

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
имени
П.Н.Лебедева



Ф И А Н

препринт

13

В.В.ДРОНОВ

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ
РСДБ ДАННЫХ НА ЖЕСТКИХ ДИСКАХ**

МОСКВА 2003

1. Введение

История развития радиоастрономии насчитывает более 60 лет. Много новых научных результатов за этот период было получено после улучшения регистрирующей аппаратуры: снижения уровня шумов, увеличения площади антенн и т.д. В настоящее время их диаметры уже превышают сто метров и значительное увеличение размеров антенн невозможно из-за ограничений в прочности конструкционных материалов. Для изучения структуры Вселенной необходимо искать новые радиоисточники с меньшей мощностью и на все возрастающих расстояниях от Земли, что приводит к пропорциональному снижению амплитуды их сигналов на антенне. На практике суммарная амплитуда шумов антенн, усилителей, регистрирующей электроники сейчас более чем в 10 раз превышает уровень сигналов от радиоисточников. Типичная эффективная температура системы регистрации современного [1] радиотелескопа составляет 120К (при $\lambda=1.3\text{cm}$). Снижение амплитуды шумов ниже этого уровня возможно, но это связано с большими расходами на конструирование и эксплуатацию аппаратуры. Чувствительность измерений на радиотелескопах можно повысить [2] при условии увеличения полосы частот радиосигнала и соответственно числа независимых измерений в единицу времени с последующим усреднением конечных результатов по выборке данных большей длины. Согласно центральной предельной теореме [3] - отношение среднего значения измеряемой величины к его дисперсии растет пропорционально корню квадратному из числа статистически независимых измерений. Это утверждение применимо для широкого класса распределений с конечной дисперсией (мощностью) сигнала. Поэтому для повышения чувствительности измерений в два раза - необходимо увеличить полосу частот, скорость записи и объем хранимой информации в четыре раза.

Для повышения качества результатов экспериментов широко применяются два основных способа. а) рост полосы пропускания сигнала - каждая новая система регистрации данных до сих пор отличалась от предыдущей увеличением полосы в два раза (Марк 3, VLBA, Марк 4). Такая же тенденция сохраняется сейчас и ожидается

в будущем: как для наземных, так и космических экспериментов планируется достичь [4] повышения отношения сигнал/шум за счет расширения полосы пропускания регистрирующей аппаратуры и увеличением числа разрядов цифрового кодирования сигналов; б) результаты измерений можно еще дополнительно улучшить при использовании техники РСДБ (радиоинтерферометр со сверхдлинной базой), т.е. за счет увеличения числа антенн и разнесения их на расстояния порядка размера Земли. Очевидно, что все приведенные способы повышения чувствительности измерений требуют увеличения скорости и объема записи данных, надежности их хранения, а также снижения размеров и стоимости таких систем. Кроме того, очень важное требование к системе регистрации и воспроизведения данных – обеспечить возможность обработки информации в режиме близком к реальному времени. Поэтому воспроизведение данных должно осуществляться со скоростью не меньшей, чем при записи.

2. Характеристики существующих систем регистрации

В настоящее время в радиоастрономии используются системы записи на магнитных лентах со скоростями: 128 Мбит/с (*S2*), 256 Мбит/с (*VLBA*), 512 Мбит/с (*Mark 4*). В 2000 году был принят новый стандарт на *VLBI* регистрирующую аппаратуру - *VSI-H* [5], который устанавливает для вновь разрабатываемых *VLBI* систем регистрации минимальную скорость приема информации равной 1024 Мбит/с, с возможным ее увеличением до 2048 и 4096 Мбит/с. До настоящего времени данные в длительных экспериментах на ускорителях, космических аппаратах, радиотелескопах обычно записывались на нескольких высокоскоростных ленточных магнитофонах с высокой плотностью, общая стоимость которых обычно превышает 35000\$ (например, системы *S2*, *Mark 4*, *S3*). Однако, магнитные ленты имеют ряд известных недостатков: последовательный доступ к записям данных (чтение из нулевой позиции (N+1) отрезка данных возможно лишь после чтения всех предыдущих N записей) снижает скорость многократного чтения с произвольной адресацией; высокая стоимость эксплуатации магнитофонов из-за сложности их

технического обслуживания и настроек; относительное количество ошибок при записи - воспроизведении, как правило, превышает уровень 10^{-5} (для дисков это значение меньше 10^{-6}).

