

ДВУХПРОЦЕССОРНЫЙ АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС — СКАНЕР БТА

I. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

С. В. Драбек, И. М. Копылов, Н. Н. Сомов, Т. А. Сомова

Представлен очередной этап развития телевизионного 1000-канального спектрофотометра БТА. Система сбора и обработки данных создана на базе измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) с ЭВМ СМ-4. Описана функциональная схема всего телевизионно-вычислительного комплекса и представлены новые режимы аппаратуры: псевдоцентрирование, псевдосчет, покадровая запись информации, позволяющие проводить процесс наблюдений на более высоком техническом и методическом уровне. Обсуждаются особенности применения различных режимов регистрации информации в условиях реальных наблюдений.

The next stage of development of television 1000-channel spectrophotometer of BTA is presented. Data acquisition and processing system is carried out on the basis of measurement-computer complex with the computer SM-4. Functional scheme of the television-computing complex at whole is described, and the new regimes of apparatus are presented: pseudocentring, pseudo-counting, frame by frame registration of information, allowing to carry out observations on the higher technical and methodical level. The properties of application of various regimes for information registration in the routine observations are discussed.

Основные задачи, решаемые астрофизиками с помощью больших телескопов, связаны с изучением предельно слабых объектов. Решение таких задач требует внедрения в астрофизическую практику новых методов регистрации, новых высокочувствительных светоприемников, новых средств оперативной обработки и накопления наблюдательных данных. Стремление наблюдать все более слабые объекты и получать от них как можно более содержательную информацию приводит наблюдателей к поиску путей преодоления трудностей, возникающих при измерении предельно слабых световых потоков. Весьма плодотворный вклад в практику получения спектров слабых объектов в последнее десятилетие стали вносить телевизионные системы, работающие в режиме счета фотонов, обеспечивающие квантовопредельную чувствительность и работающие в совокупности с ЭВМ [1]. Для очень слабых световых потоков действующий квантовый выход (DQE) таких систем постоянен и приблизительно равен квантовой эффективности фотокатода многокаскадного ЭОП [2] ($DQE = \psi_{\text{вых}}^2 / \psi_{\text{вх}}^2$, где $\psi_{\text{вх}}$ и $\psi_{\text{вых}}$ — отношение сигнала к шуму на входе и выходе приемника света). Это свойство делает такие системы почти идеальными приемниками света.

В Специальной астрофизической обсерватории создан и используется в наблюдениях на 6-метровом телескопе телевизионный 1000-канальный спектрофотометр (сканер БТА) [3—7].

Необходимость в еще более эффективном решении ряда астрофизических задач потребовала модернизации системы, в частности создания системы сбора и обработки данных на базе измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) (ЭВМ СМ-4, блоков системы КАМАК, графического дисплея ЭПГ-СМ, систем накопления на магнитных лентах и магнитных дисках и т. д.). При обработке спектров, полученных на сканере в прежнем варианте, когда исходная информация выводилась на перфоленту и когда эти записи не были программно идентифицированы, возникали определенные трудности. При получении и обработке спектра объекта по алгоритму двух линеек [8] использовалось 8—10

перфолент с информацией около 1.0 кбайт каждая. Эту информацию в принципе возможно сразу же выводить и хранить на магнитной ленте (МЛ) или на магнитном диске (МД). При этом на два порядка увеличивается скорость чтения — записи, не тратится время на установку в устройство перфолент и исключается возможность ошибок оператора.

Многие астрофизические задачи требуют цифровой редукции данных в реальном времени, а возможности мини-ЭВМ «Электроника-100И» и микро-ЭВМ «Электроника-60» не позволяют проводить такую обработку. Все это потребовало подключения сканера к более мощной ЭВМ типа СМ-4 и создания соответствующего матобеспечения.

Итак, в этой работе мы представляем очередной этап развития телевизионного 1000-канального счетчика фотонов, превратившегося в двухпроцессорный аппаратно-программный комплекс — сканер БТА.

Функциональная схема двухпроцессорного аппаратно-программного комплекса. На рис. 1 демонстрируется общий вид цифровой системы сбора и обработки данных сканера БТА и описан ее состав, а на рис. 2 представлена функциональная блок-схема этого комплекса.

