РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Специальная Астрофизическая Обсерватория

На правах рукописи

УДК 523.164:52.08
522.62:681.32

ЧЕРНЕНКОВ Владимир Николаевич

Комплекс средств развития многоуровневой территориально-распределенной системы сбора и обработки данных радиотелескопа РАТАН-600

(0.1 0.3 0.2 – астрофизика и радиоастрономия)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз – 1996

Работа выполнена в Специальной Астрофизической Обсерватории Российской Академии Наук.

Научный руководитель - академик РАН Парийский Ю.Н. (САО РАН)

Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук Байкова А.Т.
- кандидат физико-математических наук Губанов А.Г.

Ведущая организация - РАС ФИАН

Защита состоится "____"__________1996 г. в ____ часов на открытом заседании специализированного совета (шифр Д 003.35.01) по присуждению ученой степени доктора физико– математических наук при Специальной астрофизической обсерватории РАН (357147, Россия, Карачаево-Черкесская Республика, Нижний Архыз, САО РАН).

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направить по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря специализированного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан "____"__________1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандитат физико-математических наук Майорова Е.К.

Актуальность. РАТАН-600 – самый крупный в мире рефлекторный радиотелескоп и обладает высоким информационным потенциалом, на 1–2 порядка большим, чем обычные параболоиды [1*]. Вместе с тем, он как правило используется в режиме "прохождения" неба через набор антенных диаграмм несколько различных по частотному диапазону и пространственной ориентации. Это приводит к возникновению больших потоков информации и требуется оптимальное распределение вычислительных средств между этапами обработки данных в реальном масштабе времени, в "квази–реальном" (например, в суточном цикле наблюдений) и этапами глубокого астрофизического исследования накопленного материала после завершения программы наблюдений. Одним из примеров "крупно–поточных" программ является программа поиска анизоторопии 3К–фона [2*], требующая проведения многомесячных сверхглубоких обзорных наблюдений одновременно в нескольких радиодиапазонах. Характерной задачей, возникающей при организационном обеспечении таких программ, является поиск минимально затратных технологий и средств автоматизации научного эксперимента.

Другой, быстро нарастающей проблемой, является вопрос помехозащиты радиотелескопа от фактора человеческой деятельности, и в последние годы от помех, связанных с широким распространением средств радиотелекоммуникаций – "COM SPHERE".

Настоящая работа связана с попыткой найти некоторые наиболее экономичные и в то же время достаточно эффективные решения в области перечисленных проблем.

Разработки по автоматизации сбора и обработки данных на РАТАН-600 для организации многочасовых наблюдательных программ при активном участии автора начались с 1985 г. Они привели к созданию многоуровневого иерархического комплекса на базе отечественных микро-ЭВМ и специализированных средств связи между ними. Радиальная архитектура этого комплекса предполагает территориальное разнесение элементов систем автоматизации и сбора данных на довольно обширной площади (около 1000 кв.м). К сожалению, качественная поддержка работоспособности специализированных средств телекоммуникации, успешно эксплуатировавшихся до недавнего времени, стала весьма обременительной с изчезновением возможности для ремонта и развития этих средств. Предпосылкой данной работы явилась так же реконструкция периферийного оборудования системы управления антенной и практически полная замена кабельной сети, в том числе и для систем передачи данных между центральным зданием и электронным оборудованием, размещенным на подвижных облучателях.

Существенным прогрессом в сторону повышения надежности и архитектурной гибкости стала конвертация аппаратной реализации элементов системы в программную. При этом многоуровневая структура сетевых средств автоматизации сбора данных преобразуется в различные уровни иерархии, состоящей из программных модулей и соответствующих протоколов взаимодействия. Последние обязательно разрабатываются на основе общепринятых международных стандартов.

В то же время развитие новых технологий для средств передачи данных позволяет перевести сервис наблюдательного процесса и обслуживания радиотелескопа на качественно новый уровень. Так технология оборудования универсальных локальных сетей на базе Ethernet, ARCnet, оптоволоконных линий, а так же объединение их в глобальные сети, с помощью оборудования и программных средств, разработанных для Internet, позволяет обеспечить доступ к инструменту с любого компьютера в этой международной сети. Поскольку в настоящее время большинство национальных обсерваторий развитых стран предоставляют различного рода доступ к своим центральным компьютерам, то очевидна актуальность такой работы и для САО.

