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

(01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
академик РАН
Парийский Юрий Николаевич

Нижний Архыз – 1996

Содержание

Список рисунков

Список таблиц

Введение

РАТАН-600 может поставлять огромное количество научной информации, при этом его информационный потенциал на 1 – 2 порядка выше, чем у обычных параболоидов (Корольков, Фридман 1970). Эффективность использования наблюдательного потенциала этого радиотелескопа являлась предметом исследования целого ряда работ (Ерухимов 1988; Соболева и др. 1986), и не теряет актуальности по настоящие время (Парийский 1995). Обеспечение новых, постоянно разрабатываемых режимов работы РАТАН-600 требует как можно более полной автоматизации и наблюдательного процесса и инструментальных исследований. Это в свою очередь приводит к резкому расширению парка вычислительных средств и необходимости их комплексирования. Многомашинная территориально-распределенная архитектура вычислительного комплекса РАТАН-600 (Ерухимов, Черненков 1987а,б; Витковский и др. 1988) хорошо соответствует его геометрии и конструкции, где пункты сбора радиоастрономических данных распределены по нескольким подвижным облучателям, находящимся внутри антенного кольца, а основная часть вычислительных средств в виде персональных рабочих станций размещена на некотором удалении в помещениях лабораторий. Рабочие станции расположены как в основном корпусе РАТАН-600 (расстояние – 1,5 км), так и в научном поселке САО Нижний Архыз (расстояние – 25 км), при этом желательно обеспечение доступа как к средствам контроля за аппаратурой, так и к получаемым данным независимо от удаления. Существует срочная потребность в оперативном получениии астрофизических данных РАТАН-600 и для других обсерваторий.

Вместе с тем, радиотелескоп РАТАН-600 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 исследования анизоторопии 3К–фона (Парийский и др. 1991), 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.

Важным аспектом, проведенных автором исследований, является изыскание возможностей увеличения продолжительности наблюдательных программ проводимых на РАТАН-600, что в первую очередь необходимо для записи сверхглубоких радиообзоров типа "Холод" (Берлин и др. 1984). Длительность непрерывных наблюдений раньше была ограничена, как надежностными показателями аппаратуры сбора и передачи данных, так и алгоритмами программ и структурами данных (Витковский 1990), "привязанными" к возможностям той аппаратуры. Современный научный инструмент должен обеспечивать и комфортные условия работы наблюдателей, иначе из-за "психологического фактора" обеспечение продолжительных наблюдательных программ всегда будет под вопросом. Поэтому в работе отдельное внимание уделено разработке как программ, обеспечивающих соответствующий сервис по вводу заданий на наблюдения, в том числе со своего персонального компьютера, так и проработки основных этапов по автоматическому сопровождению этих заданий для аппаратного комплекса РАТАН-600.

Другой, быстро нарастающей проблемой, является вопрос помехозащиты радиотелескопа от фактора человеческой деятельности, и в последние годы от помех, связанных с широким распространением средств радиотелекоммуникаций – "COMSPHERE". Чтобы эффективно избавляться от помех, необходима запись наблюдательного материала с избыточностью, позволяющей произвести статистический анализ мешающих воздействий. При этом продолжительные наблюдения требуют огромных объемов архивных носителей для сохранения первичной информации. Однако поток данных можно существенно сократить, частично обрабатывая его в реальном времени алгоритмами, устойчивыми (робастными) к изменяющейся помеховой обстановке. В связи с этим одним из разделов работы представлен новый метод помехоустойчивого цифрового интегрирования сигналов.

Очевидно, что критерием правильности выбранных направлений модернизации инструмента является качество наблюдательного материала, поэтому в работу вошли наблюдательные данные по уточнению координатной точности РАТАН-600, в том числе с использованием разработанных средств автоматизации.

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 (Ерухимов, Черненков 1987а,б; Ерухимов 1988). Радиальная архитектура этого комплекса предполагает территориальное разнесение элементов систем автоматизации и сбора данных на довольно обширной площади (около 1000 кв.). 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 (Голубчин и др. 1995) 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 радио-телескопа на качественно новый уровень. Так технология оборудования универсальных локальных сетей (LAN) на базе Ethernet и ArcNet, а так же объединение их в глобальные сети (WAN) 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.

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

Целью данной работы является развитие и внедрение комплекса средств автоматизации наблюдательного процесса и инструментальных исследований на этапах подготовки, сбора, обработки и передачи данных, а также разработка рекомендаций по стандартизации этих средств. Практическая значимость работы определяется тем, что поэтапное внедрение ее результатов является одним из элементов, поддерживающим инструмент в состоянии, вполне конкурентноспособным среди радиообсерваторий мира, несмотря на более чем двадцатилетний стаж его эксплуатации.

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. Одной из функций этой системы теперь является возможность автоматической обработки запросов от удаленных пользователей РАТАН-600 через систему электронной почты “E-mail”.

- 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 наблюдения.

- 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.

Таким образом актуальность работы определяется следующим:

1. Существенно повышена надежность сбора наблюдательных данных за счет использования универсальных, легко доступных вычислительных средств, стандартных средств коммуникации и сокращения необходимого числа кабельных линий. При этом так же повышена надежность архивирования данных, из-за устранения фиксированной безадресной привязки потока наблюдательных данных к конкретному хост-компьютеру, появлением возможности программного переключения а также параллельной записи на несколько компьютеров одновременно.

2. 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 (Парийский 1995).

3. Качественно улучшен сервис обслуживания наблюдательного процесса благодаря возможности удаленного доступа к компьютерам системы сбора данных с любого рабочего места компьютерной сети САО и Internet.

4. Разработка нового метода обработки данных в реальном времени позволила в более полной мере реализовать потенциальную чуствительность радиометров радиотелескопа в условиях ухудшающейся помеховой обстановки.

Диссертация состоит из шести глав, описывающих соответствующие направления в модернизаци средств поддержки наблюдательного процесса на РАТАН-600 и оценки их эффективности, заключения и приложений.

В главе 1 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 разделе 1.4 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 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.

Разделом 2.3 представлена последняя версия многопользовательской системы подготовки, сбора и первичной обработки данных, поступающих от радиометров непрерывного спектра. Она перенесена на платформу ОС UNIX и расширена 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.

В главе 3 описана структура, аппаратура и программное обеспечение системы управления кареткой облучателя №1 РАТАН-600, позволившие реализовать "прозрачный" режим наблюдений источников в режиме "скольжения" (Мингалиев и др. 1985). 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.

В главе 4 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.

В главе 5 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.

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 обработка происходит 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.

В заключении приведены основные итоги диссертационной работы и некоторые астрофизические результаты, полученные благодаря внедрению описанных средств.

Автор выносит на защиту:

- Комплекс аппаратно-программных средств, образующих территориально- распределенную систему сбора и обработки данных РАТАН-600, основанную на локальной сети с протоколами интернет.
- Автоматизированный комплекс сбора и управления радиометрами непрерывного спектра на РАТАН-600 – "Continuous"
- Аппаратура и программно-алгоритмическое обеспечение системы управления кареткой облучателя № 1 РАТАН-600.
- Методика и программное обеспечение для удаленной подготовки и организации наблюдений на РАТАН-600.
- Метод и алгоритмы оперативной визуализации данных распределенных систем сбора для удаленных рабочих станций на базе пользовательского дейтаграммного протокола интернет (UDP).
- Метод помехоустойчивого цифрового интегрирования сигналов радиометров, основанный на адаптивном выборе оптимального алгоритма оценки среднего по правилу "ближайшего соседа".
- Результаты оценки точности координатных измерений на РАТАН-600.

Основное содержание работы опубликовано в 27 печатных работах и отчетах САО, выделенных подчеркиванием в списке литературы.

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).

Глава 1

Базовые средства для построения систем сбора данных на базе распределенной сетевой среды

Принципы построения распределенных информационно-вычислительных микропроцессорных систем на базе открытых (Овчинников 1988) и специализированных сетей (Витковский и др. 1988) довольно хорошо освещены в современной литературе и нормативных документах. Тем не менее практический опыт разработки реальных приложений к системам коммуникации и передачи данных в вычислительных сетях, учитывающий тенденцию перехода от устаревающих технологий открытых сетей к более перспективным, на основе которых стремительно развивается международная сеть Internet, позволяет автору осветить те направления этих технологий, которые могут быть успешно использованы в плане приложений к системам сбора данных в научном эксперименте.

Любая система сбора информации, как известно, состоит из устройства ввода данных - регистратора и их накопителя - архиватора. Распределенные системы сбора появились вследствие необходимости приблизить регистраторы к источникам информации: датчикам, инструментам, приемникам; в тоже время была желательна централизация архивного накопления однородных данных, что в конечном счете привело к появлению сетей передачи данных между множеством регистраторов и множеством архивов (Кононов 1991). Разумеется при реализации регистраторов и архиваторов на базе компьютеров используется универсальная сеть ЭВМ. В эту сеть также естественно включение как пунктов управления сбором данных, так и систем обработки этих данных, в том числе и конечными пользователями. В итоге на рис. 1.1 имеем следующую обобщенную распределенную систему сбора. Изображенная схема выгодно отличается от широко использовавшихся ранее иерархических структур (Ерухимов 1988) типа изображенной на рис. 1.2, для которых характерно наличие выделенного хост-компьютера и радиальной сети удаленных регистраторов, как правило не имеющих прямой связи друг с другом. Преимущества, заложенные в перекрестных связях между элементами системы, дают

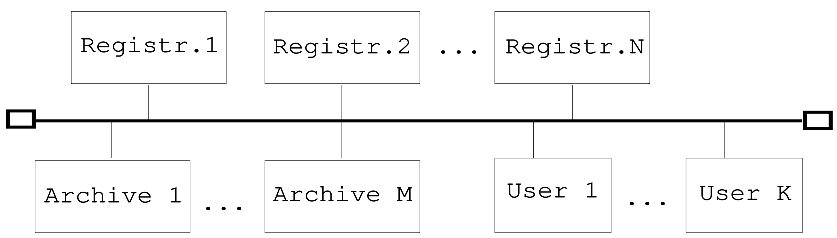

Рис. 1.1: Распределенная система сбора

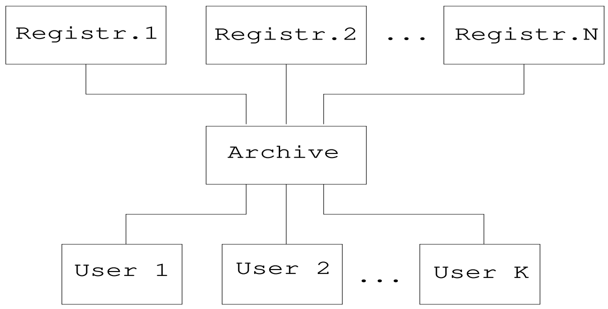

Рис. 1.2: Иерархическая система сбора

гораздо большую гибкость и в средствах повышения надежности, и в общей производительности всей системы.

1.1 Выбор аппаратных средств

Реальная структура локальной сети общего назначения изображена на рис. 1.3. Эта сеть, являясь подмножеством TCP/IP [1] сети (Черненков, Шергин 1993) Специальной Астрофизической обсервтории АН России (Internet name: RSAO), базируется на двух типах локальных сетей: Ethernet и ARCnet. Сети объединены общими протоколами канального и выше уровней[2] с помощью файловых серверов. Таким образом, конечному пользователю и прикладным программам безразлично их конкретное местонахождение в сети. Поскольку файловые серверы работают круглосуточно и всегда доступны, на их носителях размещены и архивы наблюдательных данных. Ввиду того, что технологию ARCnet уже можно отнести к категории устаревающих, подробнее обоснуем необходимость сегмента этой сети.

Хотя потенциальная производительность сетей ARCnet в четыре раза ниже, чем Ethernet (см. табл. 1.1), решающую роль в выборе ее для внешей прокладки и соединения с ЭВМ регистрации сыграли следующие преимущества:

- Сравнительно большое допустимое расстояние между пунктами ретрансляции пакетов данных ЭВМ или HUB, которое на РАТАН-600 достигает 1.5 км.
- Неприхотливость к значению и постоянству волнового сопротивления коаксиального кабеля, находящегося в тяжелых климатических условиях и имеющего несколько стыков, в том числе и скользящие сочленения во вращающихся кабельных барабанах подвижных облучателей.
- Отсутствие постоянной составляющей в сигнале и, следовательно, лучшая помехозащищенность сети.
- Высокая живучесть благодаря звездообразной архитектуре и возможности включения параллельных линий горячего резервирования.

[1] Transmission Control Protocol / Internet Protocol

[2] Имеется ввиду семиуровневая модель открытых сетей (OSI), разработанная Международной организацией по стандартизации (ISO), см. напр. у Овчинникова (1988).

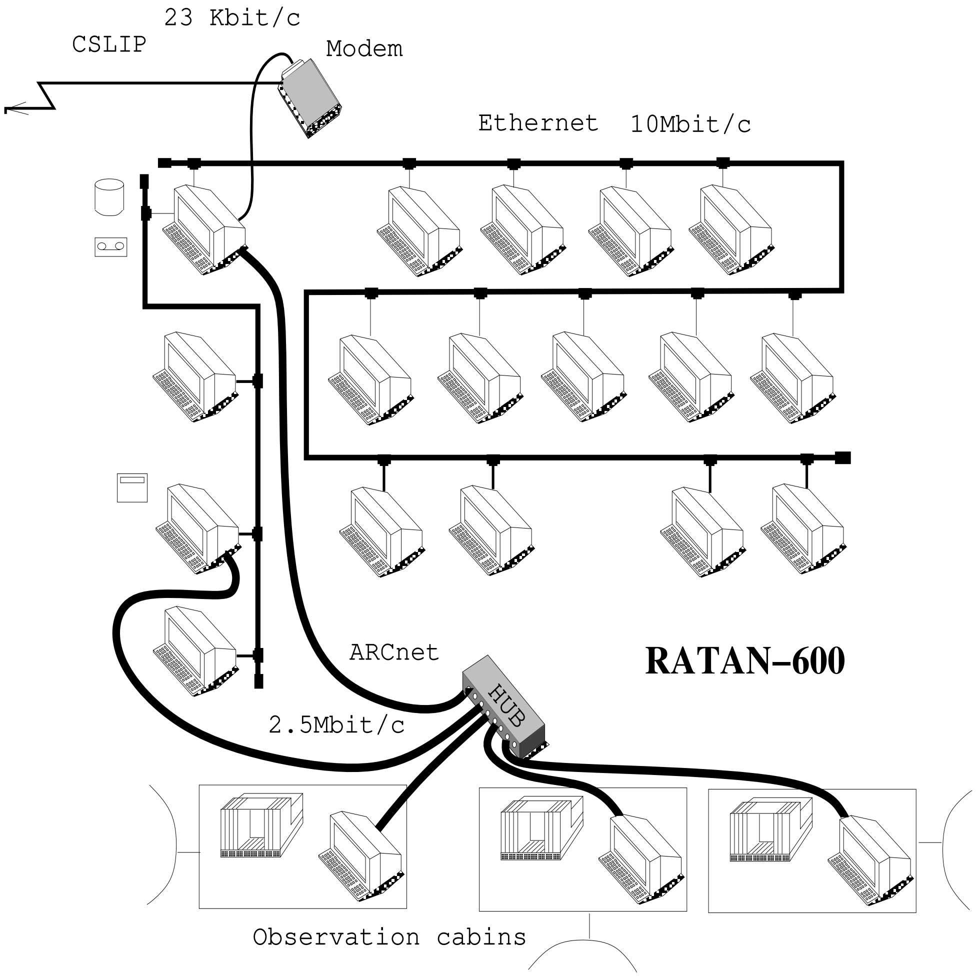

Рис. 1.3: Локальная сеть РАТАН-600

- Аппаратура ARCnet[3] в настоящее время самая дешевая из возможного выбора средств соизмеримой производительности.

К сожалению, на РАТАН-600 недопустимо применение беспроводных радио-сетевых средств типа AirLAN и им подобных ввиду высокой чувствительности радиометров (выше 96 дБ) радиотелескопа и его широкого рабочего диапазона волн (от десятков сантиметров до десяти миллиметров)[4]. Иначе можно было бы обойтись без коммутируемого кабельного хозяйства.

Внутрикорпусная локальная сеть на РАТАН-600 построена на базе "тонкого" Ethernet[5] и обеспечивает скоростной обмен данными и графической информацией между всеми рабочими местами и файловыми серверами.

Один из серверов используется в качестве маршрутизатора (router) для доступа к

[3]Стандарт определен документом IEEE 802.5.

[4]В последнее время появились сообшения о выпуске оборудования беспроводных (Wire Less) сетей на частоты 38 – 43ГГц, вариант использования которых просматривался. Однако это решение не устраняет проблемы силового питания аппаратуры подвижных облучателей и дороже варианта с ARCnet на несколько порядков.

[5]Стандарт определен документом IEEE 802.3

Таблица 1.1: Некоторые аппаратные средства локальных сетей

Оборудование	Наибольшая протяженность метры	Производительность Кбайт/сек	Стоимость долл./1ст
RS232C(+Модем)	20 (5000)	0.2-12.5	10(150)
RS432	200	12.5	20
G703 RisCom	500	32	600
AirLAN	10000	120	1300
ARCnet	6600	160	30
G703 RAD	500	120-1000	1000-3000
Ethernet	925	240-700	35-250
FDDI Cisco	1500-45000	12500	8000-28000

остальной части сети RSAO, для чего используется некоммутируемый арендованный телефонный канал и модемы. Протокол связи по этому каналу – CSLIP[6] (RFC 1144) также из класса TCP/IP, разработанный для соединений типа "точка – точка".

1.2 Базовое программное обеспечение

В качестве операционной среды (ОС) для построения распределенной системы сбора данных наиболее развитой является система UNIX, в которой с помощью стандартных библиотечных средств есть доступ к сетевым ресурсам на уровне TCP, NFS[7] и набор утилит для передачи файлов по FTP[8]. Перечисленные транспортные средства базируются в UNIX на базе интернет протокола или сокращенно IP. Аналогичную схему на базе IP можно реализовать и без UNIX с помощью прикладных пакетов программ PC-TCP [9] или PC-NFS[10] для MSDOS, MS-Windows [11] и др. В дополнение к стандартным средствам автором была написана библиотека подпрограмм для реализации FTP запросов из собственной программы. Эта библиотека позволяет существенно расширить, по сравнению с системными утилитами, диапазон возможных применений сетевой среды и дополнительно сэкономить ресурсы времени и памяти компьютеров, в первую очередь регистратора. Библиотека написана на стандартном ANSI C языке и проверена на имевшихся в распоряжении автора версиях UNIXа для персональных компьютеров и рабочих станций: SCO Xenix 386, UNIX ISC 2.2, Linux, SUN OS 4.1.3. Реализация запросов была осуществлена согласно рекомендациям Национального центра сетевых технологий США, стандартизирующих технологию FTP для мировых сетей (RFC 959). Описание

[6] Compressed Serial Line Internet Protocol
[7] Network File System - сетевая файловая система, разработанная SUN Soft
[8] File Transmition Protocol
[9] продукт фирмы TCP Software
[10] продукт фирмы SUN Soft
[11] системные продукты фирмы Microsoft

FTP библиотеки приведено в приложении .1.

Для построения сетевой системы регистрации данных можно использовать один из двух альтернативных протоколов транспортного уровня TCP (RFC 793) и UDP (RFC 768). На базе первого реализован вышеуказанный протокол передачи файлов FTP, а второй, обычно базовый – для реализации сетевой файловой системы NFS (RFC 1094).

Для реализации взаимодействия программ регистратора и архиватора по протоколу FTP в тело программы регистрации данных (регистратора) необходимо вставить процедуры открытия файлов данных на удаленном архиваторе, чтения и записи туда данных и закрытие этих файлов. На архиваторе же, при старте системы, должен запускаться процесс ftpd (демон), собственно осуществляющий эти операции. В приложении .2 приведен пример программы (который можно использовать как тест) с использованием вышеуказанной библиотеки. При создании реальной системы сбора следует проверить величину "тайм аута", с которым запускается ftpd в конкретной ОС, и если необходимо, то увеличить его до разумно необходимого интервала между FTP запросами регистрационной программы. Не следует совсем отказываться от механизма "тайм аута", поскольку это позволяет не перегружать архиватор лишними процессами, так как случайные разрывы соединений в реально работающей сети – весьма распространенное явление.

Весьма полезным для написания программ регистрации может быть использование библиотеки для выполнения удаленных заданий согласно RPC[12] (RFC 1057).

Наиболее просто, с точки зрения традиционного, написание программы регистрации с использованием сетевой файловой системы. Не забывая, конечно, о производительности коммуникационной линии и собственных ограничениях конкретной NFS. Так, при работе с файлами через NFS бессмысленно пользоваться системными вызовами для блокировки этих файлов, если их выполнение не поддерживается специальным демоном на удаленной стороне. Для этой цели можно просто менять атрибуты файлов. Время изменения файлов и передача информации об изменениях может зависеть от реализации NFS - синхронной или асинхронной. Первый – классический тип, к сожалению, требует поблочной синхронной записи на диск и потому сильно замедляет работу с файлами, второй гораздо производительнее (используется в Linux), но предъявляет повышенные требования к гарантированному электропитанию сервера. Обычно FTP позволяет получить большую производительность при более скромных ресурсных запросах, зато NFS на основе UDP самовосстанавливаема после остановок сервера или разрывах связи. К сожалению, классическая NFS не является гарантированно устойчивой от сбоев при записи на диск. Этот недостаток ликвидируется в последнее время переводом на TCP протокол, однако, такая реализация существует далеко не во всех ОС. Таким образом, если имеются в наличии довольно производительные коммуникационные средства (ARCnet, Ethernet), то оптимально использование TCP-NFS. В этом случае регистратор может обойтись и без собственного жесткого диска. Загрузку операционной системы можно произвести с floppy диска или PROM[13], затем, подключив по NFS диск архиватора, загрузить операционную систему (RFC 1084) и программу регистрации, работающую с данными на этом диске.

Бездисковую работу можно организовать и с помощью FTP-библиотеки, если реги-

[12]Remote Processing Control

[13]Programable Read Only Memory

стратор оснастить достаточным объемом памяти для безсвопинговой работы ОС (то есть без обязательных системных обращений к диску). Для системы сбора на базе наиболее компактной ОС Linux это 8 – 12Мбайт.

В случае, если в сети допустимы длительные интервалы отключения, например, частая переконфигурация или значительные расстояния, то конфигурацию сетевой файловой системы следует изменить на обратную. То есть регистратор оснащается дисковым накопителем достаточной емкости. А архиватор, предварительно проверяя наличие соединения, например, с помощью системной программы "ping", периодически снимает эти данные на свои носители. Тут также возможна и желательна работа по FTP.

1.3 Графическое представление данных

Наиболее универсальными и гибкими средствами для управления и передачи графических данных в сетевой среде IP являются графические средства и библиотеки стандарта X-Window (Доценко и др. 1994) и, в частности, последняя версия – X11-R6. В составе Linux, кроме базовых библиотек X11, имеются средства программирования более высокого уровня аналогичные сильно развитым библиотекам для современных рабочих станций – X Toolkit и XView. Пожалуй, единственным недостатком этих средств программирования графики является необходимость в приличных ресурсах компьютера, и прежде всего оперативной памяти, которая безусловно должна быть более 8 Мбайт. Кроме того, важным является выбор типа видеоадаптера и монитора, качественный видеорежим которых должен поддерживаться драйвером сервера X11 конкретной версии системы. На данный момент такую поддержку гарантированно имеют адаптеры на базе кристаллов фирм Tseng, Trident, Cirrus Logic, Western Digital и некоторые другие.

Если ресурсов регистратора недостаточно для постановки X11 или предполагается разделить отображение графической информации от передачи графических данных, то можно воспользоваться графической VGA библиотекой. В составе этой библиотеки для Linux содержатся функции вывода примитивов типа точки с абсолютными координатами, вектора, символьного текста. Причем последние версии позволяют оперировать в том числе и простейшими операциями ввода с "мыши" и поддерживают режим SVGA для большего числа видеоадаптеров, чем сервер X11.

Передача графической информации в случае X11 выполняется по стандартному протоколу (RFC 1013) на базе TCP с использованием идеологии "клиент-сервер". "Клиент" порождает графическую информацию, а "сервер" отображает ее на своем экране. Причем "клиент" и "сервер" могут располагаться как на разных компьютерах, так и на одном как разные задачи.

При отсутствии X11 передачу графики удобнее всего осуществлять в виде файлов данных в переносимом формате, например - plot, по протоколу UDP не требующем сетевого соединения. Тогда эти данные можно выводить или не выводить на любом графическом устройстве, экране, даже на нескольких устройствах одновременно. Удобным инструментом при выводе графики в стандарте plot может быть библиотека, написанная для UNIX (Верходанов и др. 1995) (в том числе и для Linux).

1.4 Визуализация данных в распределенных системах сбора

Как ранее было отмечено, наиболее гибкими стандартизованными средствами визуализации графических данных является оконный интерфейс X11. В распределенных системах сбора данных, базирующихся на технологии интернет, X11 позволяет проводить удаленный вывод и отображение этих данных в реальном времени. При удаленной работе возникает необходимость визуального контроля одновременно с нескольких рабочих мест. Однако, как известно, протокол передачи данных в стандарте X11 требует значительных вычислительных ресурсов и высокопроизводительных сетевых средств (более 100 кбайт в секунду). Он базируется на сравнительно интенсивном универсальном протоколе обмена данными, транспортный уровень которого TCP[14] ориентирован на жесткое соединение между процессами, порождающим графические данные, с одной стороны, и выводящим эти данные на экран графической станции, с другой. При увеличении количества пользователей графических данных необходимые ресурсные затраты растут пропорционально числу пользователей, что может оказаться серьезным препятствием для реализации системы реального времени с множественным доступом. Ведущие зарубежные фирмы – производители программного обеспечения для графических рабочих станций, одна из которых Java Soft[15], в настоящее время активно разрабатывают более экономичный протокол передачи графических данных. В частности, разработки на базе гипертекстовых объектно-ориентированных языковых средств типа Java (Grand 1996) позволят решить проблему передачи динамических изображений по "медленным" сетям передачи данных. Однако внедрение их требует больших аппаратных затрат. К тому же, предлагаемые такой технологией средства предназначены не столько для передачи и отображения реальной динамики процессов (Downing, Meyer 1996), а скорее для воспроизведения уже осуществленной записи фрагментов изображений (фильм).

В данном разделе предложен альтернативный способ передачи графических данных для систем сбора, позволяющий сократить необходимые ресурсные затраты для мультидоступа. Способ дает возможность использовать как графические средства X11, так и обходиться без них при сохранении базовой идеологии "клиент – сервер".

1.4.1 UDP как средство мультидоступа к данным

В современных операционных системах и сетевых средствах, базирующихся на сокетном механизме сетевых приложений [16] (BSD UNIX, SUN-OS, Linux, MS-Windows/WinSock и др.) передача данных между сервером и клиентами осуществляется через так называемые "гнезда" (sockets) – сокеты, открываемые с двух сторон с получением дескрипторов анологично файловым (Stevens 1990). Здесь под сервером понимается программа, с одной стороны, принимающая поток данных из драйвера аппаратуры системы сбора (например КАМАК) и, с другой стороны, выдающего его в сеть через сокет по запросам от

[14] Transport Control Protocol

[15] Подразделение корпорации SUN.

[16] В операционных системах с потоковой (streams) реализацией сетевых API, например, UNIX System V, работа с сокетами как правило полностью эмулируется при использовании соответствующих системных библиотек, и отличия в написании программ несущественны.

клиентов. Клиент, в свою очередь, – это программа, которая выдает в свой сокет запросы на получение данных из сети, получает их оттуда и выводит на внешнее графическое устройство. Графическим устройством могут быть как средства SVGA-графики (через функции SVGA-библиотеки), так и окружение X11.

1.4.1.1 Широковещательная передача

В отличие от TCP, протокол UDP [17] не ориентирован на соединение и, следовательно, к одному процессу – источнику данных, то есть к сокету, открытому этим процессом, могут подсоединиться сразу несколько потребителей этих данных. Обычный способ параллельного соединения осуществляется посредством выделения для сокета фиксированного номера порта и формирования группового (broadcast) адреса, охватывающего адресное пространство всех потенциальных потребителей, – клиентов. Очевидное преимущество – всего один сокет и всего один поток графических данных независимо от числа клиентов. Однако такой способ может быть использован только внутри одного сегмента локальной сети, поскольку широковещательная адресация, реализуемая на аппаратном уровне в широкополосных сетях (ARCnet, Ethernet и т.п.), обычно не транслируется в другие сети, даже если они того же типа.

Для передачи графических данных в удаленные пункты лучше использовать конкретную адресацию, иначе мы были бы вынуждены передавать данные для всей сети Internet.

1.4.1.2 Адресная передача точка – точка

При организации адресной передачи по UDP обмен строится по принципу запрос – ответ. Программа клиент посылает порцию данных – дейтаграмму запроса серверу, а тот высылает ответную дейтаграмму по адресу запрашивающего. Адрес клиента сервер берет из своего сокета. До следующего запроса сервер про этого клиента забывает.

Безусловный плюс по сравнению с TCP – не надо следить за соединением и для следующего клиента сокет всегда свободен. Если по каким-либо причинам связь рвется, а затем восстанавливается, то никаких заторов не возникает.

Недостаток – поток прямо пропорционален количеству клиентов. К тому же, из-за необходимости двухстороннего обмена данными поток еще и удваивается. При появлении запроса от нового клиента программа-сервер обычно создает свою копию с вновь открываемым сокетом для обслуживания этого клиента, что ведет к росту затрат на необходимую память.

Учитывая это и тот недостаток, что UDP не содержит встроенных средств контроля гарантированной доставки дейтаграмм, такая передача данных используется только в специальных случаях, когда перечисленные недостатки скомпенсированы или не имеют принципиального значения.

[17] User Datagram Protocol

1.4.1.3 Адресная передача точка – группа

Предлагается построить процедуру передачи, используя следующие свойства данных:

1. Графические данные в основном однотипны, то есть набор дейтаграмм ограничен фиксированным числом заранее известных структур.
2. Структуры графических данных привязаны к средствам их отображения с ограниченными полями, поэтому циклы вывода данных в реальном времени имеют периодический характер, связанный с заполнением экрана.
3. Количество потребителей графических данных ограничено сравнительно небольшим числом рабочих станций, с которых производится управление наблюдательным процессом.
4. Цена потерь графических данных в системе сбора невысока, поскольку средства визуального контроля вторичны по отношению к записи исходных данных на носители.

Предлагается следующий алгоритм взаимодействия между множеством клиентов и сервером. Этот алгоритм позволяет минимизировать поток дейтаграмм в сети и количество используемых сетевых ресурсов.

Основная идея алгоритма в том, что сервер открывает всего один UDP-сокет, но резервирует область для массива адресов фиксированного[18] множества клиентов. Номер порта также один и известен клиентам вместе с адресом сервера. Клиенты при старте также открывают у себя по одному сокету.

Рассмотрим работу сервера. Сервер после старта программы создает собственную копию в виде "потомка", который отсоединяется от управляющего терминала и становится самостоятельным "демоном", а "родитель" свою работу завершает. После этого происходит открытие драйвера аппаратуры системы регистрации для приема "шапочки" параметров и собственно потока данных для визуализации. "Шапочка" запоминается в виде структуры данных для передачи в виде дейтаграммы, назовем ее № 1. Затем открывается сокет для приема запросов и выдачи данных. После открытия сокета программа попадает в бесконечный цикл ожидания запросов из сети и чтения данных из драйвера.

Исходно массив адресов клиентов очищен. При получении дейтаграммы она анализируется на содержание, и если соответствует стартовой, то из сокета извлекается адрес первого клиента и заносится в первую свободную ячейку адресного массива. Затем этому клиенту посылается дейтаграмма "шапочки" и начинается передача графических данных – дейтаграмм № 2. Данные передаются по мере их поступления от аппаратуры сбора, при этом производятся также попытки чтения дейтаграмм запросов от других клиентов.

Поступление дейтаграммы "Start" от клиента приводит к добавлению соответствующего адреса в массив адресов, передачи "шапочки" и включению этого клиента в цикл

[18] Фиксация размера массива не принципиальна, и может быть заменена динамическим выделением памяти по каждому запросу от нового клиента

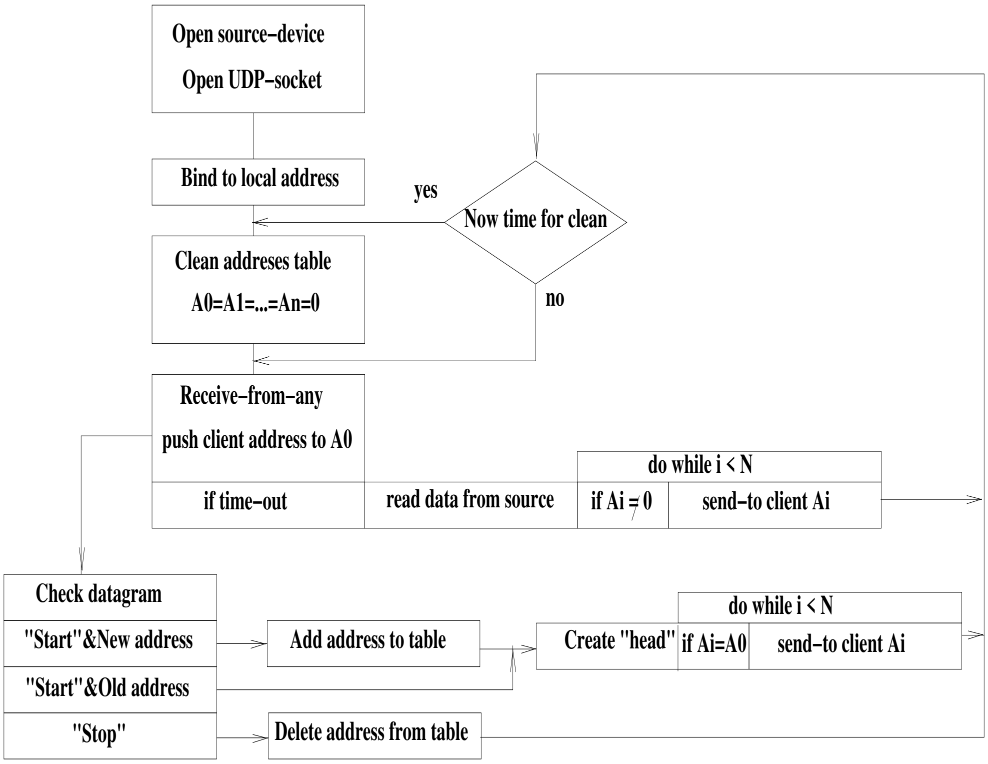

Рис. 1.4: Алгоритм работы сервера

передачи дейтаграмм №2. Получение же сервером дейтаграммы "Stop" вызывает процедуру обнуления соответствующего адреса клиента в массиве адресов и прекращению передачи данных для него. Поэтому дополнительной обязанностью клиентов является периодическое подтверждение собственной "жизнеспособности" посылкой стартовых дейтаграмм. Эту процедуру логично связать с заполнением экрана клиента и его очисткой.