Коротко напомним принцип регистрации фотонов в системе спектрограф—ЭОП—телевизионная трубка. Спектр объекта усиливается многокаскадным электрононо-оптическим преобразователем (ЭОП). Изображение, возникающее на люминофоре ЭОП и состоящее из отдельных вспышек, соответствующих фотоэлектронам выбиваемым из первого фотокатода, переносится светосильным объективом ($f/2$) на входное окно телевизионной передающей трубки суперкремникон. В результате на мишени телевизионной трубки создается потенциальный рельеф — аналог изображения, проецируемого на фотокатод ЭОП. Этот рельеф сканируется считывающим лучом. Сформированный видеосигнал направляется в видеоконтрольное устройство (ВКУ) (рис. 1), на котором можно наблюдать одноэлектронные вспышки, и в схему дискриминации. Выборка рабочего сигнала на телевизионном растре и дальнейшая его обработка осуществляется в двух прямоугольных параллельных участках растра или двух полосах выборки (стробах, линейках) (рис. 3), на которые проецируются спектр объекта и фона ночного неба соответственно. За время выборки схемы дискриминации и блок цифровой обработки выделяют в видеосигнале на каждой телевизионной строке наличие или отсутствие одноэлектронного события и соответственно изменяют состояние выхода на логическую «1», либо «0». Таким образом, за период сканирования одного кадра анализируется 2×500 телевизионных строк, соответствующих числу рабочих каналов. Более подробно эта часть сканера уже ранее описана в [3—5]. Диаметр или размер фотоэлектронных вспышек ЭОП, как правило, превосходит расстояние между соседними телевизионными строками и в среднем, составляет $\sim 2-3$ строки (канала). Поэтому, чтобы не ухудшать пространственное разрешение, событие должно быть приписано только одному каналу (ячейке памяти ЭВМ). Для этого в сканере существует блок цифровой обработки (сигнальный процессор), где и определяются центры фотоэлектронных событий, причем фотоэлектронные события регистрируются с равным весом (независимо от амплитуды). Такой режим мы называем режимом центрирования фотоэлектронных вспышек.

В [2] Боксенберг указывает, что определение центров событий крайне необходимо для устранения потерь DQE и должно быть совершенным, как только это возможно, чтобы увеличить разрешение системы и, следовательно, отношение сигнал/шум для данного разрешения. Цифровое псевдоцентрирование наилучшим образом отвечает этому требованию. В связи с этим мы провели модернизацию блока цифровой обработки (на рис. 2 он выделен штриховой линией над ЭВМ «Электроника-60») как за счет иницирования ранее заложенных аппаратных средств, так и за счет введения новых. Работу этого блока можно условно разделить на два этапа: 1) обработка, 2) пересылка информации в память ЭВМ.

На первом этапе возможны три режима: центрирование, псевдоцентрирование и псевдосчет фотоэлектронных событий (ФС).

1. Р е ж и м ц е н т р и р о в а н и я. Под центрированием ФС будем понимать определение номера телевизионной строки, соответствующей середине