В работе освещены следующие направления развития существующего комплекса средств сбора и обработки данных РАТАН-600:

- Изменения в архитектуре комплекса сбора данных, связанные с переводом основной массы вычислительной техники на базу персональных компьютеров и универсальные средства коммуникации между ними. Она стала более надежной и открытой для дальнейшего развития.

- Замена элементной базы открыла возможность переноса математического обеспечения комплекса в среду универсальных и мобильных операционных систем, в первую очередь UNIX. Поэтому в среде UNIX была разработана новая версия многопользовательской системы поддержки наблюдательного процесса, позволившая автоматизировать процесс планирования разделения ресурсов и диспетчеризации наблюдательных программ.

- Первые два направления оказались тесно связаны с развитием средств автоматизации наблюдательного эксперимента. Базовым направлением развития этих средств является обеспечение “прозрачности” средств технической поддержки наблюдений (автоматической установки первичных рупоров в электрическую ось телескопа, управление радиометрами и т.п.), то есть такого способа взаимодействия элементов системы управления научным экспериментом, при котором для наблюдателя не видны промежуточные звенья и их конкретная проблематика при условии неизменности суммарной передаточной функции. Это направление является предпосылкой для осуществления удаленного автоматизированного и, в дальнейшем, полностью автоматического наблюдений.

- Современные аппаратно-программные средства могут дать качественный эффект, если не обойти вниманием развитие методов обработки данных наблюдательного эксперимента. Особую роль здесь играют методы обработки сигналов в реальном времени, предназначенные для борьбы с помехами, что в некоторой степени позволяет идти немного впереди резкого ухудшения помеховой обстановки, неизбежного из-за техногенного развития региона.

Поскольку окончательную проверку эффективности средств совершенствования радиотелескопа могут дать только наблюдения, для данной работы естественно проведение наблюдательных программ, и в первую очередь координатных, которые дают максимальную информацию о точностных параметрах инструмента.

Целями работы являются:

1. Развитие и внедрение комплекса средств автоматизации наблюдательного процесса и инструментальных исследований на этапах подготовки, сбора, обработки и передачи данных.

2. Разработка и внедрение методов и средств, обеспечивающих длительные наблюдения с помощью радиометров непрерывного спектра.

3. Разработка и внедрение методов и средств, обеспечивающих организацию удаленных наблюдений на РАТАН-600.

4. Разработка рекомендаций по стандартизации внедряемых новых средств.

5. Проверка влияния “аномальных” атмосферных эффектов [5*] на точность координатных измерений с помощью РАТАН-600.

Научная новизна работы:

1. Впервые для автоматизации сбора наблюдательных данных для РАТАН-600 разработана и внедрена технология распределенного разделения ресурсов на базе универсальной локальной сети в соответствии с рекомендациями по международным стандартам Internet.

2. Впервые разработан и внедрен на РАТАН-600 режим удаленного доступа и управления наблюдательным процессом.

3. Впервые на РАТАН-600 разработан и внедрен многозадачный режим системы сбора данных, позволяющий производить обработку и анализ наблюдательных данных параллельно с их поступлением.

4. Для обработки данных радиометров РАТАН-600 в реальном времени разработан и внедрен на облучателе № 1 новый метод помехоустойчивый цифрового интегрирования сигналов, основанный на адаптивном выборе оптимального алгоритма по правилу "ближайшего соседа".

5. Разработан и внедрен новый алгоритм сетевого взаимодействия программ, базирующийся на пользовательском дейтаграммном протоколе интернет (UDP).

Научное и практическое значение. В результате разработки и поэтапного внедрения в штатную эксплуатации комплекса аппаратных и программных средств существенно повышена надежность сбора и архивирования наблюдательных данных. Это стало возможным при использовании универсальных, легко доступных вычислительных средств, стандартных средств коммуникации и сокращении необходимого числа кабельных линий. В отличие от предыдущих версий повышена безотказность работы комплекса вследствие устранения фиксированной безадресной привязки потока наблюдательных данных к конкретному хост-компьютеру, появления возможности программного переключения или параллельной записи на несколько компьютеров одновременно.

Благодаря использованию современной технологии и элементной базы в среднем на порядок возросла производительность системы сбора и передачи данных и, следовательно, потенциальная возможность увеличения в той же пропорции информационного потока радиотелескопа, возможности которого далеко не исчерпаны.

