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

В.Н. Черненков

Special Astrophysical Observatory of the Russian AS, Nizhnij Arkhyz 357147, Russia

Аннотация. Предлагается модернизированный вариант комплекса систем регистрации наблюдательных данных и управления радиометрами облучателя №1 – "Continuous", основой которого является персональный компьютер с процессором 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 позволили получить весьма надежные средства для распределенного получения и хранения наблюдательных данных, с помощью которых 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 программные средства графического отображения наблюдательных данных в реальном времени. Использование технологии Internet - TCP/IP позволяет по необходимости организовать удаленный режим сбора наблюдательных данных под управлением компьютеров внешних организаций. Приводятся результаты экспериментальных наблюдений.

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 работе Черненкова (1995а). Основой этого комплекса является локальная информационная сеть РАТАН-600, объединяющая вычислительные ресурсы около двух десятков IBM – совместимых персональных компьютеров. 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. Хотя распределенная сетевая среда для сбора на РАТАН-600 позволяет в полной мере реализовать возможности описывае-

Таблица 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 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

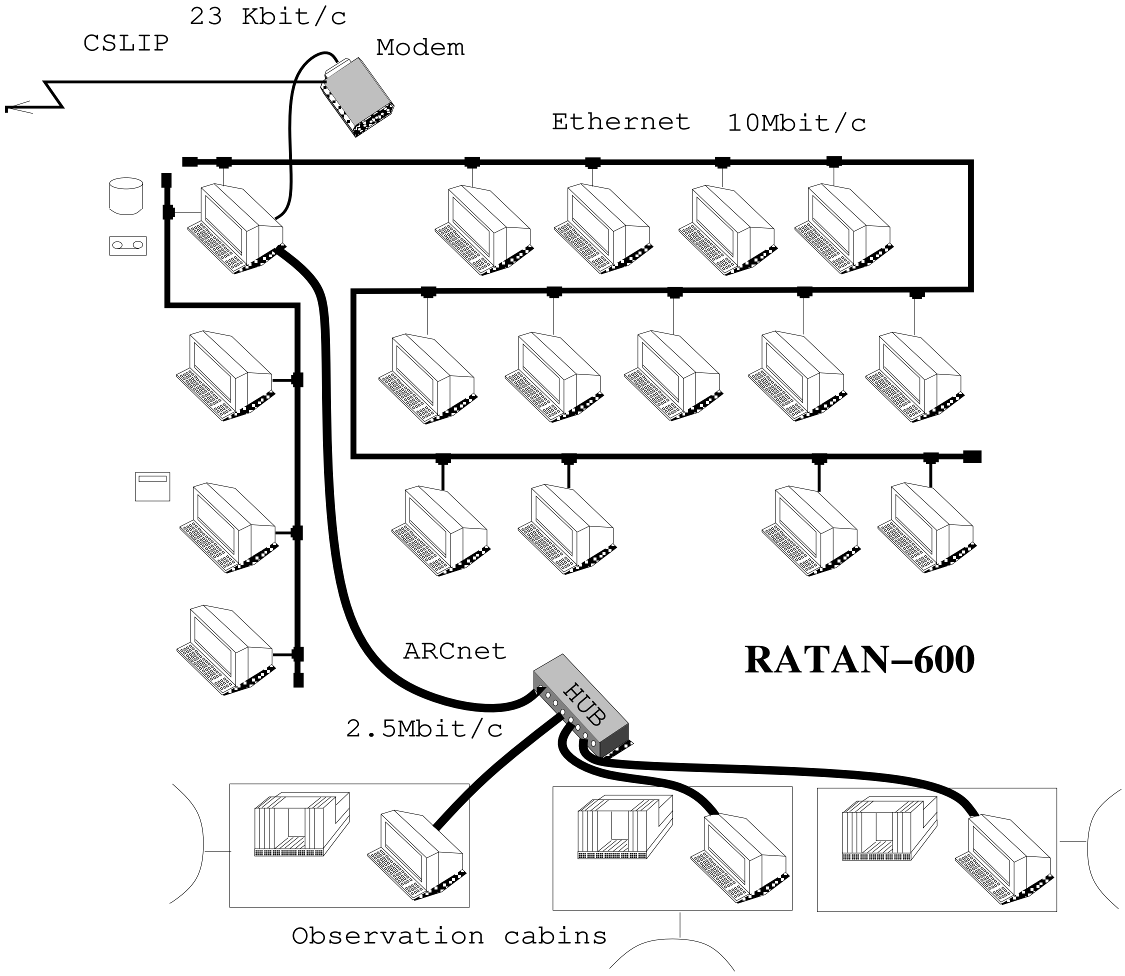

Рис. 1: Локальная сеть РАТАН-600

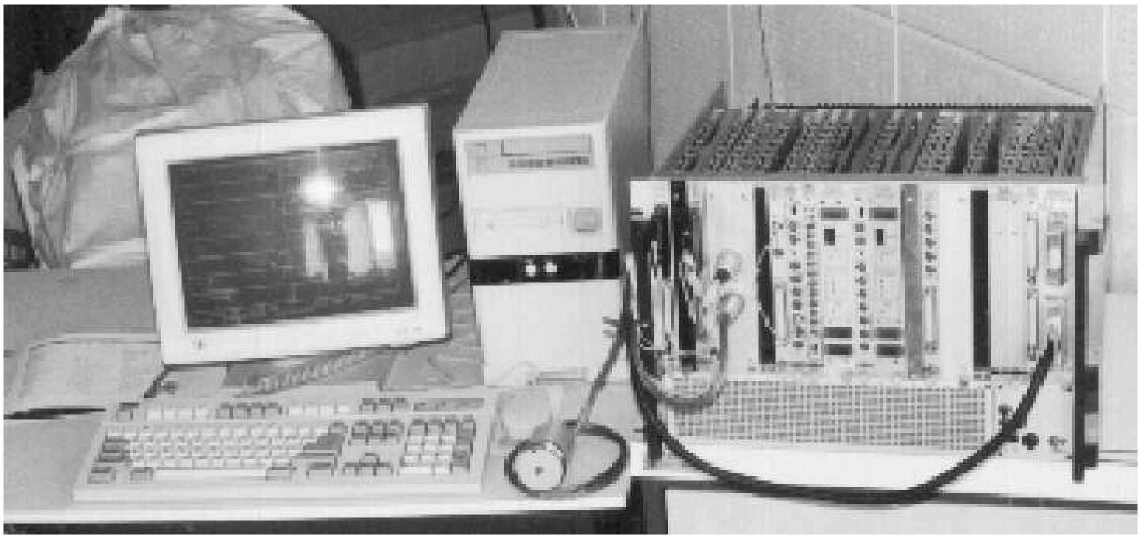

Рис. 2: Комплект аппаратуры комплекса для облучателя

мого 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.2. 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.
- 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.

[1]Производство - МААР, г.Долгопрудный.

[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.

- Конвертер напряжений питания 058А.

Структурные схемы систем сбора и управления кареткой изображены на рис.3 и рис.4 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. 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.

2 Программное обеспечение

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 (Черненков, 1995) 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. Схематически программные компоненты отображены на рис.5. Исходный текст ядра Linux был дополнен 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:

