest/SSA.html> (2008).
- п) P. Dowler et al., IVOA Proposed Recommendation 25 December 2009, <http://www.ivoa.net/Documents/TAP/> (2009).
- р) IVOA SkyNode Interface, <http://www.ivoa.net/internal/IVOA/IvoaVOQL/SkyNodeInterface-0.7.4.pdf> (2004).

## Определения

- Веб-сервис (англ. web-service) – это сетевая технология, обеспечивающая межпрограммное взаимодействие на основе веб-стандартов. Консорциум W3C определяет веб-сервис, как “программную систему, разработанную для поддержки интероперабельного межкомпьютерного (machine-to-machine) взаимодействия через сеть”.
- ВО — Виртуальная обсерватория – объединение центров данных, содержащих интероперабельные астрономические данные (в виде архивов космических и наземных телескопов, каталогов, баз данных); средства поиска, доступа к данным и их обработки; а также научные приложения результатов работы с данными.

## Обозначения и сокращения

БТА — Большой телескоп альтазимутальный – 6м телескоп Российской академии наук.

ПО — Программное обеспечение.

IVOA — International Virtual Observatory Alliance – Международный альянс виртуальных обсерваторий.

FITS — Flexible Image Transport System – цифровой формат файлов изображений.

WCS — World Coordinates System – Мировая система координат.

## Введение

Астрономическое сообщество активно использует Интернет и его информационные технологии для доступа к астрономическим ресурсам, что значительно влияет на методы организации и обработки данных. В ведущих обсерваториях мира достаточно давно используется понятие наблюдательного цикла. Он рассматривается как единый технологический процесс, состоящий из отдельных взаимосвязанных этапов. Сюда входит подача заявок на наблюдательное время, составление расписания, подготовка к наблюдениям, сам процесс наблюдений, архивирование необработанных данных, подготовка и проверка калибровочного материала, верификация правильности и полноты заполнения заголовков файлов, обработка, архивирование научных данных. Чем выше степень автоматизации и интеграции отдельных частей, тем эффективнее используется наблюдательное время телескопа. Такие системы действуют для крупнейших телескопов мира, в качестве примера можно привести разработки Европейской южной обсерватории (ESO).

В связи с внедрением в САО РАН дистанционных методов наблюдений [1] имеется потребность в большей автоматизации отдельных этапов наблюдательного процесса, в частности для уточнения координатных параметров наблюдательных файлов и контроля наведения телескопа, оценки прозрачности атмосферы, первичной обработки данных в реальном времени и т.п. В нашей работе мы представляем реализацию экспресс-обработки наблюдательных данных в реальном времени, получаемых на вспомогательных телескопах (гидах). Она проводится пока для улучшения ТВ-изображений и координатной привязки снимков. Алгоритм обработки тестировался, как для данных вспомогательных телескопов, так и для архивного материала БТА, что позволило проверить устойчивость методики для столь отличающихся по качеству и диапазону звездных величин данных.

Структура статьи следующая: в первой части мы для отображения текущего состояния даем краткий обзор информационных технологий, используемых в инфраструктуре виртуальной обсерватории (ВО), во второй части описывается система экспресс-обработки данных вспомогательных телескопов, в третьей части рассмотрена проблема координатной привязки прямых снимков БТА. Далее описываем модернизированный Web-интерфес, предназначенный для On-Line контроля за наблюдениями и доступа к результатам экспресс-обработки изображений гидов в реальном времени, и в заключительной части мы приводим результаты использования разработанной технологии на наблюдательном материале.



# 1 Информационные технологии виртуальной обсерватории.

Интернет является стремительно развивающейся информационной телекоммуникационной инфраструктурой, предоставляющей пользователю все более удобные и эффективные способы работы с данными, размещенными в сети. Далее мы остановимся коротко на информационных технологиях, используемых астрономическим сообществом<sup>1</sup>.

Сейчас активно развиваются программные средства (отметим, что к ним относятся протоколы, метаданные<sup>2</sup> и программы, функционирующие на их основе), учитывающие особенности информации, относящейся к определенной сфере человеческой деятельности. Такие разработки в астрономии объединены общим названием “виртуальная обсерватория” и координируются IVOA (International Virtual Observatory Alliance) [2, 3].

Для программных средств, обеспечивающих функционирование информационной инфраструктуры ВО, рабочими группами IVOA ведется разработка стандартов и рекомендации более, чем по десятку направлений (<http://www.ivoa.net>), в частности: по представлению и формализации данных и знаний предметной области, по разработке протоколов для реализации доступа к данным, по стандартам программ для распределенных вычислений (веб-сервисы<sup>3</sup> и грид-сервисы<sup>4</sup>), по протоколу обмена сообщениями для программных приложений ВО, по описанию и публикации ресурсов, по формату обмена данными, язык запросов и, наконец, по поддержке сохранности данных.

С момента появления альянса IVOA в 2003 году разработано около 30 спецификаций протоколов, форматов и соглашений, используемых при создании программных продуктов ВО. Имеется несколько программных астрономических систем, которые фактически являются некими стандартами для работы с разнородными данными в сети, например, AstroGrid [54] (<http://www.astrogrid.org>), Open SkyQuery [52] (<http://www.openskyquery.net>), Aladin (<http://aladin.u-strasbg.fr/>), SkyView (<http://skyview.gsfc.nasa.gov/>).

Инфраструктура ВО в настоящее время является сервисно-ориентированной. Веб-сервисы IVOA разделены на три класса: сервисы для обнаружения и публикации ресурсов, сервисы для передачи и организации запросов данных, а также сервисы для распределенных вычислений.

---

<sup>1</sup>Более подробный обзор технологий и спецификаций ВО мы приводили в своих работах [4, 5] по общему архиву наблюдательных данных САО РАН.

<sup>2</sup>Метаданные - это информация о данных. Такие структурированные описания относятся к представлению знаний. Метаданные используются для повышения качества поиска в сети с целью получения полезной информации, а также в автоматизированных потоках задач, где задачи связаны управлением по содержанию передаваемых данных.

<sup>3</sup>Веб-сервисы – программы, которые работают на разных компьютерах в сети и взаимодействуют между собой посредством стандартов WWW.

<sup>4</sup>Грид-сервис – это тоже веб-сервис, но обеспечивающий дополнительную функциональность, а именно, динамическое управление разнообразными аппаратными, программными и логическими ресурсами, распределенными в Интернете, так, что они выглядят для пользователя единой системой.

Обнаружение данных выполняются через регистры ВО<sup>1</sup>, которые являются важной составляющей в эффективном поиске информации в распределенной среде [9, 10, 11]. Ресурсами в регистрах считаются не только данные и сервисы, но и организации, проекты, программное обеспечение.

Для сервисов, предоставляемых регистрами ВО, и спецификации описания ресурсов были рассмотрены несколько индустриальных стандартов, обеспечивающие механизмы обмена метаданными в телекоммуникационных сетях, и выбран протокол OAI-PMH (Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting) [12]. Регистры являются для web-сервисов обновляемыми источниками информации о ресурсах. Для описания астрономических ресурсов (каталогов, цифровых обзоров, баз данных, архивов наблюдений, программных средств, функционирующих как web-сервисы) в регистрах используется стандарт описания сетевых ресурсов Dublin Core (<http://dublincore.org/specifications/>). Наиболее полное описание ресурсов, соответствующее существующей рекомендации, поддерживается регистрами Национальной виртуальной обсерватории США, в которых на настоящее время имеется десятки тысяч записей. В Страсбургском центре данных (CDS) действует похожий механизм регистрации и разрешения URL-ссылок на ресурсы – GLU [13]. В системе AstroGrid используют свой регистр с отличающимся набором параметров. Имеются интерфейсы для взаимодействия этих трех типов регистров.

Веб-сервисы ориентированы на то, чтобы операции над данными в сети выполнялись без участия человека. Повторное использование простых сервисов и комбинирование их для выполнения более сложных действий называется потоком работ или потоком задач. Поточное выполнение использует принципы интероперабельности<sup>2</sup>, когда компоненты потока работ взаимодействуют друг с другом посредством протоколов, определяющих правила запуска сервиса и структуру входных и выходных данных. Реализация таких протоколов опирается на модели данных<sup>3</sup>. Сериализация<sup>4</sup> моделей позволяет провайдерам согласованно описывать предоставляемые данные, а применение классов моделей данных в программных средствах виртуальной обсерватории позволяет разрабатывать программное обеспечение, работающее со множеством вариантов представления данных без модификации структур данных и самих программ [14, 15], что существенно упрощает разработку последних.

---

<sup>1</sup>Регистры ВО - базы данных, в которых собрана информация об астрономических ресурсах в Интернете.

<sup>2</sup>Интероперабельность в информационных технологиях (ИТ) понимается как способность программ к взаимодействию, а именно: к обмену данными, распределенному выполнению поисковых запросов, согласованному изменению баз данных (БД) и т.д.

<sup>3</sup>Модель данных - термин, относящийся в ИТ к представлению знаний. В научную область, связанную с искусственным интеллектом (ИИ), он пришел из теории баз данных. Этот инструмент моделирования включает методы описания типов и логических структур данных, методы манипулирования данными и поддержку их целостности. В ИИ моделирование знаний в некоторой предметной области обозначается термином онтология.

<sup>4</sup>Сериализация – способ перевода объектов и структур данных в последовательную форму. В ИТ используется для хранения состояний объектов и любых структур данных, а также для передачи параметров запросов/функций между программными процессами в распределенной среде.

Сервисы данных, кроме стандартных графических форматов (gif, jpeg) работают с двумя астрономическими форматами. Один из них - это Flexible Image Transport System (FITS) [27], являющийся с 1982 года астрономическим стандартом для хранения и обмена данными, и второй - VOTable формат [6, 7].

VOTable-формат используется в сервисах, совместимых с протоколами IVOA, для представления результатов запросов [6]. Основой VOTable является индустриальный стандарт XML [8] и опыт разработок астрономических форматов FITS и CDS Astrores [7].

Астрономы для обозначения одних и тех же физических величин и параметров используют разные названия. Чтобы избежать неоднозначности при интерпретации величины, необходимо определить, что именно обозначают разные идентификаторы. Особенно это важно при обмене информацией между сервисами. Поэтому в VOTable-формате используется UCD<sup>1</sup>.

Альянсом разработан словарь дескрипторов UCDs, используемый для установления смысловой связи между обозначениями величин и астрономическими понятиями. В словарь входит порядка 1500 уникальных описаний содержимого или дескрипторов, отобранных из имеющихся десятков тысяч наименований колонок таблиц, хранящихся в CDS. Стандарт для дескрипторов UCD1+ создает согласованный и расширяемый набор из элементарных UCDs [16]. Рабочая группа обеспечивает сопровождение словаря UCDs, который используется в протоколах и спецификациях IVOA для установления семантических связей между параметрами запросов и метаданными [17].