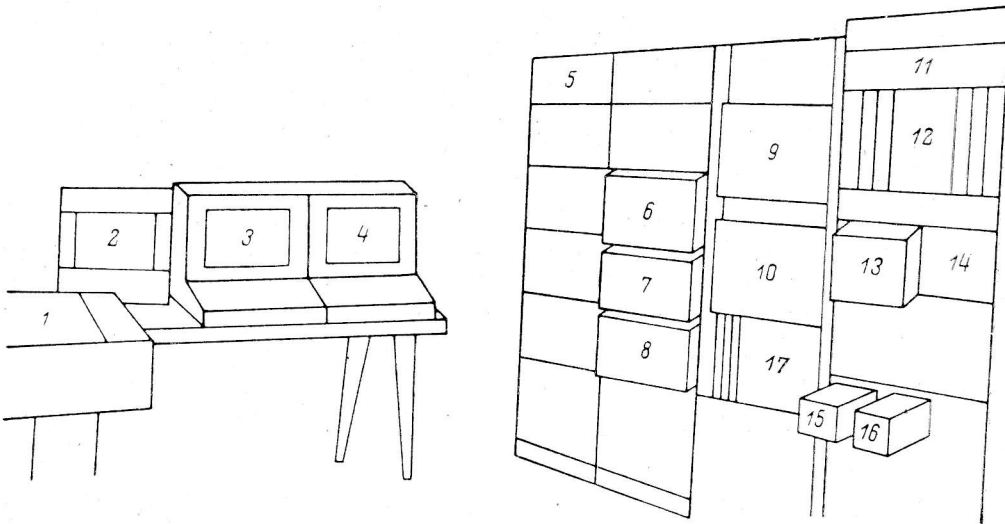
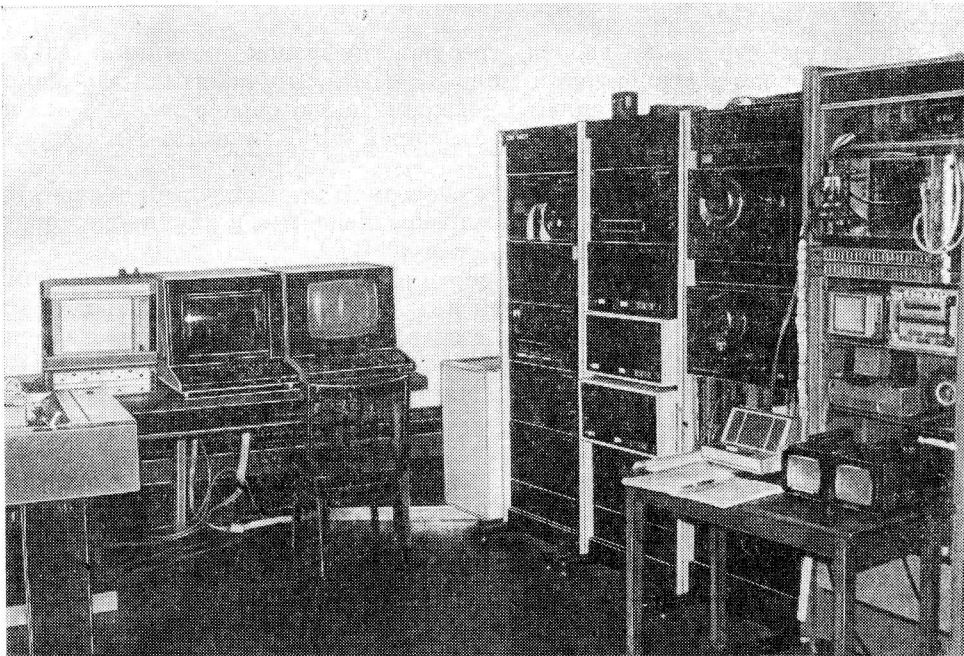


Рис. 1. Общий вид и состав системы сбора и обработки данных телевизионного сканера.

1 — алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ); 2 — планшетный графопостроитель Н-306; 3 — графический дисплей ЭПГ-СМ; 4 — алфавитно-цифровой дисплей ВТА-2000; 5 — стойка ЭВМ СМ-4 (процессор, память, ввод и вывод на перфоленту); 6—8 — накопители на магнитных дисках (НМД); 9, 10 — накопители на магнитной ленте (НМЛ) типа «Изот-5003»; 11 — микро-ЭВМ «Электроника-60» («Э-60»); 12 — крейт КАМАК ЭВМ «Э-60»; 13 — малый дисплей; 14 — блок цифровой обработки (сигнальный процессор) сканера; 15 — видеоконтрольное устройство (ВКУ) телевизионного подсмотра цели спектрографа; 16 — ВКУ телевизионного сканера; 17 — крейт КАМАК ЭВМ СМ-4.

ФС, т. е. если n — номер строки, на которой началось ФС, а k — номер строки, на которой ФС кончилось, то центр ФС будет $C=(n+k)/2$ (с округлением, в случае если $n+k$ нечетно). Процедура центрирования не полностью использует информацию в случае четного размера фотоэлектронной вспышки (или когда $n+k$ нечетно). Поэтому, чтобы использовать ее и увеличить разрешение полной системы, мы ввели режим псевдоцентрирования.

