

УДК 520.82

ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ПОТОКОВ СТОХАСТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ВЫСОКОГО ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

© 2020 В. Л. Плохотниченко^{1*}¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 22 октября 2019 года; после доработки 19 марта 2020 года; принята к публикации 19 марта 2020 года

Описывается функциональная схема системы многомерного хронометрирования стохастических потоков событий высокого временного разрешения Квантохрон 5–48. Устройство позволяет определять моменты регистрации панорамными детекторами фотонов с сопутствующими пространственными, спектральными и поляризационными характеристиками, с дискретностью измерений 10 наносекунд и точностью привязки к UTC, обеспечиваемой сервером времени. Пиковая интенсивность регистрируемых потоков определяется частотой внутреннего высокочастотного генератора и может достигать 108 отсч./с. Средняя интенсивность определяется пропускной способностью шин ввода/вывода компьютера и может превышать 106 событий в секунду. Простота конструкции и использования допускают тиражирование (широкое применение) устройства.

Ключевые слова: техника: фотометрия

1. ВВЕДЕНИЕ

В рамках эксперимента МАНИЯ по поиску и исследованию сверхбыстрой переменности астрофизических объектов (Shvartsman 1977, Tsarevskij and Shvartsman 1977) были разработаны и внедрены в эксплуатацию несколько поколений систем регистрации моментов приходов отдельных фотонов (Demchuk et al. 1977, Pimonov 1979; 1983, Plokhotnichenko et al. 2009b, Zhuravkov et al. 1994, Zhuravkov and Plokhotnichenko 1994). Они сочетались с приемниками излучения различных типов, начиная с одноканальных фотометров на основе ФЭУ и заканчивая многомодовыми, использующими до трёх панорамных детекторов (Neizvestnyj and Pimonov 1978, Plokhotnichenko et al. 2009a). Основными функциями этих приборов являются определения моментов регистрации отдельных фотонов с точностью 10–30 нс, кодирование этих моментов способами, максимально соответствующими форматам сохранения и обработки информации, объединения этих данных с дополнительными характеристиками каждого события (энергетическими, поляризационными, пространственными). При этом необходимо минимизировать (в идеале — полностью устранить) потери уже детектированных событий в процессе обработки при интенсивностях их потоков вплоть до 10^6 отсч./с.

Последнее требование достаточно трудно реализовать при использовании неспециализированных компьютеров, работающих под управлением операционных систем общего назначения, функционирование которых необходимо останавливать на время приема данных, чтобы избежать их потерь при внутренних прерываниях системы, вызванных обслуживанием других процессов. На ранних стадиях эксперимента МАНИЯ использовались компьютеры с однозадачными операционными системами (Dedov et al. 1980, Korolev 1974), прерывающие другие операции при накоплении данных, чья исходная временная структура не искажалась. Наконец, для учёта разрывов в последовательности зарегистрированных событий при их обработке, там где это было необходимо, использовались специальные процедуры в программах анализа информации (Beskin et al. 2000, Karov 2007).

В последние годы эти исследования развивались в направлении использования нескольких панорамных детекторов при синхронной регистрации большого набора характеристик каждого фотона (Plokhotnichenko et al. 2009a). При этом, разумеется, возрос поток накапливаемой информации и появилась необходимость существенного улучшения системы регистрации. Сформулируем требования к её новому варианту:

1. Реализация локальной точности определения моментов регистрации фотонов на уровне

*E-mail: pv1@sao.ru

- 10–20 нс с точностью привязки к UT, определяемой сервером времени;
2. Сохранение временной структуры потока квантов при интенсивности вплоть до 10^6 отсч./с;
3. Обеспечение функционирования прибора при накоплении данных без использования компьютера с последующей их передачей ему, как из внешней памяти;
4. Максимальное упрощение конструкции прибора, что допускает его тиражирование в качестве граббера к координатно-чувствительным детекторам для компьютеров офисного типа, работающих под управлением многозадачных операционных систем;
5. Использование на линии с системой регистрации единственного компьютера, в который встраивается Квантохрон как PCI-устройство (Peripheral Component Interconnect), вместо трёх в ныне используемой системе регистрации (Plokhotnichenko et al. 2009a).