Поскольку клиенты могут "забывать" посылать завершающие дейтаграммы, сервер принудительно через некоторое время очищает адресный массив. Алгоритм работы сервера изображен на рис. 1.4.

Алгоритм работы клиента изображен на рис. 1.5. Работа клиента начинается с процедуры инициализации графического экрана, при этом средствами X11 могут создаваться специальные окна, раскрашенные в соответствии с палитрой и ресурсами рабочей станции. Затем программа открывает дейтаграммный сокет и посылает запрос на прием "шапочки" для оформления графических данных. Целесообразно организовать цикл таких запросов с выдержкой времени. (Обычно достаточно десятка секунд). После получения дейтаграммы №1 вызывается процедура графического оформления данных в виде рамочек, атрибутов, шкал, сетки времени и т.п. Затем программа попадает в цикл ожидания дейтаграмм №2 и разрисовки отсчетов по полученным данным в реальном времени. По мере заполнения экрана, а также при выбранном тайм-ауте[19] на прием данных, программа посылает стартовый запрос на прием дейтаграмм №1 и перерисовывает оформление экрана. Такие циклы повторяются до тех пор, пока работу программы не

[19]Система контроля по тайм-ауту полезна, поскольку как правило невозможно гарантировать непрерывную работу сервера и сети.

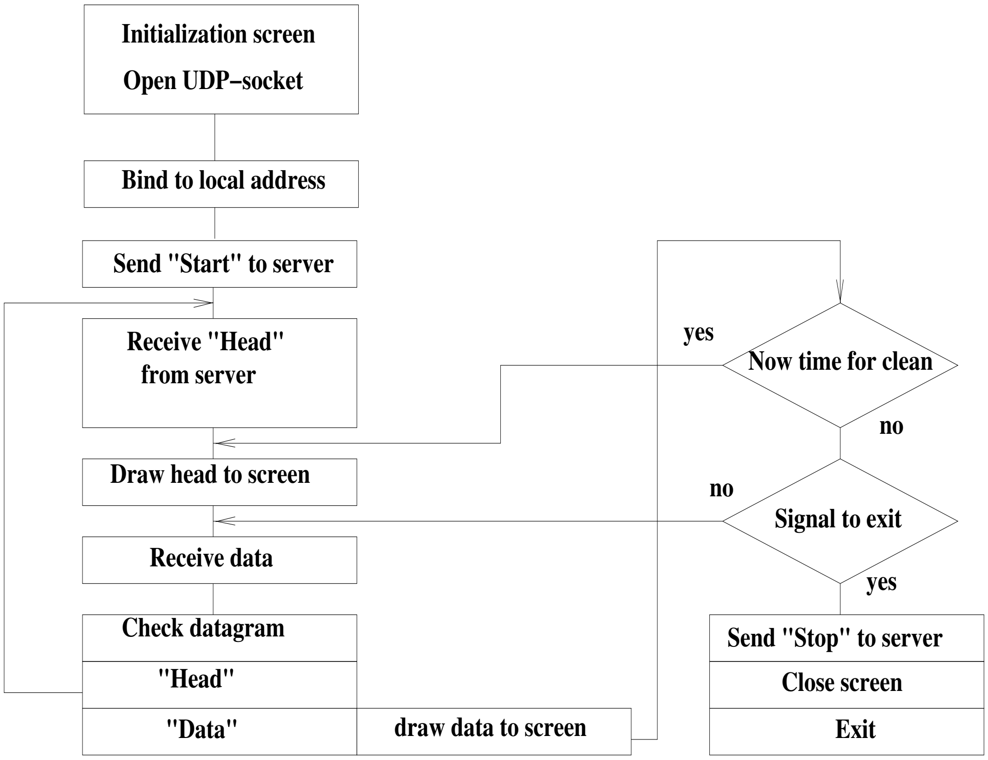

Рис. 1.5: Алгоритм работы клиента

прервет событие (или сигнал) на ее окончание. Перед выходом из программы и закрытием сокета производится посылка дейтаграммы "Stop" серверу.

1.4.2 Визуализация данных системы сбора первого облучателя

Практическая реализация изложенnного алгоритма взаимодействия графического сервера и клиентов была реализована в комплексе сбора данных облучателя №1 РАТАН-600 – "Continuous", описанном далее в главе 4. Программа сервера графических данных vsd, позволяет одновременно обслуживать до восьми независимых рабочих станций[20]. С помощью программ клиентов visn и xvisn для вывода графики на SVGA-экран и X-терминал соответственно, можно контролировать наблюдательный процесс по нескольким каналам (на экран можно параллельно выводить до восьми графиков реального времени). За основу программ клиентов были взяты локальные программы vis и xvis, ранее считывающие данные из промежуточного файла. Частота съема графических отсчетов составляет 10 Гц, а вывод данных на экран – раз в секунду. Визуальный контроль наблюдений можно проводить практически на любой рабочей станции в САО или РАТАН-600 независимо от удаления. Так, на рис. 4.6 изображен экран компьютера, расположенного на Нижней Научной площадке САО (удаление от РАТАН-600 – 25 км) и связанного с облучателем №1 через сети ARCnet, Ethernet и выделенный телефонный канал.

[20]Объем массива адресов, ограничивающий число одновременно обслужимаемых клиентов, задается при компиляции программы и может быть увеличен до необходимого значения.

Глава 2

Подготовка и проведение удаленных наблюдений на РАТАН-600

Проблеме автоматизированного планирования наблюдательных программ в настоящее время уделяется все больше внимания, особенно на новых крупных обсерваториях (Sasaki et. all. 1995). При этом можно повысить эффективность использования инструмента, исходя из того, что удается построить систему приоритетов компоновки расписания наблюдений различных объектов в соответствии, как с текущей конфигурацией размещения аппаратуры на телескопе, так и с конкретными погодными условиями.

Радиотелескоп РАТАН-600 является многопрограммным инструментом, поэтому задачу по обеспечению коллективного доступа к его ресурсам, проблема решения которой возникала так же и для локальных пользователей (Витковский 1990), логично расширить и для удаленных. Это весьма актуально, учитывая возросшую на порядки относительную стоимость поездок к инструменту.

В отличие от проекта поддержки динамического расписания оптического телескопа SUBARU (Япония), для РАТАН-600 мы были вынуждены разработать существенно более дешевый вариант без использования стандартной системы поддержки баз данных (СУБД), тем не менее отслеживающий динамику подачи заявок на наблюдательное время.

Традиционно предполагается "он-лайн" контроль и управление наблюдательной аппаратурой и, следовательно, необходимость в длительной аренды глобальных телекоммуникационных каналов высокой производительности (не хуже 64кбит/с) (A.Balestra et al. 1992). Однако реализация системы коммуникаций и управления удаленными наблюдательными инструментами в таком виде по силам только очень крупным оптическим и радиообсерваториям для организации, например, краткосрочных кооперативных наблюдательных программ. Подавляющее же большинство радиоастрономов, особенно отечественных, имеют к настоящему времени в лучшем случае персональный компьютер с доступом в глобальные сети только в текстовом режиме telnet или E-mail. Тем не менее, поскольку для РАТАН-600 существует большое количество задач, для которых необходимо только планирование типового режима наблюдений и получение окончательных данных после его проведения, уже сейчас не всегда обязательно присутствие наблюдателя непосредственно на облучателе. Такой набор режимов первоначально был разработан для локальной версии многопользователской системы поддержки наблюдений на радиометрах сплошного спектра РАТАН-600 (Витковский и др. 1989) и не требует "он-лайн" сопровождения.

Решение проблемы информационного обмена с радиотелескопом облегчено и тем, что в отличие от интерферометических систем, поток данных для РАТАН-600, работающего обычно в режиме параллельного апертурного синтеза (Есепкина, Корольков, Парийский

1973), после накопления не так велик. Поэтому для организации рядовых наблюдений достаточно производительности стандартных телефонных каналов.

Предпосылками перехода на предлагаемую технологию были разработка автоматической системы позиционирования каретки с радиометрами на облучателях (см. гл. 3) и цифрового управления приемниками, а также создание распределенной системы сбора и архивирования данных на базе локальной информационной сети РАТАН-600 (см. гл. 1)

2.1 Наблюдательный эксперимент и его этапы

Общая структура проведения наблюдательного эксп씨еремента на РАТАН-600, состоит из следующих этапов:

1. Составление задания с помощью специального пакета программ. На этом этапе формируется файл индивидуальной (авторской) заявки для компьютера системы сбора данных и центрального компьютера автоматизированной системы установки антенны.

2. Из заданий на наблюдения формируется общее расписание на установку антенны, установку облучателей и включения систем сбора данных.

3. Согласно расписанию производится загрузка задания в компьютер системы сбора данных, который устанавливает соответствующие параметры в аппаратуре сбора и производит запись данных на архивные носители.

4. Процесс наблюдения контролируется наблюдателем с помощью программ визуализации данных.

5. Записанная в архив информация структурируется, по-необходимости сжимается, и становится доступной с помощью архивных и сетевых средств.

Анализ перечисленной последовательности показывает, что существующих средств автоматизации и развития сетевой технологии на РАТАН-600 в целом достаточно для проведения основной массы штатных наблюдений в удаленном режиме. На рисунке 2.1 показано, что наблюдатель на первом этапе может составить независимо от других наблюдателей авторское задание. Задание включает в себя последовательность данных о дискретных источниках или обзорных часах, стандартных установках радиометров и данные расчета эфемерид для установки антенны и проведения записи в нужные моменты времени. Рисунок 2.2 показывает исходное меню пользовательской программы Packet и вызываемые ею утилиты:

- tao - Диалоговый экранный ввод данных в виде бланков.

- svpr - Счет ефемерид далеких источников (по алгоритмам ИТА).

- rplang, rlunaf - Счет эфемерид Солнца, планет и Луны (по алгоритмам ИТА).

- prit - Создание листинга задания на наблюдение.

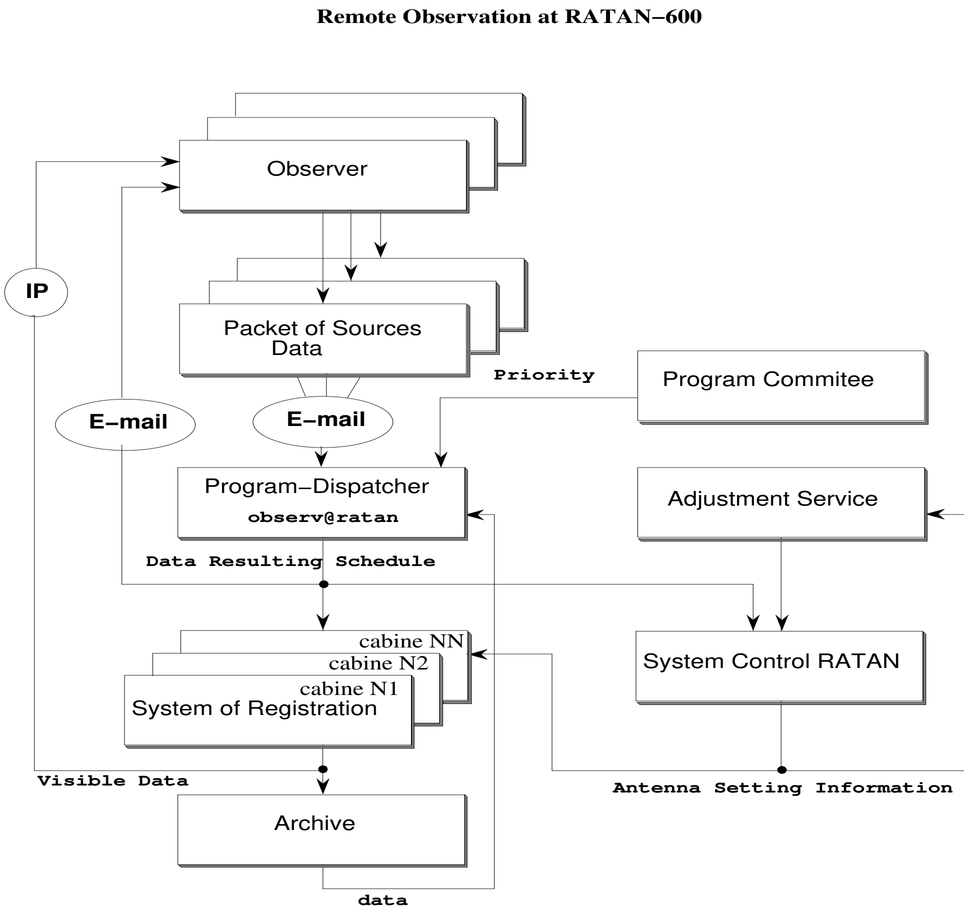

Рис. 2.1: Процесс проведения удаленных наблюдений на РАТАН-600

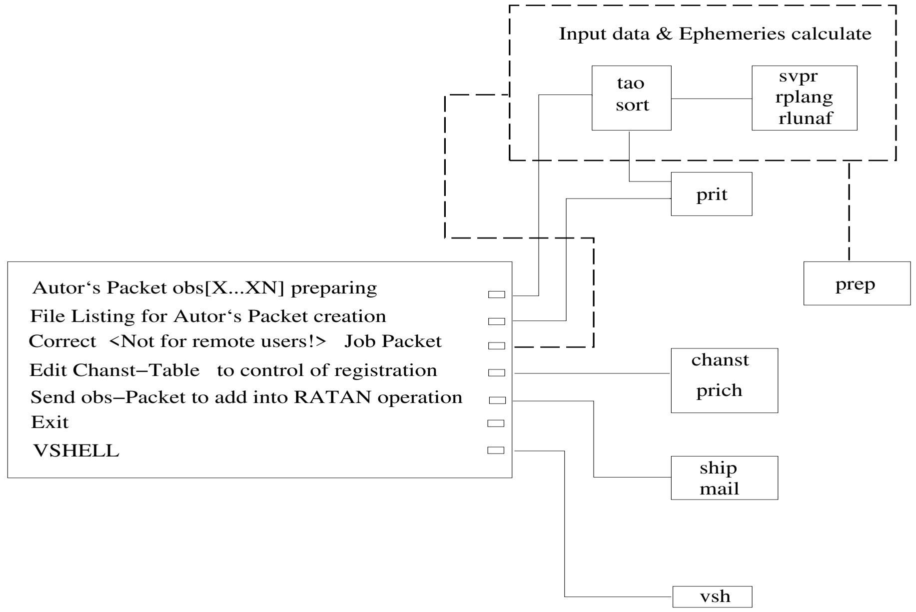

Рис. 2.2: Подготовка удаленного наблюдения

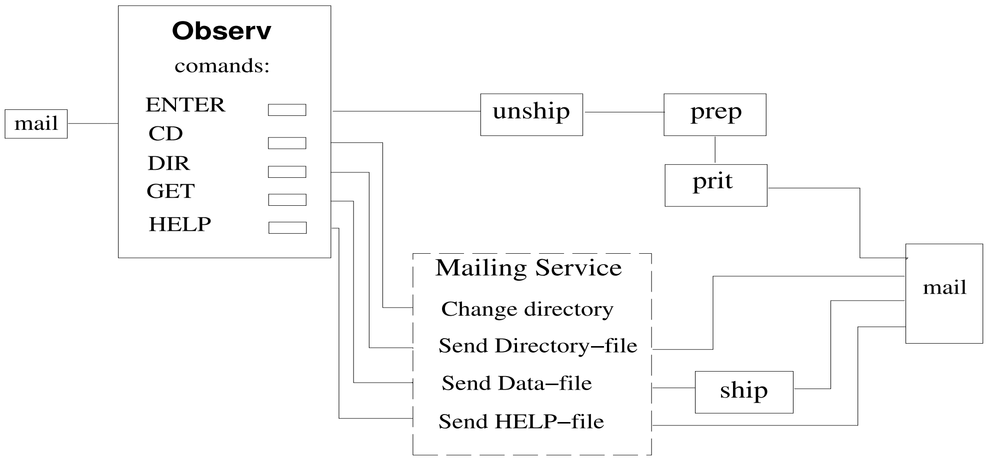

Рис. 2.3: Работа сервера сообщений

- chanst - Диалоговый экранный ввод параметров аппаратуры облучателя, данных о радиометрах, калибровочных сигналов и т.п.
- prich - Создание листинга таблицы аппаратурных параметров.
- prep - Создание объединенного задания на наблюдение.
- ship, mail - Системные программы для упаковки бинарных данных в текстовый вид и отправки их в виде электронного письма (E-mail).
- vsh - Системная оболочка для работы в UNIX.

Как видно из рисунков 2.1 и 2.2, основной диалог происходит на этапе подготовки задания на локальном компьютере удаленного наблюдателя а сформированное задание отправляется автоматически по электронной почте программе-диспетчеру сервера РАТАН-600.

Работа программы-диспетчера - observ иллюстрируется рисунком 2.3. Observ построен по принципу майл-сервера, широко используемого на компьютерах сети Internet. Он автоматически считывает приходящие на его адрес: observ@ratan.sao.ru письма, и с помощью встроенного лексического анализатора выделяет предназначенные для него команды. Одна из этих команд - специфическая: ENTER означает ввести задание на наблюдение. При отработке этой команды запускается программа компоновки общих пакетов последовательно для каждого облучателя (prep). В процессе сортировки заданий по времени конфликты для пересекающихся заданий разрешаются с помощью файла приоритетов, формируемого представителем программного комитета, распределяющего наблюдательное время РАТАН-600. Остальные команды диспетчера: CD, DIR, GET, HELP и др., практически ни чем не отличаются от команд типового майл-сервера (Harrison 1995) и позволяют перемещаться по каталогам и архивам сервера, а также упаковывать файлы данных для отправки в виде писем. Следует отметить, что команда ENTER автоматически включается в авторское письмо–задание при работе с программой Packet и результатом ее действия, кроме всего перечисленного, будет отправка листинга готового расписания по адресу, указанному наблюдателем в соответствующем пункте меню.

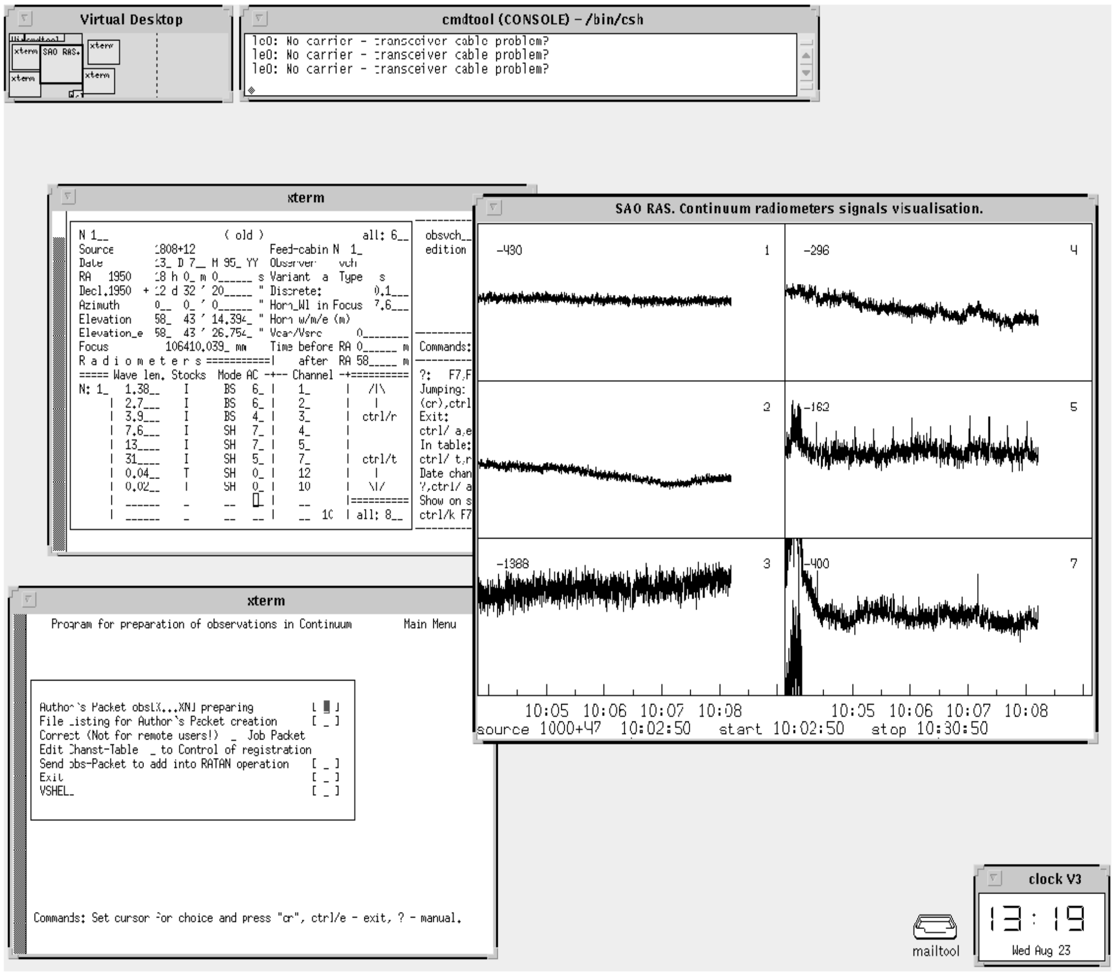

Рис. 2.4: Экран рабочей станции во время наблюдения

2.2 Иллюстрация типового удаленного наблюдения

Начиная с мая-июня 1995г. на РАТАН-600 введена в экспериментальную, а с августа и в штатную эксплуатацию, многопользовательская распределенная сетевая система сбора данных для радиометров континуума (облучатель № 1), позволяющая начать широкое внедрение изложенной методики. На рисунке 2.4 отображен снимок экрана рабочей станции, находящейся на Нижней научной площадке (удаление от РАТАНа - 25км), во время типового наблюдения. В левой части экрана видны фрагменты программных меню подготовки данных авторского пакета, а в центре графическое отображение данных реального времени по шести частотным каналам.

2.3 MCOSS-U – мобильная многопользовательская система поддержки наблюдений на радиометрах непрерывного спектра радиотелескопа РАТАН-600.

С момента внедрения многопользовательской системы поддержки наблюдений на радиометрах сплошного спектра - MCOSS [1] (Витковский и др. 1989) в 1988 году прошло уже 7 лет. За это время базовый многомашинный иерархический аппаратно-программный комплекс - МИКРАТ, на основе которого функционировала MCOSS, практически выработал свой технический ресурс и после снятия международных запретов на импорт современных мировых технологий устарел и морально. Следует отметить, что изменился и круг научных задач на телескопе. Наряду с проведениями длительных многочастотных обзоров появилась необходимость в исследовании быстропеременных процессов, что требует автоматической записи существенно большего и общего объема и потока данных. С 1993 года в подразделениях САО и на РАТАН-600 функционирует локальная компьютерная сеть общего назначения (Черненков, Шергин 1993), базирующаяся на технологии и протоколах интернет. Эта сеть, а также стремительно увеличившийся парк сравнительно дешевых, достаточно надежных и высокопроизводительных персональных компьютеров, позволили полностью обновить элементную базу систем сбора данных и пересмотреть архитектуру и связи элементов всего комплекса. Улучшение параметров элементной базы при разработке нового программного обеспечения позволило опереться на существенно более широкие возможности, которые представляет платформно-независимая открытая технология операционной системы UNIX, которые ранее были недоступны использовавшимся: RT11, TSX и NTS. Было принято во внимание также решение Совета РАН по проблеме "Радиоастрономия", рекомендававшего использование операционной системы UNIX для разработки перспективных систем автоматизации научных исследований (АСНИ). Система поддержки наблюдений к маю 1995 года была перенесена на UNIX-платформу и получила название MCOSS-U. Вместо аппаратно-программного комплекса МИКРАТ была разработана многомашинная иерархическая территориально распределенная архитектура сбора наблюдательных данных (см. рис. 1.1), и комплекс сбора данных на ее основе – "Continuous".

[1] Multiusers Continuum Observations Support System

```
   Program for preparation of observations in Continuum        Main Menu

  ==========================================================
  |  Author's Packet obs[X...XN] preparing          [ _ ] |
  |  File Listing for Author's Packet creation      [ _ ] |
  |  Correct (Not for remote users!)  _  Job Packet       |
  |  Edit Chanst-Table  _ to Control of registration      |
  |  Send obs-Packet to add into RATAN operation    [ _ ] |
  |  Exit                                           [ _ ] |
  |  VSHELL                                         [ _ ] |
  ==========================================================


 Commands: Set cursor for choice and press "cr", ctrl/e - exit, ? - manual.
```

Рис. 2.5: Основное меню программы

2.3.1 Подготовка задания на наблюдения

Подготовка задания на наблюдения может происходить одним из трех возможных способов доступа к компьютеру системы сбора наблюдательных данных:

- Непосредственно в кабине вторичного зеркала (облучателя № 1) или за терминалом сервера РАТАН-600
- В режиме удаленного терминала.
- Непосредственно на собственном компьютере связанным с сервером РАТАН-600 по E-mail.

С точки зрения порядка выполнения всех операций кроме начального входа в систему эти способы идентичны. В первом и последнем случае для входа в систему нужно на приглашение системы
Login:
ввести имя obs и затем пароль.

Во втором случае можно воспользоваться командами:
telnet ratan.sao.ru или
rlogin ratan.sao.ru -l obs.

После входа в систему должно распечататься меню основных операций, как показано на рис. 2.5. С помощью клавиш-стрелок следует установить курсор против выбранного режима работы и нажать клавишу Enter.

2.3.1.1 Подготовка авторского задания

При входе в этот режим создается текстовое окно, спрашивающее имя авторского пакета (рис. 2.6). Если вводится имя несуществующего пакета, программа запрашивает подтверждения об его создании. Рекомендуется следующее правило формирования имени

Packet?	vch10_

Рис. 2.6: Пример имени авторского пакета

Table edition	_
Date change	_
Show on screen	_
Change alone parameter	_

Рис. 2.7: Меню работы с авторским пакетом

пакета. Запишите свое системное имя и десятичный порядковый номер без пробела. Тогда автоматически сформируется ваш правильный электронный адрес для последующих операций из основного меню. На время работы с конкретным авторским пакетом он блокируется для доступа. Поэтому, если попытаться открыть для редактирования авторский пакет одновременно с нескольких линий, прграмма выдаст сообщение о блокировке и вернется в основное меню[2].

Например: obssatr03 busy, perhaps edit anyone now!

Следующее меню представленное на рис. 2.7 позволяет выполнять нижеперечисленные операции:

- Редактирование существующего авторского пакета.
- Автоматическое изменение дат наблюдаемых источников.
- Просмотр авторского пакета.
- Групповое редактирование по одному из общих параметров заданий в пакете.

В первом и третьем случае редактор таблицы будет последовательно представлять на экране бланки для задания параметров наблюдений. Незаполненый бланк изображен на рис. 2.8.

Движение по полям бланка осуществляется с помощью клавиш со стрелками или клавишей Tab.

Работа с редактором авторской таблицы

- Заполнить все поля бланка.

[2]Такое сообщение появится и в том случае, если выход из редактирования был несанкционированным и файл пакета остался заблокирован. В этом случае необходимо разблокировать файл командой: chmod -x имя_файла_пакета; подсказка об этой операции высвечивается на экране сразу после сообщения об ошибке.

```
|===============================================================================|
| Epoch        ____        N 1__   ( new )       all: 0__|  obsvch10_          |
| Source       __________         Feed-cabin N  __       |  creating           |
| Date         ___ D ___ M ___ YY Observer    ____________|                     |
| RA (epoch)   __ h __ m ______ s Variant  _  Type   __  |                     |
| Dec(epoch) _ __ d __ ' ______ " Discrete:        ______|                     |
| Azimuth      ___  __ ' ______ " Horn_Wl in Focus  ______|                     |
| Elevation    ___  __ ' ______ " Horn w/m/e (m)    _    |                     |
| Elevation_e  ___  __ ' ______ " Vcar/Vsrc       _________|--------------------|
| Focus          ___________ mm   Time before Tc _______ m| Commands:           |
| R a d i o m e t e r s ===========|    after  Tc _______ m|--------------------|
| ===== Wave len. Stocks  Mode AC -+-- Channel -+==========| ?:   F7,F8,(cr)    |
| N: 1_   ______    _      __   __ |    __      |   /|\    | Jumping:            |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |    |     | (cr),ctrl/ f,b,g,d|
|      |  ______    _      __   __ |    __      |  ctrl/r  | Exit:               |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |          | ctrl/ a,e,p         |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |          | In table:           |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |  ctrl/t  | ctrl/ t,r,[d]       |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |    |     | Date change:        |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |   \|/    | ?,ctrl/ a,d,(cr)    |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |==========| Show on screen:     |
|      |  ______    _      __   __ |    __  10  | all: ___ | ctrl/k F7,F8,(cr)   |
|===============================================================================|
```

Рис. 2.8: Бланк редактора таблиц

- Нажать клавишу ?,Enter или CTRL/символ, где символ определяет функцию. Возможные символы: f, b, g, d, a, e, p, k.

  ? – Вход в основной справочный режим; перемещение по страницам справочника с помощью функциональных клавиш F7 - вперед и F8 - назад, Enter - возврат в режим редакторования;

  Enter – Next record with clean blank (default) – режим по умолчанию, переход к следующему бланку (к новому бланку с очисткой всех полей);

  CTRL/f – Forward copy - копирование информации текущего бланка в первый свободный бланк; если таблица заполнена, копия помещается на место последнего бланка;

  CTRL/b – Back record - возврат в предыдущий бланк;

  CTRL/g – Go to - переход на бланк, имеющий номер №, который запрашивается;

  CTRL/d – Delete current record - удаление информации текущего бланка; при этом если происходит возврат к предыдущему заполненому бланку;

  CTRL/a – Abort of edition - прерывание редактирования авторского пакета с выходом без записи из редактора; при этом восстанавливается старое содержимое всех бланков.

  CTRL/e – Exit - стандартный выход из режима редактирования с записью введеных данных;

- CTRL/p – Print file and exit - функция, аналогичная предыдущей но дополненная автоматическим созданием листинга авторского пакета (файл с расширением *.p)
- CTRL/k – Known information - вход в справочный режим по данным радиометров нужного облучателя; при входе в этот режим запрашивается номер облучателя;

При входе в область параметров каналов функция CTRL/d переопределяется таким образом, что ее нажатие удаляет данные только текущего канала. Поскольку на экране может поместиться информация только о десяти каналах, введены функции CTRL/t и CTRL/r. Первая перемещает содержимое области экрана, описывающей параметры каналов, вверх, а вторая вниз. Таким образом можно вводить данные на остальные каналы.

Описание вводимой информации

Epoch - эпоха вводимых небесных координат источника; допустимы значения: 1950 или 2000 (по умолчанию – 1950);

Source - имя источника, в стандартной форме содержит 7 символов, для Солнца, Луны и планет - их названия (значащих только 3 первых символа): sun - Sun, mer - Mercury, ven - Venus, mar - Mars, jup - Jupiter, sat - Saturn, ura - Uranus, nep - Neptune, plu - Pluto, moo - Moon, ear - Earth; [3]
для остальных источников - четыре цифры часы и минуты прямого восхождения, знак склонения и две цифры склонения в градусах (hhmm±dd); следует учитывать, что из этого параметра формируется имя файла, в котором пробелы будут заменены символами подчеркивания;
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: уникальность автоматически сформированного имени файла гарантируется только для источников, наблюдаемых в разные половины декретных суток и далее.

Feed-cabin - номер облучателя;

Date - дата наблюдения (точки привязки координат) день, месяц, год;

Observer - имя наблюдателя;

RA (epoch) - прямое восхождение источника на введенную эпоху, или значение эфемеридной альфа-поправки для планет и Солнца;

Dec (epoch) - склонение источника на введенную эпоху, знак склонения заносится в первое поле (по умолчанию +);

Variant - вариант наблюдения (буква латинского алфавита, идентифицирующая авторский набор параметров согласно данным для системы сбора конкретного облучателя) [4];

---

[3] В текущей весии счет эфемерид планет не работает, потому указанные символы пока вводить не следует!

[4] Справку можно получить по CTRL/k

Type - определяет тип наблюдения:

- s – (survey) - обзор (калибровка в начале каждого временного отрезка);
- d – (discrete) - дискретный источник (с двумя калибровками перед записью и после нее);
- c – (carriage) - накопление в режиме скольжения;
- v – (variable) - наблюдение быстропеременных процессов;
- s3, d3, c3, v3 – наблюдения в 3-х зеркальной системе ("ЮГ+плоский");

Для информации в поле Discrete распечатывается временной интервал считывания данных в соответствии с выбранным режимом (после выхода из бланка);

Azimuth - азимут наблюдаемого источника (не путать с геодезическими азимутами рельсовых путей);

Elevation - высота наблюдения (высота для расчета установки антенны), для справки выводится расчетная высота - Elevation_e, которая запишется в качестве установочной, если все три поля для Elevation будут пустыми при выходе из текущего бланка (если указывается высота $> 90°$, то к значению азимута необходимо добавить $180°$);

Focus - установочное фокусное расстояние антенной системы телескопа, вычисленное от его центра (поле следует оставить пустым, тогда при выходе из бланка занесется значение, расчитанное по Elevation_e)[5];

Horn_Wl in Focus - длина волны радиометра, рупор которого необходимо поместить в фокус с помощью каретки на облучателе; Эта величина вместе с таблицей положений рупоров служит для вычислений смещений моментов прохождения источника через фазовый центр заданного рупора;

Horn - один из трех симолов: w - West, e - East или m - medium, определяющих какой из рупоров: западный, восточный или середину между ними, указанного ранее радиометра, необходимо поместить в фокус; для однорупорных радиометров, а также по умолчанию используется значение – medium.

Vcar/Vsrc - отношение линейной скорости движения каретки к средней скорости перемещения фокального пятна; ненулевое значение указывается только для режимов c, v, c3, v3;

Time before Tc - интервал записи (исключая длительность калибровки радиометров) в минутах звездного времени до расчетного среднего времени прохождения источника через заданный азимут; для обзоров обычно вводится нулевое значение, в режимах c, v, c3, v3 вычисляется автоматически;

Time after Tc - интервал записи после расчетного среднего времени прохождения (время калибровки после записи так же не включается), в режимах c, v, c3, v3 вычисляется автоматически; Устанавливая указанные значения, для устранения

[5]При значении высоты $> 90°$ значение фокуса – отрицательное

возможных пересечений наблюдательного времени следует уточнить количество калибровочных ступенек - Number of calibrations для выбранного режима наблюдений (CTRL/k) и оценить время калибровки по следующей формуле:

$$Tk = (Number\ of\ calibrations) \times (Discrete) \times 64$$

Для режима обзоров калибровка после записи отсутствует. Значение интервала между отсчетами – $Discrete$ обычно равно 0.1 c.