С появлением возможности удаленного доступа к компьютерам системы сбора данных с любого рабочего места компьютерной сети САО и из Internet качественно улучшен сервис обслуживания наблюдательного процесса.

Благодаря разработке и внедрению автоматизированной системы управления кареткой, режим "скольжения" стал штатным на облучателе № 1, на котором в период с 1987 по 1994 год было проведено множество наблюдательных программ, давших новые научные результаты.

Внедрение метода цифрового интегрирования данных радиометров, позволило повысить реальную чуствительность на 20–25% при сохранении помехозащищенности.

Проведенные координатные измерения позволили оценить реальный вклад "аномальных" атмосферных эффектов в ошибку измерения координат на РАТАН-600.

<u>На защиту выносится:</u>

1. Комплекс аппаратно-программных средств, образующих территориально- распределенную систему сбора и обработки данных РАТАН-600, основанную на локальной сети с протоколами интернет.

2. Автоматизированный комплекс сбора и управления радиометрами непрерывного спектра на РАТАН-600 – "Continuous"

3. Аппаратура и программно-алгоритмическое обеспечение системы управления кареткой облучателя № 1 РАТАН-600.

4. Методика и программное обеспечение для удаленной подготовки и организации наблюдений на РАТАН-600.

5. Метод и алгоритмы оперативной визуализации данных распределенных систем сбора для удаленных рабочих станций на базе пользовательского дейтаграммного протокола интернет (UDP).

6. Метод помехоустойчивого цифрового интегрирования сигналов радиометров, основанный на адаптивном выборе оптимального алгоритма оценки среднего по правилу "ближайшего соседа".

7. Результаты оценки точности координатных измерений на РАТАН-600.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на XXV и XXVI Радиоастрономических конференциях (Пущино, 1993; С.Петербург, 1995), XVII Всесоюзной конференции по радиоастрономической аппаратуре (Ереван, 1985), IX Научно-технической конференции посвященной Дню Радио (Москва, 1983), Всесоюзном совещании по диалоговым информационно-вычислительным системам (Иркутск, 1986), выездной сессии Научного Совета РАН по проблеме "Радиоастрономия" (Н.Архыз, 1994), на конкурсах-конференциях научно-технических работ и семинарах Специальной астрофизической обсерватории (САО).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 27 печатных работах и во внутренних отчетах САО.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы из 85 наименований и приложений; содержит 115 страниц текста, в т.ч. 48 рисунков, 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы и выбраны направления в развитии территориально-распределенной системы сбора и обработки данных радиотелескопа РАТАН-600. Сформулированы цели диссертационной работы и приведена ее структура с краткой аннотацией глав.

В первой главе описаны базовые средства и обоснование выбора аппаратуры и программного обеспечения для построения систем автоматизации сбора данных в научных исследованиях с привлечением методов сетевой технологии Internet. В качестве примера описана архитектура сетевой системы сбора РАТАН-600. Показана целесообразность комбинирования аппаратных средств ARCnet и Ethernet в общей среде TCP/IP протоколов для сбора, архивизации и обработки наблюдательных данных. В приложении, вынесенном в конец диссертации, приведено описание библиотеки, упрощающей разработку пользовательских сетевых приложений по работе с файлами.

В последнем разделе главы 1 предложен оригинальный способ передачи графической информации на основе протокола передачи пользовательских дейтаграмм (UDP), предназначенный для управления системами сбора данных по сетям Internet. Сущность проблемы состоит в сложности передачи графических данных реального времени по существующим сравнительно медленным, с возможными временными задержками, каналам передачи данных. Оригинальность заключается в том, что для обмена данными на примере взаимодействия сокетов (sockets) клиента и сервера, разработан алгоритм, при котором сервер открывает всего один сокет для передачи пользовательских дейтаграмм, но использует не один адрес, а массив адресов клиентов. Это позволяет минимизировать требования к ресурсам вычислительных средств и пропускной способности сетей для обеспечения удаленного визуального контроля за сбором наблюдательных данных в реальном времени с нескольких пунктов одновременно. Способ дает возможность использовать как графические средства X11, так и обходиться без них при сохранении базовой идеологии разделения ресурсов типа "клиент – сервер". Описаны алгоритмы работы графических программ сервера и клиента, позволяющие работать в режиме мультидоступа. Представлена реализация указанного способа на РАТАН-600.