В настоящей работе предлагается проект системы регистрации высокого временного разрешения Квантохрон 5-48, где реализуется вся совокупность этих требований. В первом разделе рассматривается функциональная схема прибора, во втором — описывается способ его функционирования, в третьем — обсуждаются варианты элементной базы, в заключении сформулированы преимущества прибора.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Основной задачей выполняемой проектируемым прибором, является определение моментов регистрации фотонов, попадающих на фотокатод детектора, их кодирование и передача последовательности этих данных в компьютер, где они накапливаются и обрабатываются. При этом многоканальность хронометрирования определяется набором признаков, которыми обладает каждый зарегистрированный фотон. К ним относятся или могут относиться координаты фотона на фотокатод детектора, номер детектора, код фильтра, код положения поляроида и т.д. Таким образом, каждому фотону в конечном итоге соответствует 64-разрядный код, содержащий информацию о моменте его регистрации и его дополнительных признаках. Именно последовательность этих кодов с выхода прибора Квантохрон 5-48 поступает в компьютер и хранится в его долговременной памяти для анализа и интерпретации.

В состав рассматриваемой системы регистрации входят следующие функциональные блоки (см. рис. 1, 2):

1. Блок измерения времени на линии с GPS (Global Position System);
2. Распределитель потоков данных — ключ «по» на функциональной схеме рис. 2;
3. Банки памяти (два экземпляра), работающее по принципу flip-flop;
4. Выходной буферный регистр;
5. PCI-контроллер.

2.1. Блок измерения времени (БИВ)

Его функции — определение времени попадания на фотокатод фотоприемного устройства (ФПУ) отдельного фотона, кодировка этого момента и присоединение его к 48-разрядного коду координат (с дополнительными характеристиками) фотона. Последний поступает с выхода ФПУ в координатную часть входного регистра в сопровождении строб-импульса. Строб-импульс фиксирует также и показания счетчика импульсов генератора нониусной частоты 100 МГц, поступающей во временную часть входного регистра (16 разрядов). Значения этих счетчиков в момент прихода строба вместе с принимаемыми от детекторов координатными кодами передаются в 64-разрядный входной регистр, как младшие разряды отсчёта времени.

Генератор нониусной частоты (100 МГц) является компонентом собственно БИВ, в то время, как импульсы от генераторов с частотами 10 кГц и 1 Гц поступают от GPS, а их счетчики также входят в БИВ. Показания последних также фиксируются строб-импульсом в отдельном адресном регистре, соответствующем каждому входному коду фотона и определяющему его место на странице памяти. В адресный регистр входят показания 8-разрядного счетчика строб-импульсов, 16-разрядного счетчика импульсов частоты 10 кГц от сервера времени, и 1-разрядного счетчика импульсов частоты 1 Гц (pps). Сам номер секунды можно получать от сервера времени, но если предполагается вне сетевая работа устройства, то секунды можно подсчитывать и в нём самом. Отметим, что и временная часть кода фотона, нониусный счетчик, и значение счетчика фотонов в адресном регистре обнуляются ближайшими импульсами частоты 10 кГц, тем самым запуская новый цикл измерений времени прихода очередного фотона и определения его адреса в буферной памяти.

В конечном итоге при регистрации фотона на выходе БИВ формируется 64-разрядный код данных о нём (нониусный отсчет времени, координаты и т.д.) и 25-разрядный код адреса размещения его в банках памяти Квантохрона.