Область для занесения в бланк информации о параметрах каналов находится ниже строки:
R a d i o m e t e r s ===========,
допустимые значения можно уточнить по CTRL/k.

- Wave len. - длина волны радиометра в см.;
- Stocks - параметр Стокса;
- Mode - режим работы радиометра [6]:

  RH - Reference Horn - рупор в небо,

  SH - Single Horn - для радиометров с пилот-сигналом,

  BS - Beam Switching - диаграмная модуляция в двухрупорном режиме;
- AC - Amplification Coefficient - коэффициент усиления выходного каскада радиометра, градации от 0 до 7, каждый шаг увеличивает усиление в $\sqrt{2}$ раз; В наблюдениях сильных источников надо учитывать, что при очень больших усилениях можно выйти за границы динамического диапазона АЦП [7].

Пример заполненного бланка изображен на рис. 2.9. При попытке выхода из бланка с неверно заполнеными полями может появиться слово ERROR! - ошибка и одно из следующих сообщений:

1. Wrong number of cabin in packet! - Неправильный номер облучателя!
2. This variant-type observation is absent in chanst! - Указанное сочетание варианта и типа отсутствует в таблице параметров облучателя, проверьте правильность по CTRL/k.
3. No radiometer at the wave length in chanst! - Неправильно указана длина волны радиометра, проверьте допустимые значения по CTRL/k.
4. No data about the channel in chanst! - Нет данных о таком канале, возможно что весь бланк пустой, тогда удалите его по CTRL/d.

[6] Поскольку изменения режима связаны с монтажными работами на облучателе, предварительно следует уточнить соответствующую конфигурацию в Лаборатории радиометров континуума

[7] Рабочий участок аналого-цифрового преобразования составляет ±32767 единиц. Во избежание снижения чувствительности не следует устанавливать усиление ниже величины, при которой дисперсия - σ шумов радиометра меньше 5 – 10 единиц.

```
|========================================================= -------------------|
| Epoch        1950        N 1__   ( old )       all: 3__|  obsvch___         |
| Source       2051+15            Feed-cabin N  1_       |  edition           |
| Date         25_ D 7__ M 95_ YY  Observer    vch       |                    |
| RA (epoch)   20 h 51 m 29.61__ s Variant  a  Type   d3  |                    |
| Dec(epoch) + 15 d 52 ' 54_____ " Discrete:         0.1___|                    |
| Azimuth      0__  0_ ' 0______ " Horn_Wl in Focus  7.6___|                    |
| Elevation    62_  2_ ' 49.587_ " Horn w/m/e (m)    m     |                    |
| Elevation_e  62_  14 ' 14.269_ " Vcar/Vsrc      0________|--------------------|
| Focus          99153.9766_ mm   Time before Tc 5______ m| Commands:          |
| R a d i o m e t e r s ===========|    after  Tc 5______ m|--------------------|
| ===== Wave len. Stocks  Mode AC -+-- Channel -+==========| ?:   F7,F8,(cr)   |
| N: 1_   2.7___    I      BS   6_ |    2_      |   /|\    | Jumping:           |
|      |  3.9___    I      BS   4_ |    3_      |    |     | (cr),ctrl/ f,b,g,d|
|      |  7.6___    I      SH   5_ |    4_      |  ctrl/r  | Exit:              |
|      |  13____    I      SH   0_ |    5_      |          | ctrl/ a,e,p        |
|      |  31____    I      SH   4_ |    7_      |          | In table:          |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |  ctrl/t  | ctrl/ t,r,[d]      |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |    |     | Date change:       |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |   \|/    | ?,ctrl/ a,d,(cr)   |
|      |  ______    _      __   __ |    __      |==========| Show on screen:    |
|      |  ______    _      __   __ |    __  10  | all: 5__ | ctrl/k F7,F8,(cr)  |
|=============================================================================|
```

Рис. 2.9: Пример заполненого бланка

5. Can not open file chanst! - Ошибка открытия файла с именем: /usr/users/obs/lib/chan/chanst.№, где №- номер облучателя, если файла нет, создайте его с помощью третьего пункта основного меню (см. 2.3.1.4).

6. Errors of reading of file chanst! - Испорчен файл /usr/users/obs/lib/chan/chanst.№, спишите его с сервера РАТАН-600 или создайте заново.

7. Field is not "auto-increased"! - Данное поле не может быть изменено с помощью операции автоувеличения.

8. Packet is not found for this cabin! - Не найден пакет для указанного облучателя, ошибка возникает при операции коррекции общего пакета; Файл /u/users/obs/prep/n№/obseta.dat, где №- номер облучателя, может быть недоступен серверу в результате отсутствия монтировки файловой системы облучателя на диск сервера РАТАН-600 (Например, менее чем через 5 минут после его перезагрузки). При возникновении данной ошибки при работе на сервере РАТАН-600 обратитесь к системному администратору.

9. Can not open file for modification! - Файл нельзя модифицировать, возможно он заблокирован (например, открыт для редактирования на другой линии).

10. Can not open new file for packet! - Нельзя открыть новый файл, например, если нет места на диске, или файловая система открыта только на чтение. Ошибка может

Parameter to change:			
Azimuth	_	Observer	_
Elevation	_	Variant	_
		Type	_
Horn_Wl in Focus	_	AC	_
Horn	_	in channel	
Vcar/Vsrc	_		
Time before	_	choice	"cr"
after	_	break	ctl/d

Рис. 2.10: Меню работы группового редактирования

возникнуть при попытке модификации файла, не принадлежащего пользователю obs.users.

11. Errors of reading file of packet! - Ошибка чтения авторского пакета, может возникнуть при неполадках в локальной сети РАТАН-600, обратитесь к системному администратору.

12. Can not open job-file for calculation of ephemeris! - Не смог создаться файл задания для счета эфемерид, возможно из-за отсутствия места на диске.

13. The result-file of ephemeris is absent! - Файл с результатами счета эфемерид отсутствует. Возможно нет места на диске.

14. Ephemeris are not calculated, you must attentively look at coordinates! - Ефемериды не посчитаны, ошибка в задании на счет эфемерид, возможно, что указаны координаты источника, который не наблюдаем на РАТАН-600 в этом азимуте.

15. Ephemeris correction is very big! - Ефемеридная поправка слишком велика, ошибка возникает при неправильном вводе значения альфа-поправки в поле RA для планет и Солнца.

Процедуры группового редактирования Практически без изменений в текущую версию программы перенесен режим автоматического изменения даты наблюдаемых источников. В этом режиме на вопрос:
How much days to
shift for?
необходимо ввести число суток, на которое надо сместить все даты в пакете. Если ввести значение со знаком минус, то производится смещение в обратном направлении. Допускается ввод нулевого значения, при этом просто происходит групповая обработка бланков с обязательным пересчитыванием файлов параметров аппаратуры облучателей и перерасчетом эфемерид. Это полезная операция после замены или модификации указанных файлов.

Новая операция – групповое редактирование одного из параметров в пакете. При выборе этой операции распечатывается меню, изображенное на рис. 2.10. Вход в один из пунктов этого меню вызывает вспомогательный бланк для ввода новых данных. Ввод можно отменить по CTRL/d. Если данные не вводить, это будет эквивалентно очистке существующего поля и ввод соответствующего параметра по умолчанию (если это допустимо). После ввода нового параметра программа последовательно просматривает каждый бланк с данными об источниках и, как в случае изменения даты, пересчитывает файлы с параметрами аппаратуры и перерасчитывает эфемериды. Если в качестве нового параметра ввести незаполненную строку с высотой наблюдения – Elevation, в пакет будут вставлены расчетные значения [8].

2.3.1.2 Создание текстового файла авторского задания

Листинг авторского пакета можно получить двумя способами: во-первых, при выходе из режима редактирования (просмотра) задания по CTRL/p [9], и во вторых с помощью пункта:
File Listing for Author's Packet creation основного меню. Текстовый файл создается в той же директории, где находится и бинарный: /u/users/obs/input. Имя текстового файла получается добавлением расширения .p к имени бинарного файла.

2.3.1.3 Коррекция общего пакета заданий

Операция Correct Job Packet (коррекция общего пакета) может производиться только при работе с диском ЭВМ в кабине облучателя или основного сервера РАТАН-600 имеющими общую файловую систему. В противном случае эта операция производиться не будет. Коррекция может проводиться только для тех источников, которые в данный момент не наблюдаются и не заблокированны программой регистрации rr. Эта операция не позволяет удалить задание из пакета тривиальным способом - по CTRL/d. Если это действительно необходимо, нужно сначало добавить фиктивное наблюдение со временем, перекрывающим запланированное с нереально большой продолжительностью, которое в свою очередь удаляется следующим очередным, но более приоритетным [10]. В остальном процедура коррекции пакета анологична редактированию авторского, но производится с файлом /u/users/obs/prep/n№/obs.dat, где №- номер облучателя, вводимый при входе в процедуру. Реальная работа происходит с временной копией указанного файла, затем по выходу из процедуры запускается командный файл, осуществляющий компоновку исходного файла и откорректированной копии. Замена же заданий выполняется согласно общим правилам приоритетов, описанным далее в 2.3.2.

2.3.1.4 Работа с инструментальными таблицами

Система подготовки наблюдений предполагает наличие таблиц инструментальных данных для каждого облучателя – файлы: /u/users/obs/lib/chan/chanst.№, где №– номер облучателя. Редактор таблицы вызывается в пункте:

[8] Это нужно сделать обязательно после автоизменения даты, если предполагается проводить наблюдения источников центральным сечением диаграммы РАТАН-600 по эфемеридному склонению.

[9] смотри 2.3.1.1

[10] В дальнейшем планируется организовать операцию снятия наблюдения более естественным образом.

```
    Type                                                       Chanst/ 1
===========================================================================
|                                                        |                 |
| rmax =  288470_____                                    |                 |
| rmin =  287550_____                                    |                 |
| rk1  =  445________                                    |                 |
|                                                        |                 |
|        Variant,   I Discrete I  Number of              |                 |
| O        type     I   (sec)  I calibrations            |                 |
| B   ---------------------------------------            |                 |
| S   1_  a ( c  )  I  0.1___  I  6_____                 |-----------------|
| E       a ( d  )  I  0.1___  I  6_____                 | Commands:       |
| R       a ( d3 )  I  0.1___  I  6_____                 |-----------------|
| V       a ( s  )  I  0.1___  I  6_____                 | ?: F7,F8,(cr)   |
| I       a ( s3 )  I  0.1___  I  6_____                 | jumping:        |
| N       a ( v  )  I  0.1___  I  6_____                 | (cr), ctrl/b,g  |
| G       b ( d  )  I  0.09__  I  6_____  7_             | exit :          |
|     ---------------------------------------            | ctrl/ a,e,p     |
|     lines in table:                     8_             | in tables :     |
|                                                        | ctrl/ t,r,w,y,d |
|                                                        | variant-type:   |
|                                                        | ctrl/ v,d,(cr)  |
|========================================================|=================|
```

Рис. 2.11: Бланк 1 инструментальной таблицы

Edit Chanst-Table to Control of registration основного меню. После ввода номера облучателя предоставляется возможность как вход в редактор – Edition, так и просто создание файла - листинга инструментальной таблицы с поочередным выводом на экран ее содержимого – Typing. Работа с таблицей заключается в редактировании содержимого трех бланков, представленных на рис. 2.11, рис. 2.12 и рис. 2.13

Команды редактора аналогичны описанным в 2.3.1.1. Имеются дополнительные команды:

CTRL/y – очистка экрана с перевыводом содержимого бланка;

CTRL/v – вход в режим поканального ввода данных для вариантов наблюдений; работает в бланках №1 и №3; В бланке №1 команда позволяет ввести новое сочетание варианта и типа наблюдений, а в бланке №3 установить соответствующие коэффициенты сжатия данных для последующей обработки (Ерухимов и др., 1988).

На время работы с конкретной с инструментальной таблицей она блокируется для доступа другой программой. Поэтому, если попытаться открыть для редактирования файл таблицы одновременно с нескольких линий, программа выдаст сообщение о блокировке и вернется в основное меню. [11] Например:
/u/users/obs/lib/chan/chanst1 busy. Perhaps, it's editing by anyone now!

[11] Такое сообщение появится и в том случае, если выход из редактирования был несанкционированным и файл таблицы остался заблокирован. В этом случае необходимо восстановить файл из резервного

```
    Type                                                            Chanst/ 1
=============================================================================
|                                                          |                |
| C A R R I A G E                                          |                |
|                                                          |                |
| p0=  233.5__ start point (mm).                           |                |
| pk=  1510___ stop  point (mm).                           |                |
|                                                          |                |
| Points of focus at carriage  (mm)                        |                |
| ---------------------------------------------            |                |
|      wl(sm)    west    middle    east                    |----------------|
| ---------------------------------------------            | Commands:      |
|  1_   0.01__   1082.5_   1082.5_   1082.5_               |----------------|
|       1.38__   914.5__   506.25_   98_____               | ?: F7,F8,(cr)  |
|       2.7___   962.5__   914.5__   866.5__               | jumping:       |
|       3.9___   810.5__   729.5__   648.5__               | (cr), ctrl/b,g |
|       7.6___   1082.5_   1082.5_   1082.5_               | exit :         |
|       13____   541.5__   541.5__   541.5__     all:      | ctrl/ a,e,p    |
|       31____   1651.5_   1651.5_   1651.5_ 7_     7_     | in tables :    |
| ---------------------------------------------            | ctrl/ t,r,w,y,d|
| additions to RA =      0_______ (sec)                    | variant-type:  |
|                                                          | ctrl/ v,d,(cr) |
|==========================================================|================|
```

Рис. 2.12: Бланк 2 – данные о каретке

Описание вводимой информации

Часть 1 - Наблюдения: rmax,rmin,rk1 – описывают геометрию антенны и используются для стандартного вычисления фокуса.

Тип наблюдения описывается двумя символами:

1. **d** – дискретные источники,

   s – обзоры,

   c – скольжение,

   v – мерцания,

2. пробел или 3 для 3-х зеркальной конфигурации.

Ключевыми параметрами для описания режима наблюдения являются "вариант" и "тип". Таким образом, при необходимости задать нестандартный (свой) период опроса и/или число калибровок, а также коэффициент сжатия в таблице №3, наблюдатель может описать свой вариант наблюдения, используя любую букву алфавита. Максимальная длина таблицы - 50 строк.

командой:
mv имя_файла_таблицы.b имя_файла_таблицы;
подсказка имени файла таблицы высвечивается на экране сразу после сообщения об ошибке.

```
    Type                                                        Chanst/ 1
==============================================================================
|                                                          |                 |
| R A D I O M E T E R S            Table of chanels        |                 |
| ---------------------------------------------------------|                 |
|      N    WL    ST  TIG     CLV           SQ()           |                 |
|                                          all:  8_       |                 |
| ---------------------------------------------------------|                 |
| 1__ 1__ 1.38__  I 0.1____ 1.8____ ( ac  ) 0.1___  1_     |                 |
|     2__ 2.7___  I 0.1____ 1.35___ ( ac  ) 0.1___  1_     |                 |
|     3__ 3.9___  I 0.1____ -1.8___ ( ac  ) 0.1___  1_     |-----------------|
|     4__ 7.6___  I 0.1____ -0.56__ ( ac  ) 0.1___  1_     | Commands:       |
|     5__ 13____  I 0.1____ 2______ ( ac  ) 0.1___  1_     |-----------------|
|     6__ 6_____  I 0.1____ 1.2____ ( ac  ) 0.1___  1_     | ?: F7,F8,(cr)   |
|     7__ 31____  I 0.1____ 2.5____ ( ac  ) 0.1___  1_     | jumping:        |
|     9__ 0.01__  T 0.1____ 1______ ( ac  ) 0.1___  1_     | (cr), ctrl/b,g  |
|     10_ 0.02__  T 0.1____ 1______ ( ac  ) 0.1___  1_     | exit :          |
|     11_ 0.03__  T 0.1____ 1______ ( ac  ) 0.1___  1_  10_| ctrl/ a,e,p     |
| ---------------------------------------------------------| in tables :     |
| lines in table :  11_                                    | ctrl/ t,r,w,y,d |
| maxks =  20_ (maximum of compression)                    | variant-type:   |
|                                                          | ctrl/ v,d,(cr)  |
|==========================================================|=================|
```

Рис. 2.13: Бланк 3 – таблица каналов

Часть 2 - Каретка: В таблице описано расположение приемников на каретке. Приемники представлены соответствующей длиной волны (в см). Эта информация используется для вычисления смещений моментов кульминации в записи источников из-за выноса из фокуса антенны. Максимальная длина таблицы - 20 строк.

Часть 3 - Приемники: В таблице каналов ключевыми параметрами по которым ведется поиск являются: №- номер канала, WL – длина волны приемника (в см.), ST – параметр стокса: I, Q, U, V.

TIG – τ_{rc} - постоянная времени интегрирования,

CLV – величина калибровки в K,

SQ – элемент таблицы коэффициентов [12] сжатия.

До SQ в скобках указаны вариант-тип наблюдения, которому соответствует этот элемент, после - его порядковый номер в таблице № 1. В заголовке указана длина цепочки SQ, которая соответствует реальной длине таблицы № 1.

[12]Точнее, значений расстояния между отсчетами (в сек.), которые должны быть после первичной обработки данных.

2.3.1.5 Посылка задания серверу-диспетчеру

Операцией "Send obs-Packet to add into RATAN operation (посылка авторского пакета для добавления в расписание работы РАТАН-600)" основного меню завершается подготовительная работа с MCOSS-U. В качестве аргументов операции, запрашиваемых из дополнительных меню, нужно ввести имя пакета (обычно оно уже подставляется после выполнения первого пункта основного меню) и собственный электронный адрес для получения листинга готового расписания, которое вам пришлет сервер. Безусловно вводимый адрес должен быть корректен[13] в соответствии с правилами Internet, и не содержать символов, имеющих для стандартного командного языка Shell специальное значение: внутренних пробелов, знаков:
`$ ! * / ( [ { } ] ) , ; ' ~ & |`
в крайнем случае они должны быть заэкранированы символом \ или парными наборами кавычек. Для получения листинга сразу несколькими адресатами, можно воспользоваться стандартным методом работы почты через псевдоним[14]. Если вам листинг не нужен или нет персонального адреса, поле меню следует очистить (заполнить пробелами).

2.3.2 Компоновка заданий и приоритеты

В отличие от предшествующих версий система MCOSS-U позволяет проводить независимую параллельную подготовку наблюдательных данных любому количеству наблюдателей. Для компоновки общих пакетов раздельно по облучателям разработана программа-диспетчер, постоянно загруженная как автономная задача на сервере РАТАН-600. Поскольку авторские задания могут конфликтовать между собой за наблюдательное время, в разборку конфликтов положены следующие правила:

1. Непересекающиеся по времени (с учетом времени на калибровки) задания не конфликтуют.
2. Из пересекающихся по времени заданий одного наблюдателя выбирается то, которое диспетчер получил последним.
3. Задание, принятое программой на исполнение, и наблюдение по которому начато, имет наивысший приоритет.
4. Из двух пересекающихся заданий разных наблюдателей приоритетным является то, запись о котором находится ближе к началу файла приоритетов для данного облучателя.
5. Для пересекающихся заданий разных наблюдателей, записи о которых отсутствуют в файле приоритетов действует правило 2.

Файлы приоритетов имеют имя: /u/obs/prep/n№/obs.prio, где №– номер облучателя. Эти файлы должны содержать текстовую строку с именами наблюдателей разделенных пробелами. Имена должны в точности соответствовать вводимым в авторские задания.

[13]Проверка на корректность адреса – задача сложная сама по себе и в данной версии программы отсутствует.

[14]Смотри описание команды mail в руководстве пользователя ОС.

Поскольку в настоящее время в Программном комитете РАТАН-600 нет автоматического учета заявок наблюдательного времени, заранее позаботьтесь о внесении представителем Программного комитета вашего имени в файлы приоритетов.

2.3.3 Инсталляция программ подготовки заданий на наблюдение

Ввод задания на наблюдение осуществляется с помощью программы packet. Обычно запуск ее осуществляется автоматически при входе в операционную систему под пользователем obs. Для развертывания пакета нужно примерно 2.5 Мбайт дискового пространства (в основном для баз данных счета эфемерид). Для инсталляции пакета выполните следующую последовательность действий:

1. Войдя под суперпользователем, заведите в системе пользователя obs [15] и создайте ему домашний каталог:
   mkdir /u/users/obs ; chown obs.users /u/users/obs [16]

2. Создайте и отредактируйте стартовый файл /u/users/obs/.profile, в конец которого нужно вставить следующие команды:
   export PATH="$PATH:$HOME/bin"
   cd input
   exec packet

3. Спишите файл obs_bin.tgz в домашний каталог пользователя obs и разверните его командой: tar xvfz obs_bin.tgz

4. Убедившись, что все развернулось нормально, удалите файл obs_bin.tgz.

5. Спишите файл obs_local.tgz в каталог /usr/local и разверните его там также командой: tar xvfz obs_local.tgz.

6. Убедившись, что все нормально, исходный файл можете удалить.

7. Убедитесь, что файл /etc/termcap содержит описания функциональных клавиш f0-f9 и переключения цвета для вашего типа терминала. (Если нет возьмите файл по FTP на сервере РАТАН-600: ftp://ratan.sao.ru/PUB/etc/termcap).

8. Убедитесь, что на вашей машине функционирует почтовая служба; для этого наберите на вашей машине команду:
   mail observ@ratan.sao.ru и в тексте письма вставьте одну строчку, содержащую команду сначала строки:
   help
   .

   В ответ на ваш запрос, должен прийти ответ от сервера РАТАН-600 (в локальной сети не более чем через пару минут). Если нет, обратитесь за помощью к системному администратору.

---

[15] обычно uid=150, gid=100, home=/u/users/obs, shell=/bin/ksh

[16] Если вы хотите расположить программы в каталоге с другим именем, сделайте символическую ссылку указанного имени на ваш каталог: mkdir /u/users ; cd /u/users; ln -s имя_каталога obs.

9. Войдите в систему под пользователем obs. На экране должно появиться меню - приглашение программы packet.

10. Пошлите письмо по адресу vch@sao.ru для внесения вашего адреса в список рассылки новых версий для пользователей программы.

Глава 3

Система автоматического управления кареткой облучателя в составе многоуровневого комплекса “МИКРАТ”

Необходимость качественного повышения уровня научных исследований, в том числе результативности труда радиоастронома-наблюдателя, требует разработки такой аппаратуры и ее программной поддержки, которая минимизирует интеллектуальные затраты исследователя на решение промежуточных задач, обусловленных лишь сложностью инструмента. Такие системы, обычно диалоговые, называют “прозрачными”.

Автоматическое управление перемещением первичных рупоров антенны РАТАН-600 необходимо для реализации режима “скольжения” (Мингалиев и др. 1985) и является одной из предпосылок создания безлюдной технологии наблюдательного процесса.

Режим наблюдений с использованием перемещения каретки является для наблюдателя одним из штатных режимов наблюдений. При подготовке пакета источников наблюдателю требуется заполнить набор экранных бланков, каждый из которых соответствует наблюдению конкретного радиоисточника или участка неба (см. раздел 2.3.1.1). В бланк заносится имя источника, его координаты из каталога, азимут наблюдения, длины волн используемых радиометров, длина волны радиометра, рупор которого должен быть в фокусе (если рупоров два – то западный, восточный или середина), коэффициент скольжения D, определяющий скорость перемещения каретки. Так, при $D = 1$ реализуется режим слежения за источником, при меньших значениях – скольжение, а при $D = 0$ – неподвижный режим однократного прохождения.

Для режима прохождения дополнительно указывается временной интервал относительно прямого восхождения источника. В остальных случаях этот интервал расчитывается автоматически, исходя из возможного времени нахождения источника в поле зрения радиотелескопа.

Заполнение бланков – это процедура, включающая фактически весь объем ручной подготовки наблюдений. Все остальные процедуры, связанные с расчетом времени начала движения, регистрации скорости, числа дискретов записи и управления и т.п., выполняются автоматически в виде файлов – заданий на дисковом носителе.

На облучателях РАТАН-600 первичные рупоры и радиометрические приемники смонтированы на подвижной каретке, общий вес которой вместе с аппаратурой свыше 1000 кг. Решение задачи автоматического перемещения каретки по программно заданной траектории приводит к схеме, аналогичной используемой при числовом программном управлении металлорежущими станками (ЧПУ). Типовая реализация этой схемы использована в системе управления кареткой облучателя № 2 (Голубчин и др. 1987). Вместе с тем существенные особенности процесса наблюдений, указанные ниже, требу-

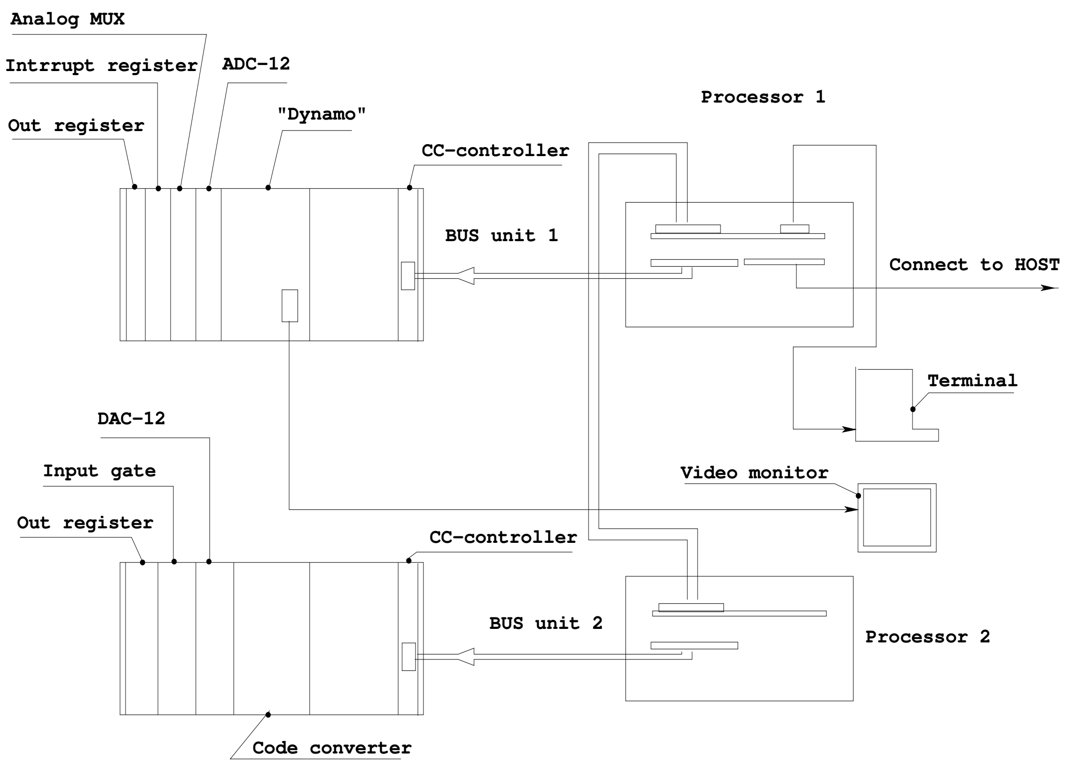

Рис. 3.1: Блок-схема системы управления кареткой в составе двухмашинного комплекса сбора.

ют специфического подхода к разработке системы управления.

1. Траектория движения каретки облучателя в отличие от подвижной части станка должна быть жестко "привязана" к сетке звездного времени.

2. Система управления кареткой должна органически вписываться в общую структуру системы регистрации и обработки наблюдений и быть "прозрачной" для наблюдателя.

В соответствии с этими требованиями была разработана система управления, базирующаяся на разработанной и внедренной ранее совместно с Ерухимовым Б.Л. (Ерухимов, Черненков 1987а,б) трехуровневой структуре автоматизированной поддержки наблюдательного процесса (Витковский и др. 1988). Блок–схема аппаратуры такого комплекса, находящегося в кабине облучателя изображена на рис. 3.1. Ниже описываются алгоритм функционирования и прикладное аппаратно-программное обеспечение следящей системы.

3.1 Алгоритм работы следящей системы

При разработке алгоритма отработки траектории движения кроме отмеченных особенностей всей системы учитывались следующие факторы:

1. Большие вариации параметров объекта управления, так как масса, центр тяжести, коэффициент трения подвижной каретки меняются при установке и смене радиометров и другой измерительной аппаратуры.

2. Существенный дрейф коэффициента передачи исполнительного электропривода при больших вариациях внешней температуры (от -20 до $+40°C$), влажности (5–98%).

Таким образом, разрабатывалась система управления, параметры которой являлись существенно переменными. Поэтому для получения приемлемого качества работы желательно было охватить обратной связью максимальное число звеньев системы.

При выборе места введения управляющего воздействия в контур управления следовало определить, отслеживать ли ошибку по скорости, получаемой из разности координат в дискретные временные отсчеты, или формировать сигнал рассогласования самих координат.

Замыкание обратной связи только по скорости из-за вышеупомянутых факторов требует существенных эксплуатационных затрат, например периодического экспериментального выяснения момента начала движения для устранения систематической координатной ошибки. Выявление этих недостатков на эксплуатировавшейся системе управления кареткой облучателя № 2 потребовало пересмотреть как программно-алгоритмический, так и аппаратный способы реализации системы, отрабатывающей непосредственно координатное рассогласование.

Решение проблемы устойчивости координатной системы при миниуме динамической ошибки было осуществлено известным способом введения форсирующего звена, т.е. звена, предвычисляющего заранее выходную реакцию системы, заставляющего отслеживать координату с опережением. Величина опережения берется достаточно малой, такой, чтобы можно было пренебречь ошибкой предварительного расчета. При этом предрасчет реализуется простой линейной экстраполяцией текущих координат при заданной мгновенной скорости движения.

В такой системе величина управляющего воздействия, подводимого к электроприводу в N-й временной дискрет расчитывается по следующей формуле:

$$U(N) = ((X(N)_r + V_r \cdot dT) - X(N)_i) \cdot k1, \tag{3.1}$$

где $X(N)_r$ и $X(N)_i$ – величины расчетной и измеренной координат; $V_r \cdot dT$ – расчетная скорость, умноженная на временной дискрет; $k1$ – масштабный коэффициент.

Нетрудно заметить, что перегруппировав правую часть, можно получить выражение, аналогичное закону пропорционально-интегрального скоростного регулятора (ПИД) (Бессекерский, Изранцев 1987) с нулевым значением коэффициента при дифференциальном члене:

$$U(N) = ((X(N)_r - X(N)_i) \cdot k1 + V_r \cdot k2, \tag{3.2}$$

где разность координат эквивалентна интегральному члену, а $k1$ и $k2$ – масштабные коэффициенты.

Заметим, что эквивалентность сохраняется только в предположении, что ошибки измерений и вычислений отсутствуют, однако это условие не соблюдается. Ошибка счета

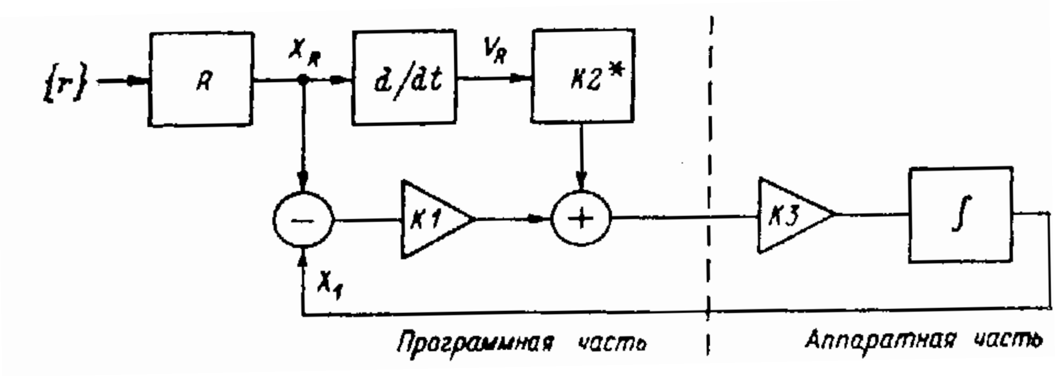

Рис. 3.2: Структурная схема непрерывного эквивалента системы управления.

интегрального члена в последнем случае накапливается пропорционально времени работы регулятора, вследствие увеличения числа суммируемых членов, а также невысокой точности измерения скорости как разности координат при малой скорости движения и фиксированной частоте опроса датчика. Использование же переменной частоты дискретизации, как описано у Бессекерского, для повышения точности измерений невозможно из-за необходимости точной координатно-временной привязки.

Структурная схема непрерывного эквивалента системы представлена на рис. 3.2. На этой схеме справа от вертикальной штриховой линии изображены эквивалентные звенья электропривода: усилитель $K3$ и интегратор, а слева – звено генератора траекторий R, дифференцирующее звено d/dt, масштабные усилители $K1$ и $K2$, схема сравнения и сумматор. Все звенья слева реализованы программно в ЭВМ системы управления. В процессе работы системы выборка из множества режимов наблюдений r порождает один из траекторных массивов X_r и массив соответствующих скоростей V_r после дифференцирования. В каждый дискретный момент времени на выходе схемы сравнения получается значение координатной ошибки $X_r - X_i$, которое после масштабного преобразования суммируется с мгновенным значением скорости и после цифроаналогового преобразования воздействует на привод как управляющий сигнал. Следует отметить, что звено $K2$ содержит инерционный элемент из-за необходимости защиты привода от больших ускорений.

Расчет оптимальных параметров звеньев здесь не приводится, поскольку в первом приближении эквивалентен расчету классического ПИД регулятора, основное же внимание уделено реализации конкретной системы управления.

3.2 Архитектура и аппаратура системы управления

В основу разработки системы управления были положены следующие принципы:

- обеспечение “прозрачного” для пользователя режима эксплуатации;
- комплектование аппаратных средств из набора серийных элементов, использующихся в системах автоматизации научных исследований.

Реализация первого принципа осуществляется включением ЭВМ системы управления в состав двухмашинного комплекса локальной информационно-управляющей структуры – ЛИУС (Витковский и др. 1988; Ерухимов, Черненков 1987а,б), поддерживающей наблюдательный процесс на облучателе № 1 РАТАН-600. При этом ЭВМ системы регистрации оснащена терминалом наблюдателя и является ведущей, а ЭВМ системы управления – ведомой.

В обеспечение второго принципа автору удалось избежать специализированных аппаратных разработок и реализовать алгоритм управления программными средствами, с использованием стандартных КАМАК-модулей и заводских изделий.