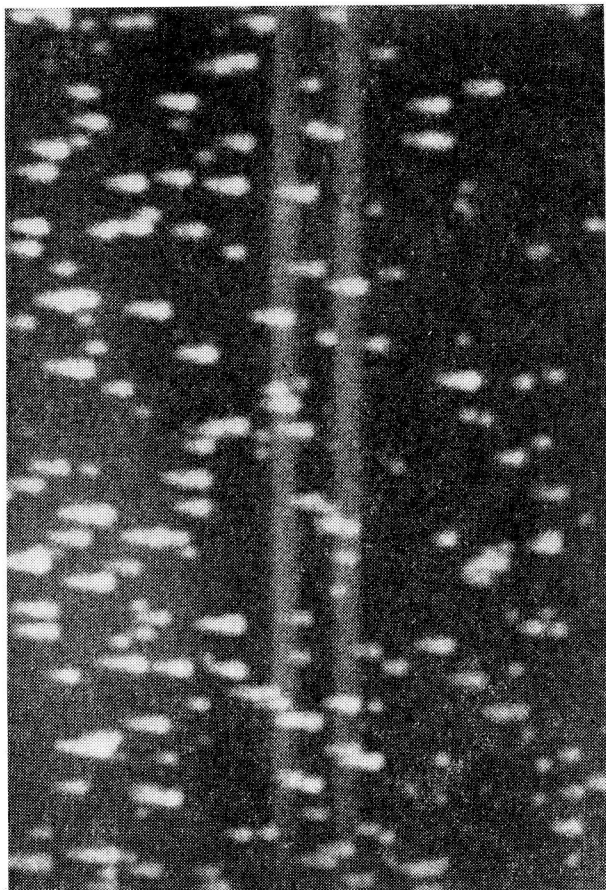


Рис. 3. Полосы выборки сигнала на видеоконтрольном устройстве (ВКУ) визуализация одноэлектронных событий.

2. Режим псевдоцентрирования. При этом режиме каждая ячейка делится на две подячейки или каждый канал делится на два подканала, и N телевизионным строкам соответствуют $2N$ ячеек в памяти ЭВМ (или $2N$ слов). Такая процедура увеличивает разрешение системы по сравнению с аналоговой регистрацией в ~ 2 раза. В нашем случае при псевдоцентрировании ФС имеем $C=n+k$. В сканере при аппаратном псевдоцентрировании на каждое ФС добавляется единица в псевдоканал в отличие от [2], где добавляется две единицы в два соседних псевдоканала. Это отличие устраняется программно. Спектры, получаемые в режиме псевдоцентрирования, представляют собой в ЭВМ два вектора по 1024 числа, при этом положение вспышек определяется с точностью до 0.5 канала.

3. Псевдосчет. Введение этого режима связано с постановкой ряда астрофизических задач, требующих увеличения динамического диапазона сканера в сторону больших световых потоков. Режим регистрации ФС псевдосчет отличается от предыдущих режимов работы тем, что никакого анализа видеосигнала в блоке цифровой обработки не производится, а каждое срабатывание дискриминатора фиксируется и передается в ЭВМ в виде соответствующих адресов в адресном буфере или добавляются «1» по всем этим адресам в накопителе. Псевдосчет устраняет фатальные (т. е. корректно не устранимые) искажения эмиссионных деталей в спектре, которые могут иметь место в двух предыдущих режимах при больших световых потоках. В режиме псевдосчета происходит накопление проекций ФС, что приводит к ухудшению разрешения системы, но увеличивает ее динамический диапазон. Это происходит за счет того, что каждый канал (телевизионная строка) по сути дела является счетчиком фотонов с мертвым временем, равным длительности кадровой развертки — 33 мс. Этот режим работы отличается от аналогового режима регистрации [4], так как не учитывается распределение амплитуд ФС, и от режима счета фотонов, так как фотоэлектронные события считаются с разными весами, определенными размером ФС.