Доступ к данным (Data Access Layer или DAL). DAL включает стандарты [18, 19, 20, 21, 22], описывающие механизм доступа к распределенным астрономическим данным, и программные средства, обеспечивающие такой доступ;

Приведенные выше протоколы предназначены для работы с одним источником информации (каталогом, архивом или обзором). В отличие от них протокол доступа к каталогам SkyNode Interface [23] используется для запросов сразу к нескольким каталогам. Он использует расширенное подмножество SQL, называемое Astronomical Data Query Language (ADQL) [53], кроме координатных запросов, поддерживает доступ по протоколам ВО к таблицам, изображениям и спектрам. ADQL, в основном, использует подмножество оператора SELECT с дополнительными функциями, позволяющими определять геометрические типы данных и выполнять операции над ними. В базовом наборе операций ADQL предусмотрены запросы метаданных ресурса о грамматических спецификациях, таблицах, колонках, функциях, изображениях.

IVOA разрабатывает стандарты и для сложных сервисов, например, для реализации объединенного запроса сразу к нескольким источникам данных. Обеспечивается такой запрос по протоколу Open SkyQuery [52]. Запрос формулируется на подмножестве языка запросов к базам данных SQL<sup>2</sup>, который называется Astronomical Data Query (ADQL) [53] Оператор

---

<sup>1</sup>Семантический описатель или дескриптор содержимого параметра (Uniform Content Descriptors или UCDs). UCD используется для установления связи между наименованиями параметров и астрономическими понятиями и/или физическими величинами [?, 16].

этого языка переводится в XML-представление. Чтобы выполнить объединенный ADQL-запрос к нескольким астрономическим ресурсам, надо, чтобы они имели веб-сервис, поддерживающий Open SkyQuery протокол.

Хотя SQL (Structured Query Language) можно использовать для запросов к большинству современных астрономических баз данных, но астрономическая специфика требует расширения возможностей этого языка [53].

Программные сервисы, для обеспечения распределенных вычислений в Интернете (Grid & Web Services). В настоящее время виртуальная обсерватория – это набор web-сервисов. Дальнейшее развитие инфраструктуры – реализация методов асинхронных сообщений, авторизация подписью и управление потоками работ, что реализуется посредством информационных технологий, объединяемых общим названием Grid.

Такой подход используется в проекте AstroGrid (UK) [54]. Архитектура программных компонентов и сервисов AstroGrid носит название Common Execution Architecture (CEA).

Web-сервис, определяемый как RPC (Remote Call procedure), то есть вызов функции или исполняемой процедуры на удаленной машине, может быть описан несколькими специальными протоколами (соглашениями). Обычно используют XML-RPC и SOAP (Simple Object Access Protocol). Оба включают синхронный обмен сообщениями путем отправки текстовых запросов и получение ответов в формате XML, инкапсулированными в более простой стандартный Web-протокол HTTP. Разница между этими двумя методами аналогична различию между языковыми средствами интерпретаторов и компиляторов. На XML-RPC намного проще писать и он более гибкий. С другой стороны SOAP – позиционируется как потенциально более безопасный, поскольку уже на этапе компиляции на стороне клиента может обнаружить ошибки, которые в первом случае смогут произойти во время выполнения. В простом XML-RPC клиентское приложение может отправить серверу любое сообщение, которое захочет (в том числе неправильное). Сервер же решает отправить ли результат исполнения запроса или сообщение об ошибке. В SOAP – сервер представляет XML-описание предоставляемых услуг в нотации языка WSDL (Web Services Description Language) с помощью которого автор программного кода клиентского приложения компилирует вызываемые сервисы в конкретный предпочтительный язык программирования, например C++. При этом запрос в виде определенных структур данных и типов, функций и объектов низкоуровневого языка программирования преобразуются в сообщения XML. При этом сервер считает, что сформировать неправильное сообщение теоретически невозможно. Кроме этого данный подход позволяет автору программы использовать автоматические процедуры завершения методов, поддерживаемых сервером, поскольку они уже имеются в родных сериализированных библиотеках кода. Однако на практике указанные преимущества SOAP над XML-RPC могут быть нивелированы из-за вырождения в описании WSDL. В частности SOAP – клиенты могут быть написаны на совершенно другом языке, чем тот инструментарий, которым скомпилирован сервер. Из-за чего могут возникнуть существенные проблемы в форматах сообщений и совершенно неожиданная реакция сервера на них. Часто отличия вполне тривиальны, например добавлены несколько новых имен тегов, но

результат технически неправильно сформированных сообщений может оказаться катастрофическим для сервера. Обновление библиотеки SOAP, использованной для создания приложения, с незначительными правками будет формировать сообщения полностью исключающие его работоспособность. Это огромная проблема, поскольку доступные SOAP – библиотеки все еще далеки от совершенства и находятся в постоянной и активной разработке. Чтобы обойти эти сложности, мы прибегли к построению SOAP – сообщений с помощью простых форматных строк на языке Python, а не генерации полного кода высокоуровневого приложения, привязанного к версиям библиотек Microsoft. Этот подход оказался более легким для низкоуровневой разработки, а для обращения с помощью типовых запросов к сервису Open SkyQuery по крайней мере втрое производительнее. Для построения системы координатной привязки изображений мы выбрали Open SkyQuery [52] именно по тому, что исторически он появился как действующий и отлаженный сервис через выделенный портал раньше других, что однако не ограничивает нас на дальнейшую переориентацию в сторону децентрализованных Grid-сервисов типа AstroGrid. Это будет нетрудно, поскольку интерфейсы хорошо описаны и стандартизируются IVOA.

Сервис Open SkyQuery представляет собой распределенную базу данных, которая обеспечивает доступ к множеству астрономических обзоров с использованием SQL-подобного синтаксиса, называемого ADQL. В дополнение к обычным функциям SQL, ADQL обеспечивает операцию REGION, которая возвращает координаты всех источников в заданной области на небе и операции кросс-идентификации, которые возвращают отождествленные пары между наборами данных. Операции кросс-идентификации могут быть полезны тем, что пользователям доступна загрузка собственных данных в виде таблицы для сравнения с другими каталогами. Каждый обзорный каталог хранится на SkyNode SQL-сервере баз данных и реализует ADQL запрос в качестве веб-сервиса. Кроме того, данные, хранящиеся на SkyNode обычно проиндексированы по угловым координатам, или еще лучше, если структурированы в иерархической треугольной сетке (hierarchical triangular mesh).

Соответствующий алгоритм хэширования значительно улучшает производительность пространственного поиска для данных, распределенных на сфере. К сожалению в сервисе Open SkyQuery алгоритм кросс-идентификации, удовлетворяющий нашей задаче, к настоящему времени пока не реализован. Самое главное, он не возвращает признака уникальности соответствия между двумя списками источников. То есть источник в 1-ом списке может быть идентифицирован с несколькими источниками в списке 2, и наоборот. Кроме того, в самой процедуре кросс-идентификации с заданным максимальным радиусом выход определяется только как  $\chi^2$  – порог рассогласования вместо физической величины угловой дистанции рассогласования, нужной для вычисления корректирующего смещения координат. По этим причинам мы сами проводим кросс-идентификацию между рассматриваемой областью неба, получаемой по запросу из Open SkyQuery и нашим каталогом локально, запуская  $n \log(n)$  "XMatch" [52] процедур, где  $n$  – число строк каталога. Этот подход, примененный Д.Брювером (J.Brewer) в WCS-Fixer [50], полезен еще тем, что не требует загрузки временного локального каталога в Интернет-портал Open SkyQuery. Достаточно указания только координат центра поля и его радиуса, из-за чего

скорость обработки существенно повышается. Кроме того повторяющиеся запросы от каждой перекрывающейся области неба позволяют эффективно использовать кэширование данных в сервисе Open SkyQuery, что так же ускоряет процесс автоматической обработки данных.

## 1.1 Настройка VO Desktop

Для работы с локальными ресурсами САО РАН с помощью VO Desktop необходимо:

- а) скачать и установить последнюю версию <sup>1</sup> VO Desktop со страницы Astrogrid:  
<http://www.astrogrid.org/wiki/Install/Downloads>;
- б) запустив по команде: `java -Xmx512M -jar vodesktop-1.3.2.app.jar`  
войти в меню настроек свойств: Edit - Preferences - Registry и добавить в окно ввода “Registry endpoints” следующий URL:  
[http://www.sao.ru/astrogrid-registry/services/RegistryQueryv1\\_0](http://www.sao.ru/astrogrid-registry/services/RegistryQueryv1_0)
- в) чтобы сделать новую конфигурацию рабочей остановите работу VO Desktop: File - “Exit VODEsktop” и запустите снова.
- г) проверьте подключение ресурсов САО РАН например среди Examples - “Table query services”, см. Рис.1.2.

---

<sup>1</sup>На момент публикации доступна версия vodesktop-1.3.2.

Рисунок 1.1 — “Архитектура узла виртуальной обсерватории (SkyNode).”