Значительный прогресс в технологиях и производстве персональных компьютеров предоставляет возможность уже сегодня практически записывать данные в физических экспериментах и хранить их на магнитных дисках. При этом скорость записи и воспроизведения превышает 20 МБ/сек на одном диске, а полный ее объем – 200 ГБ. Кроме того, параллельная запись информации на несколько жестких дисков, например с помощью новых RAID контроллеров, позволяет дополнительно увеличить скорость записи на одном компьютере до 300 МБ/сек, а ее объем до 3 ТБ. Использование съемных дисков увеличивает суммарный объем записи в сотни раз, что делает возможным практическое их применение в современных информационных системах.

Стоимость хранения данных на жестких дисках постоянно снижается и становится менее, чем 1\$/ГБ, что очень важно для продолжительных экспериментов. Предпочтительнее при этом использовать IDE диски, поскольку их объем больше, а стоимость примерно в 2 раза меньше, чем у SCSI дисков.

В настоящее время сразу несколько научных групп пытаются разработать и предложить новые системы записи информации для физических экспериментов. Ниже приводится краткое описание двух завершенных в конце 2002 года разработок (США (Haystack) [6] и Финляндия (Metsahovi) [7]). В тексте статьи несколько подробнее рассмотрены характеристики американской системы Марк 5 [6,8] поскольку она стала первой в мире дисковой системой записи данных с *РСДБ* аппаратуры и имеет на данный момент наибольшее быстродействие.

В мае 2000 года в Haystack обсерватории (США) был выработан основной набор требований, которым должна удовлетворять новая дисковая система записи:

- минимум скорости передачи данных 1024 Мбит/с;
- проект должен базироваться на новейших компьютерных подсистемах и компонентах без дополнительной модификации;

- модульный, легко дополняемый по мере становления доступной улучшенной и более дешевой промышленной технологии;
- стабильная работа, низкая стоимость технического обслуживания;
- совместимость, способность взаимодействовать с существующими *Mark 4* и *VLBI* системами и корреляторами, а также поддержка требований нового стандарта **VSI – Н** [5]), в качестве интерфейса с *РСДБ* системами;
- гибкость, для поддержания электронной передачи данных по сети (*e-VLBI*), так и компьютерной обработки данных;
- простая транспортабельность;
- минимум 24-часовая автономная работа со скоростью 1 Гбит/с;

3. Система Марк 5P

3.1. Используемое оборудование

В марте 2001 года в Haystack Обсерватории США был создан первый демонстрационный образец дисковой системы записи информации со скоростью 512 Мбит/с (*Mark 5P*) на основе следующего оборудования [6]: Стандартный PC в коммерческом исполнении с системной платой АВIT VX133, процессором Pentium 3 (800 MHz), оперативной памятью 256 Мбайт; Стандартная плата сопряжения HPDI32 для цифрового ввода - вывода с 32-х разрядной шиной и тактовой частотой 20 MHz ; ECL совместимый встроенный FIFO буфер объемом 1 Мбайт; Плата Boulder Instruments StreamStor 816 (multiple-IDE disc interface card), поддерживающая до 16 IDE дисков с максимальной скоростью записи до 800 Мбит/с.

Обе платы сопряжения General Standards и StreamStor разработаны так, чтобы действовать как master или slave устройства на PCI шине, что позволяет выполнять прямую передачу данных от одной платы к другой без запоминания в ОЗУ компьютера и делает ее скорость близкой к максимальной пропускной способности PCI шины 32бит/33МГц - 132 МБ/С.

Для регистрации данных интерфейс 32-разрядной цифровой платы ввода-вывода был соединен непосредственно с дифференциальным выходом (уровни ECL) форматера *Mark 4*. Поскольку *Mark 5P* непосредственно записывает выход форматера *Mark 4*, включая биты

проверки на четность, фактическая скорость записи в 9/8 раз больше скорости передачи данных *VLBI*.

Интерфейс ввода - вывода GS при воспроизведении был непосредственно связан с *Mark 4* модулем - вместо *Mark 4* лентопротяжки. Для синхронизации данных с коррелятором их скорость воспроизведения контролировалась программируемым синтезатором. Эта демонстрационная система смогла записать в марте 2001 года *VLBI* данные со скоростью 576 Мбит/с от *Mark 4* форматера на массиве из 16 дисков, но воспроизводила их лишь на скорости 288 Мбит/с.