досчет отличается от предыдущих режимов работы тем, что никакого анализа видеосигнала в блоке цифровой обработки не производится, а каждое срабатывание дискриминатора фиксируется и передается в ЭВМ в виде соответствующих адресов в адресном буфере или добавляются «1» по всем этим адресам в накопителе. Псевдосчет устраняет фатальные (т. е. корректно не устранимые) искажения эмиссионных деталей в спектре, которые могут иметь место в двух предыдущих режимах при больших световых потоках. В режиме псевдосчета происходит накопление проекций ФС, что приводит к ухудшению разрешения системы, но увеличивает ее динамический диапазон. Это происходит за счет того, что каждый канал (телевизионная строка) по сути дела является счетчиком фотонов с мертвым временем, равным длительности кадровой развертки — 33 мс. Этот режим работы отличается от аналогового режима регистрации [4], так как не учитывается распределение амплитуд ФС, и от режима счета фотонов, так как фотоэлектронные события считаются с разными весами, определенными размером ФС.

Далее, полученная на первом этапе работы информация в виде адресов ФС или, при псевдосчете, адресов проекций ФС передается в память ЭВМ, где выделены следующие блоки: накопитель — область памяти длиной 2048 слов для накопления спектров, адресный буфер — область памяти длиной 2048 слов для временного хранения адресов ФС. На втором этапе работы блока цифровой обработки возможны два способа пересылки информации. Первый способ — аппаратное прибавление «1» в накопителе по адресам, полученным на первом этапе, и второй способ — последовательная запись этих адресов в адресный буфер. Если адресный буфер заполнен, то следующий адрес записывается в начало буфера и т. д. В итоге блок цифровой обработки (или сигнальный процессор) обеспечивает теперь 6 режимов работы сканера.

Для визуализации накапливаемой информации в реальном времени в памяти ЭВМ «Э-60» выделена область длиной 512 слов (визуализатор), содержимое которой по каналу прямого доступа через цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) отображается на малом дисплее (рис. 1). Дальнейшие преобразования информации осуществляются программным обеспечением ЭВМ «Э-60».

Программное обеспечение ЭВМ «Электроника-60». Созданное программное обеспечение в настоящее время имеет два раздела: фоновый и оперативный.

Программные модули фонового раздела обеспечивают следующие основные функции:

- формирование массива для визуализации по каналу прямого доступа одной из четырех областей накопителя (линеек). Индикация времени, номера канала, содержимое канала;

- двухсторонняя передача информации между процессорами по линии связи (КАМАК «Э-60»—КАМАК СМ-4);

- дешифрация команд СИПРАН [9], переданных по линии связи, и запуск соответствующих программных модулей в фоновом или оперативном разделе.

Все модули оперативного раздела запускаются по прерываниям от кнопочного набора блока цифровой обработки, но наивысший приоритет предоставлен модулю обработки кадрового прерывания.

Оперативный раздел выполняет следующие функции:

- стоп, старт, продолжение накопления, перемещение выделенной точки (маркера) по спектру влево и вправо, масштабирование и т. д.;

- чтение/запись накопителя на магнитную ленту (через контроллер НМЛ);

- переключение различных режимов работы сканера;

- обработка в реальном времени адресного буфера (по кадровому прерыванию) с целью обеспечения покадровой записи, т. е. если в адресном буфере накопилось 1024 адреса ФС или более, то запускается программа НМЛ и на ленте записывается зона, в это время адреса пишутся по каналу прямого доступа во вторую половину буфера и не требуют программного обслуживания, затем контролируется вторая половина адресного буфера и т. д. Покадровая запись позволяет регистрировать каждое ФС (время — номер кадра и адрес канала) на магнитной ленте;

- программное центрирование ФС (псевдосчет) с различными алгоритмами «различания» ФС для увеличения динамического диапазона при регистрации контрастных спектров;

- формирование интегрального спектра в накопителе с подавлением повторных ФС, т. е. ФС в смежных кадрах;

- анализ распределения размеров ФС.