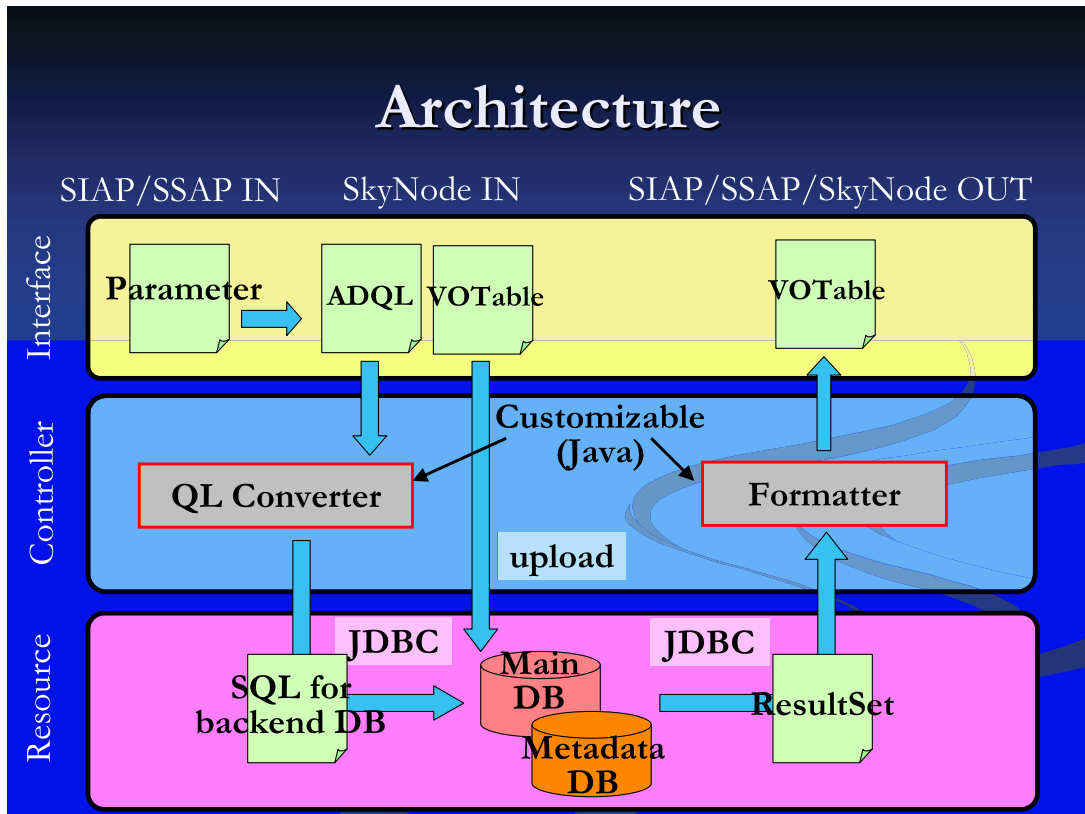
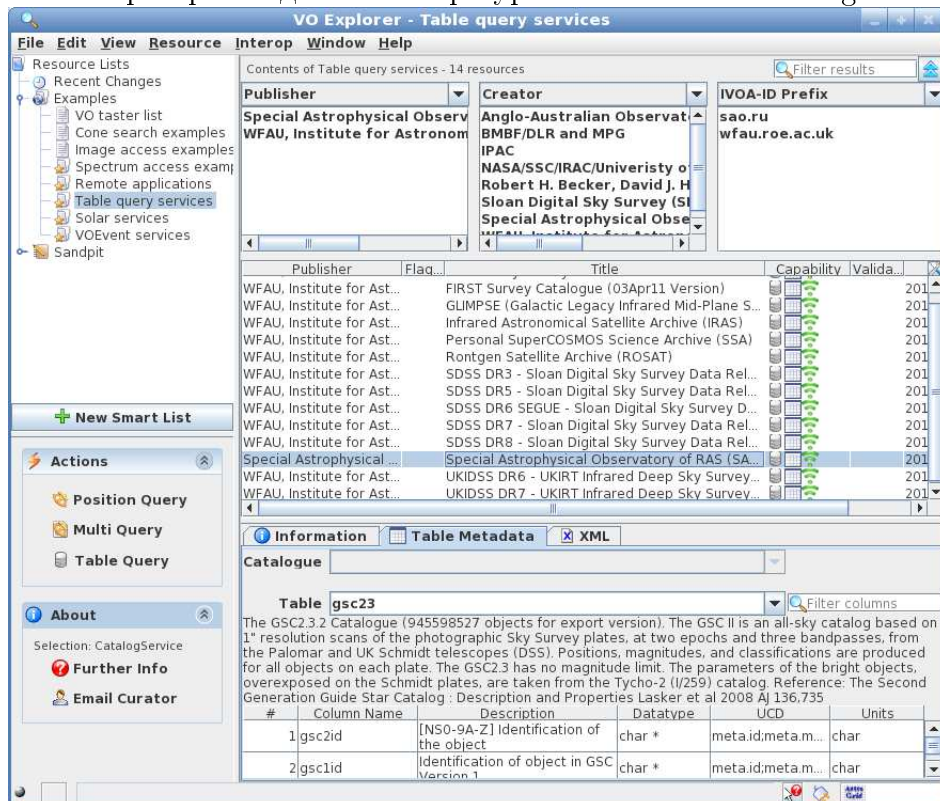


Рисунок 1.2 — “Проверка подключения ресурсов CAO РАН в Astrogid VO Desktop.”



## 2 Система экспресс-обработки прямых изображений вспомогательных телескопов

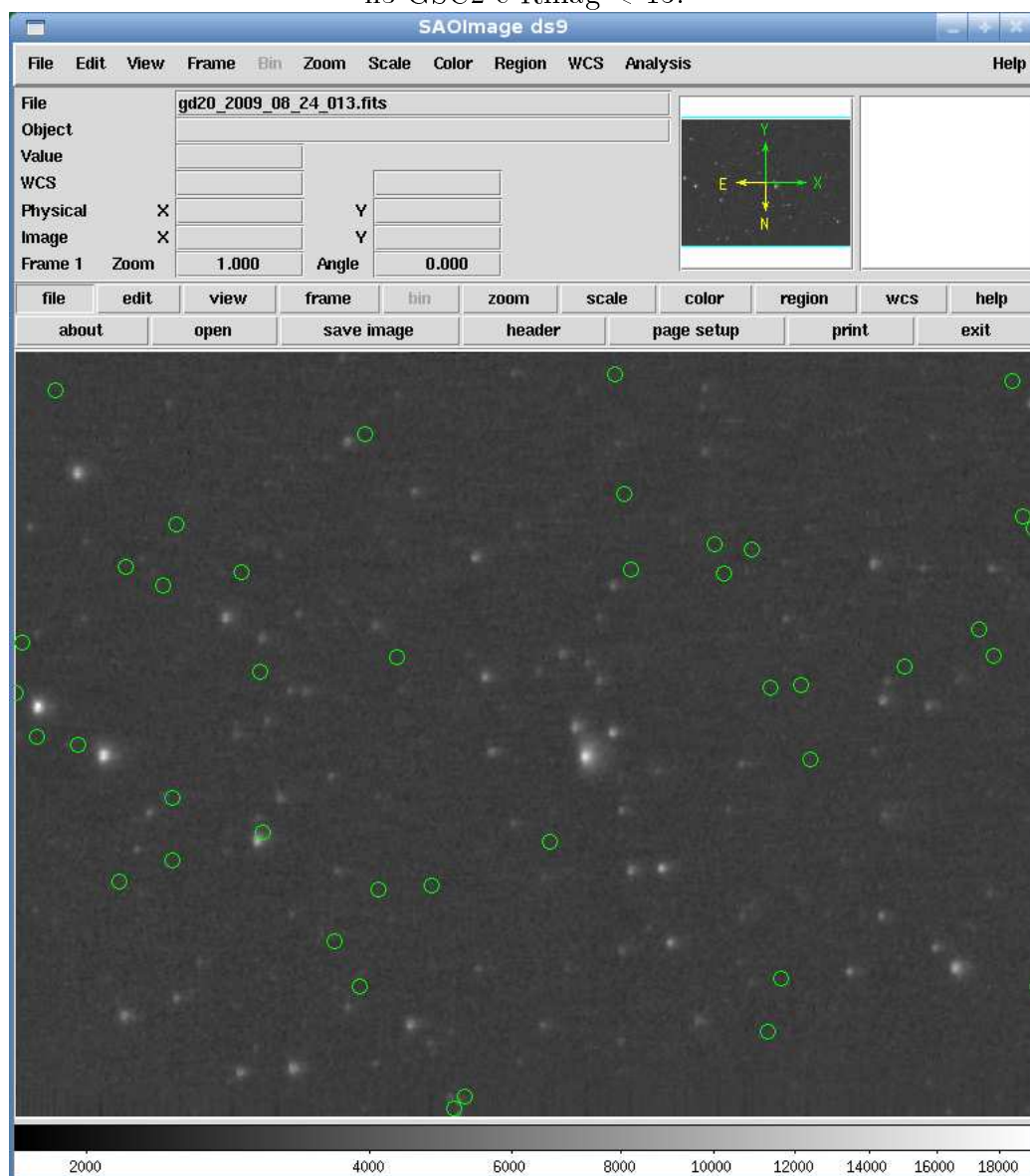
Проведение наблюдений с помощью вспомогательных телескопов предполагает наличие современного оснащения данных инструментов средствами получения и анализа астрометрических и фотометрических данных. Сюда входят оптический тракт и современный светоприемник, согласованные по полю зрения и характеристикам спектральной чувствительности; система считывания изображений и накопления кадров на базе современного компьютера с сетевой операционной системой (ОС); программные модули осуществляющие сетевое взаимодействие с компьютерами системы управления (АСУ) положением основного телескопа и оформление получаемых изображений в виде FITS-файлов; программные модули первичной координатной обработки изображений с добавлением параметров мировой координатной системы (WCS)[27] в FITS-заголовки.

Поскольку координатная точность гидов определяется конструкциями основных телескопов, исходная координатная привязка, получаемая в FITS-файлах от датчиков АСУ, оставляла желать лучшего. Так для БТА ошибка наведения составляет до 30", а для Цейс-1000 – до нескольких минут (см. пример на Рис.2.1). При этом не стоит путать указанные значения ошибки наведения от ошибки ведения телескопов, которая существенно (более чем на порядок) меньше и потому позволяет накапливать сигнал последовательных кадров. Дальнейшее уточнение координат возможно только по объектам, попадающим в поле фиксации изображения. Решение задачи уточнения координат изображения по объектам требует проведения нескольких этапов обработки:

- а) Первичное улучшение изображений: оцифровка, накопление полей, фильтрация помех и “горячих” пикселей;
- б) Оформление FITS с записью координатной информации от АСУ;
- в) Запись в архив;
- г) Выделение звезд и генерация каталога в относительных координатах;
- д) Извлечение выборок объектов из астрометрических каталогов с пересчетом мировых координат на эпоху наблюдения;
- е) Деселекция очень ярких звезд (близких) с неизвестными параметрами собственного движения или коррекция координат таких источников с учетом известных параметров линейной аппроксимации смещения на эпоху наблюдения;
- ж) Последовательное применение вариантов фиксации координат:
  - Процедуры кросс-идентификации таблиц для наблюдаемых объектов и каталога с вычислением параметров линейного преобразования поля (смещение, поворот, масштабирование);



Рисунок 2.1 — “FITS-файл 20-см гида до калибровки WCS с наложенными положениями звёзд из GSC2 с  $R_{\text{mag}} < 13$ .”