3.2. Программное обеспечение

Программное обеспечение *Mark 5P* было разработано фирмой Boulder Instruments (BI) для операционной системы (ОС) Windows 98 и включает четыре функции:

Запись - начинает запись с начала устройства (носителя).

Приобщить - приобщает запись к концу существующей записи.

Воспроизведение - воспроизводит, начиная с указанной байтовой позиции.

Загрузка данных в файл - начиная с указанной позиции байта, загружает указанное количество данных в стандартный файл ОС.

Все 32 трека всегда пишутся и воспроизводятся. Запись и воспроизведение контролируется внешними синхроимпульсами.

3.3 Проведенные испытания

1этап: Для проверки режимов записи-воспроизведения *Mark 5P* был подсоединен к *Mark 4* форматуеру и записывал 32 трека данных на скоростях вплоть до 512 Мбит/с; Для проверки - воспроизведение осуществлялось через *Mark 4* декодер и было проведено без ошибок.

2этап: При записи реальных *VLBI* данных система *Mark 5P* работала параллельно с *Mark 4* системой в Westford центре в коротком проверочном эксперименте одновременно с GGAO антенной в центре GSFC (НАСА). Регистрация велась на скорости 256 Мбит/с, используя только четыре дисководов. Системы *Mark 4* и *Mark 5P* независимо записывали два идентичных потока данных по 32 трекам. Данные были записаны в течение часа без ошибок.

Этап: Для корреляции данных система *Mark 5P* была подключена ко входу модуля *Naystack* коррелятора *Mark 4*. Синхронизация данных с коррелятором была выполнена ручной корректировкой синтезатора частот, управляющего скоростью воспроизведения *Mark 5P* до тех пор, пока синхронизация не была достигнута. Из-за неисправимых ошибок воспроизведения на лентах (прежде всего из-за высокого коэффициента ошибок на ленте GGAO), полученные результаты не идентичны. Кроме того, при воспроизведении на *Mark 5P* все же наблюдался низкий уровень ошибок, что, как полагают авторы, происходило во время коротких периодов нарушения битовой синхронизации. Тем не менее, задержка между сигналами, определенная по данным *Mark 5P* оказалась идентична с точностью до пикосекунды величине, полученной по данным *Mark 4*.

Несмотря на то, что демонстрационная система *Mark 5P* реально показала осуществимость дисковых РСДБ систем записи данных, она не выполнила полного набора требований к конструкции для рабочей системы *Mark 5* со скоростью 1 Гбит/с. Поэтому авторы этой системы после тестирования определили ее основные недостатки, для преодоления которых было предложено следующее:

1. Выполнить внешний интерфейс ввода - вывода непосредственно на StreamStor плате в соответствии со стандартом FPDP [9], который постоянно размещается сверху на платах в виде ленточного кабеля, соединяющего внешние FPDP разъемы на платах: ввода, вывода и StreamStor.

2. Увеличить скорость потока данных StreamStor платы, чтобы иметь минимум 1056 Мбит/с (32 bit/33 MHz).

3. Вставить буфер памяти 256 Мбайт на StreamStor плате.

Boulder Instrument усовершенствовала StreamStor плату с учетом замечаний и дополнительно включила следующие возможности:

- а) Поддержку шины PCI версии 2.2 (64 bit/66 MHz)

- б) Поддержку треугольника связности данных со скоростью 1 Гбит/с между: 1) внешним портом ввода - вывода, 2) дисковым массивом 3) PCI шиной. Подключения между любыми двумя из трех этих устройств поддерживается в каждый отдельный момент, но большой буфер памяти активен всегда.

в) Во время сбоев системы передачи при воспроизведении поддерживается модель замещения данных, определенная пользователем, что позволит гарантировать непрерывность данных и их синхронизации при внештатных ситуациях.

4. Система *Марк 5А*

4.1. Используемое оборудование

В 2002 году была завершена разработка системы *Марк 5А* [8]. Ее основная схема стала такой, как показано на рисунке 1.