Сочетание аппаратных и программных средств ЭВМ «Электроника-60» позволяет оперативно адаптировать сканер к наблюдению разных как по потоку, так и по виду спектра объектов, а также передавать накопленную информацию в ЭВМ СМ-4 по линии связи. Связь между ЭВМ СМ-4 и «Электроника-60» реализована с помощью модулей ФК-73, установленных в крейтах КАМАК соответствующих ЭВМ. В состав ЭВМ СМ-4 входят: процессор, память 28 К/слов, накопители на магнитных дисках (НМД) в количестве трех штук, алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ), терминал (ВТА-2000), графический дисплей (ЭПГ-СМ). Накопители на магнитной ленте (НМЛ) могут подключаться либо к СМ-4, либо к микро-ЭВМ «Электроника-60» через контроллер НМЛ в стандарте КАМАК. Два графопостроителя, планшетный (Н-306) и рулонный

(ДГУ-2М), обеспечивают вывод графической информации. Графопостроители включены в комплекс с помощью набора модулей в стандарте КАМАК.

Управление всем комплексом осуществляется программами на языке программирования СИПРАН [9].

Особо хочется еще раз подчеркнуть, что новый способ [10] получения информации на сканере, который позволяет регистрировать данные с временным разрешением 1 кадр, — это покадровая регистрация координат фотоэлектронов на магнитной ленте, позволяющая извлекать из полученных сканером цифровых данных практически всю информацию (в смысле временного разрешения от 33 мс до десятков минут). Этот вид регистрации может сочетаться со всеми вышеперечисленными режимами обработки: центрированием, псевдоцентрированием и псевдосчетом. Режим покадровой записи позволяет записывать на магнитную ленту содержимое адресного буфера в реальном времени в виде зон длиной по 1024 слова. Запись и хранение информации, развернутой во времени, увеличивает возможность системы в плане восстановления в памяти суммарного спектра, дает возможность интегрирования с нужным временным окном.

Инерционность телевизионной трубки [11] приводит к сдвигу одного и того же фотоэлектронного события на нескольких последовательных кадрах. Поэтому, чтобы не искажать статистику фотонов и не ухудшать фотометрию спектров, необходимо найти возможности «удаления» повторных вспышек. Для типичного высоковольтного напряжения около 8000 В инерционность нашей телевизионной трубки производит 10—15 % повторно зарегистрированных событий. Поэтому устранение инерционности становится немаловажной задачей при регистрации очень слабых световых потоков. При покадровой записи такая процедура легко осуществляется. В режиме псевдоцентрирования подавление повторных вспышек также делается в реальном времени.

Скорость записи накопителя на магнитной ленте (10 кбайт/с) накладывает ограничение на максимальные световые потоки. Без потери информации можно регистрировать спектры с потоком на двух линейках ≤ 4000 фотоэлектронных событий в секунду. Сочетание режима «псевдосчет» с «покадровой записью» — самый информативный режим работы сканера, так как позволяет при последующей обработке информации с МЛ программно центрировать фотоэлектронные события, а при необходимости в области мощной эмиссионной детали в спектре убрать центрирование, т. е. обрабатывать индивидуально отдельные участки спектра. Основная задача покадровой записи — исследование быстрых спектральных изменений в нестационарных объектах.

Расширение аппаратных средств контроля параметров сканера. Для того чтобы иметь возможность при наблюдениях на сканере получать астрофизическую информацию с гарантированной точностью, необходимо на стадии подготовки осуществить правильную настройку и юстировку комплекса. Качество настройки определяется посредством контроля величин основных электрических параметров. Из [2] и из наших исследований известно, что диапазон линейности телевизионных систем счета фотонов, их разрешающая способность и статистическая точность результатов в значительной степени зависят от размеров фотоэлектронных событий. В свою очередь среднестатистический размер фотоэлектронного события зависит от изменения режимов телевизионной трубки, качества фокусировки ЭОП, качества фокусировки системы переброса света между ЭОП и телевизионной трубкой, а также амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) видеусилителя, уровня дискриминации и скорости счета фотонов. В связи с этим были разработаны некоторые технические средства и программное обеспечение, ориентированные на проведение оптимальной настройки и метрологии сканера. Этот новый комплекс, включающий в себя аппаратное и программное обеспечение, мы назвали блоком оперативного контроля сканера (БОКС).