В главе 2 в первом разделе описана методика работы комплекса программно-аппаратных средств, позволяющая подготавливать и проводить наблюдения на РАТАН-600 с удаленных пунктов, в том числе персональных компьютеров, имеющих доступ к Internet как минимум в режиме "E-mail". Поскольку большинство российских радиоастрономов, к сожалению, не имеет постоянной возможности для работы в Internet в "on-line" режиме, такой вариант организации удаленных наблюдений весьма полезен, хотя он требует большей "интеллектуальной" нагрузки на программное обеспечение комплекса, чем обычный вариант доступа через удаленный терминал (telnet). Возможность последнего так же предоставлена. Работа комплекса основана на автоматической обработке запросов, посылаемых программой удаленного наблюдателя. Результаты наблюдения доступны пользователю Internet по FTP (протокол передачи файлов) и могут быть автоматически присланы в запакованном виде по "E-mail". Алгоритмы работы комплекса расчитаны на множественность конфликтующих запросов, разрешаемых в порядке приоритетности наблюдательных программ с отправкой комплексного расписания заявителю. Комплект программ разработан для управления сетевой системой сбора и обработки наблюдательных данных описанной в следующем разделе и главе 4.

Во втором разделе представлена последняя версия многопользовательской системы подготовки, сбора и первичной обработки данных, поступающих от радиометров непрерывного спектра. Она перененесена на платформу ОС UNIX и расширенна до уровня автоматической диспетчеризации наблюдательных ресурсов облучателей РАТАН-600, что позволило реализовать выше описанную методику для систем сбора данных радиометров непрерывного спектра. Система базируется на распределенном сетевом комплексе автоматизации сбора данных РАТАН-600 "Continuous", что позволяет одновременно готовить и проводить независимые наблюдения на разных облучателях, в том числе и в удаленном режиме. Система представляет собой комплект программ для работы наблюдателя на рабочей станции и программное обеспечение диспетчера наблюдательных программ для сервера РАТАН-600. Наблюдатель в режиме диалога заполняет экранные формы, основные поля которых представляют каталожные данные радиоисточников. Подключение технических и координатных расчетов, а так же взаимодействие с диспетчером осуществляется автоматически по существующим каналам связи, чем обеспечивается "прозрачность" взаимодействия наблюдателя и систем сбора данных. Описана работа с системой.

<u>В главе 3</u> описана структура, аппаратура и программное обеспечение системы управления кареткой облучателя № 1 РАТАН-600, позволившие реализовать "прозрачный" режим наблюдений источников в режиме "скольжения". Система входила в состав многоуровневого аппаратного комплекса сбора данных, состоящего из двух одноплатных микро-ЭВМ отечественного производства. Описаны алгоритмы работы системы, заложенные так же и в современный вариант комплекса сбора и управления. Особенностью системы является отслеживание не только скоростного, как на облучателях № 2 и № 3, но и координатного рассогласования. Это дает возможность проводить точные измерения координат радиоисточников и производить антенное сканирование участков неба. Приведены графические материалы, иллюстрирующие экспериментальную проверку качества работы системы. Получена точность сопровождения источников не хуже 0.1 мм и время разгона менее 5 с.

<u>В главе 4</u> описан модернизированный вариант комплекса систем регистрации наблюдательных данных и управления радиометрами облучателя № 1 – "Continuous", основой которого является персональный

компьютер с архитектурой процессора не хуже i386. Взаимодействие с радиометрами осуществляется через крейт-КАМАК под управлением свободно распространяемой версии ОС UNIX - Linux. Разработанный драйвер для крейт-контроллера КАМАК и сетевая поддержка ARCnet составили весьма надежные средства для распределенного получения и хранения наблюдательных данных. С помощью “Continuous” можно проводить как короткие наблюдения, так и непрерывные круглосуточные обзоры с возможностью загрузки, управления и контроля с любого компьютера в локальной сети САО. Комплекс включает программы графического отображения наблюдательных данных в реальном времени. Он расчитан на совместную работу с ранее описанной многопользовательской системой поддержки наблюдательного процесса MCOSS-U, и позволяет, при необходимости, организовать удаленный режим сбора наблюдательных данных. Приводятся результаты экспериментальных наблюдений, подтверждающие точностные и надежностные параметры комплекса.