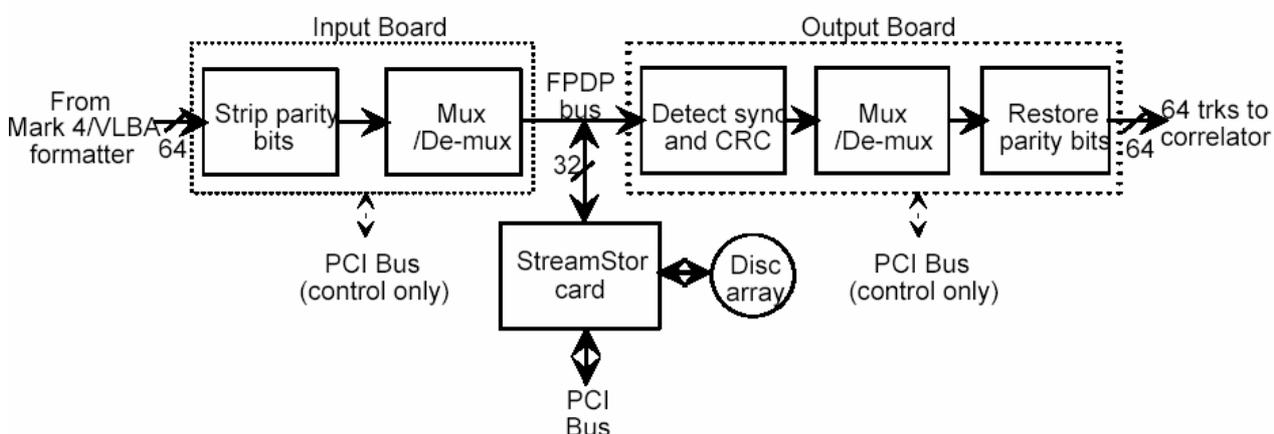


Рис.1 Блок-схема системы регистрации *Марк5А*.

Помимо устройства записи StreamStor имеются еще две платы: 'плата ввода' - для буферизации данных между *PCDB* источником и FPDP шиной, 'плата вывода' – для буферизации данных между FPDP шиной и *PCDB* приемником. Интерфейсные платы *Марк 5А* делают специальную обработку, удаляя биты четности при записи и восстанавливая при воспроизведении. На плате ввода *Марк 5А*:

1) Все разряды проверки на четность удалены; 2) При записи с 8 и с 16 треков - данные демультиплексируются с коэффициентом 4 или 2, соответственно, а конечный 32 разрядный поток данных посылается непосредственно на FPDP шину для записи; 3) Если запись ведется с 32 треков (*Марк 4/VLBI*), то данные посылаются сразу на FPDP шину; 4) В способе с 64 треками (эквивалентно, *Марк 4/VLBI* - двойной набор головок), примыкающие, четные и нечетные пары треков чередуется поразрядно перед передачей их на FPDP шину. Максимальная скорость данных в этой моде будет равна 1024 Мбит/с для *Марк 4* и 512 Мбит/с для *VLBI*.

Для совместимости со стандартными модами форматов *VLBI* и *Mark 4*: • 8 трековая мода будет записывать *VLBI* - эквивалентные четные числа дорожек в диапазоне 2-16 включительно • 16 трековая мода будет записывать *VLBI*-эквивалентные четные номера дорожек в диапазоне 2-32 включительно • способ с 32 треками будет записывать *VLBI*-эквивалентные треки 2-33 включительно. Плата ввода будет также включать прямой способ записи, в котором входные 32 битовые потоки пишутся прямо на диск без обработки и мультиплексирования. Это полезный режим проверки, который возможно будет использоваться для других применений.

При определении окна данных обнаруживаются слова синхронизации и символы CRC, вставленные *Mark4/VLBI*, четность восстанавливается, а на выход данные трека посылаются уже полностью восстановленными. Плата вывода имеет две моды синхронизации: • при моде запись /обход, плата ввода передает стробы 'трека' по FPDP шине к плате вывода, используя один из запасных сигналов FPDP шины; • в режиме воспроизведения, плата вывода может синхронизировать выходные данные согласно бортовым (в цифровой форме) синтезируемым часам (0-40MHz, ~23mHz разрешающая способность) или от внешних часов пользователя в диапазоне 0-40 MHz. Скорость воспроизведения данных полностью независима от скорости записи данных, но для совместимости с существующими корреляторами максимальная скорость воспроизведения выбрана ~18 Мбит/с /трек.