Таким образом, аппаратура системы управления включает:

1. одноплатную микро-ЭВМ НМС-1101.01;
2. КАМАК-крейт с крейт-контроллером;
3. набор стандартных модулей (ЦАП-12, выходной регистр, входные ворота);
4. четырнадцатиразрядный цифровой датчик угла поворота с устройством-кодопреобразователем типа ЗПК-14.

Система управления воздействует на электропривод через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). Код обратной связи формируется цифровым датчиком угла поворота, при этом величина линейного перемещения каретки преобразуется в угловую с помощью безлюфтового зацепления зубчатой рейки с шестерней на оси датчика. Если использовать терминологию, принятую в теории автоматического регулирования, то можно сказать, что ЭВМ является генератором управляющего воздействия, дискриминатором ошибки и цифровым фильтром, оптимизирующим выходное воздействие для привода.

Аппаратное комплексирование ведомой ЭВМ системы управления с ведущей ЭВМ системы регистрации осуществлено в соответствии с концепцией двухмашинного комплекса ЛИУС через встроенный порт параллельного байтового обмена (ИРПР).

Этот порт соединен с таким же портом ЭВМ системы регистрации; синхронизирующий сигнал звездного времени с частотой около 100 Гц вводится по цепи радиального прерывания прямо в канал ведомой ЭВМ (К-ПРТ) с выхода таймера системы регистрации.

Таким образом, система управления комплектуется полностью из стандартных заводских изделий, легко дублируется и не требует настройки аппаратуры.

3.3 Программное обеспечение системы управления

Программное обеспечение системы управления состоит из двух частей, размещаемых соответственно в ведущей ЭВМ системы регистрации и ведомой ЭВМ управления, которую мы будем называть контроллерной.

В ЭВМ системы регистрации – это оболочка из базовых модулей для инициализации контроллерной ЭВМ, загрузки и поддержки управляющей программы, а в контроллерной ЭВМ – загружаемое ядро, вызывающее из своего тела набор процедур, реализующих динамический расчет траектории, и собственно алгоритм автоматического сопровождения по полученным данным.

Все программные модули написаны на языке ассемблера MACRO-11 с использованием библиотеки структурных макрорасширений MACRO-11/SP. Для работы с двойными целыми числами использовались соответствующие модули объектной библиотеки FORTRAN-4.

Базовые модули оболочки имеют следующее назначение:
ISSL – подготавливает ведущую ЭВМ к обмену с контроллерной ЭВМ, инициализирует контроллерную ЭВМ и загружает в нее первичный загрузчик;
IFDRL – осуществляет чтение и транзитную передачу загрузочного файла ядра с магнитного носителя центральной ЭВМ по линии связи через ЭВМ системы регистрации и байтовый канал в память контроллерной ЭВМ;
LOACAR, PUTCAR – дополнительные транспортные модули, входящие в состав ассемблерной части программы ведущей ЭВМ, пересылают байты управляющих команд (INPUT, AGAIN, STOP и др.).

В тексте программы регистрации (на ФОРТРАНе) обращение к модулям оболочки выглядят как вызов функций, возвращающих нулевое значение или код ошибки.

Вызов LOACAR выглядит так:

$$CALL\ LOACAR\ (AREA, NUMB),$$

где:

- $AREA$ – имя массива параметров, который передается ведущей ЭВМ в контроллерную.
- $NUMB$ – размер массива в байтах.

Аналогично для PUTCAR:

$$CALL\ PUTCAR\ (B),$$

где:

B – байтовая константа (управляющий символ, например “@” – включение питания, “r” – ввод таблицы параметров, “e” – отработка фиксированной координаты и др.).

3.3.1 Структура и функции ядра

Ядро состоит из трех программных секций, размещаемых в ОЗУ контроллерной ЭВМ в перечисленном порядке:

1. Абсолютная секция, описывающая точки входа процедур прерывания от ИРПР, таймера, ошибок арифметического переполнения, тайм-аута шины и сбоя питания.
2. OTS $I – перемещаемая секция чистого кода программы.

Таблица 3.1: Функции асинхронных процедур.

Код команды	Имя модуля	Что делает
@	AGAIN	Включает питание привода каретки.
а	DONE	Завершает текущий процесс и выключает питание привода.
б	ACSLR	Осуществляет пуск и ускоренное движение вправо.
ц	ACSLF	То же, влево.
д	VELR	Осуществляет пуск и движение по расчитанной траектории.
е	POINS	Осуществляет установку каретки в заданную точку.
ф	FINAL	Выключает все внешние устройства, останавливает процессор.
г	INPUT	Осуществляет ввод таблицы параметров и рассчитывает начало траектории.

3. USER$D – перемещаемая секция постоянных и переменных данных программы, где с последней метки программы (track) размещается расчетная траектория движения.

При таком расположении программных секций загружаемая часть ядра размещается в начальных адресах и занимает менее 5% объема оперативной памяти, так что функция загрузки – IFDRL выполняется за доли секунды.

Алгоритмы функционирования основных модулей ядра изображены на рис. 3.3. Головным модулем ядра является процедура CONTR, которая после настройки стека и установки бита разрешения прерывания от входного порта попадает в бесконечный цикл ожидания прерываний с проверкой флага. Прерывания могут быть от таймера или от вводимой команды, причем допускается вложение таймерных запросов в командные, но не наоборот. Вложенность команд исключается снятием бита разрешения прерывания по вводу до завершения выполнения текущей команды. Таким образом, двухэлементная командная очередь со стороны оболочки формируется путем простой проверки готовности порта на вывод. На время же таймерных запросов приоритет процессора поднят, что гарантирует жесткую синхронизацию процессов реального времени.

Таким образом, можно считать, что в контроллере параллельно существуют три процесса (рис. 3.3):

1. фоновый – CONTR;
2. оперативный с низким приоритетом, возбуждаемый портом ввода – RES;
3. оперативный с высоким приоритетом, возбуждаемый таймером – CLOCK.

Функция первого процесса будет рассмотрена в разд. 3.3.2, здесь же удобнее начать с процесса RES.

Процесс RES запрещает прерывания от входного порта, сохраняет в стеке необходимые регистры оперативного назначения (РОН) и регистр состояния крейт-контроллера,

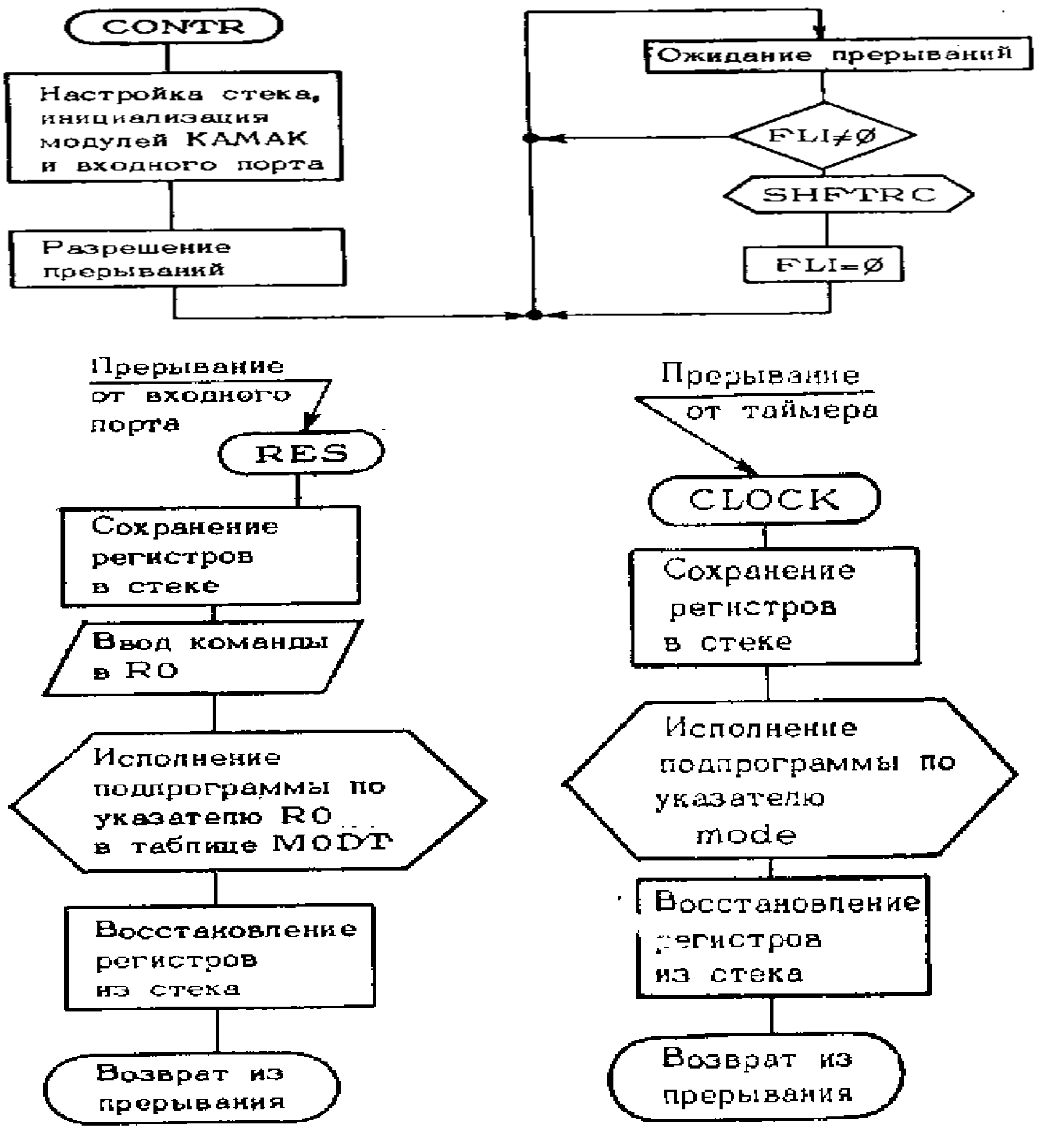

Рис. 3.3: Алгоритмы функционирования основных модулей ядра.

затем читает содержимое порта и использует его как указатель в таблице процедур (команд), одну из которых вызывает. Завершается RES восстановлением данных в обратном порядке и установкой бита разрешения прерывания.

RES может вызывать ряд процедур, оформленных в виде компактных модулей. Функции этих модулей перечислены в табл. 3.1.

Необходимость строгой синхронизации выполняемых процедур реального времени требует такой организации порядка их вызова, при котором в случае приема команды указанная процедура выполняется не как переход в подпрограмму, т.е. немедленно, а планируется на момент прихода импульса от таймера. В операционных системах, выполняющих множество асинхронных задач по обслуживанию нескольких внешних устройств, планирование обычно заключается в записи имени указанного процесса в очередь процессов согласно приоритету, обусловленному срочностью выполняемой задачи. В данном случае, поскольку объект управления всего один, планировщик является вырожденным и содержит всего один элемент очереди – ячейку памяти MODE, куда помещается имя (адрес точки входа) планируемой процедуры.

Процесс CLOCK начинает функционировать сразу, как только CONTR оформит стек и снизит приоритет процессора. Структура подпрограммы, реализующей этот процесс, состоит из основного модуля и нескольких ветвей, планируемых процедурами из RES или внешними событиями. Основной модуль имеет точку входа CLOCK, указываемую вектором обработки прерываний от таймера и завершается инструкцией RTI. Внутри, как и в RES, производится сохранение регистров и состояния КАМАК и вызывается процедура, на которую указывает содержимое ячейки MODE. То есть любая из процедур может записать в MODE имя желаемой операции, которая прервет на следующем такте любую другую (в том числе и себя) и гарантированно будет выполняться в течение 10 мс. Аналогичную роль выполняет содержимое ячейки – BMODE, являющееся указателем процедуры, выполняемой при срабатывании датчика начального положения каретки. Таким образом, несмотря на наличие многопроцессного функционирования, сохранена быстрая реакция на изменение внешних условий, с задержкой не более одного временного дискрета.

3.3.2 Динамический расчет траектории

Построение координатной системы автоматического регулирования требует безусловного знания необходимого значения координаты в каждый текущий временной отсчет. Эти значения могут быть вычислены заранее и находиться в оперативной памяти в виде списка. Второй способ состоит в расчете нового значения каждый раз по мере отработки предыдущего значения. Если первый требует значительного объема оперативной памяти, то второй – высокого быстродействия процессора. Оценки возможностей использования этих способов показали их нереализуемость в чистом виде на доступных микро-ЭВМ. Вследствие этого был выбран комбинированный вариант, частично включающий оба способа расчета.

Наблюдения можно проводить неограниченно долго, если расчитывать траекторию порциями на величину отводимого для этой цели объема памяти. Скорость счета при этом уже не критична и расчет легко реализуется стандартным набором подпрограмм из библиотеки ФОРТРАНа. Расчет может производиться в фоновом режиме и иници-

Таблица 3.2: Работа синхронных модулей.

Имя модуля	Вызывает модули	Меняет MODE	Что делает
DMEAS	По BMODE	-	Формирует импульсы опроса датчика и считывает код угла поворота, по сигналу концевого выключателя вызывает процедуру, указываемую BMODE.
TIMZER	DMEAS	-	Формирует код величины рассогласования между текущим отсчетом датчика и нулем, при многократном вызове позволяет устанавливать каретку в нулевое положение.
POINT	DRIVER	+	То же, для произвольной точки.
FONDLY	DRIVER	+	Формирует задержку движения для регистрации фонового уровня неба.
MEASU	DRIVER	+	Отрабатывает текущее значение координаты, задаваемой массивом TRACK, по достижении границы массива устанавливает флаг перерасчета траектории.
DRIVER	DMEAS	-	Измеряет величину рассогласования заданной и действительной траекторий, рассчитывает величину управляющего воздействия на ЦАП.
RETRN		-	Пустая операция.

роваться по флагу при отработке половины расчитанной ранее траектории.

В описываемой системе управления такой динамический расчет осуществляется фоновым процессом CONTR по флагу, устанавливаемому оперативной процедурой MEASU (из процесса CLOCK). Флаг устанавливается при достижении указателя отрабатываемой точки середины или конца массива TRACK, при чем содержимое флагового слова является указателем физического адреса начала области памяти, куда необходимо поместить новую порцию траектории. Перед началом расчета флаг сбрасывается, вызывается фоновая процедура SHFTRC, затем CONTR вновь переходит в состояние ожидания флага.

Очевидно, что расчет траектории должен быть произведен быстрее, чем указатель достигнет контрольной точки в TRACK.

3.4 Работа системы и экспериментальные данные.

Прозрачный режим системы управления кареткой закладывался как основной принцип разработки. Прозрачность реализовывалась использованием базовой трехуровневой иерархии аппаратно-программных средств (МИКРАТ) и прикладной системы поддержки наблюдательного процесса (Витковский и др. 1988; Ерухимов, Черненков 1987), осуществляющей распределение вычислительных задач по сложности и требуемой быстроте реакции между тремя процессорами ХОСТ-ЭВМ, сателлитной ЭВМ системы регистрации и контроллерной ЭВМ управления. В дальнейшем, как показано в следующих главах, этот принцип сохранится и при переходе на новые вычислительные и сетевые средства, с той лишь разницей, что иерархия аппаратуры заменится иерархией программных средств.

В описываемой системе программа регистрации наблюдений загружается в сателлитную ЭВМ системы регистрации (ведущую) средствами МИКРАТ после набора одной команды LOAD. Эта программа в числе модулей поддержки регистрации содержит описанную выше оболочку, которая сразу после загрузки инициирует контроллерную ЭВМ, считывает с диска ХОСТ-ЭВМ файл ядра контроллера и загружает его. Данные, относящиеся к расчету траектории движения, берутся из служебного заголовка файла-задания, ретранслируются оболочкой контроллеру процедурами LOACAR и PUTCAR, а в ядре принимаются с помощью RES и INPUT. Затем оболочка выдает команды включения питания привода и начальной установки каретки на нулевую или заданную точку. Момент начала движения и регистрации отслеживается по программным часам ведущей ЭВМ согласно данным файла-задания, принятого по линии связи с ХОСТ-ЭВМ. По окончании движения питание привода выключается командой DONE.

Работа всех этих процедур происходит вне внимания наблюдателя, для которого необходимость диалога с регистрирующей ЭВМ, и тем более с управляющей, во время наблюдения практически сведена к нулю. Если необходимо изменить условия эксперимента, наблюдатель может очень быстро подготовить новое задание (или отредактировать старое), оперируя, опять же, понятными ему физическими величинами: координатами источников, диапазоном волн и др.

Рис. 3.4 – 3.6 получены при экспериментальной проверке качества работы системы управления кареткой на облучателе № 1. Они показывают динамику ошибки слежения

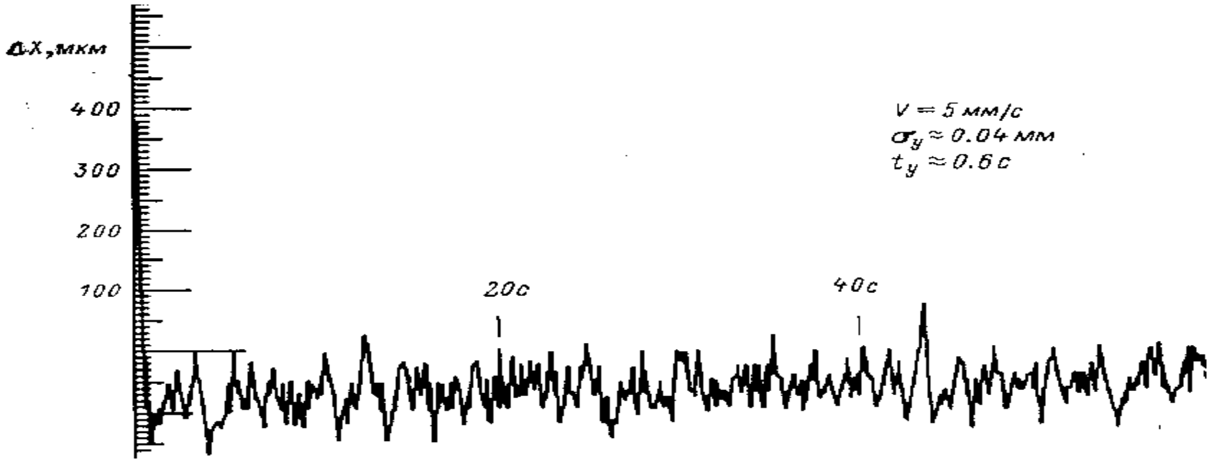

Рис. 3.4: Экспериментальная запись ошибки слежения при воздействии скачка скорости в 5 мм/с.

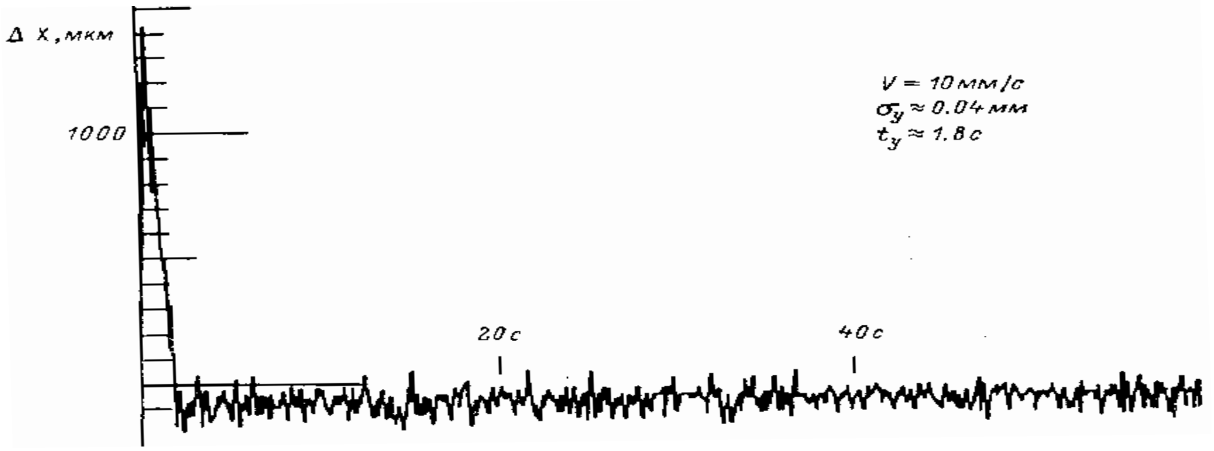

Рис. 3.5: То же при скорости 10 мм/с.

Рис. 3.6: То же при скорости 15 мм/с.

в микрометрах на минутном интервале времени с начала пуска. Тестовое воздействие представляло собой скачок в изменении скорости от нуля до величин 5, 10 и 15 мм/с (соответственно рис. 3.4, 3.5, 3.6). В любом случае максимальное время достижения номинальной скорости не превышало 5 с, а среднеквадратичная ошибка в установившемся режиме – менее 0.1 мм. Проверка статического позиционирования показала точность установки выше 0.1 мм[1] при отсутствии перерегулирования. Полученные качественные показатели вполне удовлетворяют требуемой точности для наблюдений, включая самую короткую рабочую волну облучателя № 1 – 1.38 см.

На рис. 3.7 показаны типовые записи наблюдений источника 3C 84 в режиме неподвижной диаграммы и в "скольжении". Во втором случае виден существенный выигрыш во времени прохождения источника через диаграмму одного из рупоров (подробнее см. гл. 6).

На рис. 3.8 изображены записи, полученные в сентябре – октябре 1990 г. в программе по исследованию межпланетной плазмы. Показано несколько сканов, источника 3C 273 на волнах 7.6 и 8.2 см, произведенных в разные дни. Видно изменение индекса мерцаний при увеличении (сверху вниз) углового расстояния от Солнца[2].

[1]Точность измерения была ограничена точностью контрольной нониусной шкалы.

[2]Подробнее о наблюдениях мерцаний радиоисточников на РАТАН-600 см. в статье (Шишова, Мингалиев 1980).

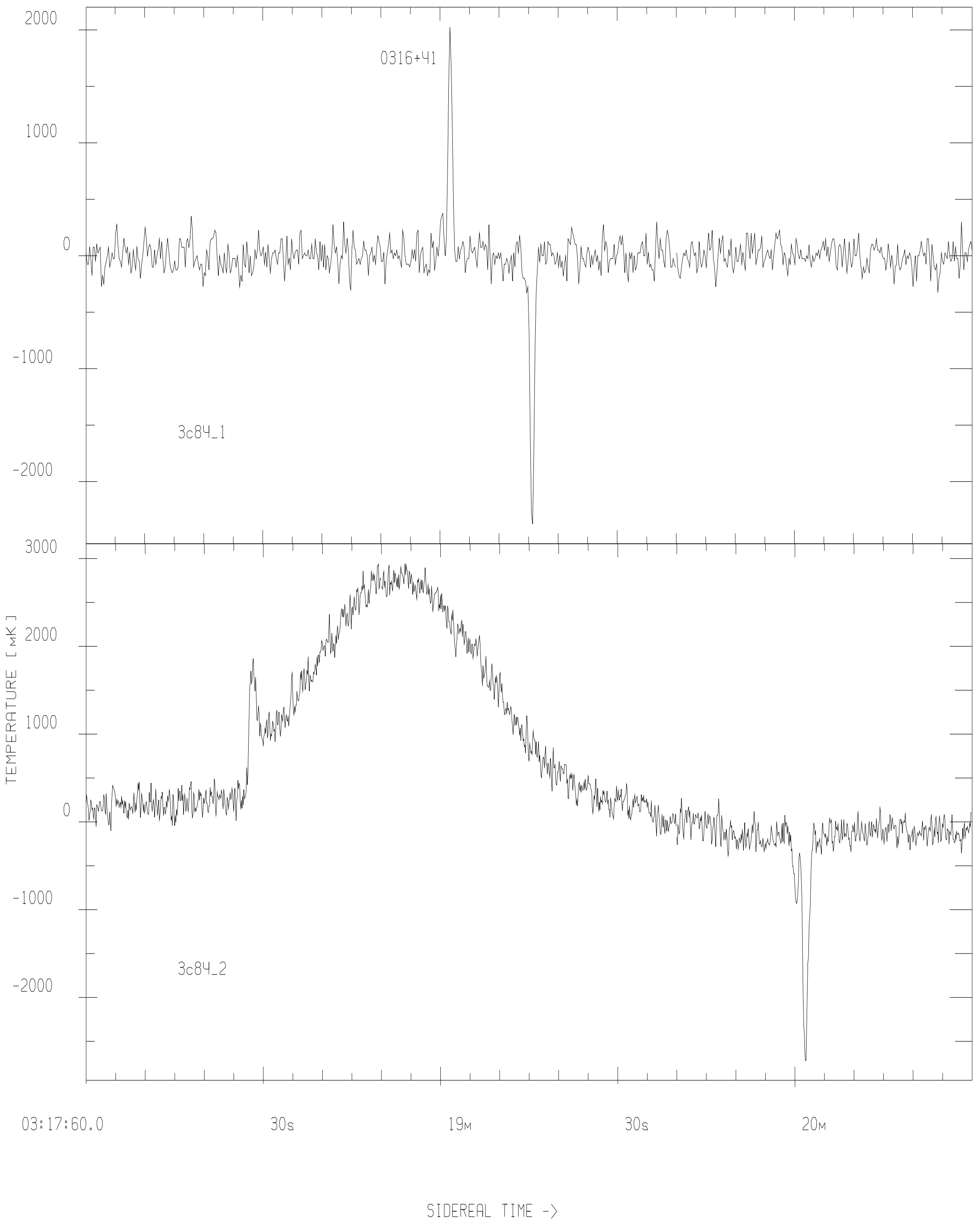

Рис. 3.7: Наблюдения источника 3C 84 на волне 1.38 см. (Сверху – при неподвижной каретке, внизу – в "скольжении".)

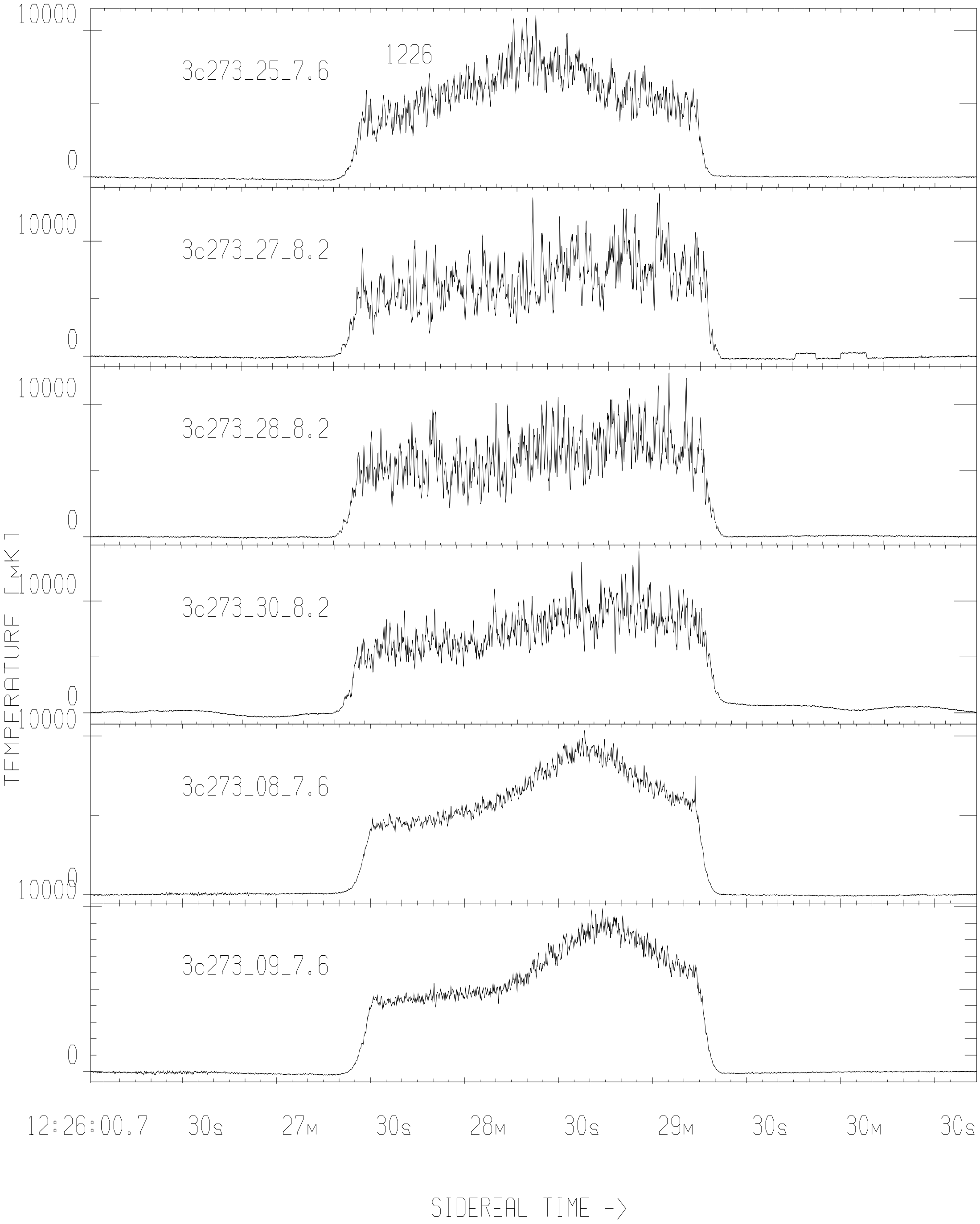

Рис. 3.8: Наблюдения мерцаний на солнечном ветре источника 3C 273.

Глава 4

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

4.1 Состав оборудования

Модернизированный комплекс сбора данных и управления радиометрами непрерывного спектра РАТАН-600 – "Continuous" разработан в соответствии с принципами построения таких систем на базе распределенной сетевой архитектуры, описанными в главе 1. Основой этого комплекса является локальная информационная сеть РАТАН-600, объединяющая вычислительные ресурсы около двух десятков IBM – совместимых персональных компютеров. Один из них – IBM-P90 с оперативной памятью 16 Мбайт и жесткими дисками общей емкостью 2.4 Гбайт – выполняет функции сервера систем сбора данных и связан с облучателями по сети ARCNet. Сервер расположен в основном здании, на удалении от облучателей по кабелю около 1.5 км. Кроме жестких дисков, он укомплектован устройством для архивизации данных – накопителем на DAT-кассете – 2.2 Гбайт. С помощью этого же сервера данные ретранслируются в локальную сеть Ethernet и общую информационную сеть САО. На других компьютерах в этой сети есть также накопители на кассетах стандарта Exabyte и QIC-150. Локальная сеть РАТАН-600 схематически отображена на рис. 1.3. Хотя распределенная сетевая среда для сбора на РАТАН-600 позволяет в полной мере реализовать возможности описываемого комплекса, тем не менее при необходимости функции сервера и рабочей станции системы сбора могут быть совмещены в одном компьютере.

Аппаратное оснащение комплекса, располагающегося в кабине облучателя, представлено на рис. 4.1. Оно состоит в основном из покупных модулей и изготовлено в КАМАК – стандарте. В настоящее время вся аппаратура (исключая компьютер) умещается в одном крейте производства ПНР. Состав модулей следующий:

- Крейт-контроллер[1] для IBM PC-AT совместимого компьютера.
- Регистр запросов прерываний 303.

[1]Производство - МААР, г.Долгопрудный.

Таблица 4.1: Технические характеристики системы сбора

Параметр	Единицы измерения	Значение	Примечания
Базовая аппаратура	тип	КАМАК	
Базовый компьютер	тип	AT386/387	
Число каналов аналогового ввода	шт.	16	
Число входных цифровых каналов	бит	32	
Число выходных цифровых каналов	бит	32	19 через оптоволокно
Максимальная частота опроса каналов	Гц	1000	
Номинальная частота опроса каналов	Гц	100	
Постоянная времени интегрирования	с	$0.05, 1$	
Модуляция для аналоговых каналов	Гц	$40 - 10000$	внешняя, меандр
Число каналов независимой модуляции	шт.	19	через оптоволокно
Точность привязки отсчетов	с	0.01	
Разрядность АЦП	бит	16	
Время непрерывной записи	отсч.	2^{32}	$0.1c. \times 2^{32} = 13.6$ лет
Общая производительность системы	кбайт/с	160	

Таблица 4.2: Технические характеристики системы управления кареткой

Параметр	Единицы измерения	Значение	Примечания
Базовая аппаратура	тип	КАМАК	испол. совместно
Базовый компьютер	тип	AT386/387	с системой сбора
Число входных цифровых каналов	бит	32	
Число выходных цифровых каналов	бит	32	
Число каналов аналогового вывода	шт.	1	
Разрядность датчика положения	бит	14	
Разрядность ЦАП	бит	12	
Номинальная частота опроса датчиков	Гц	100	
Точность определения положения	мм	0.05	мех. ограничение
Точность установки	мм	0.1	
Маршевая скорость движения каретки	мм/с	20	при вых. уровне
Максимальное время установки	мин	1.5	ЦАП 7.5в

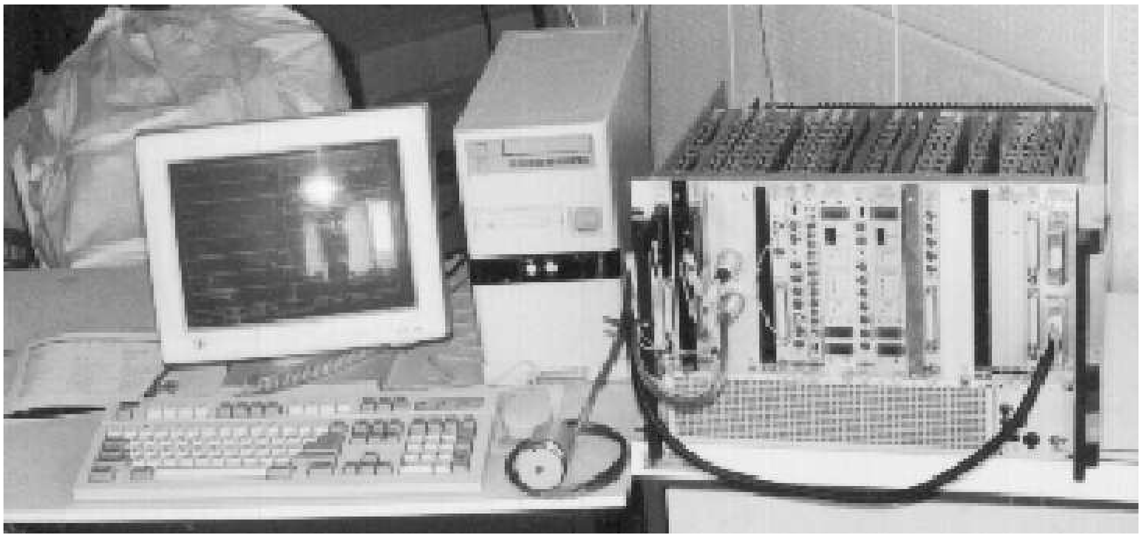

Рис. 4.1: Комплект аппаратуры комплекса для облучателя

- Аналоговый мультиплексор 16×2 752.
- АЦП-16[2].
- Два выходных регистра 350.
- Модуль входных ворот 321.
- CLOCK - генератор 730B[3].
- Два восьмиканальных модуля ВУР[4].
- ЦАП-12.
- Модуль оптоволоконных приемо-передатчиков сигналов модуляции и управления радиометрами.
- Модуль преобразователя кода ЗПК-14 оптического углового датчика ППФЭ-14.
- Дисплей магистрали КАМАК 081.
- Конвертер напряжений питания 058A.