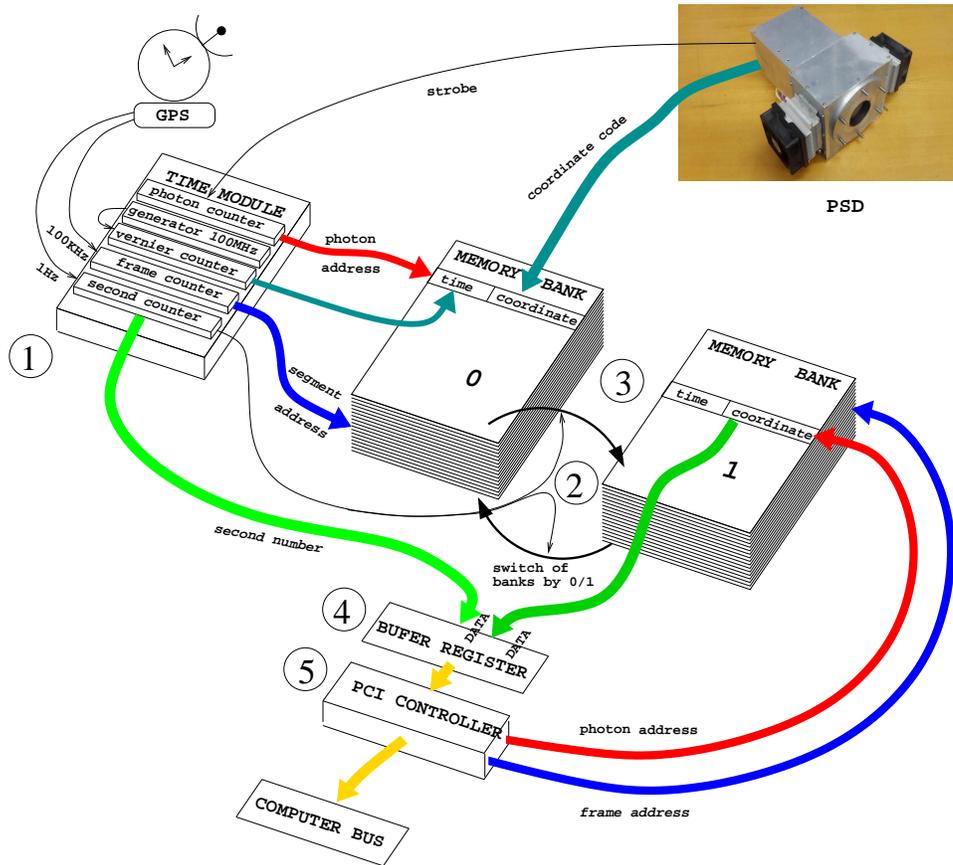


Рис. 1. Представление Квантохрона 5-48 в виде диспетчера (слева), двух банков памяти (0, 1) и контроллера передачи данных в нижней части рисунка. PSD — Position Sensitive Detector. Объяснение см. в тексте.

2.2. Распределитель потоков данных (РПД)

Этот узел состоит из ключа «по» и выполняет единственную, однако принципиально важную функцию — переключает банки памяти для приема и накопления кодов фотонов, сформированных БИВ, согласно их адресам. В частности, значение 0 разряда счетчика импульсов частоты 1 Гц, перенесенное в адресный регистр кода, определяет банк памяти, куда РПД направляет этот код (см. рис. 1–2).

2.3. Банки памяти

Наличие в составе системы регистрации двух банков памяти обеспечивает глубокую буферизацию данных, что практически исключает их потери вплоть до интенсивности потока 10^6 отсч./с. Условно на функциональной схеме они названы DIMM*32. Выбор определится при проектировании устройства. При этом они поочередно принимают информацию и передают её для обработки и долговременного хранения в компьютер. Каждый банк имеет трехуровневую структуру. Верхний уровень соответствует всему банку (объемом,

например 32 Мб), который заполняется в течение 1 с согласно значению младшего разряда счетчика импульсов одnogерцового генератора (pps) сервера времени (в адресах кодов фотонов), например «0».

Второй банк со значением этого разряда «1» в это же время передает данные в компьютер. Средний уровень реализуется в наборе страниц — элементов памяти объемом 2048 байт (256 64-разрядных кодов), каждая из которых заполняется в течение цикла генератора с частотой 10 кГц. Страницы соответствуют тактам экспозиции или фреймам. По тексту эти определения почти синонимы. Но фрейм — временной промежуток между тактовыми импульсами, а страница — область памяти в буферном банке, где накапливается информация, полученная во фрейме. Их адреса (номера в банке) определяются счетчиком импульсов тактового генератора, а полное количество составляет 10 000 элементов. Тактовые импульсы, кроме организации циклов заполнения страниц, сами подаются на координатный регистр, подмешиваясь к стробам данных через ключ «ог» и измеряя тем самым время окончания такта в количестве циклов высокой частоты, а также