<u>В главе 5</u> описан метод цифрового интегрирования с адаптивным выбором оптимального алгоритма работы в условиях помех, опирающийся только на наиболее общие свойства радиометрических сигналов. Метод предназначен для обработки сигналов в реальном времени и основан на альтернативном выборе из нескольких оценок наименее смещенной, по непараметрическому правилу “ближайшего соседа”. Предполагается, что плотность распределения шумового сигнала имеет одномодовый характер, а помехи, нарушая симметрию этого распределения, приводят к разной степени смещения линейной и ранговой оценок среднего на интервале интегрирования. Интервал интегрирования берется существенно меньше периода, определяемого двойной шириной спектра аппаратной функции антенной системы, так чтобы вклад “сигнальной” составляющей в смещение оценки оставался незначительным. Для приведенных априорных предположений о характере сигнала и помех он работает быстрее и по эффективности лучше известных ранговых оценок.

Рекуррентная формула для получения оценки среднего на шаге k из текущего интервала X_k размером в n отсчетов имеет вид:

$$\hat{m}_0 = med_n(X_0), \quad \hat{m}_k = \begin{cases} \frac{1}{n}\sum\limits_{i=1}^{n} x_i & , \ |d'_k| \le |d''_k| \\ \\ med_n(X_k) & , \ |d'_k| > |d''_k| , \end{cases}$$

где:

$$d'_k = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i - \hat{m}_{k-1},$$

$$d''_k = med_n(X_k) - \hat{m}_{k-1}.$$

Оценка робастна, поскольку правило не включает зависимостей ни от параметров распределения сигнала, ни от уровня помех. Поскольку для вычисления оценки не требуется увеличивать размерность выборки, то счет как среднего арифметического, так и медианы производится довольно быстро. Так при осреднении записи с окном в 50 отсчетов, алгоритм работает примерно в 200 раз быстрее аналогичного сжатия по методу Ходжеса-Лемана.

Путем численного моделирования получено, что дополнительная корреляция соседних отсчетов в выходном процессе при использовании метода не превышает 16%.

Приведены результаты обработки реальных наблюдений с использованием метода, подтверждающие целесообразность его использования на РАТАН-600. Обработка наблюдательного материала, полученного до и после внедрения метода на облучателе №1 показала улучшение показателей чуствительности на 20 – 25% в реальной помеховой обстановке.

В главе 6 приводится наблюдательный материал, полученный с помощью новой аппаратуры и программных средств для решения задачи определения координатной точности радиотелескопа РАТАН-600. Проводится анализ основных причин, ограничивающих координатную точность при наблюдениях. Показано, что основной вклад в ошибку определения прямого восхождения дает ошибка, обусловленная точностью установки первичных рупоров в электрическую ось системы "главное зеркало + вторичное зеркало". При этом точность единичного измерения получается около $4''$. Применение дополнительных методов контроля ориентации электрической оси и первичных рупоров позволяет существенно повысить точность. При этом точность одного определения прямого восхождения получается в пределах $0''.3$ – $0''.5$. Оценен и экспериментально проверен так же вклад атмосферы в координатную точность при наблюдениях на РАТАН-600. Наблюдения проводились в режиме сопровождения источников с использованием системы автоматического управления кареткой, описанной в главе 3.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. В результате разработки и внедрения для автоматизации сбора наблюдательных данных на РАТАН-600 технологии распределенного разделения ресурсов на базе универсальной локальной сети в соответствии с рекомендациями по международным стандартам Internet существенно повышена надежность сбора и архивирования наблюдательных данных, в среднем на порядок возросла производительность системы сбора и передачи данных и, следовательно, потенциальная возможность увеличения в той же пропорции информационного потока радиотелескопа, ресурсы которого далеко не исчерпаны.

2. Разработанная методика и средства для удаленного планирования и подготовки наблюдений через систему электронной почты (E-mail) позволяют теперь привлечь значительно более широкий круг радиоастрономов к проведению наблюдательных экспериментов на РАТАН-600, что, естественно, скажется в улучшении эффективности использования ресурсов телескопа.