Структурные схемы систем сбора и управления кареткой изображены на рис. 4.2 и рис. 4.3 соответственно.

Управление КАМАК-оборудованием может осуществляеть PC AT 386/387 с оперативной памятью не менее 4 Мбайт и жестким диском не менее 120 Мбайт. На облучателе №1 сейчас такой компьютер укомплектован памятью 8 Мбайт и диском 320 Мбайт.

[2]Блок разработан автором на базе микросхемы AD676 фирмы Analog Device и конструктивно совмещен с модулем 752.

[3]Переделан на частоты, кратные звездному времени, и дополнен схемой синхронизации внешними секундными импульсами.

[4]Разработка и производство НИРФИ, г. Н. Новгород.

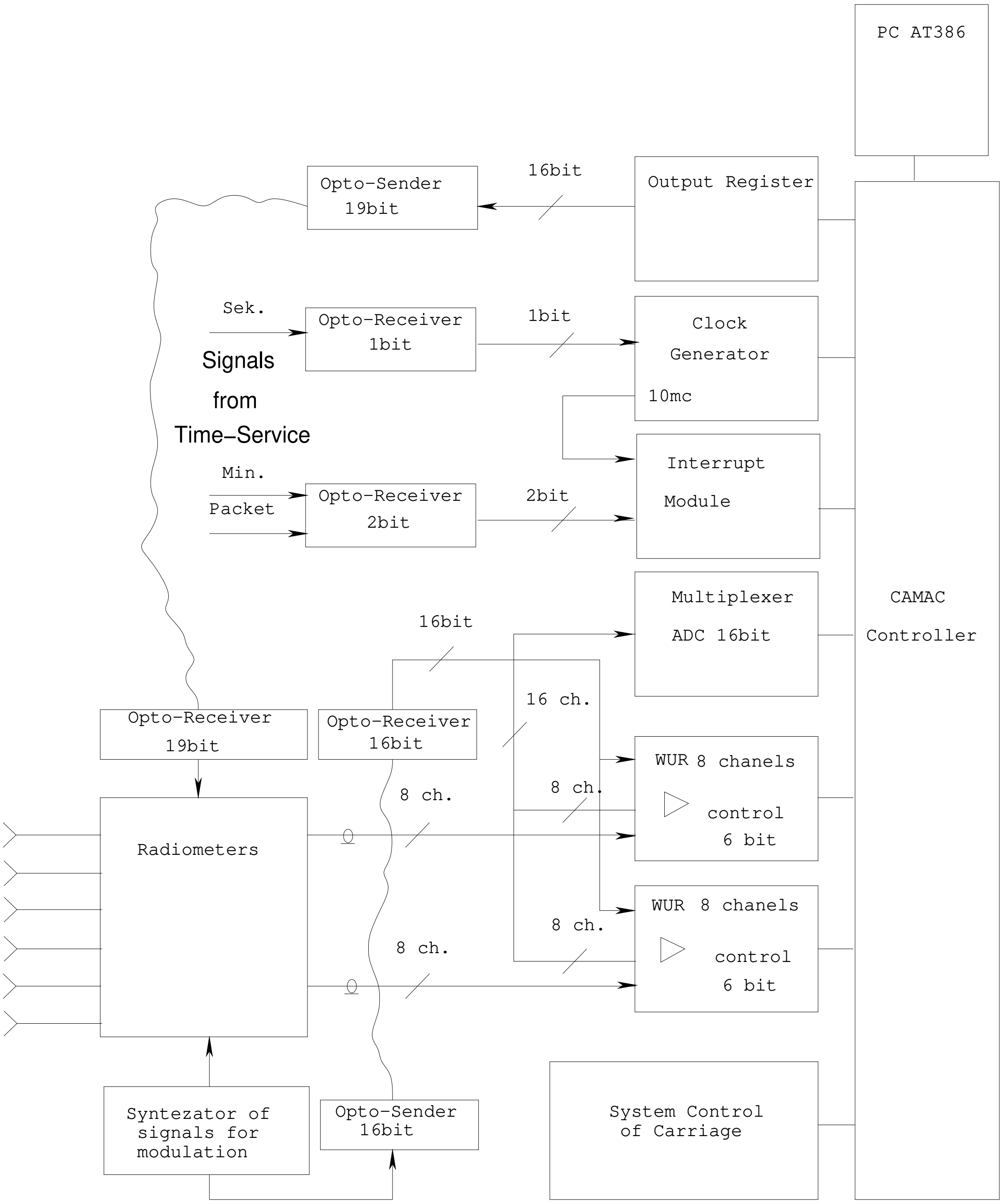

Рис. 4.2: Структурная схема системы сбора и управления радиометрами

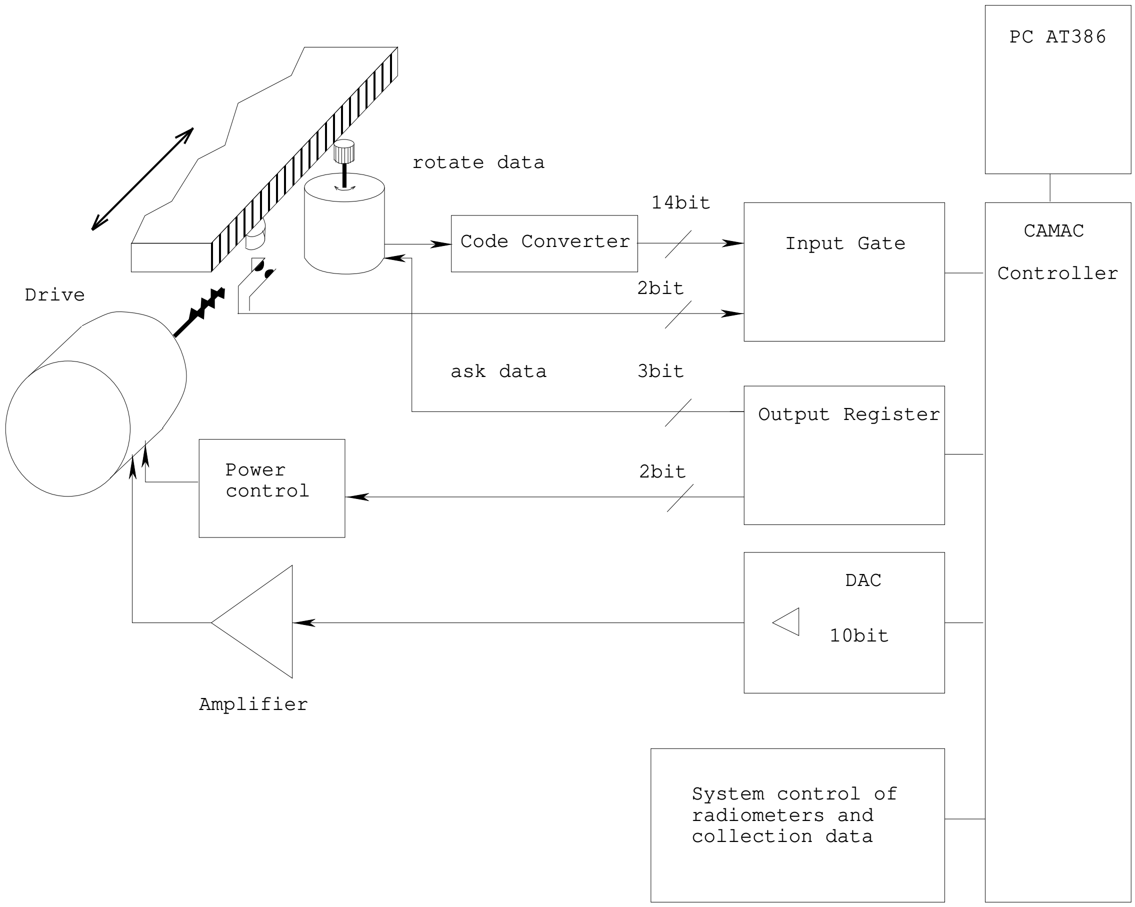

Рис. 4.3: Структурная схема системы управления кареткой

Этот компьютер смонтирован на амортизированной платформе и установлен в стойке, размещенной в низкочастотной кабине облучателя. Связь с центральным сервером по сети ARCNet осуществляется по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом. Питание компьютера и крейта резервируется устройством бесперебойного питания UPS-600, благодаря которому нет необходимости выключать оборудование даже при перекатках облучателя на разные азимутальные пути. При этом перемещение облучателя по рельсовому пути не нарушает работу комплекса. В связи с тем, что стандарт ARCNet не предусматривает наружную прокладку кабеля, особое внимание было уделено грозозащите интерфейсных карт внешними разрядниками на полупроводниковых стабилитронах.

Исполнительным приводом системы управления кареткой служит серийный тиристорный электропривод типа ЭТЗС с электродвигателем мощностью 1.75 кВт. Преобразование линейного перемещения в значения угловых координат осуществляется с помощью прецизионной зубчатой рейки и шестерни, насаженной непосредственно на ось цифрового оптоэлектронного датчика ППФЭ-14. Два сигнальных концевых выключателя, в начале и центре области движения каретки, служат для устранения неоднозначности снятия отсчетов.

На облучателе №1 к компьютеру, кроме консольного SVGA – монитора подключен еще и АЦ-дисплей. На этом дисплее можно одновременно с наблюдениями вести независимую работу, в том числе в локальной сети и Internet.

4.2 Программное обеспечение

4.2.1 Структура и общие характеристики программного обеспечения

Программное обеспечение системы сбора реализует следующую концепцию: весь процесс, связанный с подготовкой наблюдения, должен быть осуществлен заранее в интерактивном режиме, само же наблюдение не должно требовать ручного вмешательства и внесения субъективного фактора. Этот принцип, заложенный и в предыдущих версиях MCOSS (Витковский и др. 1989), сохранился и при переходе на платформу персональных компьютеров. Сохранилась и базовая технология разработки математического обеспечения, предполагающая тесную связь с программированием сетей передачи данных. Однако переход на распределенную архитектуру (см. гл. 1) комплекса в сетевой среде IP[5], персональные компьютеры и стандартные средства связи с существенно большей производительностью позволил реализовать мультидоступ к данным в реальном времени и резко повысить надежность работы комплекса в целом.

Минимальные затраты при построении системы сбора данных на базе сетевой технологии получаются при использовании свободно распространяемых версий операционной системы UNIX. Из которых наиболее удобным оказался Linux [6]. Схематически программные компоненты отображены на рис. 4.4. Исходный текст ядра Linux был дополнен

[5] Internet Protocol

[6] Свободно распространяемая версия ОС UNIX, основная часть которой разработана Линусом Торвальдсом (Linus Torvalds)

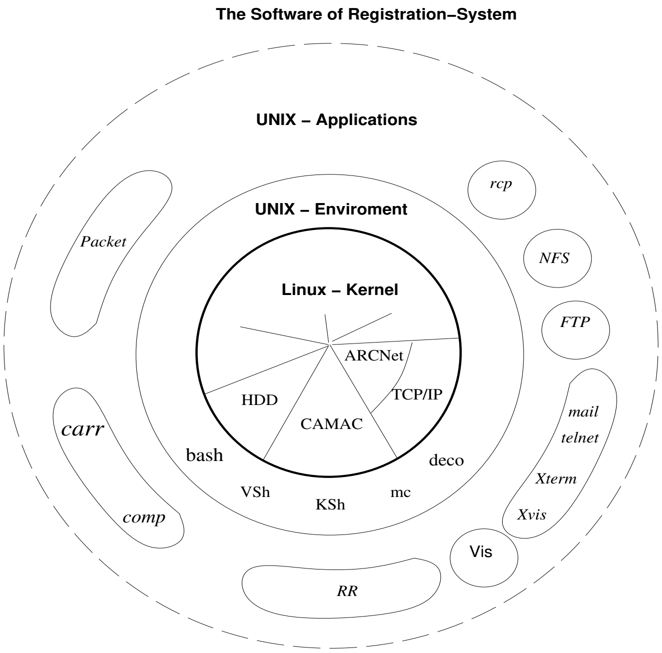

Рис. 4.4: Программное обеспечение системы сбора.

оригинальным драйвером КАМАК-контроллера, поддерживающим стандартный набор функций: чтения, записи, обработки прерываний и управления КАМАК-модулями. В настоящий момент используется версия ядра Linux 1.2.8

Кроме доработки ядра операционной системы, в комплекс программных средств для проведения наблюдений входят следующие пакеты и отдельные программы:

- Комплекс программных средств подготовки наблюдения – Packet.
- Пакет программ автоматической диспетчеризации и компоновки заданий на наблюдения по облучателям, а так же удаленного доступа к архиву – Observ.
- Программа регистрации данных – rr.
- Программа управления кареткой облучателя – carr.
- Программа дистанционного управления радиометрами – comp.
- Программа пересылки наблюдательных данных по сети в архив – fcpa.
- Пакет программ обеспечения визуального контроля – Vis.

Работа с комплексом программ Packet описана в разделе 2.3. В соответствии с технологией наблюдательного процесса (см. гл.2), результатом работы первых двух программных продуктов будет создание на сервере РАТАН-600 файла пакета задания, для данного облучателя программой-диспетчером. Этот пакет компонуется из авторских заданий на наблюдения различных источников и доступен через NFS[7].

[7]Network File System

Программа регистрации данных rr запускается при старте системы как автономный процесс, который сначала запускает процедуру синхронизации системных часов от сигналов службы точного времени. Затем производится считывание файла пакета задания. Если во время ожидания источника этот файл модифицируется, то производится повторное считывание с целью учета появления новых заданий, или модификации старых. На время модификации файла, во избежание нарушения целостности данных, производится его блокировка. Сразу после считывания задания и проверки на корректность времени исполнения программа rr автоматически запускает программу управления кареткой carr как автономную задачу, которой в качестве параметров передает координаты начальной установки и время исполнения[8]. Перед записью источника программа rr калибрует радиометры и создает заготовку многочастотного файла данных на всю длину записи, тем самым предотвращается неожиданный срыв наблюдений из-за переполнения диска. Частота опроса каналов на существующей аппаратуре составляет 100 Гц. Обычно в штатном режиме снятие отсчетов производится с частотой 10 Гц, при этом каждый отсчет выходных данных является результатом аналого-цифрового интегрирования (подробнее см. гл. 5) с постоянной времени, адекватной частоте опроса[9]. Такой частоты опроса достаточно для подавляющего большинства режимов, включая самую короткую волну 1.38 см., наблюдаемую на облучателе № 1. В специальных случаях (для наблюдения быстропеременных процессов) сбор можно производить на частоте 1000 Гц, переключив радиометры в компенсационный режим.

Запись файлов осуществляется в FITS-подобном RFLEX-формате (Верходанов и др. 1993) на локальный жесткий диск, а затем файлы пересылаются по FTP (см. гл. 1) в архивную область сервера РАТАН.

Во время ожидания и записи источника можно производить визуальный контроль регистрируемых данных как на облучателе, так и на любом компьютере в локальной сети РАТАН-600. Для этого при старте системы запускается автономный процесс vsd, постоянно опрашивающий специальный буфер визуальных данных драйвера КАМАК и записывающий их как в виде файла на диск, так и передающий их в сеть по IP. Для графического вывода этих данных написаны программы visn и xvisn, предназначенные соответственно для вывода на удаленный SVGA-монитор и на стандартный X-терминал. С помощью программы comp в интерактивном режиме можно скомпенсировать радиометры, в том числе и с удаленного терминала.

Использование многозадачной и многопользовательской сетевой среды UNIX позволяет производить как непрерывные многосуточные обзоры, так и последовательные наблюдения дискретных источников без перезагрузки программ. Параллельно с наблюдениями можно проводить их обработку на любом компьютере информационной сети САО, в том числе и в кабине облучателя.

---

[8] Установка каретки производится один раз после считывания задания и второй – за 0.5 мин. до начала калибровки радиометров, перед записью, когда установка облучателя на радиальных путях и его горизонтирование обычно уже завершены.

[9] Постоянная времени RC-цепочки 0.05 сек.

4.2.2 Ядро операционной системы, драйвер КАМАК

Технология построения систем реального времени, к которым относится и описываемая система сбора и управления, опирается на развитую систему планирования и запуска параллельных процессов (time sharing). Реализация этой технологии на бездисковых микро-ЭВМ (Ерухимов и др. 1989) требовала в свое время практически полной авторской разработки микро-ядра, загружаемого вместе с программой регистрации. В настоящее время развитая операционная система легко помещается в память персонального компьютера и выполняет основную долю нагрузки по диспетчеризации процессов. Поэтому достаточно было дополнить стандартное ядро операционной системы драйвером специализированной аппаратуры, а сервисные программы, работающие с аппаратурой через этот драйвер, запускать как независимые задачи.

Структура драйвера КАМАК построена в соответствии с требованиями системы UNIX, обязывающей работу пользовательских программ с внешними устройствами как с файлами. Поэтому драйвер содержит точки входа, необходимые для выполнения следующих функций: open(), close(), read(), ioctl(). С помощью параметров, передаваемых через эти системные функции можно соответственно открывать и закрывать устройство, читать данные из буферной области памяти, а также управлять любым из модулей КАМАК в рамках описанных операций. Последняя функция драйвера позволяет также опрашивать или менять содержимое флажков и областей передачи параметров между пользовательской задачей и ядром. Например, включение таких режимов, как синхронизация системных часов, калибровка, перевод в режим записи данных, пуск каретки и т.п. производится с помощью соответствующей функции ioctl(). Список основных ioctl() драйвера приведен в табл. 4.3.

Для получения практически независимой работы нескольких параллельных процессов со своими модулями КАМАК тело каждой из перечисленных функций содержит до восьми точек входа, приписанных к соответствующему псевдоустройству: camac, camac1, camac2,..., camac7. Так, например, camac1 служит для чтения флагов состояния, а camac5 – для управления кареткой. Все псевдоустройста, кроме предназначенных только для чтения флагов, самоблокируются для монопольного использования при открытии и освобождаются функцией close(). Это предотвращает задание противоречивых команд для внешних устройств.

Кроме модулей обслуживания системных запросов, драйвер содержит подпрограмму обработки прерываний от импульсов одного из модулей КАМАК, который совместно с программным счетчиком образует программно-аппаратные системные часы "звездного" времени. Все синхронные процедуры располагаются в этой подпрограмме. Последовательность синхронных процедур изображена на рис. 4.5. Как видно из рисунка, подпрограмма содержит несколько ветвей, обуславливающих четыре основных режима работы:

1. Синхронизация системных часов "звездного" времени.

2. Ожидание изменения флагов.

3. Калибровка радиометров.

4. Регистрация данных.

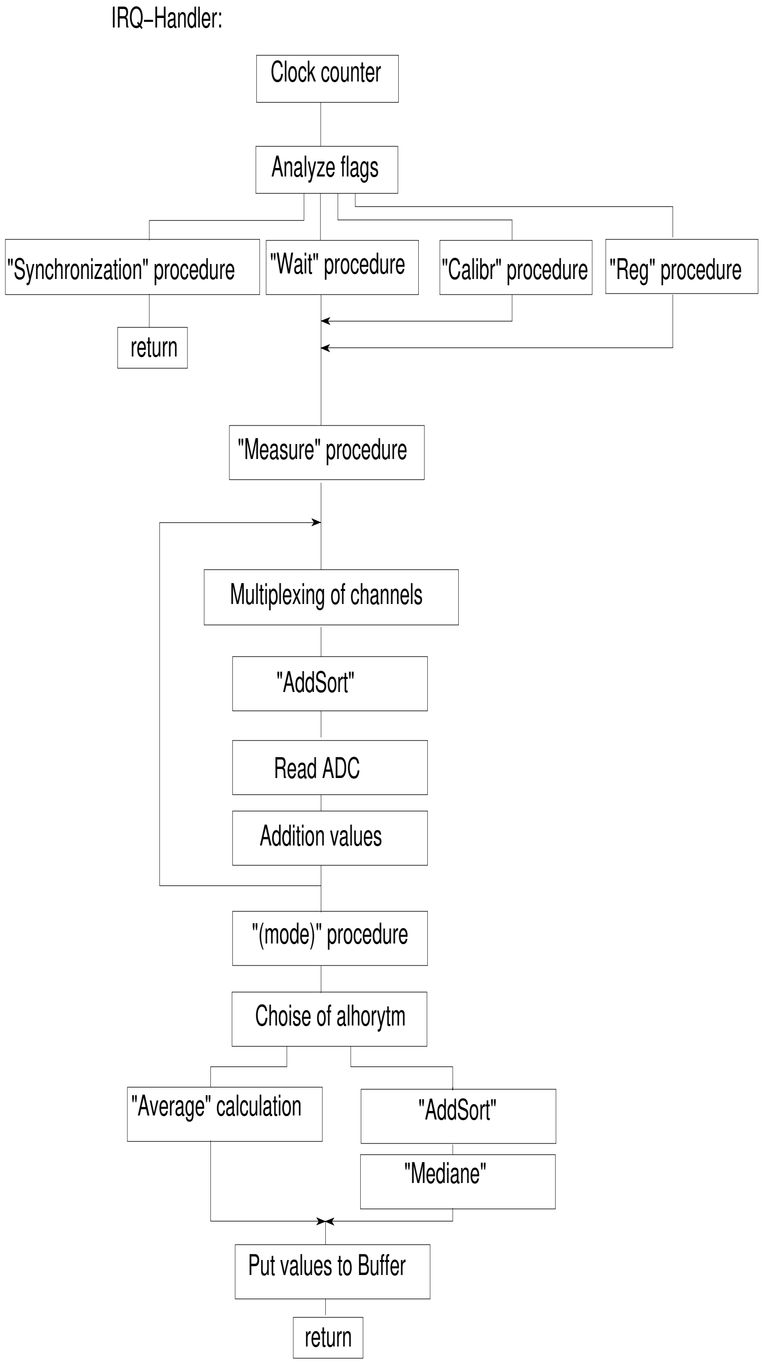

Рис. 4.5: Подпрограмма обработки прерываний от таймера КАМАК.

Из всех этих режимов только первый запрещает опрос АЦП и вызов процедур управления кареткой, поскольку требует максимальной "реактивности" на воздействие импульсов синхронизации часов. В остальных режимах сначала производится чтение данных датчика положения каретки – Measure(), затем в цикле опрашиваются все необходимые каналы радиометров. Во время относительно долгой процедуры преобразования данных в АЦП[10] вызывается аддитивная сортировка (Кнут 1978) ранее считанных данных внутри заданного "окна" усреднения. То есть эта процедура оптимизирована таким образом, что не требует дополнительных затрат процессорного времени. Кроме сортировки после опроса АЦП производится линейное усреднение данных каждого канала. Тем самым в процедуре считывания предусмотрена возможность получения "робастных" (Ерухимов и др. 1988) оценок регистрируемых данных (подробнее см. гл. 5).

После опроса каналов вызывается одна из динамических процедур управления приводом каретки с радиометрами. Адрес процедуры записывается в указатель – (*mode)() с помощью системных вызовов ioctl().

Динамические процедуры аналогичны разработанным для системы управления кареткой (см. гл. 3) и могут быть как очень простыми типа return, так и довольно сложными, например, отработка ошибки позиционирования. Однако непременным условием такой процедуры является минимальное время исполнения с завершеннием до следующего цикла прерывания от таймера.

Обработка прерывания от таймера заканчивается процедурами анализа завершения накопления данных, и при необходимости, помещением результата усреднения в буферную область памяти. Доступ к этим данным для записи и визуализации осуществляется через системные вызовы read() и ioctl(). При этом используются специальные указатели на начало области данных и их количество.

4.2.3 Программа регистрации данных

Программа rr выполняет следующие функции:

- Запуск процедуры синхронизации системных часов "звездного" времени.
- Периодический просмотр и чтение файла заданий.
- Запуск программы управления кареткой – carr с передачей ей параметров из файла заданий.
- Запуск и обработка данных калибровки радиометров.
- Запуск режима записи данных в файл.
- Запуск программы сетевой передачи файлов с данными – fcpa.

Под синхронизацией системных часов здесь подразумевается процедура аппаратно-программной начальной установки значения программного счетчика внутри драйвера КАМАК. Необходимость этой процедуры вызвана тем, что в комплексе сбора и управления не предусмотрено наличие высокоточных аппаратных часов, а получение сетки

[10]Для модуля на базе AD676 это 12мкс.

“звездного” времени обеспечивается централизованной службой РАТАН-600 (Егорова и др. 1980). Процедура представляет собой цикл из регистрации двух последовательных “минутных” импульсов и серии импульсов номера текущей минуты (“пачка”) между ними. Начало второго минутного импульса служит относительным началом отсчета системного ”звездного” времени. Программа rr при запуске с помощью функции ioctl() проверяет признак установки времени и если необходимо вызывает ioctl() синхронизации.

Основным каналом управления сбором наблюдательных данных является файл пакета заданий, формируемый программным диспетчером из комплекса средств подготовки наблюдений (см. гл. 2). Программа rr периодически проверяет этот файл на модификацию и находит ближайшее по времени задание, следуемое к исполнению. Пропущенные по времени задания исключаются из дальнейшего рассмотрения и помечаются в файле для уведомления диспетчера. Также предусмотрена метка для уже исполняемого задания. На время записи файл блокируется от модификации другими программами. Аналогично, если при чтении файл содержит признак блокировки, программа ждет его освобождения. В качестве признака блокировки принят последний бит атрибутов файла, тем самым практически исключена зависимость от типа файловой системы.

Запуск программы управления кареткой – carr, производится с помощью функции system(), в текстовые параметры которой заносятся следующие данные:

- положение каретки в метрах,
- положение ”нуля” в метрах,
- время начала точной установки в секундах UTC[11].

Программа rr запускает carr как автономное задание в фоновом режиме и не контролирует правильность ее отработки. Однако в случае прекращения собственной работы или изменения задания она посылает сигнал завершения, дабы последняя также прекратила выполнение всех операций, исключая остановку каретки и выключение питания привода.

Процедура калибровки каждого канала радиометра является неотъемлемой частью каждого наблюдения (Берлин и др. 1984). Автором совместно с Ерухимовым Б.Л. была разработана методика устойчивой оценки калибровочных сигналов, подробно описанная в работе (Витковский и др. 1988). В данной версии системы сбора повторен алгоритм реализованный в предыдущей версии. При этом процедура калибровки должна удовлетворять двум противоречивым требованиям. С одной стороны, длительность калибровочного сигнала (ступеньки) должна быть достаточно большой для обеспечения достоверной оценки уровня калибровки, т.е. усиления канала. С другой стороны, увеличение длительности калибровки повышает вероятность проявления импульсных помех и тренда. Алгоритм выглядит следующим образом:

- Производится калибровка, заключающаяся в последовательном включении и выключении шумовых генераторов на равные промежутки времени[12].

[11]Coordinated Universal Time, нулевому значению соответствует 00:00:00 1 января 1970 года

[12]Длительность интервала равна промежутку времени для снятия 32-ух независимых отсчетов.

- С помощью медианной фильтрации производится оценка уровня калибровочного сигнала в каждом интервале включения, а также базового уровня по каждому промежутку.
- Для каждых двух последовательных серий измерений вычисляется оценка калибровки, определяемая как полусумма разностей медиан для интервала включения и базового уровня.
- Результирующая оценка получается усреднением указанных оценок по всем имеющимся парам серий.

Такой алгоритм позволяет, с одной стороны, практически полностью подавить влияние импульсных помех на точность оценки, при условии длительности импульса меньше половины времени включения генераторов. С другой стороны, исключается линейный тренд на масштабе тройной ширины указанного интервала.

Включение режима записи, как и калибровка, осуществляется по программному счетчику “звездного” времени. При этом момент первого отсчета данных соответствует тому моменту времени, который получается в результате предрасчета из эфемерид “источника” минус величина интервала до этого момента, вводимых наблюдателем при составлении пакета заданий (см. раздел 2.3). Максимальная задержка между моментами времени опроса соседних каналов складывается в основном из времени переключения мультиплексора каналов и времени преобразования в АЦП, что в данной системе сбора не превышает 20 мкс. Учитывая то, что момент эфемеридной “привязки” координат перерассчитывается на каждое наблюдение, такой способ записи позволяет в некоторой мере компенсировать “уход” видимого места источников, интересных наблюдателю, и проводить непосредственное сложение записей за цикл наблюдений продолжительностью в месяц и более (Ерухимов и др. 1990). Запись осуществляется в файл-“заготовку”, предварительно прописанную значением -32767. Структура записи имеет следующий вид:
1-ый отсчет 1-го канала, 1-ый отсчет 2-го канала,…, 1-ый отсчет N-го канала,
2-ой отсчет 1-го канала, 2-ой отсчет 2-го канала,…, 2-ой отсчет N-го канала,
…,
M-ый отсчет 1-го канала, M-ый отсчет 2-го канала,…, M-ый отсчет N-го канала.

Каждый отсчет представляет собой шестнадцатиразрядное знаковое целое. При таком расположении данных в случае аварийного обрыва наблюдения можно найти конец уже записанного интервала. Кроме бинарного массива данных на диск заносится текстовая “шапочка” сопроводительных данных, которая помещается в начале файла к концу наблюдений. Формат “шапочки” описан в работе (Верходанов и др. 1988).

Процедура сетевого копирования вызывается сразу по завершении записи или второй калибровки, если она предусмотрена заданием режима наблюдений. С помощью функции system() запускается командный файл циклического копирования всех готовых к архивизации файлов с наблюдательными даннымы. Внутри цикла командного файла исполняется специальная программа – fcpa, осуществляющая копирование данных по протоколу FTP [13] в архивную область жесткого диска сервера РАТАН-600. Программа написана с использованием универсальной FTP – библиотеки (см. приложения в конце

[13] File Transmition Protocol

диссертации). В командном файле анализируется код возврата каждой процедуры копирования, и при ее успешном выполнении исходный файл удаляется. Если по каким-либо причинам копирование не выполняется, например, сервер остановлен, нет места в архивной области или отсутствует связь, то процесс копирования просто задерживается. На локальном жестком диске обычно предусмотрено достаточно места для временной буферизации данных. Такая организация взаимодействия локальной машины и сервера обуславливает значительно большую надежность сбора по сравнению с бездисковой двухуровневой архитектурой (Витковский и др. 1988), когда останов сервера приводил к фатальному результату. Более высокая надежность обеспечивается и по сравнению с чисто локальными комплексами сбора, поскольку нет необходимости в длительном хранении первичных данных на локальном компьютере в подвижном облучателе, где практически невозможно обеспечить качественное архивное сопровождение наблюдательного материала.

4.2.4 Программа управления кареткой облучателя

Программа carr предназначена для автоматической установки каретки облучателя на заданную позицию в соответствии с делениями ее механической линейки. Необходимые параметры установки, перечисленные в разделе 4.2.3, передаются этой программе в качестве параметров командной строки. Программа переводит метрические значения параметров во внутреннюю систему единиц и передает их драйверу КАМАК через ioctl() загрузки (см. табл. 4.3). Программа carr построена с использованием системной функции fork(), позволяющей разделить ее на две копии и выполнить, соответственно, два раза. Один раз, сразу после запуска, каретку установливает “родительский” процесс, и второй раз в указанное время – процесс ”потомок”. Это позволяет минимизировать затраты времени и в полной мере реализовать точностные параметры привода. Перед запуском процедуры установки каретки программа проверяет, была ли начальная установка (“привязка” отсчетов углового датчика к нулевому значению), и если необходимо, делает ее. Начальная установка представляет собой ускоренное движение каретки до ближайшего концевого выключателя, положение которого фиксирует номер оборота датчика. Таким образом в данной системе управления, несмотря на существенную минимизацию аппаратуры, получается более высокая точность[14] и сохраняется значение начала отсчета[15] так же, как и в системах с многоступенчатыми датчиками и механическими редукторами (Авдушев и др. 1984; Голубчин и др. 1987).

4.2.5 Программа дистанционного управления радиометрами

Программа comp реализует функцию дистанционных “кнопок управления” радиометрами. В частности, на настоящий момент, с помощью этой программы и клавиатуры удаленного терминала можно компенсировать радиометры, изменяя уровень генераторов шума. Программе в качестве параметра передается значение длины волны, идентифицирующей соответствующий радиометр непрерывного спектра. Нажатием клавиш U – ”Up” и D – ”Down” изменяют уровни на входе могоканального оптоволоконного модуля

[14] 326 бит на мм длины

[15] Естественно до перезагрузки системы, которая делается довольно редко.

связи с радиометрами, с обратной стороны которого включаются ключи, регулирующие мощность компенсирующих сигналов. Таким образом, в режиме эмуляции терминала можно удаленно настраивать радиометры. В стадии внедрения в штатный режим и другие функции управления, такие как переключение режима модуляции, открытие защитного колпака и т.п. Аналогично остальным сервисным программам все функции работы с аппаратурой КАМАК производятся через соответствующие ioctl().

4.2.6 Пакет программ визуализации

Оперативное наглядное представление данных наблюдений в реальном времени является обязательной частью практически любой системы автоматизации научных исследований. Хотя регистрирующая аппаратура на самописцах давно ушла в прошлое, тем не менее эквивалентные способы отображения нашли себя на экранах мониторов. Автором совместно с Чепурновым А.В. был разработан такой способ воспроизведения данных на экране, который, с одной стороны, позволяет одновременно видеть максимальное количество регистрируемых каналов (до восьми по выбору), с другой стороны, сделать изображение графиков подобным рисуемым самописцами, но более статичным, для снижения утомляемости наблюдателя. По указанной причине, а также для расширения типов устройств визуализации мы ориентировались в основном на монохромное воспроизведение информации. Кратко сформулируем основные правила, которыми мы руководствовались.

1. Отображаются только регистрируемые каналы.

2. Экран разбивается на равные блоки, число которых 1,2,3,4,6 или 8.

3. Если блоков больше четырех, то экран делится дополнительно на два субэкрана по горизонтали, в противном случае только по вертикали.

4. Внизу экрана (или субэкрана) отображается цифровая шкала “звездного” времени.

5. Справа в каждом блоке выводится аналоговая шкала абсолютного уровня.

6. При необходимости в каждом блоке отображается и цифровое текущее значение.

7. Вывод значений сигналов производится один раз в секунду, при этом отображается вектор-столбец между минимальным и максимальными значениями сигнала в этот секундный интервал.

8. Каждый выводимый вектор помещается правее предыдущего на один элемент изображения.

9. При достижении правой границы блока весь “график” смещается по горизонтали на половину размера соответствующего блока, при этом переразмечается и шкала времени.