[5] Internet Protocol

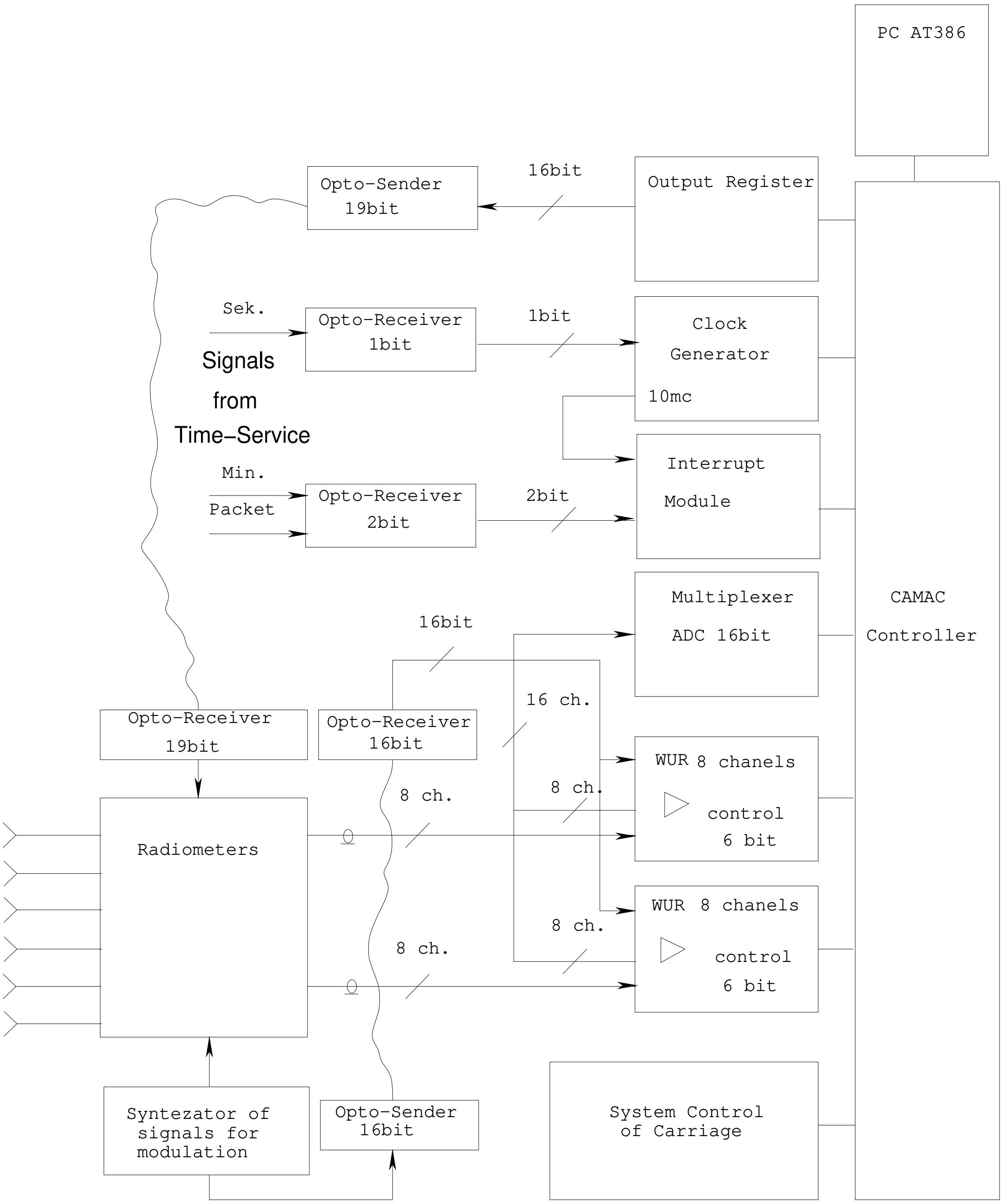

Рис. 3: Структурная схема системы сбора и управления радиометрами

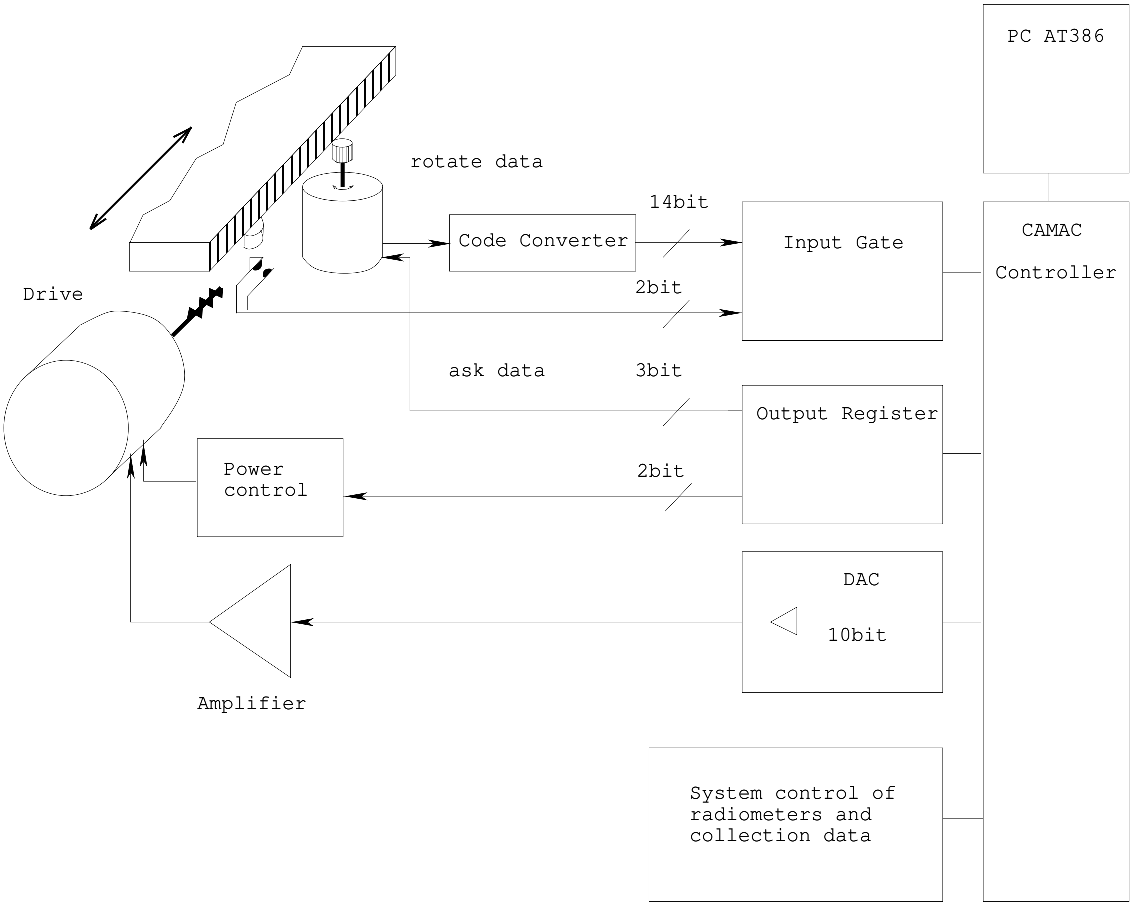