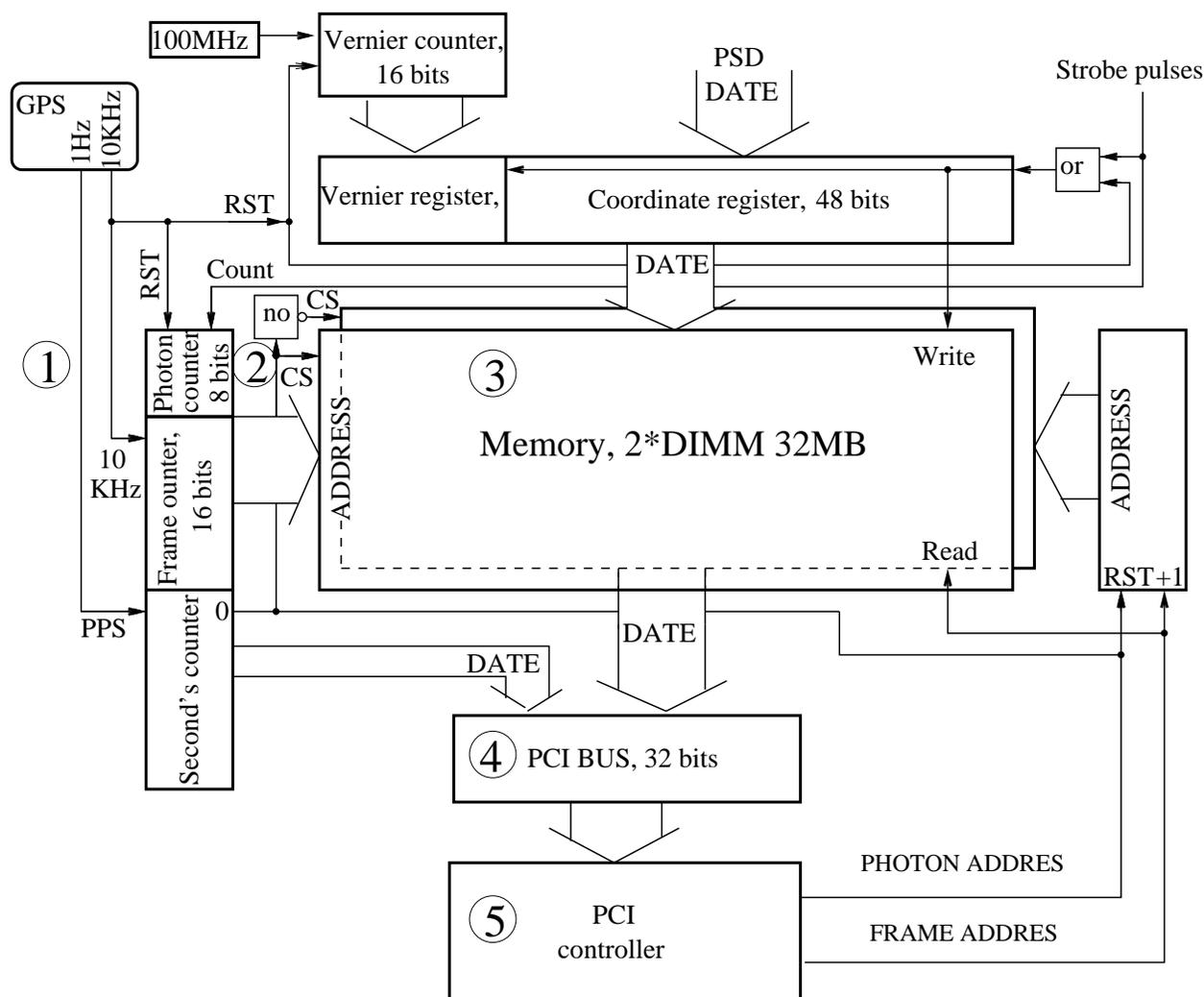


Рис. 2. Функциональная схема Квантохрона 5-48.

являясь признаком окончания данных во фрейме и, соответственно, записи их на странице.

Наконец, нижний уровень — строка на каждой странице, номер которой определяется как номер пришедшего фотона после начала такта. Она содержит 64 разряда (8 байт), в которую записывается высокочастотный отсчет времени прихода фотона, полученный от БИВ, а в следующие 48 разрядов помещается координатный код фотона, пришедший от ФПУ. Адрес строки (её номер на странице) определяется значением счетчика фотонов (старт-импульсов). При этом, как правило, за время заполнения страницы 10^{-4} с, в него поступает не более 10–20 кодов фотонов, т.е. значительное количество строк не содержит информации, что учитывается при обработке данных по признаку конца данных. Таким образом каждый банк памяти способен принять до 2.5 млн. кодов фотонов. Эта величина на 1.5–2 порядка превышает типичные интенсивности потоков излучения, регистрируемые

в реальных наблюдениях, и позволяет не достигать превышения темпов поступления отсчетов возможностями их регистрации при сильной вспышке.

Использование памяти типа flip-flop исключает из процесса измерений динамическую логику формирования указателей начала и конца данных и необходимость отслеживать в реальном времени уровень заполнения буфера типа FIFO при нестабильном потоке принимаемых данных. Получение же структурированных данных из банка устройства с незаполненными участками позволяет анализировать особенности процесса получения данных программно, перед исключением пустых участков в потоках отсчетов для архивирования, а не на уровне проектирования исполняемого кода устройства, созданного в виде «чёрного ящика».