3. Качественно улучшен сервис обслуживания наблюдательного процесса с появлением в результате разработки и внедрения на РАТАН-600 возможности удаленного доступа к компьютерам системы сбора данных с любого рабочего места компьютерной сети САО и международной сети Internet. При этом внедрение многозадачного режима сбора данных позволяет производить обработку и анализ наблюдений параллельно с их поступлением, допускает практически мгновенное оповещение мирового сообщества о новых результатах. Особую роль здесь сыграла разработка нового алгоритма передачи данных визуального контроля по сетям с низкой производительностью (телефонный канал), что позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы во время проведения длительных радионаблюдений и сделать сам процесс реально реализуемым.

4. В результате разработки и внедрения новой аппаратуры для сбора данных и управления радиометрами непрерывного спектра “Continuous” в 16 раз расширен динамический диапазон и практически снято ограничение на продолжительность наблюдательных циклов. В сочетании с новой возможностью автоматизированного управления радиометрами и положением первичных рупоров в

электрическом фокусе стали реализуемыми весьма объемные наблюдательные программы по массовому исследованию дискретных радиоисточников (свыше 100 в сутки) и обзорным экспериментам типа “Холод”.

5. Разработка и внедрение нового метода помехоустойчивого цифрового интегрирования в реальном времени для системы сбора данных радиометров непрерывного спектра позволило улучшить на 20–25% степень реализации потенциальной чуствительности радиометров в условиях помех.

6. Использование новой аппаратуры и программного обеспечения, позволили определить реальную точность координатных измерений на РАТАН-600, в том числе с учетом атмосферного вклада. Полученная точность единичного измерения прямого восхождения $\sim 4''$, а с применением дополнительных мер доведенная до $0''.3$–$0''.5$, практически закрыла проблему “аномальных” атмосферных эффектов для РАТАН-600.

7. С помощью программно–аппаратных средств, разработанных автором, проведено свыше 40 000 наблюдательных экспериментов в самых различных областях радиоастрономии. Среди них, давшие новые сведения по анизотропии 3 K–фона [19, 2*], уточненные каталоги внегалактических [1, 2] и галактических радиоисточников [3*], многочастотные исследования вспышек источника SS433 [4*] и др.

Основное содержание дисертации опубликовано в работах:

[1] $\boxed{\text{Алиакберов К.Д.}}$, Бурсов Н.Н., Гольнева Н.Ю., Ерухимов Б.Л., Ефанова Г.Ф., Зверев Ю.К., Липовка Н.Л., Малькова Г.А., Мингалиев М.Г, Моносов М.Л., Наугольная М.Н., Пятунина Т.Б., Соболева Н.С., Темирова А.В., Верходанов О.В., Черненков В.Н.:1987, Обработка наблюдений каталога Дугласа, проведенных в режиме неподвижного фокуса с помощью Северного сектора РАТАН-600 в декабре 1986 и январе 1987г. Исследование точности определения координат слабых объектов. Вн. отчет Спец. астрофиз. обсерв., **1/87**

[2] Бурсов Н.Н, Верходанов О.В, Ерухимов Б.Л., Липовка Н.М, Пятунина Т.Б., Соболева Н.С., Темирова А.В., Черненков В.Н.: 1989, Применение метода сечений для определения параметров радиоисточников в режиме неподвижного фокуса на РАТАН-600. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **28**, 136–149

[3] Верходанов О.В., Витковский В.В., Ерухимов Б.Л., Желенкова О.П., Лихван О.П., Моносов М.Л., Черненков В.Н., Шергин В.С.: 1993, Формат представления данных в системе регистрации и обработки на 1-ом облучателе радиотелескопа РАТАН-600. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **89СПб**, 18-30

[4] Верходанов О.В., Черненков В.Н., Шергин В.С.: 1995а, Идеология гибкой системы обработки астрономических данных. II. Визуализация. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **106**, 58–65

[5] Верходанов О.В., Ерухимов Б.Л., Моносов М.Л., Черненков В.Н., Шергин В.С.: 1995б, FADPS – Гибкая система обработки астрономических данных под ОС UNIX. XXVI Радиоастрономическая конференция. Тезисы докл. 18–22 сент. С.Петербург, 315–316

[6] Верходанов, Кононов, Черненков (Verkhodanov O.V., Kononov V.K., Chernenkov V.N.): 1996, The methods and facilities of astrophysical experiments support in the SAO RAS. Short review of the problems. Astrophys. ress. (Bul. SAO), **39**, 146–149.