Рис. 4: Структурная схема системы управления кареткой

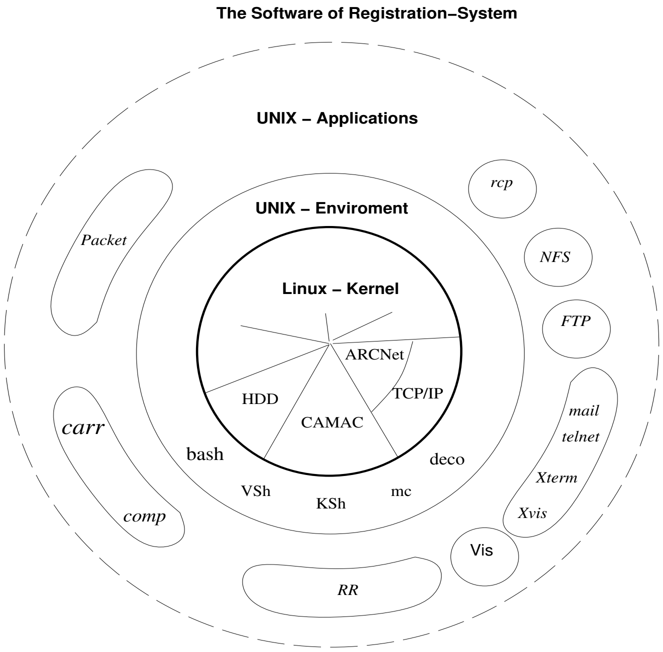

Рис. 5: Програмное обеспечение системы сбора.