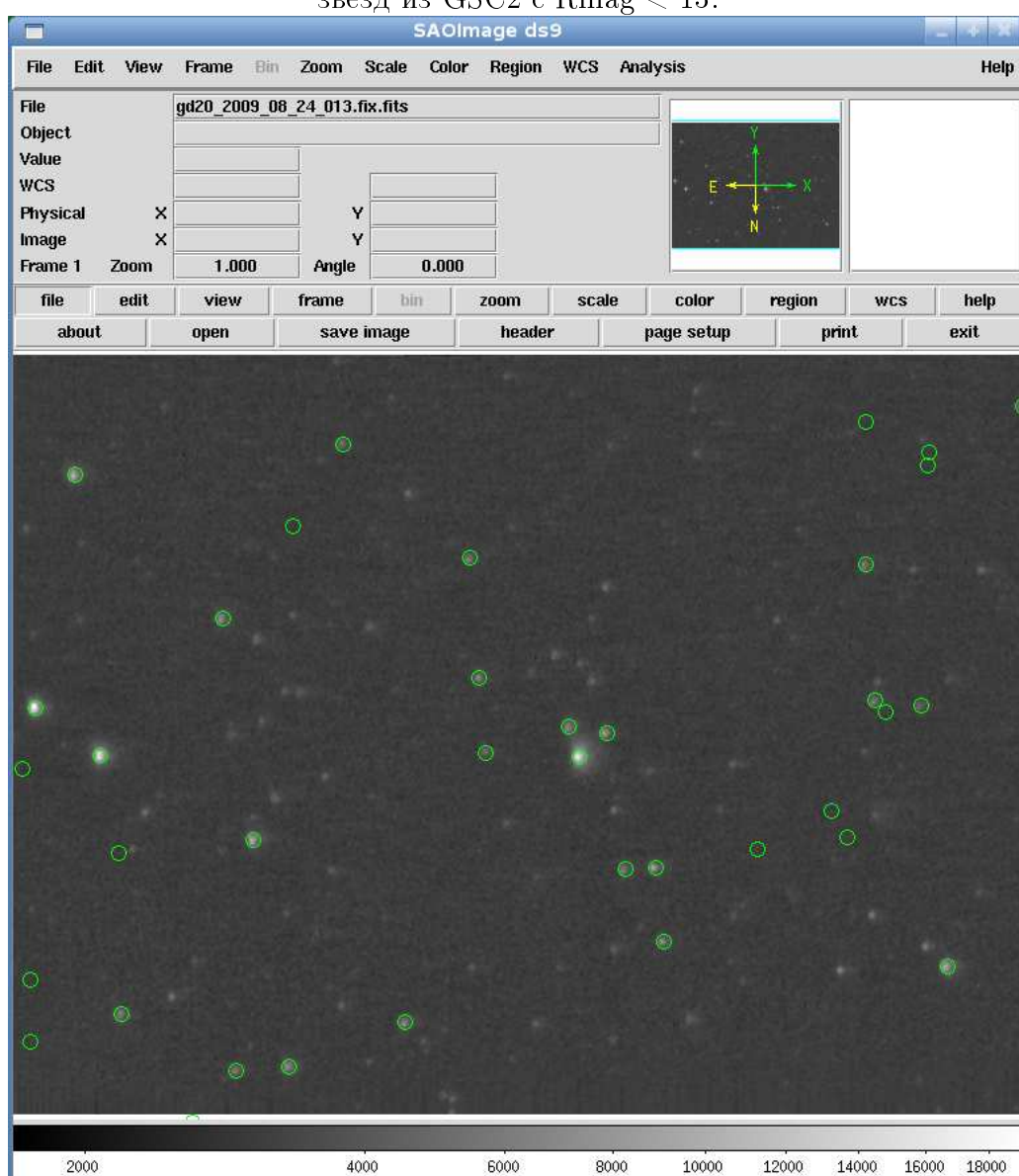


- Процедуры генерации модельных объектов поля по данным каталогов и определения параметров линейного смещения поля на основе двумерного кросс-корреляционного анализа модельного и наблюдаемых изображений;

з) Запись WCS в FITS и архивирование.

FITS-файлы, привязанные по WCS, являются по сути “science ready” – готовым материалом для обработки автоматизированными программами с целью получения рабочих каталогов наблюдаемых объектов неба для сопоставления с расчетными эфемеридами небесных тел (см. Рис.2.2).

Рисунок 2.2 — “FITS-файл 20-см гида после автофиксации WCS с наложенными положениями звёзд из GSC2 с  $R_{\text{mag}} < 13$ .”



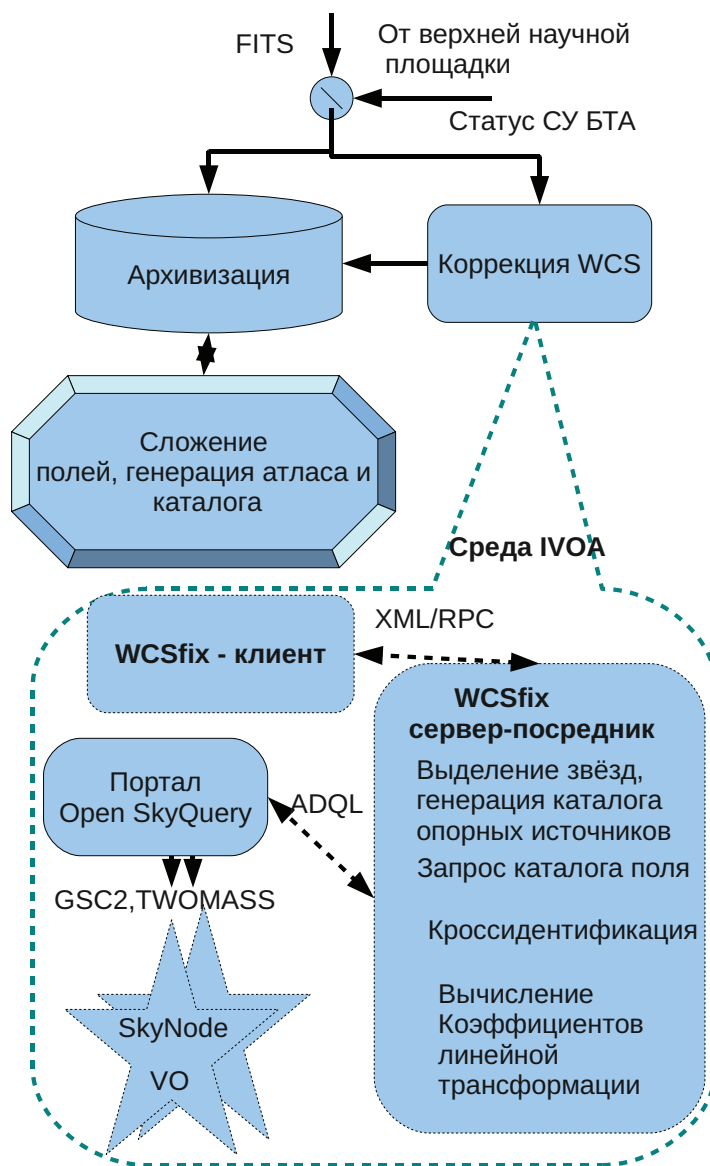
Кроме этого по полученным записям можно произвести суммирование по перекрывающимся (повышение чувствительности) и неперекрывающимся площадкам неба (генерация атласа) от всех задействованных в комплекс малых телескопов.

Исходно вспомогательный (подсмотровой) телескоп в первую очередь предназначен для корректировки наведения основного телескопа на заданный участок неба и его оптическая система и светоприемники, предназначенные для визуального восприятия не могут вполне удовлетворять требованиям для стандартных астрометрических и астрофотометрических процедур обработки и архивации наблюдений. Для реализации проекта нам требовалось выполнение следующих работ:

- а) Модернизация широкоугольной оптической системы, в том числе удаление из поля зрения мешающей наблюдениям оптической засветки (подсвеченной сетки) и бликов;
- б) Калибровка поля зрения, учет возможных геометрических искажений;
- в) Адаптация светоприемника к проведению длительного накопления сигнала и получения максимальной чувствительности в выбранном оптическом диапазоне.
- г) Создание программных модулей для оформления видео-данных светоприемника к стандартному FITS формату.
- д) Создание аппаратно-программного обеспечения для дополнения FITS-заголовка метеоданными.
- е) Создание программных модулей для первичной обработки кадров, последовательного адаптивного сложения изображений и кодирования.
- ж) Создание программных модулей для первичной астрометрической привязки, внесение информации в FITS-заголовок, учитывающей ориентацию и масштабирование на основе данных АСУ БТА [32]; подключение процедур пересчета координат центра изображения с эпохи наблюдения в стандартную эпоху – epoch [38] и создание WCS-записей в FITS-заголовке.
- з) Адаптация и опробование процедур генерации каталога звезд, попадающих в поле зрения телескопа на основе известных алгоритмов SExtractor [29] и IRAF ACE [28].
- и) Создание программных модулей для выполнения запросов к астрометрическим каталогам типа USNO [41] для выборки стандартных звезд, попадающих в указанное поле.
- к) Разработка и адаптация специальных алгоритмов, для кросс-идентификации объектов локального каталога выделенных звезд и стандартных каталогов для астрометрической калибровки WCS-параметров. Алгоритм должен быть слабочувствителен к небольшим смещениям, повороту и искажениям масштаба.
- л) Создание программных модулей для выборки из общего архива наблюдений CAO с помощью системы доступа OASIS [37] файлов наблюдений на БТА, удовлетворяющих критериям для астрометрической обработки.
- м) Выполнение работ по перечисленным пунктам ж – к для выборочных файлов из архива наблюдений, с целью проверки программ и отработки методики.
- н) В 2009 году 70-см гид БТА выведен из штатной эксплуатации и начата модернизация его оптической схемы.

- о) С апреля 2009 года 145-мм рефрактор включен в штатную систему наведения БТА, в фоновом режиме изображения архивируются FITS-формате с записью WCS-заголовков.
- п) Программное обеспечения для быстрой координатной обработки FITS-изображений (коррекция WCS) реализовано в виде XML-RPC сервера-посредника в структуре IVOA (см. Рис. 2.3), размещенном в CAO. Этот сервер может обслуживать множественные за-

Рисунок 2.3 — “Диаграмма обработки данных на нижней научной площадке CAO.”



- просы от клиентских приложений, запускаемых на компьютерах в локальной сети CAO.
- р) В автоматическом режиме, регулярно в наблюдательные ночи производится экспресс-обработка изображений 145-мм рефрактора с корректирующей привязкой центра с точностью до 0.6 угл. сек. по каталогам TWOMASS и GSC2.3 (USNOA2/Tycho2) с использованием сервисов IVOA.