4.2 Программное обеспечение Mark 5A

Управление системой *Mark 5A* реализовано под операционной системой Linux и содержит минимальное число команд:

Команды моды Запись / обход:

Установка: Определяет моды: *VLBI*, *Mark 4*, или " прямо через ", и в случае если это мода *VLBI/ Mark 4* - определяет число треков (8, 16, 32 или 64);

Начало записи (автоматически приобщает к существующей записи);

Останов записи;

Стирание записи : сбросить счетчик записей в ноль;

Команды моды Воспроизведение:

Установка: Определяет скорость воспроизведения и моду: *VLBI*, *Mark 4* или "прямо через "; если выбрана мода *VLBI/ Mark 4* - определяет число треков 8, 16, 32, 64.

Работа: Устанавливает начальную позицию при воспроизведении (номер байта), начинает и останавливает воспроизведение (затем система автоматически возвратится к режиму моды обхода).

Пропуск вперед / назад: указывается для синхронизации в числе байтов (при воспроизведении)

Команды моды Состояние / информация:

Сообщить текущую позицию (номер байта записанных данных)

Сообщить общий статус системы

Марк 5 может управляться на локальном уровне с помощью клавиатуры и дисплея или удаленно - через telnet, сессию на другом компьютере, а также через загрузку в сети Ethernet.

4.3. Возможности системы Марк 5

StreamStor плата может перемещать данные со скоростью 1 Гбит/с между дисковым массивом, FPDP и PCI шинами, причем любые два из трех этих устройств активны в каждый момент. Доступны следующие опции:

1. FPDP в\из дискового массива: Этот путь используется для записи данных из системы сбора данных *РСДБ* или их передаче на коррелятор. В этом случае данные не проходят через PCI шину.

2. PCI в\из дискового массива: Этот путь может использоваться для чтения данных с диска на шину PCI или для локальной обработки, или для передачи предварительно записанных на дисках данных через *e-VLBI* сеть для подключения к коррелятору. Данные, полученные по *e-VLBI* сети, могут быть помещены через PCI шину на дисковый массив для буферного хранения в корреляторе.

3. PCI в\из FPDP: Этот путь может использоваться на станции для прямой передачи данных в реальном масштабе времени на коррелятор через *e-VLBI* сеть или, наоборот, в корреляторе, чтобы принять данные через *e-VLBI* и послать их на обработку.

Гибкость соединимости позволяет Марк 5 использоваться в *e-VLBI*, для передачи данных как с буферизацией, так и в реальном времени.

4.4. Недостатки системы Mark 5A

К недостаткам системы *Mark 5A* следует отнести то, что ее архитектура построена на специально разработанных дорогих платах ввода-вывода и записи. Таким образом, одно из главных требований - проект должен основываться прежде всего на новейших компьютерных подсистемах и компонентах без дополнительной модификации - оказалось не выполненным.

Как недостаток системы следует признать использование новой (навесной) магистрали FPDP для передачи данных. Это приводит к тому, что для записи - воспроизведения требуется использовать схемы форматера – деформатера, специфические для разных систем и мод записи, в результате чего возникает взаимная несовместимость форматов.

Продолжают развиваться новые модификации PCI шины, и в настоящее время уже стал доступным по коммерческим ценам ее новый вариант PCI-X1 – со скоростью передачи 8512 Мбит/с. Относительная скорость передачи данных по дополнительной навесной магистрали уже сейчас ниже, чем на шине PCI-X1. По некоторым оценкам скорость записи на отдельный жесткий диск повысится до 64 МБ/с, что позволит довести скорость системы записи из 16 дисков и стандартного коммерческого PC компьютера до 8192 Мбит/с. Поскольку система *Mark 5A* несовместима с VSI-H стандартом - поэтому потребуется ее модификация, которая будет осуществлена позже в ее новой версии – *Mark 5B*.

5. Финская дисковая система регистрации VLBI

5.1. Принципы построения

В радиообсерватории Метсахови (Финляндия) [7]: разработана простая масштабируемая система записи, ориентированная на жесткие диски, на основе стандартного PC компьютера с операционной системой Linux. РСДБ данные запоминаются в обычных файлах этой ОС и могут быть переданы через Интернет с использованием сетевых программ. Это делает ее особенно полезной для непродолжительного хранения данных РСДБ при обработке в режиме близком к реальному времени. Она позволяет

заменить только одним офисным PC существующую систему записи *VLBI*. Данный проект отличается от многих других тем, что использует современные стандартные компьютерные технологии с минимальными модификациями.