С помощью этого блока выполняются следующие функции:

— осуществляется оперативный контроль среднестатистического размера события;

— измеряется за фиксированное время разность интегральных потоков света по двум стробам;

- строится счетная характеристика (зависимость интенсивности счета от уровня дискриминации);
- производится анализ размеров отдельных фотоэлектронных событий и строится гистограмма зависимости числа событий от их размера;
- делается анализ и построение гистограммы зависимости среднего размера события от порога дискриминации;
- проводится анализ и строится гистограмма зависимости скорости счета от входного светового потока;
- производится построение зависимости размера события от скорости счета.

Применение режима измерения разности интегральных потоков в двух строках при регулировке позволяет с высокой точностью определить разницу в их чувствительности и с помощью настройки добиться ее минимизации, а при наблюдениях проводить оперативный контроль превышения сигнала над шумом и использовать как дополнительный источник информации при гидировании слабых объектов.

Применение на практике блока оперативного контроля параметров сканера позволяет сократить время подготовки комплекса к работе, однозначно настраивать различные его узлы с большим числом переменных параметров и гарантировать точность получаемой астрофизической информации.

Особенности применения различных режимов работы сканера во время наблюдений. Для выбора конкретного режима работы сканера важно понимание механизма нелинейности отклика системы счета фотонов в режиме центрирования фотоэлектронных событий. Основной особенностью в плане получения высокого спектрального разрешения и высокой позиционной точности является размытие единичного акта фотоэлектронной эмиссии и искажение адреса занесения информации при перекрытии двух вспышек на выходном экране ЭОП (с потерей информации об одной из них). Подробный анализ статистических закономерностей такого процесса для систем счета фотонов представлен в [2]. Если на вход сканера подать непрерывную в пространстве и во времени засветку, то на вход блока цифровой обработки (БЦО) поступит поток ФС с интенсивностью λ штук на канал за время кадра (33 мс), но за счет слияний ФС поток на выходе БЦО при центрировании будет $l < \lambda$. Так как случайный процесс (наличие или отсутствие ФС) за время кадра в канале на входе БЦО имеет альтернативное распределение, то и вероятность, и математическое ожидание нахождения ФС за кадр равны по величине λ . Рассматривая только перекрытие двух ФС и считая размер события фиксированным и равным R строкам, можно получить следующее выражение:

$$l = \lambda - R\lambda^2 + \dots \quad (1)$$

Отличие этого выражения от аналогичных в [2] обусловлено разницей в алгоритмах центрирования (округление). В реальном случае размер ФС не фиксирован и является случайной дискретной величиной. Если P_1, P_2, P_3 — вероятности того, что размер ФС равен 1, 2, 3 строкам соответственно, то, пренебрегая ФС, имеющими размер > 3 строк, имеем:

$$l = \lambda - \lambda^2 (3P_3^2 + 2P_2^2 + P_1^2 + 2P_1P_2 + 2P_1P_3 + 4P_2P_3),$$

и для случая, когда $P_3=0, P_1=P_2=1/2$,

$$l = \lambda - \frac{20}{16} \lambda^2 + \dots \quad (2)$$

В [2] в этом же случае коэффициент при λ^2 равен 19/16, что является, на наш взгляд, хорошим согласием, если учесть отличие алгоритмов центрирования. Измерить распределение размеров ФС можно в режиме псевдосчет+адресный буфер+оперативная программа. В общем случае выражение для нелинейности сканера при непрерывном и малом входном сигнале можно записать

$$l = \lambda - k\lambda^2 + \dots \quad (3)$$

где k зависит от распределения вероятностей размеров ФС. При использовании режима работы псевдоцентрирование+адресный буфер+оперативная программа с подавлением повторных ФС, коэффициент k в (3) увеличивается приблизительно в 2 раза. При больших потоках в континууме в спектре могут появляться

виться широкие депрессии. Если спектр содержит мощные эмиссионные линии, то нелинейность приводит к искажениям в виде провалов на границах континуума и линии. Однозначное восстановление таких пространственных искажений является пока нерешенной задачей. Если астрофизическая проблема требует измерения таких мощных эмиссионных деталей в спектре, то целесообразно использовать псевдосчет, который устраняет пространственные искажения и позволяет однозначно восстановить амплитудные.