10. При достижении верхней границы блока из значений вектора данных вычитается высота блока, при достижении нижней – добавляется.

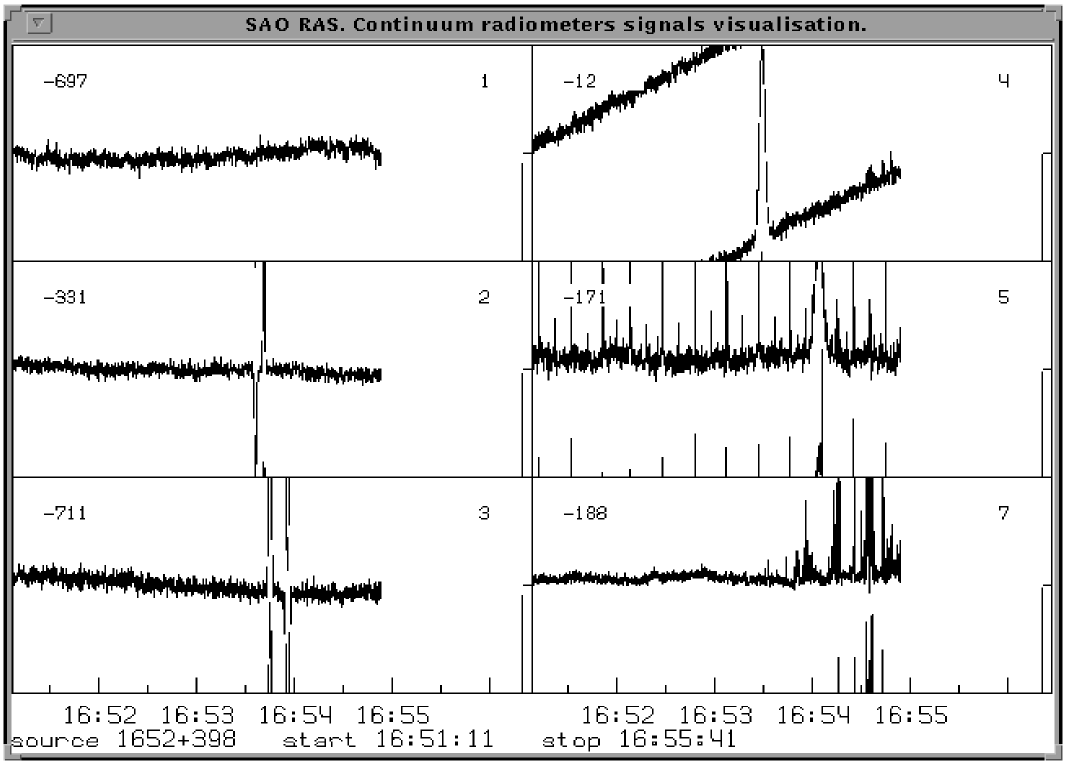

Рис. 4.6: Экран рабочей станции во время наблюдения.

Такой способ отображения данных в реальном времени сначала был реализован с помощью КАМАК-модулей "ДИНАМО", затем с появлением высококачественных графических мониторов разработаны программы и для них. Для отображения на SVGA-мониторе в качестве инструментального средства для написания программы визуализации – vis – использовалась стандартная SVGA-библиотека. Для X-терминала и программы xvis – библиотека X-Toolkit (Доценко и др. 1994).

Для проведения удаленных наблюдений комплект программ визуализации дополнен сетевыми версиями указанных программ, алгоритм работы которых подробно описан в разделе 1.4.

Взаимодействие программ визуализации с ядром системы, буферизующим данные, в том числе и для отображения, производится через программу vsd, запускаемую при старте системы как автономный процесс. Vsd периодически опрашивает буферную область ядра и сбрасывает данные как во временный файл на локальном диске, так и в сетевой порт для удаленных программ. Структура данных визуализации включает все необходимые параметры и не требует от программ на рабочих станциях дополнительных обращений к файлу заданий. Это позволяет визуально контролировать работу аппаратуры по сети при любом удалении, независимо от режима сбора.

Таблица 4.3: Основные функции ioctl() драйвера КАМАК

Функция	Имя спецфайла	Значение
C_OP_RD	camac	чтение из модуля КАМАК с выполнением NAF
C_OP_WR	camac, camac6	запись в модуль КАМАК с выполнением NAF
C_OP_ZCI	camac	общий сброс в крейте КАМАК
C_OP_STAT	camac	чтение Q-статуса
C_OP_DETECT	camac, camac6	определение работоспособности КАМАК
C_OP_REG	camac	чтение управляющих регистров КАМАК
FS_GET_DATA	camac1	чтение структуры статуса драйвера
FS_SET_DATA	camac1	запись в структуру статуса драйвера
FS_INTR_ENABLE	camac1	разрешение прерываний
FS_INTR_DISABL	camac1	запрещение прерываний
FS_SET_TIME	camac1	установка “звездного” времени
FS_GET_TIME	camac1	чтение “звездного” времени
FS_GET_FLAG	camac1	чтение флагов состояний драйвера
FS_GET_ADDR	camac1	чтение значения адреса буфера данных
FS_SET_VIZBLK	camac1	установка размера блока данных визуализации
FS_SET_VFLAG	camac1	установка флагов визуализации
FS_GET_VFLAG	camac1	чтение флагов физуализации
FS_SET_CALIB	camac1	запись значений калибровки
FS_GET_CALIB	camac1	чтение значений калибровки
CS_GET_DATA	camac1, camac5	чтение структуры состояния каретки
CS_SET_DATA	camac5	загрузка данных для управления кареткой
CS_GET_FLAG	camac1, camac5	чтение флагов состояния каретки
CS_BEGIN	camac5	пуск начальной установки каретки
CS_STOP	camac5	экстренный останов каретки
CS_OFF_POWER	camac5	выключение питания привода каретки
CS_POINT	camac5	установка каретки по данным загрузки

Рис. 4.7: Экран рабочей станции при обработке экспериментальных наблюдений.

4.3 Данные экспериментальных наблюдений

В мае 1995 г. с помощью данной системы сбора были проведены пробные наблюдения калибровочных радиоисточников 2251+15, 3C84 и 3C138 с целью проверки на "небе" точности координатных измерений. Кроме этого, проводилась запись нескольких трехчасовых обзоров с целью оценки надежности комплекса в целом. Эти наблюдения, а также опыт эксплуатации в течение 1995 г. показали существенное повышение надежности сбора данных на новой аппаратуре по сравнению с предыдущей (на базе микро-ЭВМ HMC1201 и MEPA685).

На рис. 4.7 отображены фрагменты записей вышеперечисленных источников. Видна высокая повторяемость результатов ото дня ко дню и отсутствие координатных смещений. Поскольку начало записей было выбрано разным в разные дни, то это наглядно свидетельствует об отсутствии потерь отсчетов данных, что обычно не гарантировано на IBM-PC. В левой части экрана видны фрагменты программных меню подготовки данных авторского пакета.

В феврале 1996 г. с целью расширения динамического диапазона системы сбора и подключения модулей управления радиометрами и кареткой, автором была проведена очередная модернизация аппаратного и программного обеспечения комплекса. В результате внедрения нового АЦП и аппаратно-программной оптимизации динамический диапазон был увеличен в 16 раз и примерно на порядок повышено быстродействие сбора. Общее время опроса 16 каналов и отработки команд управления кареткой доведено до 250 – 400 мкс. Проверка работы комплекса по наблюдениям радиоисточника 0134+32 подтвердила достаточно стабильную точность координатно-временной привязки. Таким

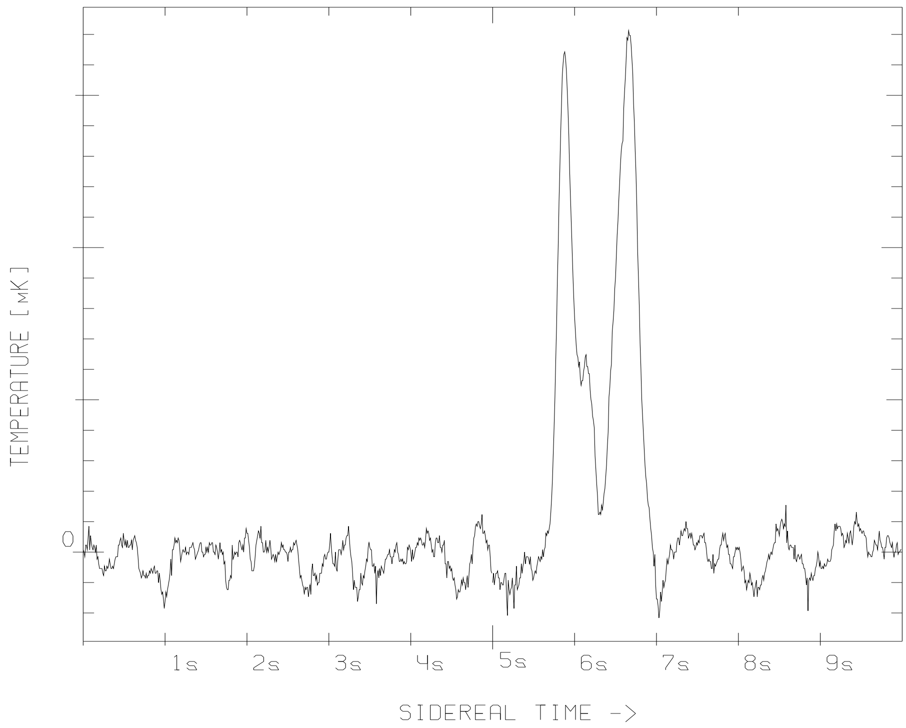

Рис. 4.8: Запись помехи с повышенным временным разрешением

образом появилась возможность расширения типа наблюдательных программ (сверхбыстрых переменностей, радиопульсаров). Так, на рис. 4.8 показана запись импульсной помехи (от радиолокатора) с временным разрешением 0.01 с.

Глава 5

Метод помехоустойчивого цифрового интегрирования сигналов радиометров

5.1 Введение

Высокое быстродействие современных АЦП и систем сбора данных позволяет проводить скоростную обработку радиометрических сигналов в реальном времени. При этом можно успешно бороться с мощными импульсными помехами, если считывать отсчеты со скоростью на два-три порядка выше необходимой, исходя из двойной ширины спектра полезного сигнала, и отбраковывать отсчеты, превышающие заданный порог. Однако ситуация существенно осложняется, если величина импульсных помех соизмерима или не на много превышает среднестатистическое отклонение отсчетов, обусловленное шумами. В работах Ерухимова и др. (1988; 1990) показана целесообразность использования на РАТАН-600 для радиометров сплошного спектра робастных алгоритмов сжатия наблюдательных данных, устойчивых к воздействию и таких помех. Анализ эффективности различных алгоритмов, приведенный в этих работах, приводит к выводу, что мы имеем дело с альтернативными устремлениями. С одной стороны, обычно применяемое линейное усреднение (эквивалент интегратора со сбросом) позволяет получить минимальную дисперсию оценки среднего для шумового сигнала радиометра с нормальным распределением (т.е. максимальную чувствительность). С другой стороны – ранговые оценки типа медианы устойчивы к "загрязнению" записи импульсными помехами (до 50%), но ведут к потере чувствительности при их отсутствии (в наихудшем случае эффективность оценки среднего по медиане – 0.637). Компромиссная в этом смысле ранговая оценка Ходжеса-Лемана (Hodges, Lehmann 1957), применяемая для постобработки наблюдательного материала на РАТАН-600, имеет эффективность 0.95-0.98 но устойчива к искажению до 25% отсчетов. Что не всегда достаточно. Кроме того, вычисление этой оценки весьма трудоемко, поскольку требует сортировки по выборке значений, составленной из всех возможных сочетаний полусумм исходных отсчетов и самих отсчетов. Это может послужить дополнительным препятствием для работы алгоритма в реальном времени.

Тем не менее выйти из положения компромиссного выбора можно, если сформировать автоматическое правило, выбирающее оптимальный алгоритм по ходу обработки. Это правило удается сформулировать, опираясь на априорные сведения о характере наблюдаемых сигналов и помех. Устройства динамического "помехоподавления", реализованные в виде аппаратных блоков (Горбачев и др. 1987) используются для некоторых радиометров на РАТАН-600 и до настоящего времени. Но аналоговая реализация этих устройств не позволяет заложить современные алгоритмы получения ранговых оценок и приводит к снижению чуствительности радиометров на 10%. Используемые в них пороговые критерии отнюдь не робастны и требуют тонкой инженерной настройки под конкретный радиометр и помеховую обстановку (Горбачев, Данилов 1986), что весьма затруднительно особенно при организации длительных и непрерывных наблюдений, когда дополнительное вмешательство в процесс получения данных крайне нежелательно.

В данной главе предлагается метод цифрового интегрирования с адаптивным выбором оптимального алгоритма работы в условиях помех, обладающий робастными свойствами.

5.2 Описание алгоритма

Процедуру интегрирования сигнала радиометра можно отнести к операциям сокращения размерности исходного выборочного пространства случайных отсчетов, получаемых после аналого-цифрового преобразования. В результате операции выборка значений внутри каждого интервала интегрирования сокращается до одного отсчета, являющегося оценкой среднего.

Шумовой характер сигнала и наличие случайных помех требуют рассмотрения по крайней мере трех случаев выбора оптимальной процедуры получения оценок.

1. Функции распределения сигнала и помех известны полностью.

2. Функции распределения сигнала и помех известны, но неизвестны их параметры.

3. Функции распределения сигнала и помех неизвестны, однако известны хотя бы их классы или общие свойства.

Все эти случаи хорошо описаны в классических работах, и приводят соответственно к Байессовскому, параметрическому или непараметрическим правилам выбора оценок. С точки зрения получения робастного правила, очевидно, наиболее интересен третий случай. Хотя значительная часть эффектов, формирующая статистические свойства шумового сигнала радиометров сводится не только к свойствам чернотельного излучения (Христиансен, Хегбом 1988), обеспечение "радиометрического выигрыша", заключающееся в узкополосной фильтрации трактом, приводит к тому, что шум на выходе радиометра близок к процессу с нормальным законом распределения (Левин 1974) с "хвостами", "утяжеленными" помеховыми выбросами.

В работе Ерухимова (1988) рассмотрена модель реализации такого шума в виде смеси нормального и пуассоновских процессов. В приведенных расчетах показано, что степень смещения оценок сильно зависит от интенсивности помех и весьма различна для разных способов их получения. Поэтому если получать сразу несколько оценок и исходя из априорных сведений выбирать ту, которая является наименее смещенной, мы решим задачу подавления помех. Для описанной модели, достаточно иметь значения среднего арифметического и медиану. Первая является оптимальной для "чистого" шума, а вторая, как показано у Ерухимова, практически не смещается при "загрязнении" выборки помехами.

Таким образом процедура оптимального оценивания среднего для данной модели сведется к проверке двух альтернативных гипотез:

- H_0 – на интервале оценивания помех нет,
- H_1 – выборка "загрязнена".

Следовательно оценки среднего $\hat{m}$ по выборке X из n отсчетов для перечисленных предположений соответственно будут иметь вид:

$$\hat{m}_{H_o} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \ , \qquad \hat{m}_{H_1} = med_n(X)$$

Правило выбора гипотез H_0 и H_1 выберем на основе следующих предположений:

- частота съема отсчетов настолько велика, а "окно" усреднения настолько мало, что нестационарностью параметра среднего из-за изменения уровня шума от объектов неба и низкочастотных трендов можно пренебречь;
- многомерное распределение интегрируемого процесса примерно симметрично относительно своих средних значений и монотонно убывает к краям;
- смещение оценки среднего вызывается короткими помехами, средний период следования которых значительно превышает длительность "окна" усреднения.

Наиболее "жестким" является только первое условие, остальные же могут только лишь ограничить целесообразность использования описываемого метода по сравнению с усреднением по фиксированному компромиссному алгоритму.

Исходя из перечисленных предположений в качестве решающего правила хорошо подходит непараметрическое правило классификации, основанное на мере расстояний. Например правило "ближайшего соседа"[1] (Патрик 1980; Fix, Hodges 1951), зарекомендовавшее себя и в применении к следящей системе реального времени (Ульянов, Черненков 1983). В применении к нашему случаю правило будет звучать так: из альтернативных[2] оценок среднего при обработке "окна" с номером k, выбирается та, которая наиболее близка к выбранной для $k-1$.

Таким образом рекуррентная формула для получения оценки среднего на шаге k запишется в следующем виде:

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

где:

$$\begin{aligned} d'_k &= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i - \hat{m}_{k-1}, \\ d''_k &= med_n(X_k) - \hat{m}_{k-1}. \end{aligned}$$

[1] "Nearest Neighbor"

[2] Если обработка идет не в "реальном" времени, то можно двигаться по записи и в обратном направлении и выбирать оценку по этому правилу из удвоенного числа альтернатив.

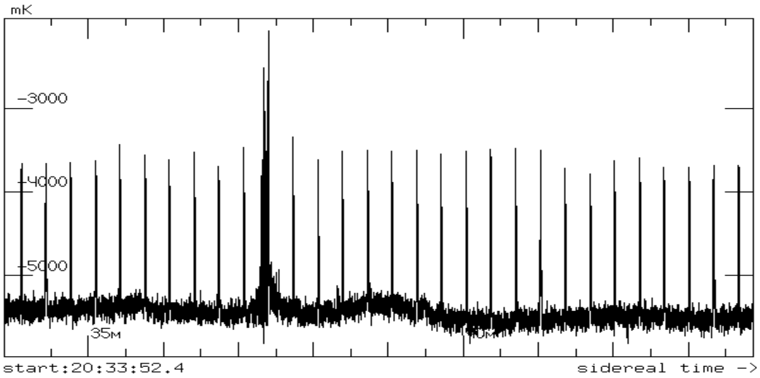

Рис. 5.1: Запись, обрабатываемая различными алгоритмами

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

Запишем работу алгоритма по шагам:

1. Вычисляем медианную оценку для первого "окна" и запоминаем ее.
2. Вычисляем медианную и линейную оценки для следующего "окна".
3. Вычисляем абсолютные разности между полученными оценками и запомненой оценкой.
4. Выводим и запоминаем оценку, для которой разность минимальна.
5. Возвращаемся к шагу 2

Для обработки сигналов в реальном времени, ввиду непрерывности работы аппаратуры и состоятельности получаемой оценки, можно изъять первый шаг алгоритма, заменив его простой очисткой области памяти для оценок.

Сравнение результатов обработки реальных записей описанным методом, проведенных на комплексе сбора данных облучателя № 1 "Continuous" с использовавшимися ранее приведено в табл. 5.1 Из таблицы виден существенный выигрыш по быстродействию по сравнению с лучшими ранговыми оценками и меньшая дисперсия относительно других алгоритмов, несмотря на большой уровень помех. Таблица составлена по результатам обработки записей из 60000 отсчетов, одна из которых изображенна на рис. 5.1. Качество работы алгоритма иллюстрирует так же рис. 5.2, на котором сверху изображена запись с источником в центральной части и импульсными помехами. Ниже изображены результаты сжатия ее в 5 раз с помощью линейного усреднения, алгоритма Ходжеса-Лемана и описанного алгоритма. Видно, что и при малых степенях сжатия, адаптивный алгоритм более предпочтителен, поскольку оказались подавлены все помеховые выбросы.

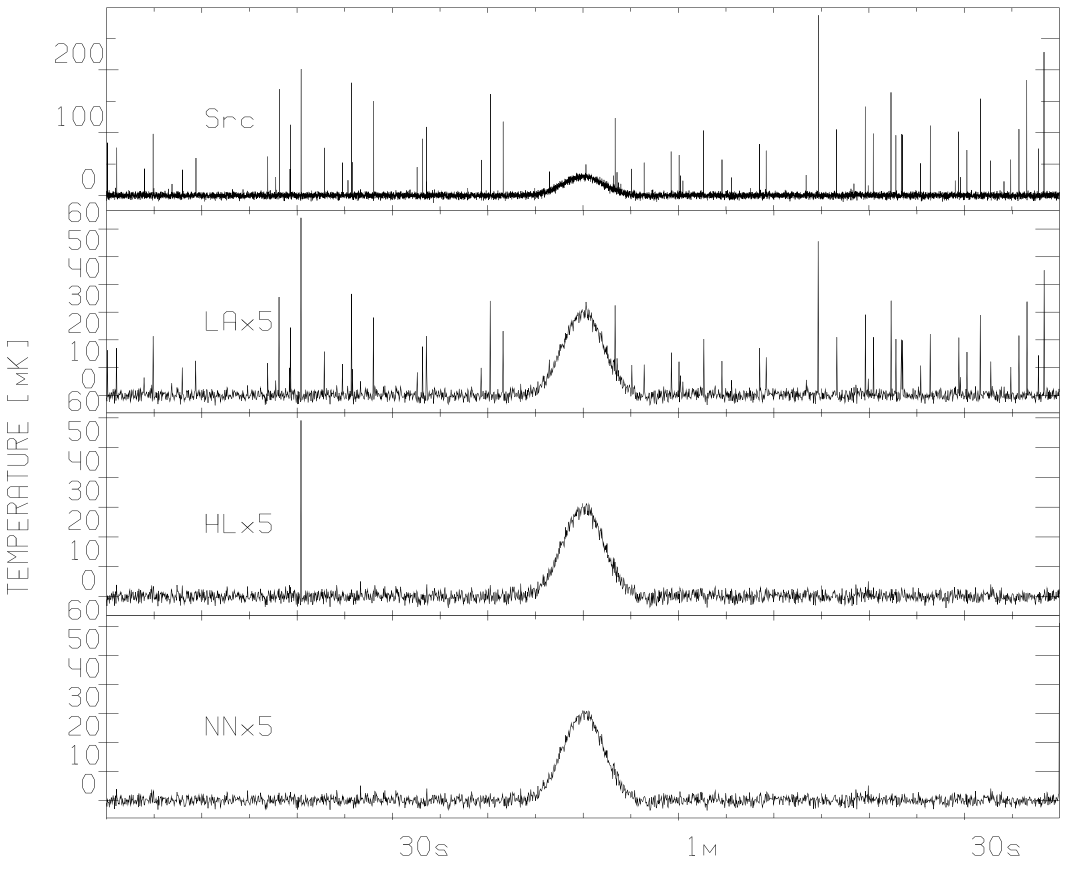

Рис. 5.2: Результаты 5-кратного сжатия модельной записи источника на фоне импульсных помех – Src методами линейного среднего – LA, Ходжеса-Лемана – HL и адаптивным – NN.

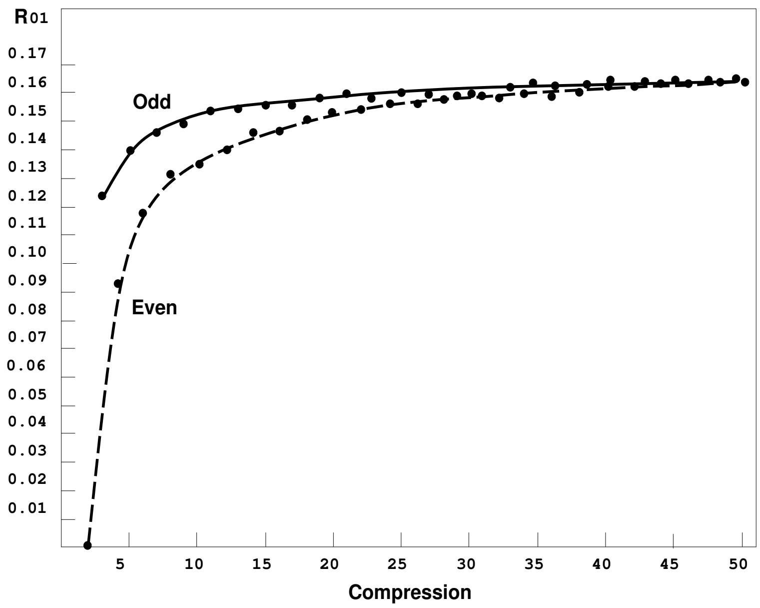

Рис. 5.3: Зависимость корреляции соседних отсчетов от степени сжатия.

К недостатку метода следует отнести появление некоторой дополнительной корреляционной связи между соседними отсчетами в выходном процессе. Этот эффект присущ любому следящему алгоритму, выполняющему роль низкочастотного фильтра. Численным моделированием получена зависимость коэффициента корреляции между соседними отсчетами выходного процесса от коэффициента сжатия. Она изображена на рис. 5.3. Для наглядности точки четных и нечетных степеней компрессии выделены двумя различными кривыми. Из графика видно, что имеет место незначительный рост корреляции с увеличением числа усредняемых точек с асимптотическим приближением к значению ~ 0.16. По-видимому, это связано с падением эффективности медианной оценки к асимптотическому значению $2/\pi$ (Hodges, Lehmann 1967). Зависимость от эффективности подтверждается так же разной величиной корреляции для малых значений четных и нечетных коэффициентов сжатия, несколько большей для последних. Хотя график приведен для исходного гауссовского распределения дельта-коррелированного шумового процесса, он слабо зависит от вида этого распределения[3], поскольку понятно, что начиная уже с малых окон усредняемых точек процесс "нормализуется".

Таким образом, если соблюдены ранее перечисленные условия, при практическом применении алгоритма дополнительной корреляцией можно пренебречь.

5.3 Наблюдательные данные

В апреле 1996 г. описанный метод интегрирования был внедрен в программное обеспечение системы сбора данных обучателя №1 – "Continuos". Изменения в программном обеспечении было осуществлено 8 апреля, после недельного сета наблюдений по

[3]Имеются в виду законы распределения, удовлетворяющие приведенным выше предположениям.

Таблица 5.1: Сравнительные показатели алгоритмов компрессии.

Сжатие раз	10			25			50			100		
	t с.	σ	σ_3	t с.	σ	σ_3	t с.	σ	σ_3	t с.	σ	σ_3
Линейный	1.46	26.5	16.4	1.44	22.9	14.6	1.51	20.6	18.0	1.51	17.4	17.2
Медиана	1.82	27.3	19.0	2.35	21.7	15.3	3.36	18.3	18.3	5.04	13.1	12.3
HL-алгоритм	10.1	26.7	17.1	90.1	22.7	15.0	675	19.7	18.7	5556	15.5	16.1
NN-алгоритм	1.88	26.4	17.2	2.37	21.4	13.5	3.31	18.4	16.8	5.03	13.3	10.4

совместной астрофизической программе ГАИШ и САО, проводимых Конниковой В.К. на западном секторе РАТАН-600. Регистрировались данные шести штатных радиометров сантиметрового диапазона с частотой 100 отсчетов в секунду по каждому каналу и аналоговым интегрированием с постоянной времени 0.01 сек. Далее производилось цифровое интегрирование в реальном времени с 10-ти кратным сжатием, причем до изменения алгоритма, в качестве оценки среднего вычислялось значение медианы. На рис.5.4 – рис.5.6 приведены результаты обработки записей соответствующих радиометров в период с 4-го по 13-е апреля. В каждые сутки проводилось до 53-х наблюдений дискретных источников и по каждому наблюдению посчитано значение "3-х точечной" дисперсии. При этом ни "чистки" от помех, ни удаление "источников" в записях не производилось. Всего в обработывалось свыше 400 многочастотных записей. На рисунках отображены гистограммы полученных оценок чуствительности для каждой длины волны; пунктиром изображены гистограммы до смены алгоритма, сплошными линиями – после. По смещению пиков гистограмм влево видно улучшение реальной чувствительности на 20 – 25 процентов, что соответствует теоретическому ожиданию.

Следует отметить, что относительно сильный эффект улучшения чувствительности для 13 см радиометра связан так же с инженерной подстройкой его и аппаратуры "помехоподавления", проведенной в день смены алгоритма. Так же видно, что на наиболее "загрязненной" индустриальными помехами волне 31 см выигрыш выражен не так явно, по-видимому ввиду малого процента общего времени работы "линейной" части алгоритма.

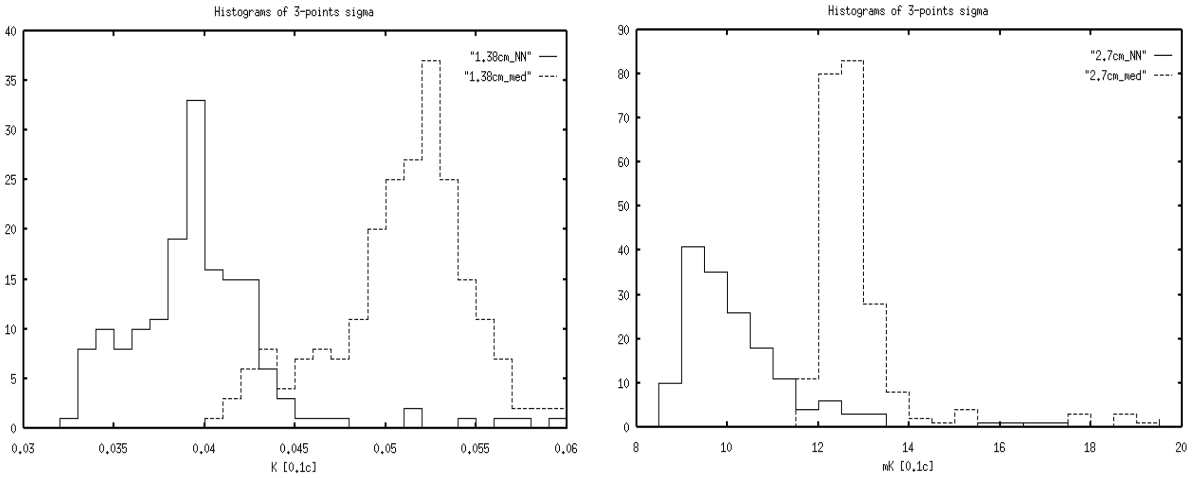

Рис. 5.4: Измерения чувствительности по наблюдениям на волнах 1.38 и 2.7 см.

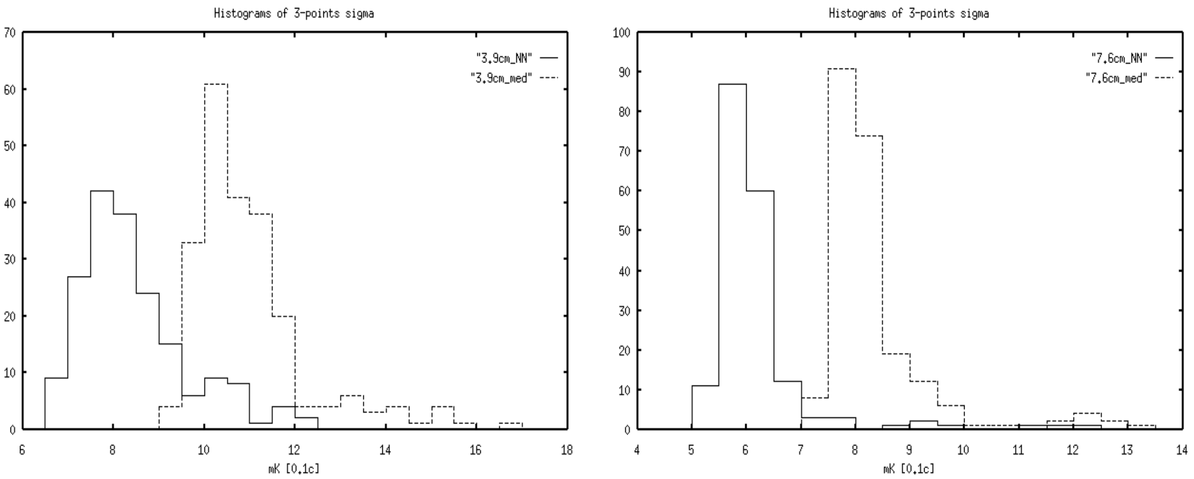

Рис. 5.5: Измерения чувствительности по наблюдениям на волнах 3.9 и 7.6 см.

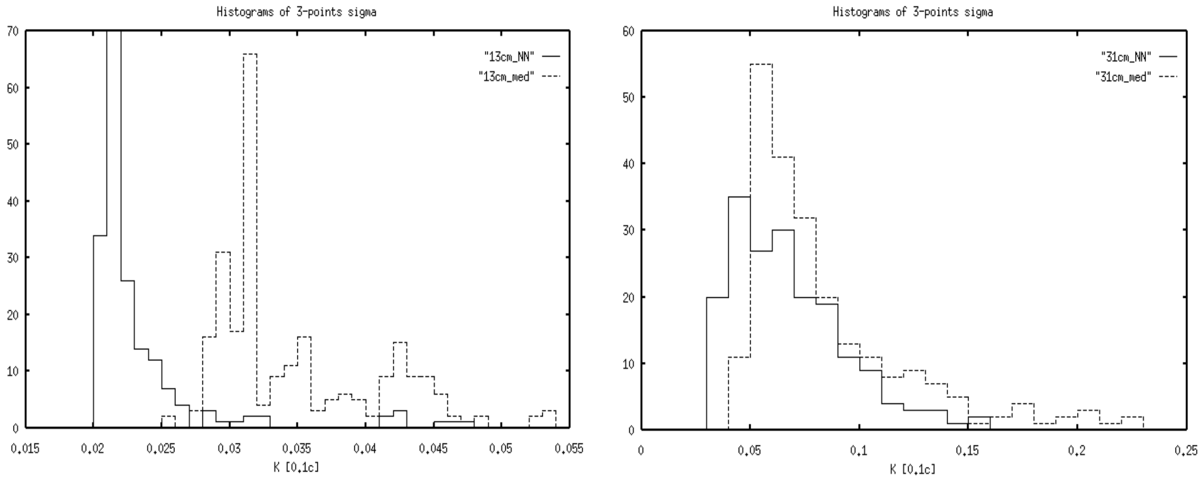

Рис. 5.6: Измерения чувствительности по наблюдениям на волнах 13.0 и 31 см.

Глава 6

Координатные измерения на РАТАН-600

Радиотелескоп РАТАН-600 предназначен для решения широкого круга астрофизических, радиофизических и прикладных задач. Высокая разрешающая сила и большая собирающая площадь РАТАН-600 позволяют использовать его в качестве инструмента для высокоточных позиционных наблюдений радиоисточников.

Диаграмма направленности (ДН) РАТАН-600 близка к ножевой, вытянутой в вертикальной плоскости. Такая форма ДН определяет основной принцип координатных измерений, заключающийся в регистрации момента прохождения радиоисточника через избранный вертикал на небесной сфере. При наблюдениях в меридиане радиотелескоп работает как пассажный инструмент, что позволяет использовать его для определения прямых восхождений. При этом оптимальными для точности измерений являются наблюдения в симметричных относительно меридиана азимутах с максимальным изменением позиционного угла (Парийский, Шиврис 1972; Львов 1980).