- 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 работе Черненкова и др.,(1995б). В соответствии с технологией наблюдательного процесса (Черненков, 1995г), результатом работы первых двух программных продуктов будет создание 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[6].

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[7]. 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 с постоянной времени, адекватной частоте опроса[8]. 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 (Черненков, 1995а) 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

[6] Network File System

[7] 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.

[8] Постоянная времени RC-цепочки 0.05 сек.

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.

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. 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.6. 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.

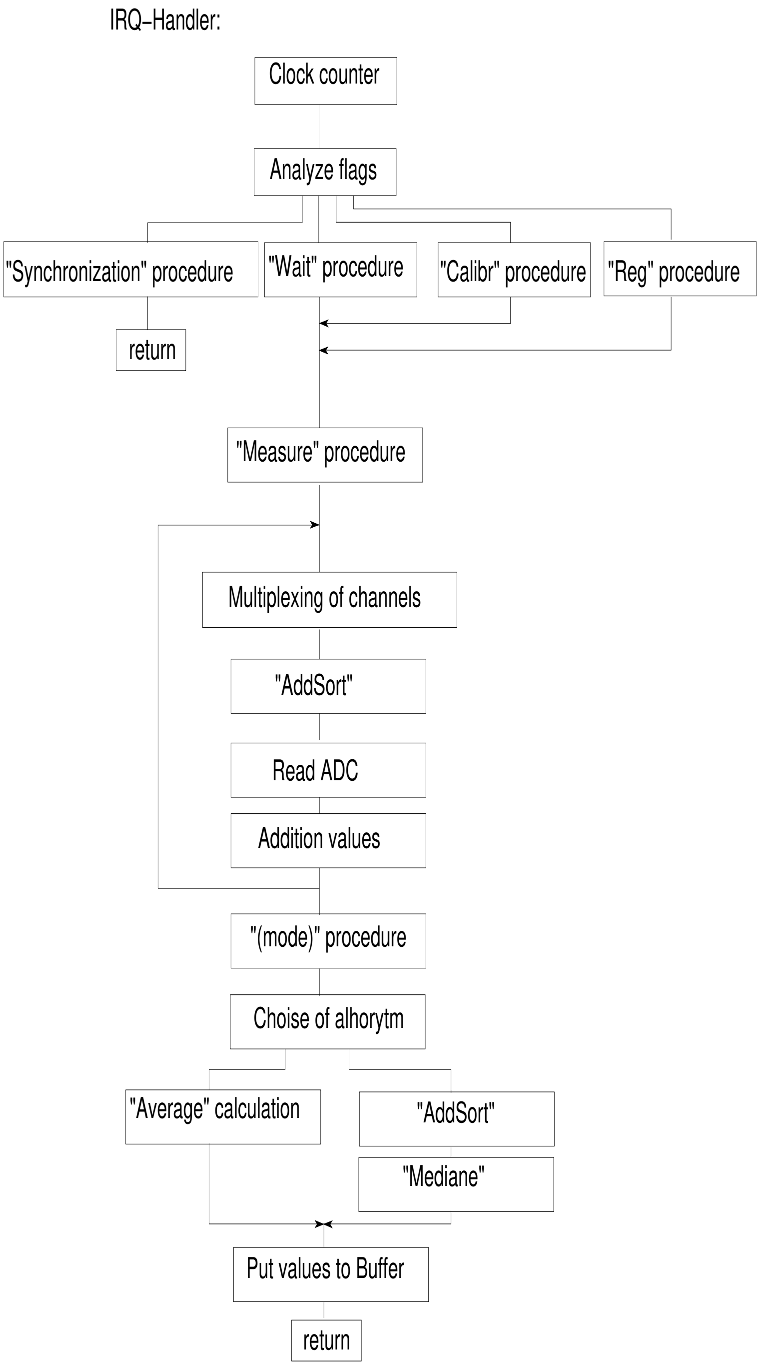

Рис. 6: Подпрограмма обработки прерываний от таймера КАМАК.