- с) В августе аналогичная система сбора и обработки изображений подключена к 200-мм гиду телескопа Цейсс-1000. Обработка изображений производится только в тех случаях, когда гид используется наблюдателем в штатном режиме “телеподмотра”.
- т) В августе 2009 года в САО размещен сервер реестра ресурсов AstroGrid: <http://www.sao.ru/astrogrid-registry/>, предоставляющий возможность как публикации собственных ресурсов, так и использования других, общедоступных с помощью стандартного программного инструментария: VO-desktop, TOPCAT и соответствующих программных библиотек.
- у) К концу 2009 года нами запущен собственный AstroGrid – ресурс: <ivo://sao.ru/dsa/wsdb> с быстрым ADQL доступом к локальной копии 2-х микронного обзора TWOMASS.

### 3 Координатная привязка архивных прямых снимков БТА.

Создание общего электронного архива наблюдательных данных оптических телескопов САО и организация системы управления и доступа к нему с помощью современных сетевых технологий позволило существенно расширить области использования огромного числа накопленных снимков объектов ночного неба. Одним из необходимых условий проведения астрометрических исследований по архивным данным является корректная астрометрическая привязка наблюдаемых полей к стандартным каталогам. Следует учесть, что при обилии архивного материала обработка должна производиться в автоматизированном, пакетном режиме. Эта задача возникла в первую очередь по той причине, что телескопы БТА и Цейс 1000 исходно не строились в соответствии с астрометрическими задачами, это все-таки приборы для астрофизических исследований. Поэтому точность наведения телескопов на исследуемые объекты часто была достаточной для простого попадания их в поле зрения, отождествления площадки и ведения и сопутствующей записи в FITS именно координат объекта, а не центра пиксельных изображений. Отличие в координатах могло составлять сотни секунд дуги, а угол поворота изображений – десятки градусов. Нам же для сравнения изображений и идентификации объектов необходима точность привязки к калибровочным звездам порядка долей секунды дуги.

Целью работы было создание автоматизированной процедуры, позволяющей в пакетном режиме извлекать из архива максимальное количество файлов прямых снимков, соответствующих классу наблюдений – методу, дополнение и/или коррекция координатной информации в заголовках FITS в стандартном описании WCS на основе анализа имеющейся исходной информации в заголовках; обработки самого изображения с целью правильной ориентации и выделения ярких калибровочных звезд, попавших в поле зрения и сопоставление с одним из стандартных астрометрических каталогов. Как результат обработки формируется набор файлов наблюдений, который можно непосредственно использовать для координатного отождествления объектов Солнечной системы и получение данных об их траекториях, в том числе и поисковых задачах. Направление данной работы является актуальным, чему свидетельствует появление соответствующих инструментарий в IVOA, в частности в NVO – WCSfixer [30], аналогичный сайт в ГАИШ МГУ [35], там же диссертационная работа Ашимбаевой Н.Т. [34], проводившей подобную координатную обработку вручную.

На начальном этапе работ были разработаны процедуры и реализованы в виде командных файлов и программ с использованием пакета wctools [40], осуществляющие:

а) GetList:

- организацию сетевого HTTP-соединения с системой доступа к архиву наблюдений САО РАН,
- извлечение списка FITS-файлов по заданным критериям DATE, INSTRUM, OBJECT.

б) GetFiles:

- последовательное извлечение FITS-файлов по входному списку;

в) wcs.sh:

– gethead:

извлечение значений FITS-параметров: NAXIS1, NAXIS2, CRVAL1, CRVAL2, EPOCH, IMSCALE, PARANGLE, ROTANGLE, RA, DEC;

– imrot:

поворот изображения в случае необходимости с дискретностью 90°;

– epoch:

пересчет координат центра поля с эпохи наблюдений на 2000-ый год;

– вычисление 4-х значений коэффициентов матрицы масштабирования и поворота: CD1\_1, CD1\_2, CD2\_1, CD2\_2;

– sethead:

запись всех вычисленных значений и HISTORY в FITS-заголовки.

– sex:

обработку FITS-файла с получением на выходе локального каталога координат и блеска звездоподобных объектов.

– sex2reg:

преобразование записей локального каталога в описание регионов объектов для отображения в SAOimage [42] с целью отладки параметров алгоритма SExtractor.

В результате работы перечисленных процедур мы имеем FITS-файл с начальными значениями WCS-параметров, которые необходимо откалибровать. То есть зафиксировать центр поля прямого снимка и его ориентацию, отождествляя выделенные в нём звёзды с данными из каталогов. Для этого удобно использовать Web-инструментарий – WCSFixer. На рисунках 3.1, 3.2 отображен процесс WCS-координатной калибровки архивных наблюдений 2006 года по программе Ю.Н. Парийского на БТА, прибор SCORPIO и результирующие параметры обработки изображения (Рис. 3.3) с помощью разработанных нами процедур и Web-инструментарием – WCSFixer. Как следует из таблицы, результирующая ошибка привязки координат изображения в проекции не превышает 1.5 - 2 межпиксельного расстояния в CCD-матрице, что в абсолютном значении составляет 0.45 – 0.6 секунд дуги.

Поскольку сторонние Web-сервисы для фиксации координат слабо подходят для полностью автоматической обработки FITS-изображений, программное обеспечение, функционально аналогичное WCSFixer, было реализовано В.Н. Черненковым в виде XML-RPC сервера-посредника [39] в структуре ВО (см. Рис. 2.3) и размещено в САО. Реализация сервера основана на использовании модулей написанных на языке Python и C, представленных в проекте [50] с использованием принципов и технологий, описанных в первой части статьи. Обработка изображений выполняется в несколько этапов:

Рисунок 3.1 — “Фиксация калибровочных звёзд в наблюдениях на БТА 2006 года, прибор SCORPIO.”

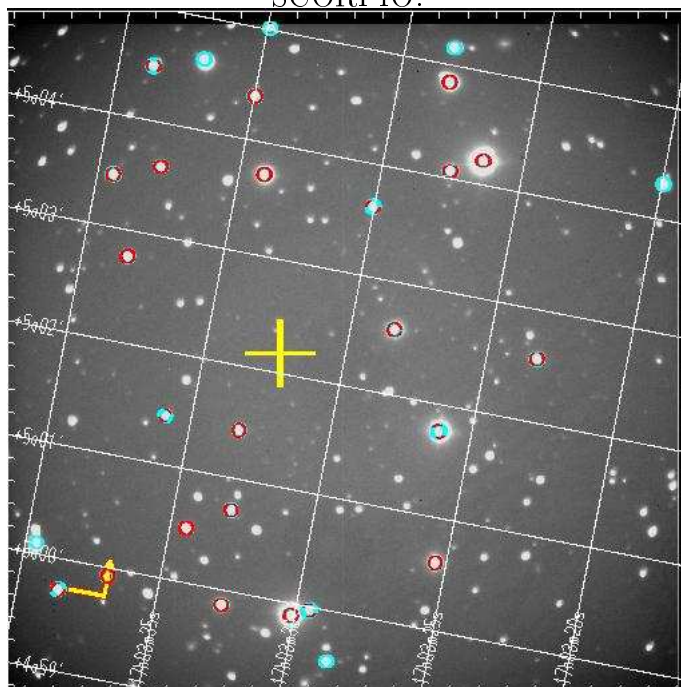
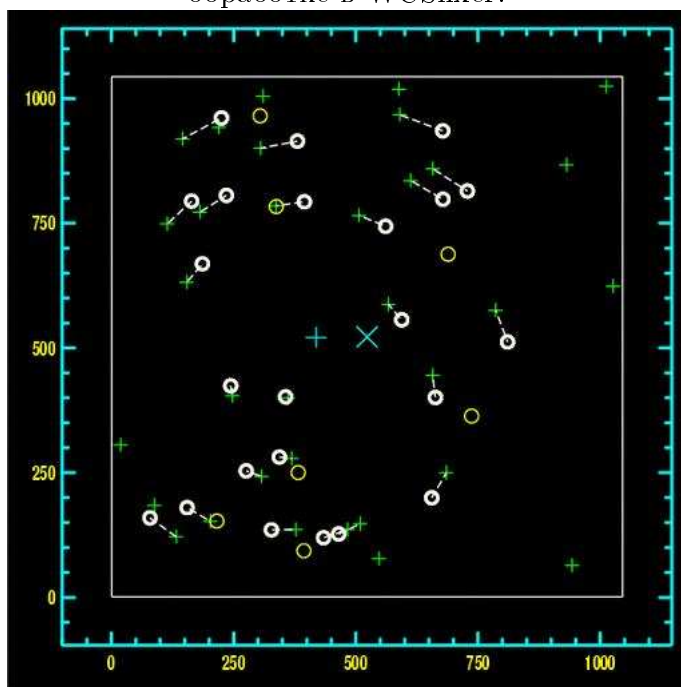


Рисунок 3.2 — “Графическое отображение процедуры коррекции координатного смещения изображения в наблюдениях на БТА 2006 года, прибор SCORPIO, при автоматизированной обработке в WCSfixer.”





- а) Прием FITS-файла и параметров для обработки от клиентской программы по XML-RPC – протоколу. В параметрах присутствуют переменные для оптимальной работы SExtractor (максимальное количество объектов в кадре, величина возможной эллиптической изображений звезд и т.п.) и идентификатор астрометрического каталога, по которому должна осуществляться привязка;
- б) Выделение источников (SExtractor), построение координатной таблицы, сортировка источников в порядке уменьшения блеска;
- в) Запрос каталога из NVO (WESIX)[31] в нотации языка ADQL, с сортировкой в порядке уменьшения видимых (или эквивалентных видимым в красном фильтре) звездных величин источников;
- г) Генерация всех возможных треугольников в обоих наборах данных кроме равносторонних и равнобедренных, построенных из точечных источников с записью в структуру данных;
- д) Поиск подобных треугольников по соотношению сторон и отождествление пар угловых точек по алгоритму, аналогичному описанному в [48, 49].
- е) Вычисление оптимального значения для матрицы коэффициентов линейного преобразования, соответствующего оптимальному по МНК совпадению координат источников поля и каталога, при котором лишние точки отбрасываются по RANSAC [51] алгоритму (см. Рис.3.4).
- ж) Вычисление и запись откорректированных значений WCS в FITS.
- з) Передача результата вычислений и откорректированного файла клиентской программе по XML/RPC – протоколу.