Разработчики финской системы предлагают хранить экспериментальные данные на дисках в обычных файлах ОС в соответствии с известным FITS форматом, широко используемым в *РСДБ*. Эти файлы могут быть переданы далее через FTP или другие Internet протоколы. В отдельных файлах хранятся данные с каналов выборки установок *VLBI* или *Mark4*. Это удобно при проведении корреляционной обработки как на компьютере, так и на корреляторе, поскольку для обработки двух каналов не требуется читать все остальные. При таком подходе нет необходимости в мультиплексировании данных, а их запись производится в такое количество файлов, сколько рабочих каналов имеется на установке в текущей рабочей моде. Запись на диски производится с промежуточным хранением данных в оперативной памяти PC и на данный момент имеет максимальную скорость 256 Мбит/с.

5.2. Плата ввода-вывода в стандарте VSI.

Интерфейс ввода-вывода выполнен на PCI плате, совместим с VSI-H стандартом и имеет следующие возможности [7]:

На плате установлены два двунаправленных VSI-H порта.

Прием данных возможен на максимальной скорости синхронизации VSI, деленной на целое число. Нормально один VSI порт используется как вход, а второй как выход. Имеется внутренний FIFO буфер емкостью 1024*32 бита для накопления данных во время занятости PCI шины. Та же самая плата может быть использована как для воспроизведения данных, так и для обработки на корреляторе. Плата может быть прямо подсоединена к японской гигабитной *РСДБ* системе регистрации или через простой адаптер к существующим *VLBI* или *Mark4* форматам, или же прямо к выходам устройства выборки.

Преобразователь данных от системы регистрации *VLBI* к VSI стандарту выполнен в отдельном блоке. Реально это только преобразователь уровней, но для возможности расширения

добавлена микросхема Xilinx Spartan II. В блоке имеется два 40-контактных разъема от *VLBI* системы (дифференциальные ECL сигналы) и два выходных разъема, с сигналами в уровнях LVDS, которые необходимы в VSI-H стандарте.

Программный интерфейс платы очень простой и имеет две команды. Первая команда – это сброс всего оборудования, а вторая – ждать следующего 1PPS импульса и передавать в течение N секунд записываемые данные в память компьютера. Управление платой не критично по времени, поскольку компьютер имеет целую секунду для начала записи, даже если он работает с мультиплексированием по времени.

5.3. Недостатки системы

К недостаткам системы записи Метсахови следует отнести:

а) двойное прохождение данных через PCI шину при записи - воспроизведении снижает скорость передачи; б) недостаточный размер буфера памяти платы ввода - вывода (4КБ); в) на платах установлены нестандартные для VSI-H 2*40 (вместо 1*80) – контактных разъема, поэтому необходимо промежуточное переходное соединение между разъемом VSI-H и платой.

6. Способы увеличения быстродействия систем записи

Любая система записи данных имеет конечное быстродействие, которое возможно дополнительно увеличить, если выполнять операции записи-чтения параллельно сразу на нескольких РС. Поэтому необходимо предусмотреть возможности увеличения быстродействия за счет мультиплексирования входного потока данных и их параллельной записи. Приведем примеры нескольких возможных схем реализации такого ускорения операций записи – воспроизведения.

Финская группа из Метсахови [7] предложила наиболее простой способ ускорения приема данных с РСДБ аппаратуры - временное мультиплексирование, когда информация со всех входных линий последовательно накапливается в течение нескольких секунд в буфере памяти одного компьютера за другим, а затем заполненные

буфера передаются на запись. Этот способ позволяет ускорить лишь процесс записи на диски, поскольку максимальная скорость данных не может превысить пропускную способность шины компьютеров.

Второй способ [8] – внешнее мультиплексирование данных. При этом один входной поток данных распределяется на несколько выходных устройств записи с пропорциональным снижением частоты стробирующих импульсов записи на любом из них. Такой способ позволяет увеличить суммарное быстродействие, так как при записи данных и при их передаче по шине отдельного компьютера пропорционально снижается скорость потока данных (рис.2). Стробы для записи данных на отдельный регистратор вырабатывает аппаратно блок форматера-деформатера.