Таким образом, при наблюдениях очень слабых (при ≤ 0.5 штук ФС в секунду на канал) объектов лучше всего использовать режим псевдоцентрирования с подавлением повторных ФС, так как он улучшает статистику фотоотчетов. При потоках ~ 1 штуки ФС в секунду на канал подавления повторных ФС лучше не проводить, но при этом увеличивается статистический шум в ~ 1.4 раза, и если в спектре имеются важные детали с потоком 5—10 штук в секунду на канал, то, несколько теряя в спектральном разрешении, лучше использовать режим псевдосчета. Применение покадровой записи целесообразно в том случае, если планируется анализ быстрой спектральной переменности.

Заключение. В результате проведенной работы создана аппаратная и методическая база, с помощью которой на 6-метровом телескопе можно гибко и оперативно проводить астрофизические исследования посредством двухпроцессорного аппаратно-программного комплекса — сканера БТА. Описанный комплекс начал использоваться для выполнения целого ряда наблюдательных программ на БТА в основном с декабря 1983 г. В процессе его освоения и регулярной эксплуатации в течение примерно 60 ночей 1984 г. выявились его важные преимущества в полной мере при решении самых разнообразных спектроскопических задач астрофизики.

Математическое обеспечение и возможности автоматической редукции данных описаны в статьях [9, 12].

В заключение выражаем глубокую благодарность сотрудникам аппаратной В. И. Синянскому, Н. И. Сычкову, Е. П. Городовому за участие в создании комплекса, Л. В. Вяткиной и Н. Б. Борисову за помощь в оформлении работы.

Литература

1. Боксенберг А. Обзор основных тенденций в развитии приемников света. — В кн.: Оптические телескопы будущего. М.: Мир, 1961, с. 379—405.
2. Fort V., Boksenberg A., Coleman C. The effect of spatial and temporal sampling and the DQE (Detective quantum efficiency) of an image photon counting system. — IAU Colloquium, 1977, N 40, p. 15-1—15-14.
3. Телевизионный 1000-канальный счетчик фотонов для регистрации сверхслабых световых потоков / И. И. Балегга, С. В. Маркелов, В. Б. Небелицкий и др. — Автоматизация, 1979, № 4, с. 22—29.
4. Телевизионный многоканальный спектрофотометр 6-метрового телескопа АН СССР / И. И. Балегга, Р. Г. Верещагина, С. В. Маркелов и др. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1979, 11, с. 248—255.
5. TV spectrum scanner of the 6-meter telescope / T. A. Somova, N. N. Somov, S. V. Markelov et al. — In: Instrumentation for Astronomy with Large Optical Telescopes. Dordrecht, D. Reidel Publ. Comp., 1982, p. 283—290.
6. Телевизионный сканер 6-метрового телескопа АН СССР / И. И. Балегга, С. В. Маркелов, В. Б. Небелицкий и др. — Изв. КраО, 1983, 67, с. 183—184.
7. Рабочие характеристики телевизионного спектрофотометра БТА / С. В. Маркелов, В. Б. Небелицкий, Н. Н. Сомов и др. — В кн.: Новая техника в астрономии. Л.: Наука, 1984, 7, с. 9—13.
8. Копылов И. М., Сомов Н. Н., Сомова Т. А. Методика получения и обработки сканерных спектров SS433. — В кн.: Новая техника в астрономии. Л.: Наука, 1984, 7, с. 5—9.
9. Сомов Н. Н. Двухпроцессорный аппаратно-программный комплекс — сканер БТА. II. СИПРАН — специализированный язык программирования. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1985, 22, с. 73—76.
10. AAO Newsletter, 1983, N 26. 8 p.
11. Патракова А. Я. Современные зарубежные суперкремниконы и их применение. — Обзоры по электронной технике. Сер. 4 «Электровакуумные и газоразрядные приборы». М.: ЦНИИ Электроника, 1975, вып. 9 (327). 35 с.
12. Копылов И. М., Сомов Н. Н., Сомова Т. А. Двухпроцессорный аппаратно-программный комплекс — сканер БТА. III. Автоматизированная экспрессная обработка звездных спектров. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1985, 22, с. 77—88.