Основное достоинство данного алгоритма в его инвариантности к линейным смещениям, поворотам, переворотам и разбросу масштабов изображений участков неба. К недостаткам можно отнести сравнительно большой процент отказов при малом количестве источников в поле зрения (обычно необходимо не менее 5-7 хорошо отождествляемых звезд), когда корреляционный метод (см. далее в главе 4) еще работает. Хорошие результаты, по нашему опыту, даёт последовательное применение обоих методов фиксации координат. Сервер может обслуживать множественные запросы от клиентских приложений, запускаемых на компьютерах в локальной сети САО для пакетной обработки как архивных прямых снимков основных телескопов, так и получаемых в реальном времени FITS от ТВ-систем гидов. Основное достоинство такой распределенной схемы обработки данных в том, что для привязки координат не требуется передача изображений от телескопов в удаленный центр, а только к серверу-посреднику (локальный WCS-fixer) и в локальный архив. Посредник же, через возможно медленные каналы оперирует только с выборками табличных данных удаленных и локальных астрометрических каталогов. Среднее время привязки кадра по 30-ти и менее точек к одному каталогу (TWO MASS) составляет около 10с, включая все запросы к порталу Open SkyQuery. Таким образом мы получаем

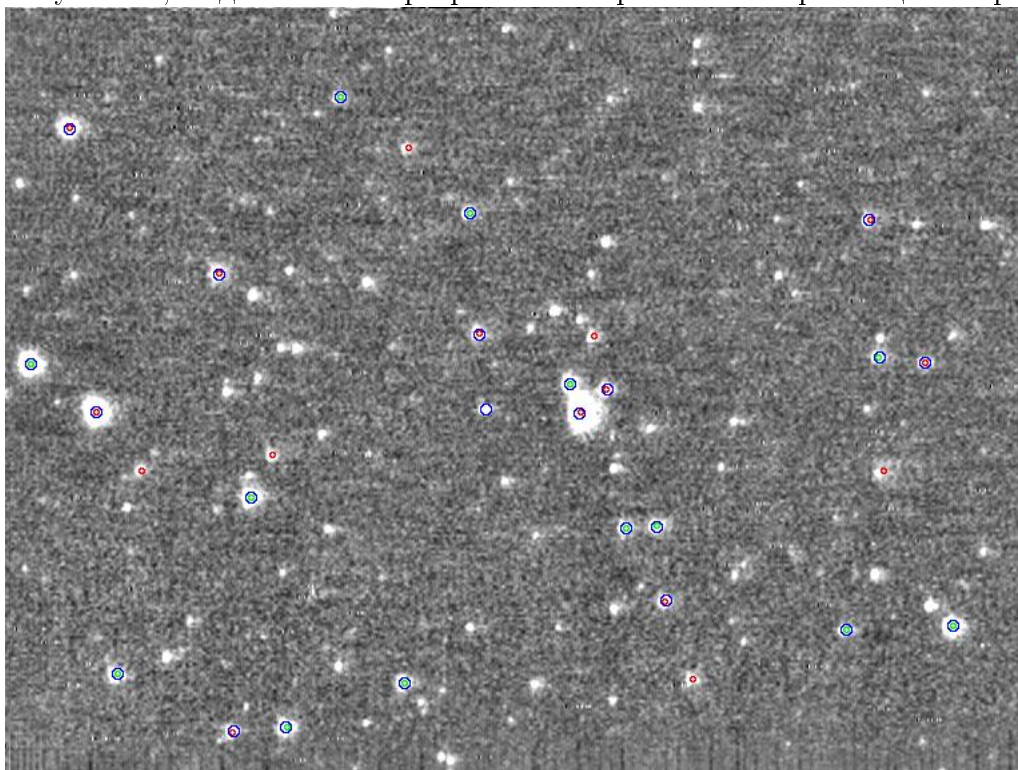
Рисунок 3.3 — “Результирующая таблица параметров фиксации WCS -координатного смещения изображения в наблюдениях на БТА 2006 года, прибор SCORPIO, при автоматизированной обработке в WCSfixer.”

**Transferring image... done.**  
**Validating image ...Previewing...done.**  
**Getting usno-a2 stars for field ....**  
 33 stars found (45 max, 34 clipped)  
**Making image object catalog....**  
 222 objects found (8 filtered)  
 214 remaining in catalog (using 30)  
**Matching image/reference lists...**  
**Matched 23 objects**  
**Creating matched object catalog....**  
**Solution:**

<b>CRVAL</b>	17:03:32.318	5:02:10.77
<b>CRPIX</b>	418.972	520.910
<b>Scale ("/pix)</b>	0.351	0.351
<b>RotAng (deg)</b>	190.988	11.099
<b>Shift (sec)</b>	6.77988	6.78071
<b>Fit RMS (")</b>	0.594	0.427

**Solution time: 0:00:14.0**

Рисунок 3.4 — “Изображение объектов файла Рис.2.1 с точками привязки координат к каталогу GSC2, выделенными при работе алгоритма в завершающей итерации.”



высокое быстродействие (обработка в реальном времени) и хорошую масштабируемость при увеличении, как количества телескопов, так и астрометрических каталогов и архивов. В отличие от зарубежных функциональных аналогов, а так же WCSfixer-а ГАИШ МГУ в настоящей реализации, наш сервер позволяет полностью исключить ручные операции в процессе обработки изображений и адаптирован в структуру IVOA с минимизацией сетевых ресурсов.

## 4 Модернизация ПО и Web-интерфейсов гидов БТА и Цейс-1000.

В связи с началом реконструкции 70-см гида БТА, ТВ-камера была переставлена на 15-см рефрактор. Это вызвало необходимость переработки управляющих программ и Web-интерфейса. В 2009 году В. С. Шергиным разработаны отдельные версии управляющих программ и интерфейсов для нового гида, при этом вся система для старого сохранена в отключенном состоянии.

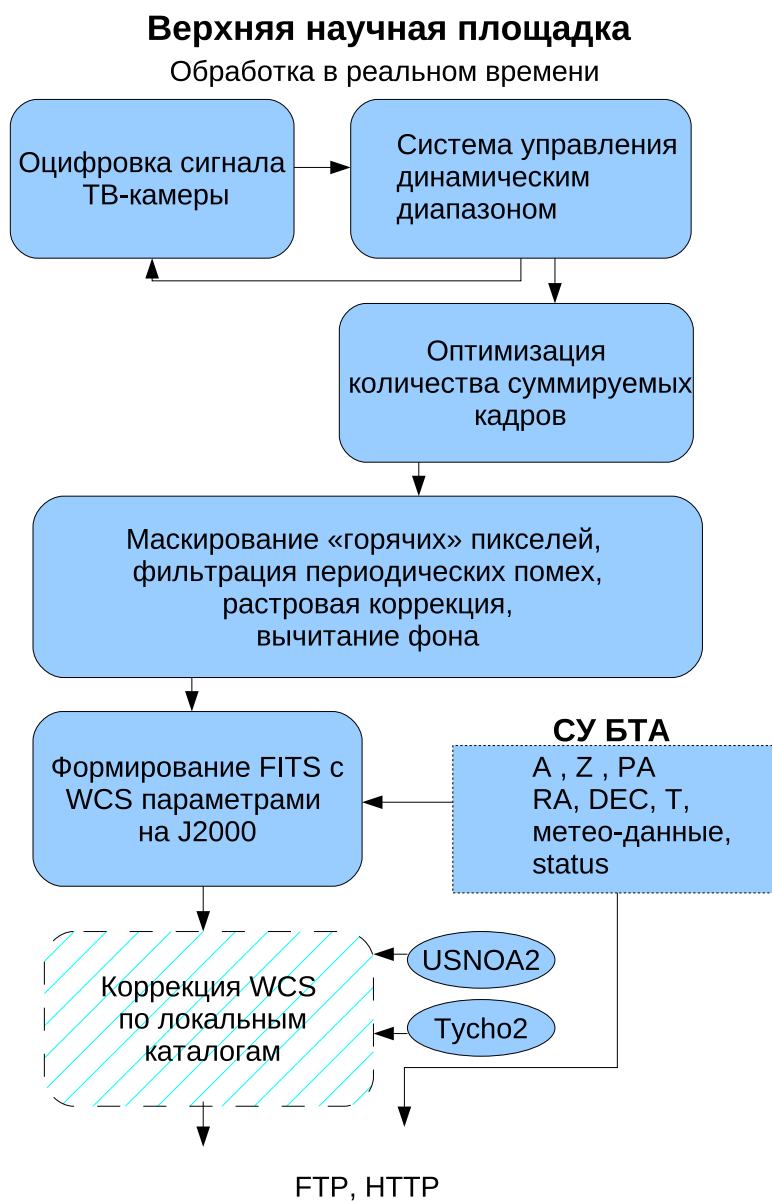
Последние несколько лет программы (webcam) читающие изображения с ТВ-камер гидов БТА и Цейс-1000 формировали FITS-файлы накопленных изображений. Для обеспечения разработок по данной тематике, а также в порядке подготовки к использованию 70-см гида БТА после реконструкции, выполнялись следующие работы.

- На сервере БТА (tb) установлен локальный каталог Tucho-2 (в дополнение к USNO-A2) с доступом через пакет wcstools [40]. Разработан алгоритм совместного использования каталогов Tucho+USNO, когда яркие звезды выбираются из Tucho, а все прочие из USNO, для чего требуется взаимное отождествление совпадающих объектов. Включение такой выборки в программу симуляции изображений для сайта БТА. Формирование в ней изображений с учетом собственных движений ярких звезд (см. Рис. 4.1).
- Разрабатывались алгоритмы определения сдвига звездного поля, при этом поворот поля и масштаб считаются уже известными, что позволяет упростить процедуру. Метод определения сдвига – корреляционный, с использованием БПФ-библиотеки ОС GNU-Linux. Аналогичные методы известны и описаны, например в [47]. Список объектов для модельного изображения-образца получается из каталогов Tucho-2 и USNO-A2. Опробовано два варианта: с прямым использованием исходного изображения и с предварительным выделением объектов на нем. Второй показал лучшие результаты, учитывая что детектирование объектов специализированной обработкой существенно снижает количество ложных максимумов при корреляционном анализе. Поэтому на практике используется второй.
- На основе этих алгоритмов разработана CGI-программа<sup>1</sup> GuideFix.cgi для сравнения изображений с камер гидов с объектами из каталогов. Ей в качестве параметра передается имя FITS-файла, из которого программа читает параметры заголовка и изображение, составляет список объектов из каталогов, сравнивает его с объектами выделенными на изображении и выдает в ответ смещение звездного поля (dX,dY). При этом на диск для использования в Web-презентации записываются: FITS-файл с исправленными (fixed) WCS-параметрами заголовка, четыре JPEG-изображения и JavaScript-файл с WCS-параметрами и информацией из каталогов. Программа в виде JavaScript позволяет произвести более подробное интерактивное изучение наблюдательного материала