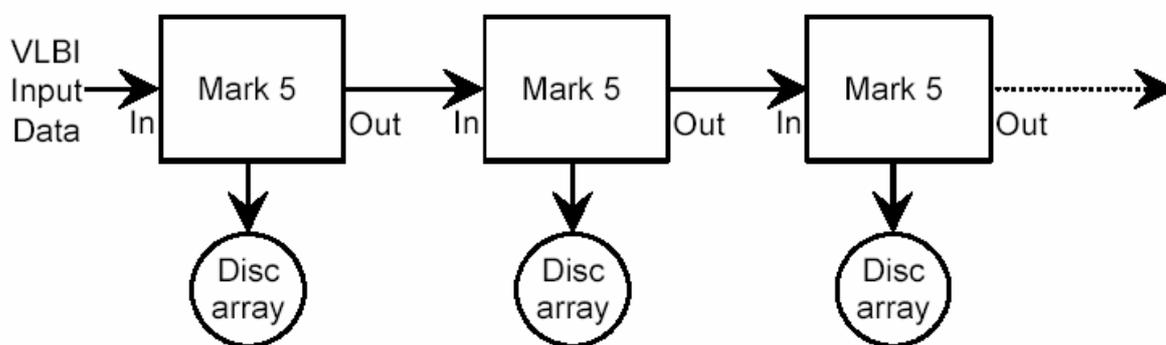


Рис.2 Блок-схема системы регистрации из нескольких Марк5А.

Третий способ – внутреннее мультиплексирование данных, когда все данные фиксируются по синхроимпульсам системы приема сигнала с антенны, но каждая отдельная система регистрации осуществляет запись данных с меньшего числа входных линий. Например, четыре системы регистрации, работающие параллельно, могут пропорционально (в четыре раза) увеличить суммарную скорость записи, если каждая из них будет записывать данные только с 8 из 32 входных линий. Номера линий, с которых должна вестись запись каждой системой могут быть заданы программно до начала измерений. Такой способ является более универсальным и перспективным, чем первые два, поскольку он не требует дополнительного оборудования, а настройка схемы эксперимента происходит на уровне программного обеспечения.

7. Заключение

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к разработке систем регистрации для физических экспериментов с параллельной записью данных на много дисков. Диски обладают несомненным преимуществом перед магнитными лентами, поскольку скорость доступа при произвольной адресации у них - не более 10мсек, а скорость передачи данных на отдельном диске составляет десятки Мбайт /с. В ближайшие годы ожидается быстрое распространение дисковых систем регистрации в экспериментах РСДБ. Анализ темпов улучшения характеристик современных дисков и компьютеров позволяет сделать прогноз, что уже в ближайшие 3 года будут созданы новые дисковые системы записи с быстродействием более 4096 Мбит/с на одном РС. Несомненно, что первый опыт построения дисковых систем записи будет полезен для всех тех, кто пожелает модернизировать свои системы регистрации.

В заключении хочу выразить благодарность к.т.н. Лихачеву С.Ф. за ряд полезных критических замечаний по оформлению этой статьи.

Литература:

1. <http://fourier.haystack.edu/Introduc.pdf>
2. "Overview of VLBI", Wayne Cannon, GSFC, 1999, available at <http://ivsc.gsfc.nasa.gov/publications/ar1999/front-over/>
3. "Статистика для физиков", Д. Худсон, М., Мир., 1967, с.54
4. "Increasing SVLBI Sensitivity through higher data rates", James C. Springett, NeoComm Systems, Inc., 8 Mar 2002, available at neojim@earthlink.net
5. "VLBI Standard Hardware Interface Specification –VSI-H", Revision 1.0, 7 August 2000, available at <http://dopey.haystack.edu/vsi/index.html>.
6. "The report on COTS-VLBI project" by Alan R. Whitney, 8 Mar 2001, *Mark 5* memo, available at <ftp://gemini1.haystack.edu/pub/mark5/index.html>
7. "The VSI-H Recording System for VLBI and e - VLBI". by Jouko Ritakari, Ari Mujunen, Metsahovi Radio Observatory, (Second IVS general meeting, February 4-7, 2002, Tsukuba, Japan), available at <http://kurp.hut.fi/vlbi/instr/JVS2002.pdf>
8. "The report on COTS-VLBI project" by Alan R. Whitney, 15 Nov 2001, *Mark 5* memo 5, available at <ftp://gemini1.haystack.edu/pub/mark5/index.html>
9. FPDP Specification, available at <http://www.fpdp.com/>