[7] Витковский В.В., Ерухимов Б.Л., Моносов М.Л., Окунев И.Ф., Хайкин В.Б., Черненков В.Н., Шергин В.С.: 1985, Двухуровневый аппаратно-программный измерительный комплекс на радиотелескопе РАТАН-600. XYII Всесоюзная конференция “Радиоастрономическая аппаратура”, Тез. докл., 23–24

[8] Витковский В.В., Ерухимов Б.Л., Малькова Г.А., Черненков В.Н.: 1988, Система регистрации и предварительной обработки данных облучателя № 1 РАТАН-600 на основе двухуровнего многомашинного комплекса. Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв., **58**, 5–17.

[9] Витковский В.В., Ерухимов Б.Л., Малькова Г.А., Мингалиев М.Г., Черненков В.Н.: 1989, MCOSS – Многопользовательская система поддержки наблюдений на радиометрах сплошного спектра радиотелескопа РАТАН-600. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **28**, 1–24.

[10] Ерухимов Б.Л., Черненков В.Н.: 1986, Диалоговая система разработки и поддержки наблюдательного процесса на радиотелескопе РАТАН-600. Тез. докл. Всесоюзного совещания по диалоговым информационно-вычислительным системам. Иркутск 28–30 мая, 87

[11] Ерухимов Б.Л., Черненков В.Н.: 1987а, Архитектура и аппаратно-программное обеспечение сети измерительно-вычислительных комплексов на радиотелескопе РАТАН-600. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **24**, 184–190.

[12] Ерухимов Б.Л., Черненков В.Н.: 1987б, Трехуровневый аппаратно-программный комплекс для автоматизации научных исследований на радиотелескопе РАТАН-600. Микропроцессорные средства и системы. **5**, 86

[13] Ерухимов Б.Л., Витковский В.В., Черненков В.Н., Шергин В.С.: 1988, Робастные алгоритмы для сжатия наблюдательных данных в радиометрах сплошного спектра на РАТАН-600. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **16**, 1–13.

[14] Ерухимов Б.Л, Черненков В.Н.: 1988, SCCS – Малая система межмашинной связи для автоматизации научных исследований в территориально-распределенных средах. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **17**, 1–10.

[15] Ерухимов Б.Л., Черненков В.Н., Чепурнов А.В., Лихван О.П.: 1989, Реализация параллельных процессов в бездисковых комплексах реального времени. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **48**, 1–8

[16] Ерухимов Б.Л., Черненков В.Н., Чепурнов А.В., Лихван О.П.: 1990, Локальный комплекс для сбора данных и управления радиометрами с поддержкой режима параллельных процессов. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **32**, 173–181

[17] Мингалиев М.Г., Черненков В.Н.: 1991, К точности координатных измерений на РАТАН-600. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **31**, 153–163.

[18] Мингалиев М.Г., Черненков В.Н.: 1993, Исследование эффекта аномальной рефракции на РАТАН-600. XXV Радиоастрономическая конференция. Тезисы докл. 20–24 сент. Пущино, 220–221

[19] Парийский и др. (Yu.N. Parijskij, B.L. Erukhimov, M.G. Mingaliev, A.B. Berlin, N.N. Bursov, N.A. Nizhelskij, M.N. Naugolnaya, V.N. Chernenkov, O.V. Verkhodanov, A.V. Chepurnov, A.A. Starobinskij): 1991, Discovery of the small scale anisotropy at 2.7 cm: radio sources or relic emission? Observational tests of inflation. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop. Durham UK. 1990, Kluwer Academic Publishers, 437–442

[20] Ульянов В.Н., Черненков В.Н.: 1983, Быстрый алгоритм прослеживания контуров по правилу K–ближайших соседей, IX Научно-техническая конференция посвященная Дню Радио 27–28апр. Сб. докл. “Радио и связь”, М., 84

[21] Черненков В.Н., Ерухимов Б.Л.: 1990, Система автоматического управления кареткой облучателя № 1 радиотелескопа РАТАН-600. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **30**, 148–157

[22] Черненков и др. (Chernenkov V.N., Erukhimov B.L., Likhvan O.P., Monosov M.L., Shergin V.S., Verkhodanov O.V., Zhelenkova O.P.): 1992, Basic principles of flexible astronomical data processing system in UNIX environment. Astrophys. ress. (Bul. SAO), **36**, 132–137.