---

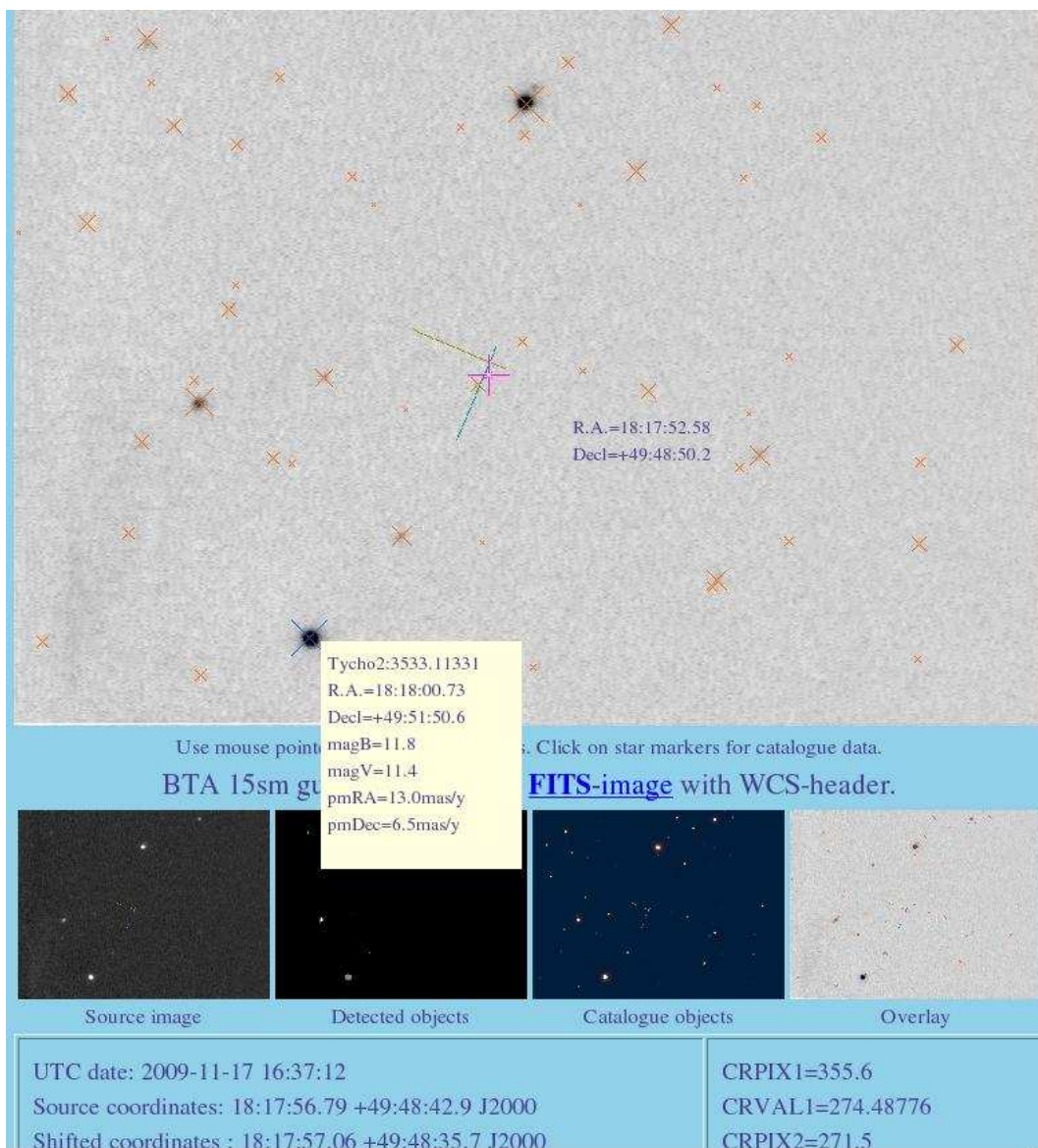
<sup>1</sup>Common Gateway Interface – один из наиболее ранних методов, предназначенных для выполнения программ с передачей параметров через Web, в отличие от XML/RPC – ориентирован в основном на интерактивную работу пользователей через Web-браузеры.

Рисунок 4.1 — “Диаграмма обработки данных на верхней научной площадке САО.”



ла: можно переключать изображения, определять координаты по положению мышки, смотреть данные из использованных каталогов. На Рис. 4.2 изображена Web-презентация FITS-изображений гидов с точной координатной привязкой (fixed WCS-header). Представляются результаты обработки FITS-файлов CGI-программой GuideFix.cgi.

Рисунок 4.2 — “Web-презентация FITS-изображений гидов с точной координатной привязкой.”



#### 4.1 Модернизация программы *webcam* для гида Цейс-1000.

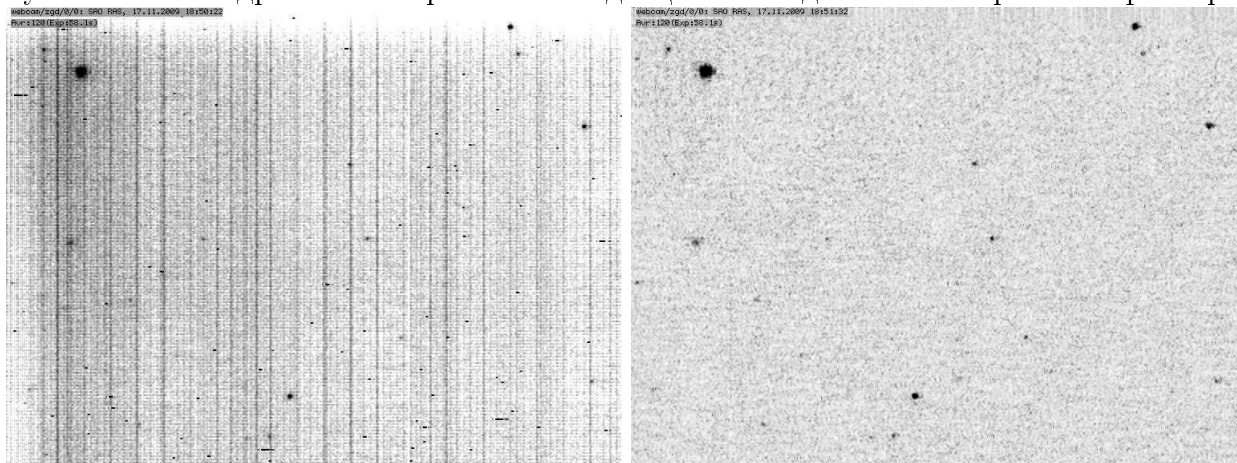
- Разработан индивидуальный алгоритм чистки изображения для этой ТВ-камеры, исправляется фон и удаляются [33] “горячие” пиксели. На Рис. 4.3 отображены изображения до и после обработки фильтром.
- На основе периодического считывания (по SMB-протоколу) служебных файлов штатной системы управления Цейс-1000 (под Windows95) “вычисляется” наиболее вероятное состояние телескопа с переводом координат, если необходимо, в эпоху J2000 [33].

- В область сайта записывается файл для удаленного контроля состояния телескопа (например при архивизации) и для использования в Web-интерфейсе гида.
- Формируется FITS-файл с заголовком унифицированным с гидом БТА и с WCS-параметрами на основе координат из системы управления.
- Если телескоп в состоянии ведения (tracking) файл передается на сервер БТА (tb) по протоколу FTP.
- Далее запуск (по HTTP протоколу) на сервере БТА (tb) CGI-программы GuideFix.cgi, получение величины сдвига изображения, и коррекция WCS-параметров в FITS-файле.
- Запись JavaScript-файла с WCS-параметрами для использования в Web-интерфейсе.

#### 4.2 Модернизация программы *webcam* для гида БТА.

- Разработан индивидуальный алгоритм чистки изображения для этой ТВ-камеры, исправляется фон и удаляются [33] “горячие” пиксели, восстанавливаются испорченные неоптимальной передаточной функцией камеры изображения звезд. Следует отметить, что хотя процедуры обработки сигналов ТВ-камер гидов Цейсс-1000 в основном схожи, тем не менее есть существенные отличия, связанные с принципиальными отличиями montirovok этих телескопов. На обоих телескопах камеры закреплены жестко без вращателей поля. На БТА с его альт-азимутальной montirovкой, в отличие от Цейсс-1000, нельзя игнорировать смазывание изображений при длительных экспозициях, возникающего из-за вращения поля. То есть для получения высокой чувствительности необходима покадровая обработка изображений с малой экспозицией, при которой смазыванием можно пренебречь или искажения источников откорректировать специальным фильтром, и только потом, после фиксации координат, возможно сложение кадров. На Рис. 4.4 отображены изображения до и после обработки фильтром.
- Формирование FITS-файла с WCS-параметрами на основе (получаемых по сети) данных АСУ БТА и передача этого файла на сервер БТА (tb) по протоколу FTP.

Рисунок 4.3 — “Кадры ТВ-камеры 200мм-гида Цейсс-1000 до и после обработки фильтром. ”



- Запуск (по HTTP протоколу) на сервере БТА (tb) CGI-программы GuideFix.cgi, получение величины сдвига изображения, и коррекция WCS-параметров в FITS-файле.
- Запись JS-файла с WCS-параметрами для использования в Web-интерфейсе.

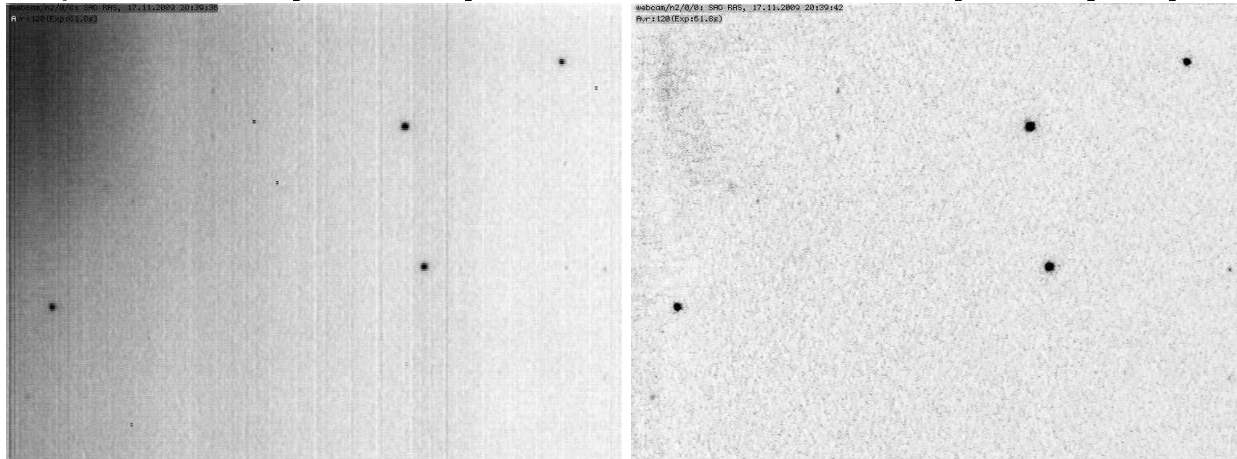
#### 4.3 Доработка Web-интерфейса гида БТА:

- учет смещения изображения при формировании модельной картинки по каталогу;
- индикация координат (R.A.,Decl) при движении указателя (мышки) по изображению;
- смена изображений при клике.