При определении координат радиоисточников на РАТАН-600 в общем случае используются различно ориентированные сектора антенны. Даже при наблюдениях в одном азимуте (например, при определении прямых восхождений в меридиане) нельзя гарантировать постоянство электрической оси системы, поскольку положение каждого отдельного элемента главного зеркала и положение вторичного зеркала на радиальных рельсовых путях будут изменяться в зависимости от высоты наблюдаемого объекта над горизонтом. В связи с этим при позиционных наблюдениях на РАТАН-600 более предпочтительны дифференциальные методы определения координат.

6.1 Анализ факторов, влияющих на точность координатных измерений

Основные причины, ограничивающие координатную точность при наблюдениях на радиотелескопе, следующие:

- неповторяемость ориентации электрической оси системы от наблюдения к наблюдению;
- недостаточно высокое отношение сигнал / шум (при наблюдении слабых радиоисточников);
- “дрожание” изображения объекта.

Рассмотрим каждую из этих причин в отдельности.

1. Ошибка в положении ДН антенны на небе определяется как ошибками установки главного и вторичного зеркал радиотелескопа, так и ошибкой установки первичного облучателя в электрическую ось системы "главное зеркало +вторичное зеркало". В настоящее время на РАТАН-600 реализованы два метода, позволяющие заметно уменьшить этот тип ошибок.

   Один из них – автоколлимационный метод установки первичного облучателя в электрическую ось системы "главное зеркало +вторичное зеркало" по двум вертикальным элементам главного зеркала (Пинчук, Стоцкий 1978). Этот метод позволяет устанавливать первичный облучатель в электрическую ось с точностью порядка 0.1–0.2 мм, что соответствует ошибке в определении прямых восхождений (при наблюдении в меридиане), равной 0.1–0.3$''$ (Афанасьева и др. 1979). В варианте автоколлимационного метода, реализованном на сегодняшний день, в электрическую ось выставляется первичный рупор юстировочного приемника. Далее, по известному расстоянию между рабочим и юстировочными рупорами, механическим перемещением рабочий облучатель выставляется в электрическую ось. Таким образом, добавляются дополнительные ошибки, обусловленные точностью механической установки, а также разным законом облучения юстировочного и рабочего рупоров. Дальнейшее повышение точности возможно, если для автоколлимации использовать один и тот же первичный облучатель, что и для наблюдений.

   Другая возможность – использование в наблюдениях метода "неподвижного фокуса" (Соболева и др. 1986). Суть метода в следующем. Вторичное зеркало и первичный облучатель закрепляются в определенном положении, меняется положение только главного зеркала. Таким способом можно проводить наблюдения исследуемого и опорных объектов при неподвижном состоянии системы "вторичное зеркало+первичный облучатель", меняя лишь форму главного зеркала. Ошибка же из-за неточной установки главного зеркала будет несущественной, поскольку усреднится по всем элементам сектора (около 200). Допустимое использование этого метода зависит от высоты источника над горизонтом: разность высот опорного и сследуемого объекта может меняться от нескольких десятков угловых минут до нескольких десятков градусов. Подробнее об этом методе наблюдений см. у Соболевой и др.

2. Ограничение на координатную точность, обусловленную недостаточным отношением сигнал / шум, можно оценить по следующей формуле (Липовка, Стоцкий, 1972):

$$\varepsilon_n = \frac{1}{2}\frac{\Delta T_n}{T_c}\theta_{0.5},$$

   где: ΔT_n – флуктуационная чуствительность радиотелескопа; T_c – антенная температура наблюдаемого радиоисточника; $\theta_{0.5}$ – ширина ДН по уровню 0.5.

   Как видно из этой формулы, для уменьшения величины ошибки необходимо уменьшать общую шумовую температуру радиотелескопа, увеличивать эффективную площадь и время накопления сигнала. Для увеличения времени накопления сигнала от наблюдаемого объекта на РАТАН-600 применяется метод скольжения, основанный на сопровождении движения изображения источника вдоль фокальной линии вторичного зеркала перемещением первичного облучателя (Мингалиев и др. 1985). Более подробно использование метода скольжения для координатных измерений описано у Афанасьевой и др. (1985).

3. Эффект “дрожания” радиоизображения есть результат флуктуации фазы волны на неоднородностях атмосферы, особенно при прохождении ее через тропосферу (Татарский 1976). Тот факт, что на работу антенны существенно влияют лишь флуктуации общего набега фазы, позволяет описывать этот эффект единственной интегральной характеристикой – структурной функцией электрической длины пути в тропосфере. По экспериментальным данным пространственная структурная функция, определяемая при изменении вдоль трасс, расположенных на расстоянии $\Delta\rho$, аппроксимируется функцией[1] (Татарский 1976; Есепкина и др. 1973)

   $$D_l(\Delta\rho) = C_i^2 \Delta\rho^{\frac{5}{3}},$$

   где C_l — структурный коэффициент, который равен 0.00001–0.00005 см$^{\frac{1}{6}}$. Из D_l определяется среднеквадратичное отклонение положения центра тяжести ДН (т.е. ошибка в определении координаты, обусловленная наличием турбулентной тропосферы):

   $$\varepsilon_\alpha = K[D_l(\Delta\rho)]^{\frac{1}{2}}/\Delta\rho,$$

   где K – коэффициент порядка единицы, зависящий от формы апертуры и амплитудного распределения поля на апертуре. Или, подставляя D_l, имеем:

   $$\varepsilon_\alpha = C_l \Delta\rho^{\frac{1}{6}},$$

   здесь K полагаем равным единице (Липовка, Стоцкий 1972; Татарский 1976; Есепкина и др. 1973). Как видно отсюда, в первом приближении координатная точность не зависит ни от длины волны, ни от размеров базы в широком диапазоне значений. Подставляя реальные значения базы для радиотелескопа РАТАН-600, мы получаем $\varepsilon_\alpha \simeq 0.3 - 1.5''$. Такого порядка точность реализуется и на практике при координатных измерениях на РАТАН-600 (см., например, у Афанасьевой и др.(1979)).

   Таким образом, и теория и практика наблюдений на РАТАН-600 показывают, что ошибка координатных измерений из-за эфекта ”дрожания” не может заметно превосходить величины порядка $1''$.

Однако в работе (Altenhoff et al. 1987) описывались случаи “аномальной рефракции”, обнаруженные при наблюдениях на миллиметровых волнах с 30-метровым параболоидом IRAM и сантиметровых волнах со 100-метровым параболоидом в Эффельсберге. Как писали авторы, изображение смещалось (“выбрасывалось” из ДН) вплоть до $40''$. Это сообщение и послужило поводом к обобщению результатов координатных измерений на РАТАН-600 и оценки возможного вклада “аномальной рефракции” в общую ошибку определения координат. Ниже приводятся результаты специальных наблюдений, проведенных автором под руководством Мингалиева М.Г., так и результаты координатных измерений прошлых лет.

[1] В области масштабов 1–10 000м.

Таблица 6.1: Параметры диаграмм и расположение первичных облучателей.

Условия		λ, см			
		2.08	3.9	7.6	8.2
$\theta_0.5$	прямое восхождение	$16''$	$31''$	$63''$	$68''$
	склонение	2.2°	4.1°	8.0°	8.6°
Вынос из электрической оси в длинах волн		1.9	2.3	2.8	4.3

6.2 Наблюдения и обсуждение результатов

Наблюдения проводились в сентябре 1987 г. на Северном секторе на длинах волн 2.08, 3.9, 7.6 и 8.2 см в режиме "неподвижного фокуса". Были выбраны точечные, достаточно сильные радиоисточники (квазары): 1055+01, 1148-00, 1226+02 и 1253-05. К моменту начала наблюдения первого в сутках источника (1055+01) вторичное зеркало и первичные облучатели выставлялись в расчетное положение и оставались неподвижными во время наблюдения всех четырех источников. В остальное время суток Северный сектор работал по другим программам наблюдений, т.е. вторичное зеркало было подвижным. Наблюдения проводились при различных состояниях погоды (см. табл. 6.2). Приемники на длинах волн 2.08 и 3.9 см использовались в режиме диаграммной модуляции (двухлучевой прием), а на 7.6 и 8.2 см – в режиме однолучевого приема. В электрическую ось выставлялась середина между западным и восточным рупорами на волнах 2.08 и 3.9 см. ДН по прямому восхождению и склонению на уровне половинной мощности и расположение рупоров относительно электрической оси приведены в табл. 6.1.

Задача наблюдений состояла в определении моментов прохождения указанных выше источников через ДН радиотелескопа, работающего в режиме пассажного инструмента (координаты определялись методом вписывания гауссианы в кривую прохождения источника (Иванов 1979)). В табл.6.2 и на рис.6.1 приведены разности наблюденных и предвычисленных моментов кульминаций ("О – С"). В качестве примера взяты данные по источникам 1148-00 и 1226+02 (по ним наиболее длинные ряды наблюдений).[2]

Случайная ошибка одного наблюдения на всех длинах волн получается одного порядка и равна примерно $4''$, а максимальный размах порядка $13''$. Отсюда можно сделать следующие заключения:

- при работе с подвижным вторичным зеркалом и однократном наблюдении не удается определять прямые восхождения точнее, чем $4''$;

- при наблюдениях с подвижным вторичным зеркалом на длинах волн короче 2 см уже нельзя проводить усреднение наблюдений, проведенных в разные даты (так, на длине волны 1.35 см полуширина ДН порядка 7–$8''$).

[2]В этом цикле наблюдений приемники 2.08 и 8.2 см имели не лучшую чувствительность. На этих приемниках не на всех источниках реализовывалось достаточное отношение сигнал/шум, и поэтому в табл.6.2 для 1148-00 приводятся данные только на 3.9 и 7.6 см.

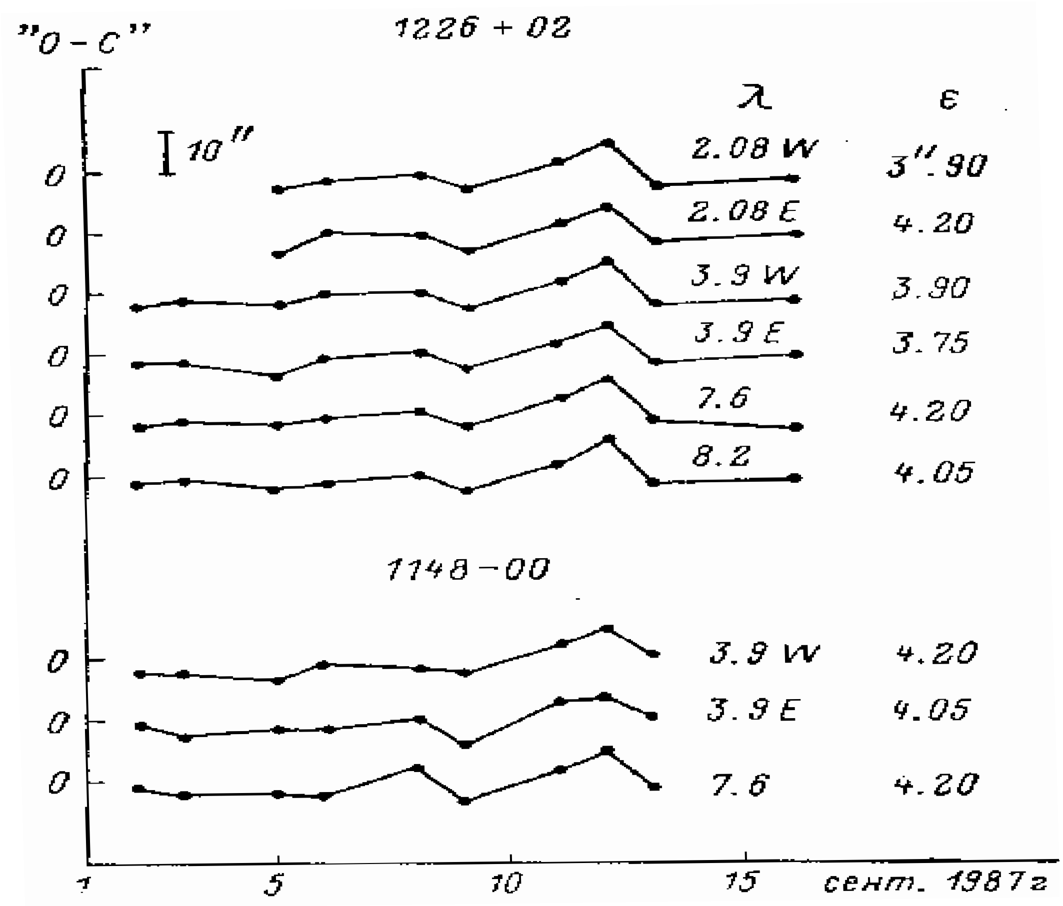

Рис. 6.1: Разности наблюденных и предвычисленных моментов кульминации ("О – С") по наблюдениям квазаров 1148-00 и 1226+02. (W – западный рупор, E – восточный. Среднее значение по всем дням наблюдений по каждому рупору приравнено нулю.)

Таблица 6.2: Измерения прямых восхождений источников в сентябре 1987 г.(Значения "О–С" в таблице приведены в секундах времени.)

Сентябрь 1987 г.	1226+02						1148-00			Погода		
	2.08w	2.08e	3.9w	3.9e	7.6	8.2	3.9w	3.9e	7.6	$T,^\circ C$	p,кПа	Облачность
2	-	-	-6.93	7.11	-16.61	-28.18	-6.83	7.25	-16.42	-	-	Низкая
3	-	-	-6.83	7.13	-16.55	-28.11	-6.81	7.04	-16.50	16	91.85	Ясно
5	-2.94	3.15	-6.90	6.94	-16.62	-28.24	-6.95	7.15	-16.64	21	91.15	Облачно
6	-2.81	3.40	-6.74	7.20	-16.52	-28.19	-6.67	7.16	-16.49	18	91.75	"
8	-2.70	3.49	-6.64	7.35	-16.37	-28.00	-6.73	7.41	-16.01	20	91.83	Ясно
9	-2.94	3.21	-6.93	7.06	-16.66	-28.29	-6.80	6.90	-16.61	22	91.60	"
11	-2.48	3.71	-6.47	7.51	-16.18	-27.84	-6.32	7.64	-16.09	18	91.89	Низкая, ветер перед дождем
12	-2.18	4.03	-6.11	7.81	-15.76	-27.37	-6.07	7.69	-15.77	20	91.67	Легкая, ветер
13	-2.87	3.35	-6.88	7.16	-16.53	-28.15	-6.53	7.44	-16.34	20	91.88	Переменная
16	-2.74	3.51	-6.76	7.30	-16.60	-28.08	-	-	-	21	91.55	"
Среднее	-2.71	3.48	-6.72	7.26	-16.44	-28.05	-6.63	7.30	-16.30			
σ, с	0.26	0.28	0.26	0.25	0.28	0.27	0.28	0.27	0.28			
σ, угл.с	**3.90**	**4.20**	**3.90**	**3.75**	**4.30**	**4.05**	**4.20**	**4.05**	**4.20**			

На рис.6.1 видно, что существует высокая степень корреляции между наблюдениями на разных длинах волн и разных источников,[3] т.е., по-видимому, основной вклад в величину ε дает неповторяемость (ото дня ко дню) установки вторичного зеркала и первичных рупоров. Этот вывод подтверждается данными, приведенными на рис. 6.2, 6.4 и в табл. 6.3.[4] Случайная ошибка получается меньше $1''$. Эта ошибка является суммой следующих составляющих:

- ошибка вписывания гауссианы в кривую прохождения источника, так как из-за выноса первичных рупоров из электрической оси кривая прохождения ассиметрична[5];
- ошибки из-за термической деформации конструкции, на которой жестко закреплены первичные облучатели (рупоры);
- ошибки из-за турбулентности атмосферы;

[3]Средний коэффициент корреляции между наблюдениями источника 1226+02 на разных длинах волн, определенный по всем парам рупоров, получается равным 0.97±0.02. Для 1226+02 и 1148-00 – 0.88±0.04. Величина ε здесь несколько хуже, чем только для 1226+02. Это скорее всего объясняется тем, что при наблюдениях 1148-00 хуже отношение "сигнал/шум", и средний коэффициент корреляции между наблюдениями 1148-00 на разных длинах волн равен 0.85 ± 0.04.

[4]В табл. 6.3 и на рис. 6.2 и 6.4 результирующая ошибка поделена на величину $\sqrt{2}$, так как одна точка есть результат двух измерений: либо разность прохождений через рупора, либо разность двух наблюдений разных источников.

[5]В последнее время вклад такого рода ошибки существенно уменьшен, поскольку для получения координат вместо вписывания гауссианы используется свертка с расчетной аппаратной функцией антенной системы (Верходанов и др. 1995б).

Таблица 6.3: Дифференциальные ошибки измерения прямых восхождения.

Сентябрь 1987 г.	2.08e 3.9e	2.08w 3.9w	2.08e 2.08w	3.9e 7.6	2.08w 3.9e	2.08e 3.9w	8.2 7.6	2.08w 7.6	3.9w 3.9e	2.08e 7.6	3.9w 8.2	3.9e 7.6
2	-	-	-	9.68	-	-	11.51	-	14.04	-	21.25	23.72
3	-	-	-	9.72	-	-	11.56	-	13.96	-	21.28	23.68
3	-	-	6.19	-	-	-	11.56	-	13.94	-	-	-
5	3.79	3.96	6.08	9.72	9.88	10.05	11.62	13.68	13.84	19.77	21.34	23.56
6	3.80	3.93	6.21	9.78	10.01	10.14	11.67	13.71	13.33	19.92	21.45	23.72
8	3.86	3.94	6.19	9.73	10.05	10.13	11.63	13.67	13.99	19.86	21.36	23.72
9	3.85	3.99	6.14	9.73	10.00	10.14	11.63	13.72	14.00	19.87	21.36	23.72
11	3.80	3.99	6.20	9.71	9.99	10.18	11.66	13.70	13.98	19.89	21.37	23.69
12	3.78	3.93	6.21	9.65	9.99	10.14	11.61	13.58	13.92	19.79	21.36	23.57
13	3.81	4.01	6.22	9.65	10.03	10.23	11.62	13.66	14.05	19.88	21.27	23.69
16	3.79	4.02	6.25	9.84	10.04	10.27	11.48	13.86	14.05	20.11	21.32	23.90
Среднее	3.81	3.97	6.19	9.72	10.00	10.16	11.60	13.70	13.97	19.89	21.33	23.70
σ, с	0.029	0.036	0.049	0.057	0.053	0.067	0.063	0.079	0.064	0.104	0.063	0.093
σ, угл.с	**0.32**	**0.39**	**0.53**	**0.63**	**0.57**	**0.72**	**0.66**	**0.84**	**0.68**	**1.10**	**0.66**	**0.99**

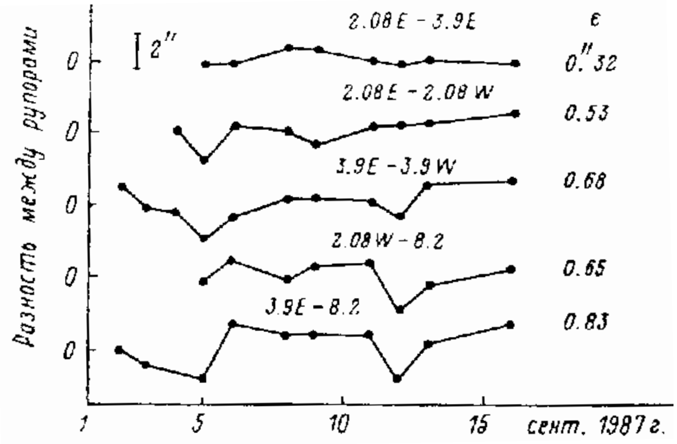

Рис. 6.2: Изменение расстояния между рупорами ото дня ко дню (1226+02).

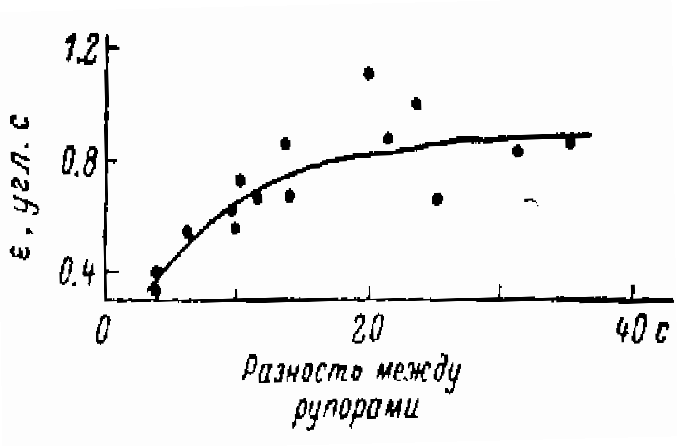

Рис. 6.3: Зависимость ε от расстояния между рупорами.

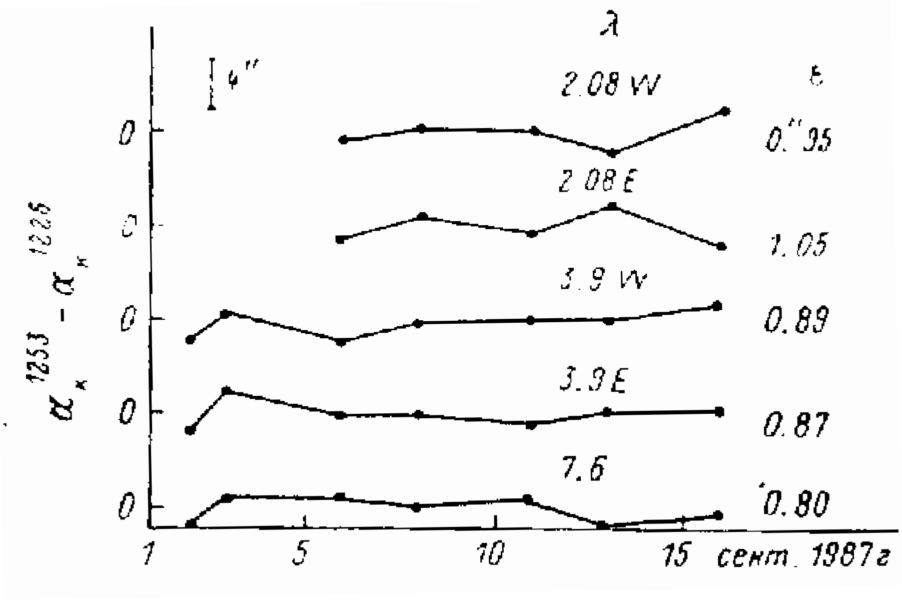

Рис. 6.4: Оценка точности дифференциального метода определения координат на РАТАН-600. (“$O-C$”$_{1253}$ – “$O-C$”$_{1226}$)

- и в меньшей степени, ошибки из-за отношения сигнал / шум (к примеру, на длине волны 3.9 см для этого источника $0.1''$).

На рис. 6.3 приведена зависимость ε от расстояния между рупорами. По ней можно определить предельную точность координатных измерений на радиотелескопе РАТАН-600 – $\varepsilon \approx 0.3''$. Из рисунка также видно, что при увеличении расстояния между рупорами точность несколько ухудшается. По-видимому, на больших временных масштабах турбулентность атмосферы несколько больше.

На рис. 6.4 приведены значения разностей моментов кульминаций квазаров 1253-05 и 1226+02:

$$\alpha_{k(1253)} - \alpha_{k(1226)}$$

Точность определения прямого восхождения 1253-05 в одном наблюдении получалась равной $0.85''$ при максимальном размахе порядка $2.5''$. Эта ошибка также является суммой описанных выше составляющих.

Таким образом, в этом цикле наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 эффект “аномальной рефракции” не был обнаружен, хотя, как было отмечено выше, наблюдения проводились при разных погодных условиях, как хороших, так и плохих.

Рассмотрим теперь кратко результаты координатных измерений прошлых лет, проведенных в 1977 г. С мая по август на Северном секторе РАТАН-600 был проведен длительный цикл координатных наблюдений Меркурия и опорных радиоисточников 2251+15 и 0316+41 (Афанасьева и др. 1979). В этом цикле для установки рупоров в электрическую ось системы “главное зеркало + вторичное зеркало” использовался автоколлимационный метод (Пинчук, Стоцкий 1978). Реализованные среднеквадратичные ошибки одного наблюдения приведены в табл. 6.4. В случае наблюдений 0316+41 все первичные облучатели имели вынос из электрической оси, а при наблюдениях 2251+15

Таблица 6.4: Координатные измерения в мае–августе 1977 г.

Источник	λ, см	σ, угл. с	Количество наблюдений
0316+41	1.35w	1.5	6
	1.35e	1.05	6
	2.08e	0.75	7
2251+15	2.08e	0.24	6
	2.08w[6]	0.41	6
Меркурий	2.08e	1.4	28

и Меркурия в электрическую ось выставлялся восточный рупор приемника 2.08 см. (2.08e). Ошибки одного наблюдения, полученные по 0316+41 на волне 1.35 см и Меркурию на волне 2.08 см оказались немного больше $1''$, что объясняется главным образом уменьшением отношения сигнал / шум.

Следовательно, и в этом цикле не имело место явление “аномальной рефракции” с амплитудой, наблюдавшейся Альтенхоффом и др. (Altenhoff et al. 1987). В феврале 1988 г. был проведен дополнительный цикл наблюдений в режиме сопровождения источника на длине волны 1.38 см. Наблюдения проводились автором с помощью системы автоматического управления кареткой, описанной в главе 3. Наблюдаемый объект, в данном случае точечный радиоисточник 3C84, сопровождался ДН антенны либо на уровне максимума, либо на уровне[7] 0.5. Наблюдения проводились на высоте над горизонтом $h = 87°39'$, при этом полуширина ДН антенны в сечении по прямому восхождению и склонению на уровне 0.5 равна соответственно $8''$ и $37''$. Использование метода скольжения позволило сопровождать источник в течение 70 – 80 с времени в одном наблюдении. На рис. 6.5*а* приводится типичный пример такого наблюдения:

- кривая *Б* соответствует шумовой дорожке при подвижной ДН и отсутствии источника, т.е. ширина шумовой дорожки или дисперсия записи определяются только общей шумовой температурой системы;

- кривая *А* – шумовой дорожке при сопровождении источника, т.е. в этом случае дисперсия шума должна определяться кроме общей шумовой температуры системы еще и дополнительными шумами, обусловленными:

  1. точностью сопровождения,

  2. возможными “дрожаниеми” изображения из-за атмосферных турбуляций.

На рис. 6.5,*б* те же наблюдения, что и на рис. 6.5*а*, но с другим временем интегрирования сигнала: $\tau = 3.6$ с. Для сравнения на рис. 6.6 приведены кривые сопровождения источника на длине волны 1.35 см на 100-метровом параболоиде, взятая из выше указанной работы Альтенхоффа и др. Полагая вклад общей шумовой температуры системы в

[7]Очевидно, что на уровне 0.5 эффект координатного “дрожания” даст наибольший отклик в изменении амплитуды сигнала.

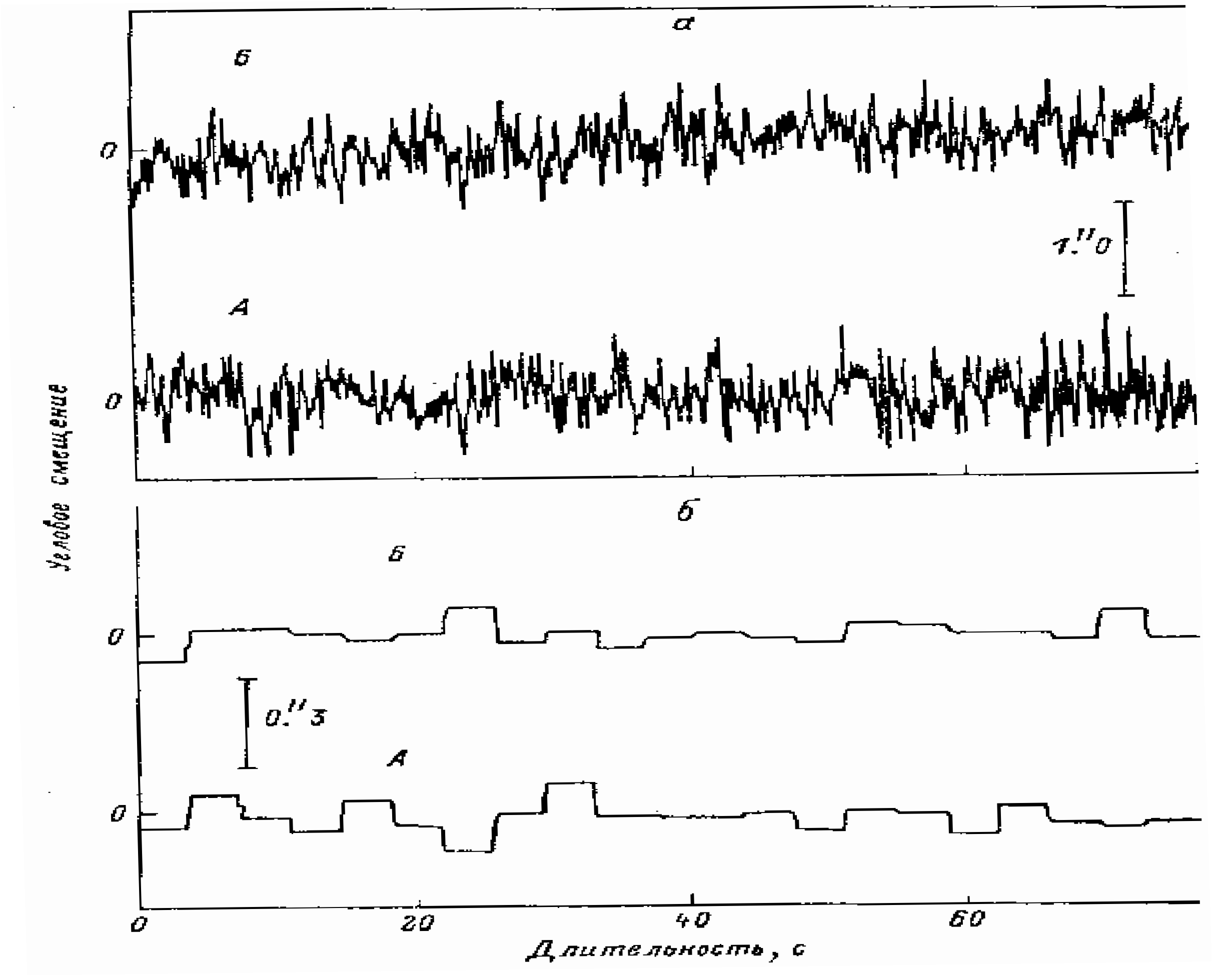

Рис. 6.5: Типичные примеры сопровождения. (*а* – радиоисточник 3С 84 на длине волны 1.38 см (*А*) и запись шумовой дорожки того же радиометра при неподвижной ДН и отсутствии источника (*Б*). Время интегрирования $\tau = 0.1$с.;*б* – то же, что и *а*, но при $\tau = 3.6$с.)

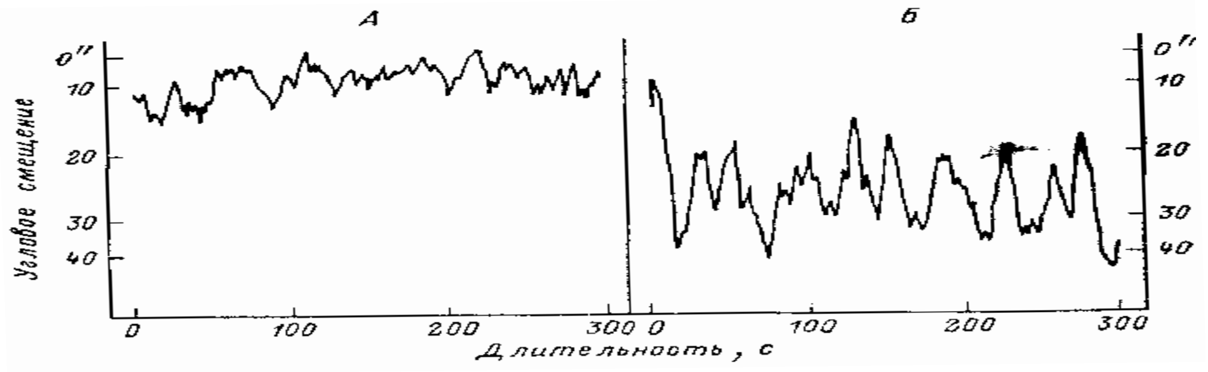

Рис. 6.6: Сопровождение источника 1226+02 на 100-метровом параболоиде при наличии "аномальной рефракции". (Длина волны 1.35 см; *А* – сопровождение на максимуме ДН, *Б* – на уровне половинной мощности. Рисунок взят из (Altenhoff et al. 1987)).

Таблица 6.5: Результаты координатных измерений в феврале 1988 г.

Дата	σ, угл. с	Ветер, м/с	Температура, $^\circ C$	Давление, мбар	Облачность
11.02.88	0.13	1	+4	915	Ясно
12.02.88	0.10	2	+4	915	”
14.02.88	0.17	0	0	918	Небольшая
15.02.88	0.10	2	+3	917	Ясно
16.02.88	0.09	2	+3	917	”
23.02.88	0.22	6–8	-4	907	Идет снег
24.02.88	0.09	7	-1	915	Облачно
25.02.88	0.10	2	-1	917	Небольшая

дисперсию шума одинаковой для кривых A и $Б$, что вполне естественно, можно оценить суммарную дисперсию, обусловленную ошибками сопровождения и атмосферой:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_B^2}$$

Для наблюдения 16 февраля, приведенного на рис.6.5a, она получилась равной $\sim 0.1''$. Результаты всех наблюдений в этом цикле приведены в табл.6.5. Как видно из таблицы, в этом цикле также не наблюдалось влияние атмосферы на амплитуду ошибки более чем $\sim 1''$.

6.3 Выводы

Явление “аномальной рефракции”, по-видимому, объясняется прохождением через ДН радиотелескопов воздушных масс (из-за ветра или конвекции), насыщенных парами воды и с размерами неоднородностей порядка апертуры телескопа. Эффект не сильно связан с местом расположения радиотелескопа, так как наблюдался как на 30-метровом (Пико Велета), так и на 100-метровом (Эффельсберг) параболоидах. Расхождение в оценке амплитуды эффекта атмосферной рефракции, по данным наших измерений и по данным вышеуказанных авторов, может быть связано следующими причинами:

1. Эффект “аномальной рефракции” в условиях наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 отсутствует, либо имеет амплитуду существенно меньше чем $2''$.

2. Размеры неоднородностей не превышают величину порядка нескольких десятков метров, и интегральное воздействие нескольких неоднородностей дает малую амплитуду “аномальной рефракции” (интегрирование происходит на апертуре РАТАН-600, которая в направлении восток-запад при работе с Северным сектором равна $\sim$400 м).

3. Явление “аномальной рефракции” имеет место весьма редко, непродолжительно по длительности, и поэтому наблюдатели чаще всего игнорируют (не берут в рассмотрение) такие данные.