[23] Черненков В.Н., Шергин В.С.: 1993, Компьютерная сеть САО. Архитектура, базовые средства, приложения XXV Радиоастрономическая конференция. Тезисы докл. 20–24 сент. Пущино, 236–237

[24] Черненков В.Н.: 1995а, Методика построения систем сбора данных на базе распределенной сетевой среды, Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **109Т**, 1–12

[25] Черненков В.Н., Цыбулев П.Г.: 1995б, Многопользовательская система сбора наблюдательных данных для радиометров непрерывного спектра на РАТАН-600. XXVI Радиоастрономическая конференция. Тезисы докл. 18–22 сент. С-Петербург, 389–390

[26] Черненков В.Н.: 1995в, Методика подготовки и проведения наблюдений на РАТАН-600 в режиме теледоступа. XXVI Радиоастрономическая конференция. Тезисы докл. 18–22 сент. С-Петербург, 398

[27] Черненков В.Н.,Верходанов О.В., Витковский В.В., Малькова Г.А., Мингалиев М.Г., Пляскина Т.А., Трушкин С.А., Цыбулев П.Г.:

1995г, MCOSS-U – мобильная многопользовательская система поддержки наблюдений на радиометрах непрерывного спектра радиотелескопа РАТАН-600. Руководство пользователя. Вн. отч. Спец. астрофиз. обсерв., **251**, гл.2, 10–23.

[28] Черненков В.Н.: 1995д, Методика подготовки и проведения удаленных наблюдений на РАТАН-600. Вн. отч. Спец. астрофиз. обсерв., **251**, гл.1, 4–9

[29] Черненков В.Н.: 1996а, Автоматизированный комплекс сбора и управления радиометрами непрерывного спектра на РАТАН-600. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **113Т**, 1–20.

[30] Черненков В.Н.: 1996б, Визуализация данных в распределенных системах сбора. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **113Т**, 21–26.

[31] Черненков (Chernenkov V.N.): 1996в, A spike immunity method of digital integrating radiometer signals. Astrophys. ress. (Bul. SAO), **41**, 150–155.

Личный вклад автора. Для работ [1], [2], [17], [18], [19] автором осуществлена разработка аппаратуры, основной части программного обеспечения, участие в обсуждении методик наблюдений и их обработки.

В работах [3], [4], [5], [6], [22] автором разрабатывались основные принципы представления структур данных и их реализация в некоторых программах обработки наблюдений.

Для работ [7], [8], [9], [10], [11], [12], [14] автором осуществлена разработка аппаратуры и программного обеспечения нижних уровней иерархий систем сбора данных.

В работах [13], [15], [16], [20], [21] автором разрабатывались алгоритмы и их реализация в основных программах и аппаратуре систем сбора данных и автоматических систем.

В работе [23] основное авторское участие в разработке структуры и выбора базовых средств для локальных сетей САО, представлена конкретная реализация сегментов сетей внутри РАТАН-600, БТА и лабораторий.

Работы [25], [27] выполнены под руководством автора и, где им лично разработаны аппаратура системы регистрации данных, основная часть алгоритмов взаимодействия программ и некоторые программы поддержки наблюдательного процесса на РАТАН-600.

Остальные работы целиком авторские.

ЛИТЕРАТУРА

[1] * Корольков Д.В., Фридман П.А.: 1970, Пропускная способность радиотелескопа в отношении пространственной информации. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **2**, 148–155

[2] * Парийский (Parijskij Yu.N.): 1993, Ground Based Observations of 3 K Anisotropy at RATAN-600: New Results and Future Prospects, in: 2nd Gen. Meet. EAS, Torun, Poland, 60

[3] * Трушкин (Trushkin S.A): 1994a, RATAN-600 radio continuum survey of the Galactic plane between $l = 342°$ and $l = 17°$ and $|b| < 5°$ at 960 and 3900 MHz, in: 22-nd IAU Ass, 170

[4] * Трушкин (Trushkin S.A): 1994б, Radio flares from SS433 in the RATAN-600 multi-frequency observations, in: 22-nd IAU Ass., 74

[5] * Altenhoff W.J., Baars J.W.M., Downes D., Wink J.E.: 1987 Observations of anomales refraction at radio wavelengths. Astron. and Astrophys., **184**, 381–385