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[9] вызывается аддитивная сортировка (Кнут, 1978) ранее считанных данных внутри заданного “окна” осреднения. То есть эта процедура оптимизирована таким образом, что не требует дополнительных затрат процессорного времени. Кроме сортировки после опроса АЦП производится линейное осреднение данных каждого канала. Тем самым в процедуре считывания предусмотрена возможность получения “робастных” (Ерухимов и др., 1988) оценок регистрируемых данных.

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 (Черненков, Ерухимов, 1990) 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 осреднения 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.

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 “звездного” времени обеспечивается централизованной службой РАТАН-600. 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.

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

Основным каналом управления сбором наблюдательных данных является файл пакета заданий, формируемый программным диспетчером из комплекса средств подготовки наблюдений (Черненков, 1995г). 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[10].

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 разаботана методика устойчивой оценки калибровочных сигналов, подробно описанная в работе Витковского 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[11].
- 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.

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

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

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 (Черненков и др., 1995б). 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 2-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 Верходанова 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 [12] в архивную область жесткого диска сервера РАТАН-600. Программа написана с использованием универсальной FTP – библиотеки (Черненков, 1995а). 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.

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 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. 3). Програм-

[12] File Transmition Protocol

ма carr построена с использованием системной функции fork(), позволяющей разделить ее на две копии и выполнить, соответственно, два раза. Один раз, сразу после запуска, каретку устанавливает "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[13] и сохраняется значение начала отсчета[14] так же, как и в системах с многоступенчатыми датчиками и механическими редукторами (Авдушев и др., 1984; Голубчин и др., 1987).

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 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().

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.

[13] 326 бит на мм длины

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

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.

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 работе Черненкова (1995д) и следующей статье данного препринта.

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.

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 НМС1201 и МЕРА685).

На рис.8 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

Таблица 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

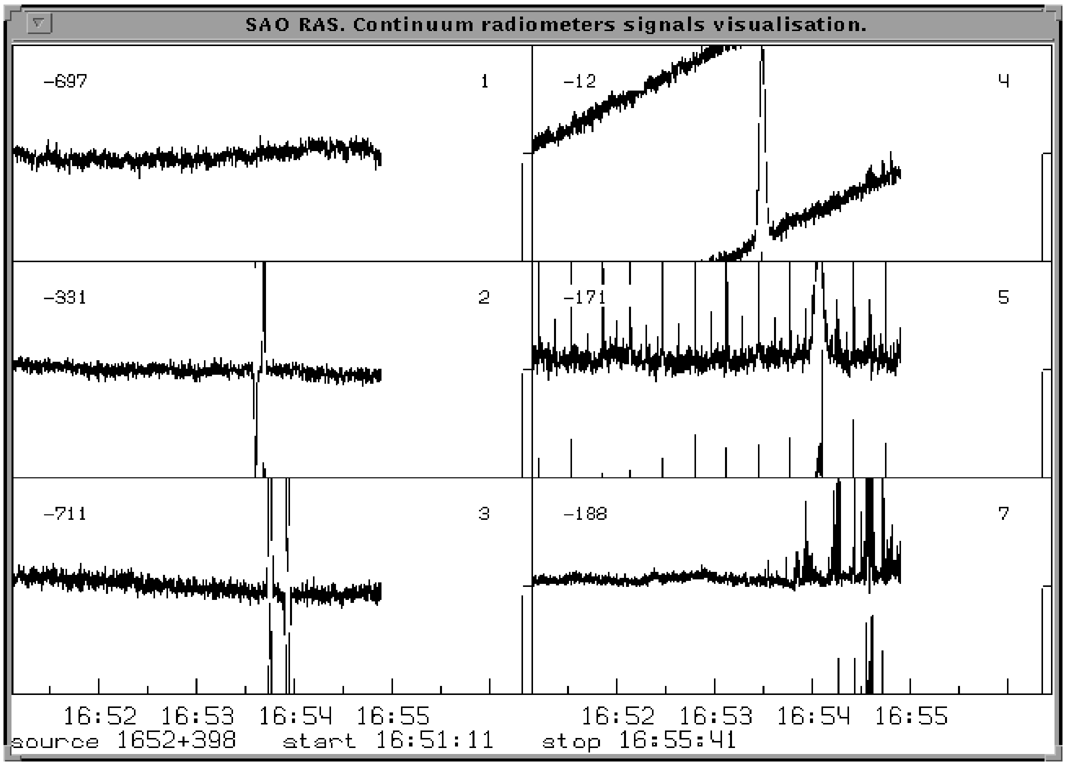

Рис. 7: Экран рабочей станции во время наблюдения.