4. Наблюдавшийся у Альтенхоффа и др.(1987) эффект вызван не турбулентностью атмосферы, а есть результат ошибок ведения телескопа.

Объяснение 4 приводится здесь лишь для полноты перечисленных возможных ошибок, ибо, разумеется, нет оснований не доверять опыту таких известных наблюдателей, как Альтенхофф, Баас и др. Наиболее вероятными могут быть объяснения 2 и 3. Действительно, трудно предполагать, что условия расположения радиотелескопа РАТАН-600 (974 м над уровнем моря) заметно лучше, чем 30-метрового параболоида на Пико Велета (2870 м над уровнем моря). Хотя и объяснение 2 также встречает возражение, так как при размерах неоднородностей в несколько десятков метров этот эффект должен был бы наблюдаться и на других инструментах. Имеется упоминание о возможном влиянии атмосферы на 20-метровом параболоиде (Онсала, Швеция) (Rydbeck et al. 1985). Авторы пишут, что короткопериодические (∼5 мин) ошибки наведения (суммарные по азимуту и углу возвышения) имеют величину $\sim 6''$, частично обусловленную атмосферой. Однако оценки вклада атмосферы в эту ошибку не приводится.

Таким образом автор и руководитель этого исследования Мингалиев М.Г. полагаем, что возможным объяснением расхождения наших результатов является совместное воздействие факторов 2 и 3, а именно специфические размеры неоднородностей атмосферы, а также малая повторяемость эффекта.

Заключение

7.1 Основные итоги диссертационной работы

Сформулируем основные результаты диссертационной работы по развитию средств сбора и обработки данных радиотелескопа РАТАН-600.

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 интернет:

   - Существенно повышена надежность сбора наблюдательных данных, прежде всего за счет использования универсальных, легко доступных вычислительных средств, стандартных средств телекоммуникации и сокращения необходимого числа кабельных линий.
   - Существенно повышена надежность архивирования данных с устранением фиксированной безадресной привязки потока наблюдательных данных к конкретному хост-компьютеру. Появилась возможность программного переключения или параллельная запись на носители нескольких 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.

2. 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. 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.

3. 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.

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 обзорным экспериментам типа "Холод", в результате которых были получены новые астрофизические результаты (см. далее).

5. Разработка и внедрение на РАТАН-600 многозадачного режима сбора данных позволяет теперь производить обработку и анализ наблюдений параллельно с их поступлением, и в сочетании с новой возможностью доступа к данным из Internet допускает практически мгновенное оповещение мирового сообщества о новых результатах.

6. 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.

7. 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.

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

9. Внедрение разработанных аппаратно-программных средств и методик позволило провести на РАТАН-600 более 40 000 наблюдательных экспериментов и получить новые астрофизические результаты. В том числе:

   Анизотропия 3К–фона. За последние годы продолжалось накопление многочастотных данных о фоновом излучении Вселенной, полученных на РАТАН-600 (Парийский и др., 1992) в полосе обзора "Холод" ($0^h < \alpha < 24^h, 4.8^\circ < \delta < 5.1^\circ$), к концу 1994 г. накоплено 240 суточных сечений (6000 часов), а с внедрением нового комплекса "Continuous" число наблюденных сечений превысило 400. Разработанная более надежная аппаратура регистрации и параллельной обработки данных новых чуствительных радиометров непрерывного спектра позволили проводить практически непрерывные высококачественные наблюдения в течение длительного времени. Главным результатом последнего времени явилось существенное уточнение диапазона отклонений спектра первичных флуктуаций плотности, относящихся к эпохе ваккуумного состояния Вселенной, от "естественного", так называемого спектра Зельдовича-Харисcона. Благодаря более высокому разрешению, достигнутому в эксперименте ХОЛОД, РАТАН-600 дал наклон спектра $n = 1.0 \pm 0.05$, что значительно точнее, чем полученный COBE наклон $n = 1.1 \pm 0.6$. Уточнение наклона спектра приводит к уточнению значения химического потенциала Ранней Вселенной, который, в свою очередь очень чувствителен к процессам раннего энерговыделения, предсказываемым практически всеми космологическими моделями.

Уточнение координат и спектров радиоисточников UTRAO и RC – каталогов. Методом сечений (Бурсов и др., 1989) в режиме неподвижного фокуса по наблюдениям на РАТАН-600 в полосе обзора "Холод" в интервале $4°35' \leq \delta_{1950} \leq 5°52'$, $1^h40^m \leq \alpha_{1950} \leq 9^h15^m$ определены склонения для 26 достаточно сильных объектов каталога UTRAO (365 МГц), а также соседних с ними более слабых источников. Использование новой аппаратуры и метода сечений в режиме неподвижного фокуса позволило примерно на порядок улучшить точность определения склонений: для источников с $T_A \geq 100mK$ на волне $\lambda = 7.6$ см она составляет $2''$. Поле ошибок для исследованых объектов оказалось 6 кв. сек. дуги. Такая точность позволяет проводить оптические отождествления радиоисточников с предельно слабыми объектами, видимыми на 6-м телескопе САО. По наблюдениям на РАТАН-600 на трех волнах одновременно с использованием опубликованных данных построены спектры исследованных объектов, некоторые из которых изображены на рис.7.1. Оказалось, что 20 объектов (из 37) со степенными спектрами имеют средний спектральный индекс 0.89 ± 0.03. Большинство этих источников являются двойными и ассиметричными двойными. С внедрением комплекса "Continuous" к 1996 г. число объектов с исследоваными спектрами в указанной полосе было доведено до 400 (Бурсов 1996).

Обзор галактических радиоисточников в диапазоне $|l| < 17°$ по галактической долготе и $|b| < 5°$ по галактической широте, проведенный Трушкиным С.А. (Трушкин, 1994а) для поиска остатков сверхновых. Площадка обзора занимает более 350 квадратных градусов. Данный обзор является первым опытом больших галактических обзоров на сантиметровых волнах в России и обладает лучшей чуствительностью по яркостной температуре, чем аналогичные обзоры, проведенные в Парксе (Австралия), Эффельсберге (Германия) и Набеяме (Япония). Разрешение в обзоре составило $4' \times 78'$ и $1' \times 40'$ соответственно на 960 и 3900 МГц. Большая часть обзора дополнена наблюдениями на частоте 11.2 ГГц. По 400-м известным ярким источникам в плоскости Галактики из Техасских и Бонских обзоров оценена координатная точность данного обзора, которая составила $15''$ попрямому восхождению и лучше $2'$ по склонению. Выделено несколько новых протяженных источников – кандидатов в остатки сверхновых. Новые данные по потокам существенно изменили оценку спектрального индекса для большинства из 35 остатков сверхновых ранних каталогов, попадающих в полосу обзора, что позволило пересмотреть причину происхождения некоторых из них.

Регулярное патрулирование тесной двойной системы SS433, расположенной в остатке сверхновой W50 позволило проследить переменность этого источника, в том числе во время нескольких циклов вспышечной активности. Сообщения об этих вспышках и уникальные наблюдения на пяти волнах сантиметрового диапазона инициировали новые РСДБ – измерения внутренней структуры радиоизлучения SS433, проведенные с помощью радиоинтерферометров в США и Великобритании. На Рис.7.2 изображено изменение интегрального потока этого источника в трех

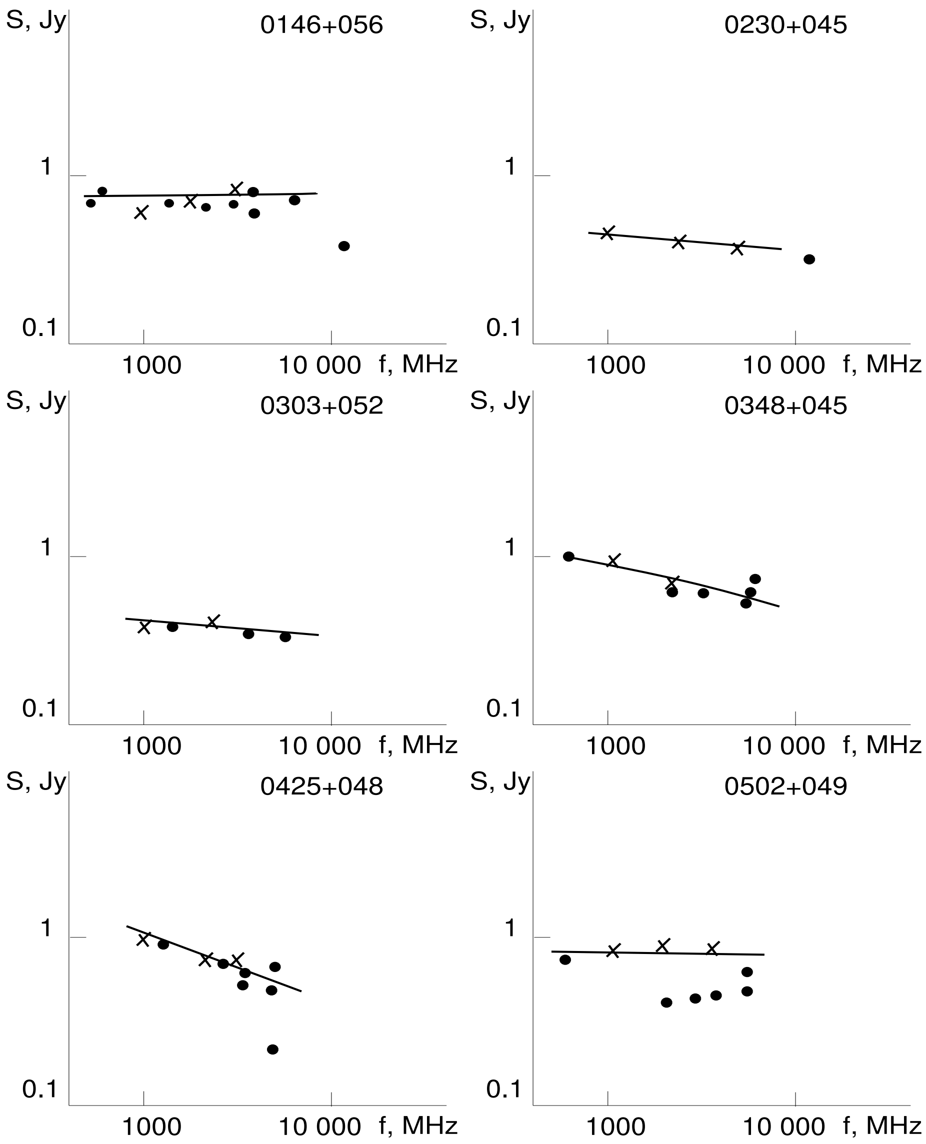

Рис. 7.1: Спектры некоторых внегалактических радиоисточников RC – каталога.

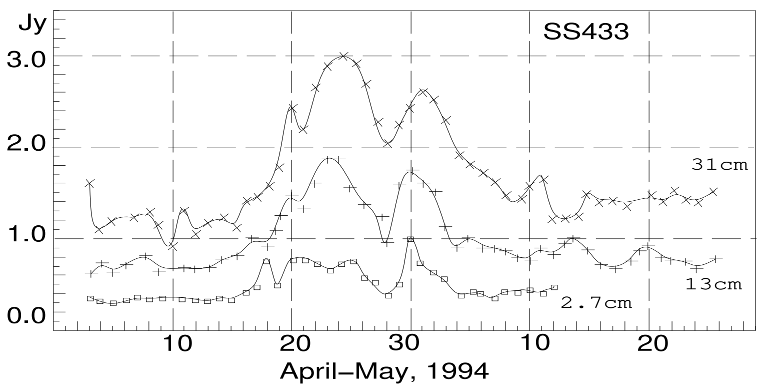

Рис. 7.2: Наблюдения вспышки SS433 в апреле – мае 1994 г.

диапазонах волн по одному из наблюдательных циклов (Трушкин, 1994б) в апреле - мае 1994 г.

Получены новые результаты многолетних патрульных измерений спектров радиоизлучения для выборки из 170 внегалактических объектов по программе исследования долговременной переменности (Ковалев и др. 1995). Спектры некоторых источников данного обзора, в том числе с выявленной на РАТАН-600 переменностью изображены на рис. 7.3. Выборка составлена из источников, имеющих РСДБ-компактные компоненты. Новые наблюдательные данные свидетельствуют в пользу морфологии объектов со структурой типа “ядро – струя – оболочка”, когда вклад излучения от ядра в сантиметровом диапазоне маскируется более сильным потоком излучения струи (ВЧ–компонента) и оболочки (НЧ–компонента спектра). Вследствие полноты выборки, практически удвоенной по сравнению с наблюдениями прошлых лет, вывод статистически справедлив для всех объектов РСДБ-обзора (Preston et al. 1985).

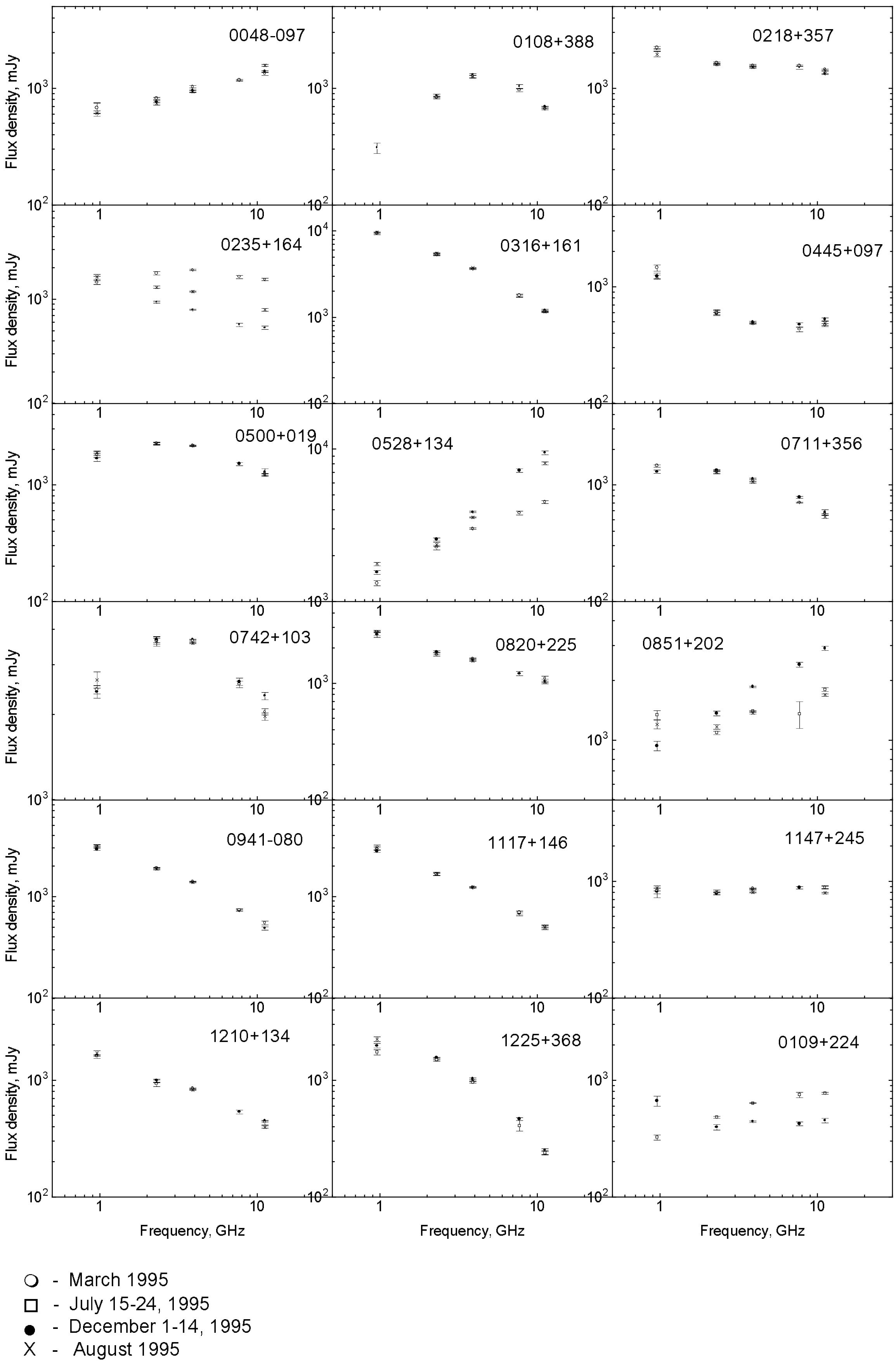

Рис. 7.3: Спектры некоторых патрулируемых радиоисточников, в том числе с обнаруженной переменностью.

Список литературы

Авдушев С.А., Голубчин Г.С., Перченок Ю.Г.: 1984, Система автоматизированного управления приводом облучателя радиотелескопа РАТАН-600. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **18**, 131–138.

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 1987 г. Исследование точности определения координат слабых объектов. Вн. отчет Спец. астрофиз. обсерв., **1/87**

Афанасьева П.М., Фомин В.А., Зверев Ю.К. и др.: 1979, Экспериментальные определения прямых восхождения меркурия на РАТАН-600 Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **11**, 226–235.

Афанасьева П.М., Мингалиев М.Г., Пожалов А.А., Фомин В.А.: 1985 Определение прямых восхождений на РАТАН-600 в режиме скольжения. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **17 Л.**, 14.

Берлин А.Б., Гассанов Л.Г., Гольнев В.Я., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н.: 1984, Эксперимент "ХОЛОД". Первый глубокий обзор неба на радиотелескопе РАТАН-600. Часть 1. Постановка задачи и выбор методики. Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв., **41**, 1–84.

Бессекерский В.А., Изранцев В.В.: 1987, Системы автоматического управления с микроЭВМ.“Наука”, 259–288.

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.

Бурсов Н.Н. (N.N. Bursov): 1996, Spectra of radio sources of the program “Cold” at the RATAN-600 radiotelescope. Astrophys. ress. (Bul. SAO), **40**, 128–164.

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.

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.

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

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.

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.

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.

Витковский В.В., Ерухимов Б.Л., Малькова Г.А., Мингалиев М.Г., Черненков В.Н.: 1989, MCOSS-Многопользовательская система поддержки наблюдений на радиометрах спошного спектра радиотелескопа РАТАН-600. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **28**, 21–24.

Витковский В.В.: 1990, Автоматизация радиоастрономических экспериментов на РАТАН-600, автореф. докл. канд. дисс., Н.Архыз, 1–29

Голубчин Г.С., Гольдшмидт С.Ф., Мучник Э.С., Нижельская Е.К.: 1987, Система управления движением каретки облучателя радиотелескопа РАТАН-600 на базе микро-ЭВМ. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **24**, 205–209.

Голубчин Г.С., Жеканис Г.В., Фурса В.И.: 1995, Система управления главным отражателем радиотелескопа РАТАН–600 третьего поколения. В кн.: XXVI радиоастрономическая конференция. Тез. докл., 18–22 сент. 1995, С.-Петербург, ИПА, с.402.

Горбачев А.А., Данилов В.И.: 1986, Исследование и разработка метода устойчивого оценивания интенсивности шумовых сигналов на фоне импульсных помех с использованием первой порядковой статистики. Отчет НИР НИРФИ № 361/1986, 1–31.

Горбачев А.А., Данилов В.И., Модеев Ю.И.: 1987, Устройство обработки шумовых сигналов на фоне помех в модуляционном радиометре. Приборы и техника эксперимента. 1987, **4**, 83–86.

Доценко А.В., Исаков А.Б., Рябов А.Ю., под ред. Рябова А.Ю.: 1994, Unix, X Window, Motif. Основы программирования. ч 1, АО "Аналитик", М., 139–192

Егорова Т.М., Желенков С.Р., Крупеченко А.И.: 1980, Служба точного времени и частоты РАТАН-600. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **12**, 156–159.

Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н.: 1973, Радиотелескопы и радиометры. "Наука", М, 416.

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.

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.

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.

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.

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

Ерухимов Б.Л.: 1988, Двухуровневый аппаратно-программный комплекс сбора и обработки данных на радиотелескопе РАТАН-600, канд. дисс., Нижн. Архыз, 1–141.

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.

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

Ерухимов Б.Л., Витковский В.В., Шергин В.С.: 1990, Потоковая обработка данных в обзорном эксперименте "ХОЛОД" на радиотелескопе РАТАН-600. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **50**, 1–15.

Иванов Л.Н.: 1979, Алгоритм оптимального автоматического Гаусс-анализа наблюдательных данных. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **11**, 213–219.

Кнут Д.:1978, Искусство программирования для ЭВМ. Сортировка и поиск. Т. 3, пер. с англ., "Мир", М., 101–103.

Ковалев Ю.А., Берлин А.Б., Нижельский Н.А., Ковалев Ю.Ю., Бабак С.В., Боташев А.М., Мингалиев М.Г., Амирханян В.А.: 1995, Мгновенные спектры радиоизлучения в диапазоне 1–11 ГГц выборки 170 компактных внегалактических объектов в 1995 году. XXVI Радиоастрономическая конференция. Тезисы докл. 18-22 сент. С-Петербург, 35–36.

Кононов В.К.: 1991, Архив наблюдательных данных САО АН СССР. Общая методология проектирования. Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв., **67**, 15–28.

Корнильев К.Г., Шидяев Е.И.: 1992, под ред. Никитина В.Д., UNIX: Сетевые возможности, в сб. ТЭК т.18 - М., "ЭКО ТРЕНДЗ", 1–209.

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

Липовка Н.М., Стоцкий А.А.: 1972, О точности измерений координат при помощи антенны переменного профиля. Изв. ГАО, **188**, 238–242.

Львов В.Н.: 1980, О совместном распределении дифференциальных прямых восхождений и склонений радиоисточников на РАТАН-600. Астрон. журн., **57**, № 3, 649–652.

Мингалиев М.Г., Петров З.Е., Филипенко В.И., Черков Л.Н.: 1985, Метод "скольжения" на радиотелескопе РАТАН-600. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **19**, 76–81.

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

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.

Овчинников В.В.: 1988, под ред. Домрачева В.Г., Архитектура распределенных информационно -вычислительных микропроцессорных систем (Микропроцессорные БИС и их применение), - М.: Энергоатомиздат, 128.

Парийский Ю.Н., Шиврис О.Н.: 1972, Методы радиоастрономического использования РАТАН-600. Изв. ГАО, **188**, 13–39.

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.

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.

Парийский Ю.Н.: 1995, РАТАН-600: борьба за место на "Главной последовательности" радиотелескопов. Отчет Спец. астрофиз. обсерв.(САО) 1993 – 1994 гг., 49–50.

Патрик Э.: 1980, пер. с англ. под ред. Левина Б.Р., Основы теории распознавания образов. "Советское радио", М., 174–181

Пинчук Г.А., Стоцкий А.А.: 1978, Использование автоколлимационного метода для повышения точности координатных измерений на РАТАН-600. Астрофиз. иссл. (Изв. САО), **10**, 132–138.

Соболева Н.С., Темирова А.В., Пятунина Т.Б. и др.: 1986, Повышение точности и эффективности наблюдений на РАТАН-600 с помощью режима неподвижного фокуса. Препр. Спец. астрофиз. обсерв., **32 Л.**, 22

Татарский В.И.: 1976, Распространение волн в турбулентной атмосфере. "Наука", М, 548.

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.

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

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

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

Чененков 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.

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.

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

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.

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.

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.

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

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

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

Черненков (Chernenkov V.N.): 1996в, A spike immunity method of digital integrating radiometer signals. Astrophys. ress. (Bul. SAO), **41**, 148–153

Шишова Т.Д., Мингалиев М.Г.: 1980, Межпланетные мерцания радиоисточника 3C 279 по наблюдениям на РАТАН-600. Письма в АЖ, **6**, № 4

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.

Douglas E.Comer.: 1991, Interworking with TCP/IP, vol. 1: Principles, Protocols, and Architecture, 2nd ed., Prentice-Hall, 550.

Downing T., Meyer J.: 1996, Java Virtual Machine, O‘Relly & Ass.Inc., 300

Fix E. Hodges J.L., Jr.: 1951, Discriminatory Analysis; Nonparametric Discrimination: Consistency Properties, USAF School of Aviation Medicine Project Number 21-49-004, Rep. **4**, Randolph Field, Texas

Grand M.: 1996, Java Language Reference, O‘Relly & Ass.Inc., 250

Harrison M.: 1995, The Usenet Handbook, O‘Relly & Ass.Inc., 388

J.L. Hodges, Jr., and E.L. Lehmann: 1967, On medians and quasi-medians. J. Amer. Statist. Ass. **62**, 926–931.

Jacobson V.:1990 Compressing TCP/IP Headers for Low-speed Serial Links. RFC 1144., 46.

Nowicki B.: 1989, NFS: Network File System Protocol specification. RFC 1094, Sun Microsystems Inc., 27.

Peter W.Gofton.: 1991, Mastering UNIX Serial Communications, SYBEX, 307.

Postel J.: 1980, User Datagram Protocol. RFC 768, USC/Inf. Sci. Inst., 3.

Postel J.: 1981, Transmission Control Protocol. DARPA Internet Program Protocol Specification. RFC 793, USC/Inf. Sci. Inst., 85.

Postel J., Reynolds J.: 1985, File Transmission Protokol (FTP). RFC 769, USC/Inf. Sci. Inst., 68.

Preston R.A., Morabito D.D., Villiams J.G. et al.: 1985, A VLBI survey at 2.29 GHz. Astron. J., **90**, № 9, 1599–1603.

Rejnolds J.: 1988, BOOTP Vendor Information Extensions. RFC 1084. USC/Inf. Sci. Inst., 8.

Rydbeck J., Hjalmarson, Rydbeck O.E.H.: 1985, Distribution and kinematics of CO in the spiral galaxy M51. Astron. and Astrophys., **144**, 282–294.

Sasaki T., Kosugi G., Takata T., Kawai J.A.: 1995, Observation Scheduling Scheme of the SUBARU Telescope. SUBARU Telescope Tech. Rep., Tokyo, **47**, 4.

Sheifler W. R.: 1987, X Window System Protocol, version 11. RFC 1013, Mass. Ins. of Tech., 101.

Stevens W.R.: 1990, UNIX Network Programming, Prentice-Hall, 783.

Sun Microsystems Inc.: 1988, RPC: Remote Procedure Call Protocol Specification. Ver. 2. RFC 1057, 25.

Приложения

.1 Описание FTP библиотеки.

Рассмотрим отдельные функции из библиотеки, позволяющие регистратору соединиться с нужным архиватором, обменяться с ним файлами, и выполнить на нем необходимые автономные процедуры по обработке данных.

1. Интегрированная функция окрытия файла на удаленном компьютере

   FILE * FtFullOpen (char *filename, char *mode)

   возвращает указатель на структуру типа FILE (аналогично обычному open()); filename - символьная строка, содержащая четыре поля, разделенных двоеточием:

   "host:user:password:file",   где:

   - host - сетевое имя удаленного компьютера,
   - user - логическое имя пользователя, которому принадлежит открываемый файл,
   - passwd - пароль этого пользователя,
   - file - полное (с указанием пути) имя открываемого файла.
   - mode - один из символов "r","w" или "a" определяющих способ открытия файла на чтение, запись или добавление файла аналогично обычному open().

   Если filename соодержит одиночный символ "-", то в качестве открытого файла используется стандартный ввод stdin. В случае неудачного выполнения функции возвращается нулевое значение. Код ошибки errno можно получить стандартным системным запросом.

2. Интегрированная функция закрытия файла на удаленном компьютере

   STATUS FtFullClose (FILE *)

   завершает операции по работе с файлом, открытым по FtFullOpen и разрывает связь. Эта функция, а также другие типа STATUS, возвращает численное значение трехзначного статуса выполнения FTP запроса из списка положительных ответов согласно стандарта RFC 640 и RFC 959, или отрицательное значение при ошибках.

   Функции FtFullOpen и FtFullClose позволяют открыть файл на любом компьютере в сети (в том числе и на локальном, если указать его имя) и оперировать с ним с помощью стандартных функций чтения и записи в файл: read(),write(), getchar(),putchar() и т.п.

   Следующая группа функций более низкого уровня, они позволяют последовательно выполнить операции соединения, регистрации на удаленном компьютере и получить доступ к нужным каталогам на диске.

3. STATUS FtConnect (FTP **ftp, char *hostname) возвращает положительный статус в случае успешного соединения с удаленным компьютером hostname и отрицательный в противном случае.

   Для выполнения этой функции и дальнейшей работы с удаленным компьютером требуется указать адрес указателя на структуру типа FTP:

```
typedef int STATUS;
typedef struct
  {
   int sock;   /* номер FTP порта */
   FILE *data;   /* файл данных "привязанный" к FTP - каналу */
   char mode;   /* тип передаваемых данных "A"- ascii или "I" - binary */
   int errno;   /* код ошибки */
   int ch;   /* номер FTP канала */
   STATUS (*func)();   /* статус завершения операции с каналом */
   STATUS (*debug)();   /* статус завершения отладочной функции */
  } FTP;
```

4. STATUS FtLogin (FTP **ftp, char *user, char *passwd, char *account) - интегрированная функция логирования на удаленном компьютере использует для своего выполнения три встроенные функции:

   STATUS FtUser (FTP *ftp,char *username) - посылка имени пользователя usernsme,

   STATUS FtPassword (FTP *ftp,char *password) - его пароля passwd и

   STATUS FtAccount (FTP *ftp,char *account) - регистрационного номера.

   Эти функции, естественно, можно использовать и по отдельности, все они возвращают положительное значение статуса при правильном завершении операций. Следует отметить, что большинство операционных систем не требует account, и вместо адреса этой строки нужно поставить NULL. Этот параметр введен для совместимости с прочими сетями. Определить необходимость введения account можно по результату выполнения функции FtUser, которая возвращает 332, если account нужен или 331, если нет. При ошибках возвращается отрицательное значение. Возвращаемое значение 230 означает, что указанного зарегистрированного пользователя в системе нет, однако соединение не разорвано и можно сделать попытку с другим именем.

5. Функция char * FtPwd (FTP *ftp) возвращает указатель на строку с именем текущего каталога на удаленном компьютере. Длина строки ограничена 255 байтами.

6. Функция STATUS FtChdir (FTP *ftp,char *directory) позволяет перейти в указанный каталог directory.

7. Функция STATUS FtMkdir (FTP *ftp,char *directory) создает новый каталог.

8. Функция STATUS FtDir (FTP *ftp,char *outfile) записывает широкий

   листинг текущего каталога удаленного компьютера в файл с именем outfile на местном компьютере. Например, если *outfile == "/dev/tty", то каталог распечатается на терминале.

9. Функция STATUS FtDirFull (FTP *ftp,char *pater,char *outfile) аналогична предыдущей, но выдает список файлов в соответствии с образцом pater.

10. Функция STATUS FtBye (FTP *ftp) закрывает FTP соединение.

    Следующая группа функций позволяет оперировать с файлом данных, спецификация которого определяется структурой FTP.

11. Функция STATUS FtRm (FTP *ftp, char *file) удаляет файл file на удаленном компьютере.

12. Функция STATUS FtType (FTP *ftp, char type) устанавливает тип передаваемых данных. Допустимые значения для type: 'A' - ascii, 'I' - binary (image), 'E' - EBCDIC.

    Аналогично функции

13. STATUS FtAscii (FTP *ftp) устанавливает тип данных ASCII и

14. STATUS FtBinary (FTP *ftp) устанавливает тип IMAGE.

.2 Пример пользовательской программы

```
/*****************************************************************/
/* fcp.c: copy files from HOST1 to HOST2 */
/* Vladimir N.Chernenkov <vch@sao.ru>, N.Arkhyz, feb 1994 */
/* We usage standard FTP protocol with ftlib.a */
/* if input-file name eq "-" then use "stdin" */
/*****************************************************************/

#include "ftlib.h"

main( a, b)
int a;
char **b;
{
 FILE *out,*in;
 int c;
   if ( a != 3 ) {
     fprintf(stderr,
     "Usage: %s [host1:user:passwd:]input-file [host2:user:passwd:]out-file \n", b[0]);
     exit(1);
    }
  if ((in=FtFullOpen(b[1],"r"))==NULL) { perror(b[1]); exit(1);}
  if ((out=FtFullOpen(b[2],"w"))==NULL) { perror(b[2]); exit(1);}

  while((c=getc(in))!=EOF) putc(c,out);
  FtFullClose(in);
  FtFullClose(out);
}
```

.3 Возвращаемые коды для FTP запросов.

- 200 команда выполнена правильно
- 500 синтаксическая ошибка, команда не распознана, [возможно, что командная строка слишком длинна]
- 501 синтаксическая ошибка в параметрах или аргументах
- 202 команда неосуществима, излишняя для конкретной машины
- 502 команда неосуществима
- 503 неправильная последовательность команд
- 504 команда неосуществима для указаного параметра
- 110 рестарт маркерного ответа в виде MARK yyyy = mmmm, где yyyy - идентификатор потока данных пользовательского процесса, mmmm - соответствующий идентификатор потока на сервере, обязательны пробелы между идентификаторами и знаком =.
- 211 системный статус, или ответ системной подсказки
- 212 статус работы с каталогом
- 213 статус работы с файлом
- 214 сообщение подсказки (используется сервером для определенных нестандартных команд, предназначено для экранного вывода)
- 120 готовность сервиса через nnn минут
- 220 готовность сервиса для нового пользователя
- 221 сервис закрыт для TELNET соединения (пользователь уже вышел из системы)
- 421 сервис отсутствует, закрытие TELNET соединения [для некоторых команд этот ответ означает, что хотя сервис известен, но в данный момент закрыт]
- 125 соединение для данных уже открыто; передача начата
- 225 соединение для данных открыто; передача данных не идет
- 425 невозможно открытие соединения для данных
- 226 закрытие соединения для данных; запрос на файловую операцию выполнен (например, передача файла или сброс передачи файла)
- 426 соединение оборвано, закрыто; передача прервана
- 227 установка [активная, пассивная] моды
- 230 пользователь зарегистрирован успешно

- 530 не зарегистрирован
- 331 имя пользователя нормальное, нужен пароль
- 332 нужен дополнительный параметр (account) для регистрации
- 532 нужен дополнительный параметр (account) для запоминания файлов
- 150 статус работы с файлом в порядке для открытия соединения для данных
- 250 запрос на файловую операцию выполнен и завершен
- 350 запрос на файловую операцию в процессе ожидания дальнейшей информации
- 450 запрос на файловую операцию не принят: файл отсутствует или недоступен
- 550 запрос на операцию не принят: файл занят
- 451 запрос на операцию прерван: локальная ошибка в вычислении
- 452 запрос на операцию не принят: системный конфликт в размере места для записи
- 552 запрос на файловую операцию прерван: выход за пределы выделенного места для записи (для текущего каталога или согласно умолчаниям в системе)
- 553 запрос на операцию не принят: недопустимое имя файла
- 354 старт ввода письма; конец по последовательности $<CR><LF>.<CR><LF>$