#### 4.4 Доработка Web-интерфейса гида Цейс-1000:

- представление состояния системы управления;
- учет смещения изображения при формировании модельной картинки по каталогу;
- индикация координат (R.A.,Decl) при движении указателя (мышки) по изображению;
- смена изображений при клике;
- интерфейс модельных изображений с изменением координат и параметров.

Рисунок 4.4 — “Кадры ТВ-камеры 145мм-гида БТА до и после обработки фильтром.”





## Заключение

Поскольку с использованием разработанной технологии выполняется архивизация FITS-изображений камер гидов БТА и Цейс-1000, можно сказать что положено начало формированию первого и пока единственного в CAO архива изображений с точной привязкой координат. Типовая результирующая точность привязки изображения гида при этом составляет 0.6-0.7". С середины мая 2009 года по середину декабря со 145-мм рефрактора получено около 7.5 тыс. FITS-файлов изображений. Из них 2994 прошли успешную автоматическую обработку в реальном времени с привязкой к каталогу GSC2.3 – 1902 шт., остальные к TWOMASS. С конца августа 2009 года по середину декабря со 200-мм гида Цейс-1000 получено около 2.3 тыс. FITS-файлов изображений. Из них 671 прошли успешную автоматическую обработку в реальном времени с привязкой к каталогу GSC2.3 – 496 шт., остальные к TWOMASS.

Точность автоматической фиксации координат пробных архивных изображений БТА 2006 года составляет 0.45 – 0.6". Оценка соответствует привязке центра поля по звёздам каталогов GSC2.3 и TWOMASS в диапазоне от 9-той до 16-ой величины на прямых снимках прибора SCORPIO без учета возможной дисторсии. Поскольку полученная точность привязки координат согласована с разрешающей способностью телескопа, то архивные данные CAO могут быть использованы для автоматической генерации локальных каталогов и в поисковых астрофизических задачах.

Работа проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант: № 07-07-00211-а. Авторы благодарны Витковскому В.В. за организационную поддержку выполнявшихся работ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Отчет CAO РАН 2007-2008, , (2010).
- 2 R.J. Hanisch, P.J. Quinn, <http://www.ivoa.net/pub/info/TheIVOA.pdf> (2003).
- 3 R.J. Hanisch, P.J. Quinn, <http://www.ivoa.net/Documents/latest/IVOAParticipation.html> (2006).
- 4 О.П. Желенкова и др., Бюлл. CAO РАН, 58, 52 (2005).
- 5 О.П. Желенкова и др., Препринт CAO РАН, 219, 37с., (2007).
- 6 Ochsenbein, F., et al., ASP Conf. Ser., 216, 83 (2000)
- 7 Ochsenbein, F., et al., <http://cdsweb.-strasbg.fr/doc/VOTable/v1.09> (2004)
- 8 M. Murata, D. Kohn, and C. Lilley, "Internet Drafts: XML Media Types". IETF, <http://tools.ietf.org/html/draft-murata-kohn-lilley-xml-03>. Retrieved 2010-06-10.
- 9 R. Plante et al., IVOA Recommendation 14 March 2007, <http://www.ivoa.net/Documents/latest/IDs.html> (2007).
- 10 K. Benson et al., IVOA Recommendation 04 November 2009, <http://www.ivoa.net/Documents/RegistryInterface/> (2009).
- 11 R. Hanisch, IVOA Recommendation 02 March 2007 <http://www.ivoa.net/Documents/latest/RM.htm> (2007).
- 12 The Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting, Version 2.0, <http://www.openarchives.org/OAI/openarchivesprotocol.html> (2008).
- 13 P. Fernique et al., ADASS VII, ASP Conf.Ser., 145 (1998).
- 14 <http://www.ivoa.net/cgi-bin/twiki/bin/view/IVOA/IvoaDataModel> (2010).
- 15 L. Cambresy et al., <http://www.ivoa.net/Documents/latest/AstrObjectOntology.html> (2009).
- 16 Derriere S., et al., <http://www.ivoa.net/Documents/UCD/WD-UCD-20040426.html> (2004).
- 17 Hessman F., et al., <http://www.ivoa.net/internal/IVOA/IvoaSemantics/Vocabularies-20070903.htm> (2007).
- 18 R. Williams et al., IVOA Recommendation 22 February 2008, <http://www.ivoa.net/Documents/latest/ConeSearch.html> (2008).
- 19 D. Tody, R. Plante, IVOA Proposed Recommendation 08 October 2009, <http://www.ivoa.net/Documents/SIA/> (2009).
- 20 J. Salgado et al., IVOA Proposed Recommendation 14 July 2009, <http://www.ivoa.net/Documents/SLAP/> (2009).
- 21 D. Tody et al., IVOA Recommendation 01 February 2008, <http://www.ivoa.net/Documents/latest/SSA.html> (2008).
- 22 P. Dowler et al., IVOA Proposed Recommendation 25 December 2009, <http://www.ivoa.net/Documents/TAP/> (2009).

- 23 IVOA SkyNode Interface, <http://www.ivoa.net/internal/IVOA/IvoaVOQL/SkyNodeInterface-0.7.4.pdf> (2004).
- 24 G.M. Bernstein, D.E. Trilling, R.L. Allen, M.E. Brown, M. Holman, R. Malhotra, in arXiv:astro-ph/0308467v3, (2004).
- 25 В.Л. Афанасьев, А.В. Моисеев, ПАЖ, 31, 214 (2005).
- 26 В.Н. Черненко и др., Математика, компьютер, образование, 8, 156 (2001).
- 27 E.W. Greisen, M.R. Calabretta, *Astronom. and Astrophys.*, 395, 1061 (2002).
- 28 F.G. Valdes, *Automated Data Analysis in Astronomy*, 238, 507 (2001). ACE: Astronomical Cataloging Environment <http://iraf.noao.edu/projectts/ace/>
- 29 E. Bertin, S. Arnouts, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 117, 393 (1996).
- 30 M.J. Fitzpatrick, *ASP Conference Series*, 382, (2008). Web-based Tools – WCSFixer <http://iraf.noao.edu/projects/wcsfixer/>
- 31 S. Krughoff, A. Connolly, R. Williams & B. Hanisch, <http://nvo.phyast.pitt.edu/wsxt>
- 32 В.С. Шергин, В. Максимова, [http://www.sao.ru/hq/vsher/manuals/bta\\_control/](http://www.sao.ru/hq/vsher/manuals/bta_control/)
- 33 В.С. Шергин, <http://www.sao.ru/hq/vsher/reports/report2009/>
- 34 Н.Т. Ашимбаева, Автореферат канд. дисс., ГАИШ МГУ, (2008)
- 35 WCS Fix - fixing the World Coordinate System in FITS files, <http://vo.astronet.ru/ws/wcsfix/>
- 36 В.В. Витковский и др., Труды ГАИШ, т.LXXV, Тезисы докладов, ВАК-2004. МГУ, ГАИШ, 3-4 июня 2004г. с.16-17
- 37 O. Zhelenkova et al., *ESO Astrophysics Symposia*. Berlin: Springer, p. 335 (2004)
- 38 O.V. Verkhodanov, S.A. Trushkin, H. Andernach, V.N. Chernenkov *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, 58, 118 (2005)
- 39 Д.О. Брюхов и др. *Информатика и ее применения*, 2, вып.1, 2-34 (2008)
- 40 D.J. Mink, *ADASS VIII, A.S.P. Conference Series*, 498, (1999)
- 41 Monet D., Bird A., Canzian B., et al., US Naval Observatory, Washington 1998)
- 42 W.A. Joye, E. Mandel <http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>
- 43 В.В. Витковский и др., отчет САО, 283, (2001).
- 44 А.Ф. Фоменко, В.В. Комаров, В.С. Шергин отчет САО, 298, (2004).
- 45 А.Ф. Фоменко, В.С. Шергин, В.В. Комаров отчет САО, 314, (2008).
- 46 В.Е. Панчук и др., Научно-технический отчет САО, 318, (2009).
- 47 Е. Д. Мясников, *Компьютерная оптика*, 31, №3, ИСОИ РАН, Самара, с77-82, (2007).
- 48 E.J. Groth, *Astronom. J.*91, №5, p. 1244-1248, (1986).
- 49 Stetson P. B. *V Advanced School of Astrophysics, Image and Data Processing/Interstellar Dust.*, San Paulo, Institut of Astronomy & Geophysic, (1989).

- 50 S. Kuposov, J. Brewer NVO Summer School, September 15, 2005, [http://www.us-vo.org/summer-school/2005/student\\_projects/WCS\\_Fixer.pdf](http://www.us-vo.org/summer-school/2005/student_projects/WCS_Fixer.pdf)
- 51 Martin A. Fischler and Robert C. Bolles, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography". *Comm. Of the ACM* 24: 381-395.
- 52 T. Budava'ri, A. S. Szalay, J. Gray, W. O'Mullane, R. Williams, A. Thakar, T. Malik, N. Yasuda, and R. Mann. Open SkyQuery - VO Compliant Dynamic Federation of Astronomical Archives. In F. Ochsenbein, M. G. Allen, and D. Egret, editors, *Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XIII*, volume 314 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, pages 177-+, July 2004.
- 53 Yasuda, N.; Mizumoto, Y.; Ohishi, M.; O'Mullane, W.; Budavari, T.; Haridas, V.; Li, N.; Malik, T.; Szalay, A. S.; Hill, M.; Linde, T.; Mann, B.; Page, C. G., *Astronomical Data Query Language: Simple Query Protocol for the Virtual Observatory*, *Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XIII*, Proceedings of the conference held 12-15 October, 2003 in Strasbourg, France. Edited by Francois Ochsenbein, Mark G. Allen and Daniel Egret. *ASP Conference Proceedings*, Vol. 314. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2004., p.293
- 54 Walton, N. A., *The AstroGrid Virtual Observatory Service*, *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVI ASP Conference Series*, Vol. 376, proceedings of the conference held 15-18 October 2006 in Tucson, Arizona, USA. Edited by Richard A. Shaw, Frank Hill and David J. Bell., p.715