Рис. 8: Экран рабочей станции при обработке экспериментальных наблюдений.

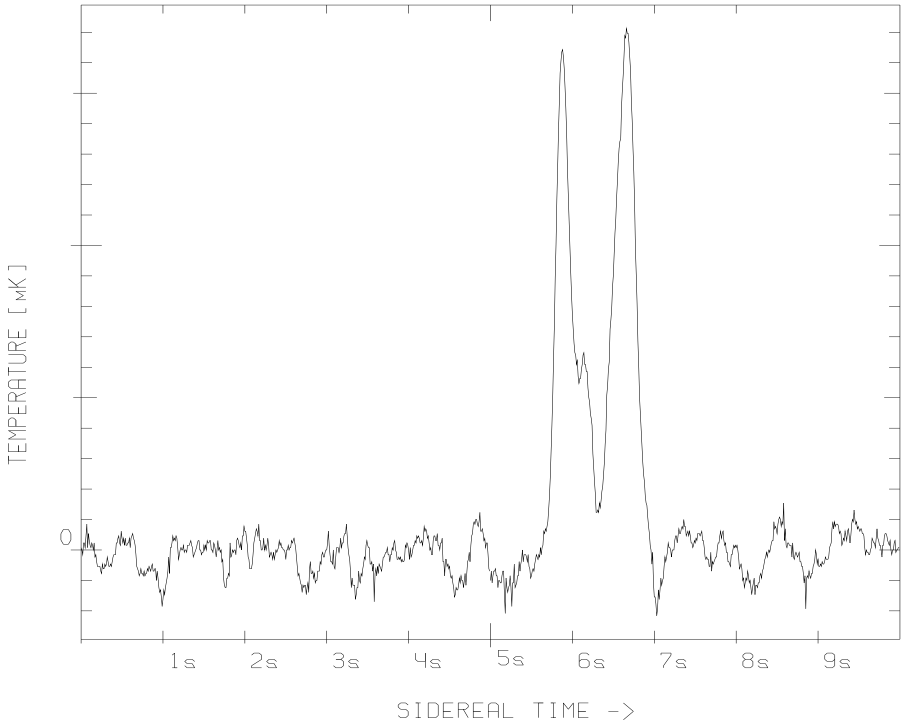

Рис. 9: Запись помехи с повышенным временным разрешением

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 образом появилась возможность расширения типа наблюдательных программ (сверхбыстрых переменностей, радиопульсаров). Так, на рис.9 показана запись импульсной помехи (от радиолокатора) с временным разрешением 0.01 с.

Благодарности. Автор благодарит Мингалиева М.Г, Нижельского Н.А., Трушкина С.А. и Фридмана П.А. за ценные советы и оказанную помощь по внедрению и тестированию результатов разработки.

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

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.

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

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.

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.

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

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., 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.

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

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

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

Черненков В.Н.,Верходанов О.В., Витковский В.В., Малькова Г.А., Мингалиев М.Г., Пляскина Т.А., Трушкин С.А., Цыбулев П.Г.: 1995б, MCOSS-U – мобильная многопользовательская система поддержки наблюдений на радиометрах непрерывного спектра радиотелескопа РАТАН-600. Руководство пользователя. Отч. Спец. астрофиз. обсерв., **251**, гл.2, 10-23.

Черненков В.Н., Цыбулев П.Г.: 1995в, Многопользовательская система сбора наблюдательных даных для радиометров непрерывного спектра на РАТАН-600, Отч. Спец. астрофиз. обсерв., **251**, гл.3, 24-31.

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

Черненков В.Н.: 1995д, Визуализация данных в распределенных системах сбора. Отч. Спец. астрофиз. обсерв., **251**, гл.4, 32-37.