Чтобы при переключениях банков памяти не возникали пустые промежутки между принятыми порциями данных и измерение времени появления событий было непрерывным, заполнение банка на-

до начинать по переднему фронту импульса pps, а прекращать по заднему следующего. В таком случае экспозиции банков будут немного накладываться друг на друга. Поэтому считывание заполненного банка должно начинаться с некоторой задержкой и после завершения его наполнения. В этом случае количество страниц в нём будет больше, чем 10 000, что должно учитываться при анализе данных. Такой прием используется в ныне действующем Квантохроне 4-48.

Если при конструировании устройства окажется технологически сложно подавать регистрируемые отсчеты сразу в оба банка на стыках их экспозиций, то можно отказаться от этого решения, оставляя минимальные зазоры на эти переключения, например 10 нс. Такие зазоры могут быть обнаружены в потоке стохастических данных только при очень большом времени накопления и высокой интенсивности потока и только методом цифрового синхронного детектирования при фазированном сложении данных с секундным периодом при размере окна дискретизации те же 10 нс, т.е. рассматривая ряды с длиной 10^8 окон, поэтому их воздействие на результаты обработки можно не принимать во внимание. Оно будет ничтожно мало. Но можно и просто фиктивно увеличить секундную шкалу времени на те же 10 нс и получать абсолютно непрерывный ряд, подходящий для исследования в нём любых мыслимых астрофизических явлений.

2.4. Выходной буферный регистр

Его функция — выделение из общего объема данных памяти кода фотона, предназначенного для переноса в компьютер. В буферном регистре поочередно размещаются 64-разрядные коды фотонов из банка памяти, считываемого в текущем цикле, записанные туда в предыдущем секундном цикле. Перенос кода из буферного регистра на 32-разрядную PCI-шину компьютера происходит в два такта под управлением PCI-контроллера.

2.5. PCI-контроллер

PCI-контроллер работает под управлением драйвера устройства и обеспечивает перенос данных (64-разрядных кодов) из выходного буферного регистра на PCI-шину компьютера. Его назначение — после начала очередной секунды прочитать заполненный банк памяти. При этом возможно использование групповой операции «insw», а не DMA (Direct Memory Access), что проще и для проектирования устройства и при его программировании. Переписываться всегда должен фиксированный объем памяти, оставляя операции сортировки данных программе приема,

что облегчает конструирование устройства. При невысокой частоте работы шины входных данных используемого компьютера можно в каждой записанной странице считывать не полное количество строк, имеющихся на ней, естественно снижая при этом предельно допустимую интенсивность регистрируемого потока и понижая требования к быстройдействию шины чтения данных. Если считанная из памяти страницы порция данных не имеет признака окончания, то можно прочитать из памяти ещё фрагмент. И так до обнаружения или исчерпания выделенного для страницы буфера памяти. Тогда и при невысокой производительности шины входных данных можно иметь возможность обрабатывать регистрацию сильных, но не очень частых вспышек, не перегружая шину без необходимости. Такой прием позволяет использовать Квантохрон гибко, настраиваясь на интенсивность входного потока и возможности вычислительной системы.

3. СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ

3.1. Получение отсчетов в РС

Считывание данных в компьютер необходимо организовывать таким образом, чтобы при анализе можно было восстановить их правильную структуру. При этой процедуре записывается время начала заполнения каждого банка, определяемое по счетчику секундных импульсов, время начала каждого непустого фрейма отсчетов, измеренное по счетчику импульсов частотой 10 кГц от GPS. К разрядам этого счетчика добавляется количество квантов, полученных во фрейме, что позволяет упростить процедуру выборки заполненных строк. Но можно перед началом накопления банка обнулить его из PCI-контроллера и тогда признаком окончания данных будет пустая строка. Можно также последним отсчетом записывать длительность окончившегося фрейма. Выбор конкретного решения будет сделан при реализации проекта.

Время начала накопления страницы определяется по адресу этой страницы в буферной памяти. На рис. 3 показан образец последовательных страниц-фреймов со строками принятых 48-разрядных отсчетов и показаний нониусных счетчиков. После приема этих страниц компьютером для экономии внешней памяти из данных должны быть убраны пустые строки, а в разделители страниц, которые отмечают их начала, вписываются номера тактовых отсчетов. В начале каждой секундной порции записываются номер той секунды, в которых они были получены, а также количество квантов, записанных на данной странице (число непустых строк). Секундные отсчеты берутся из сервера времени.

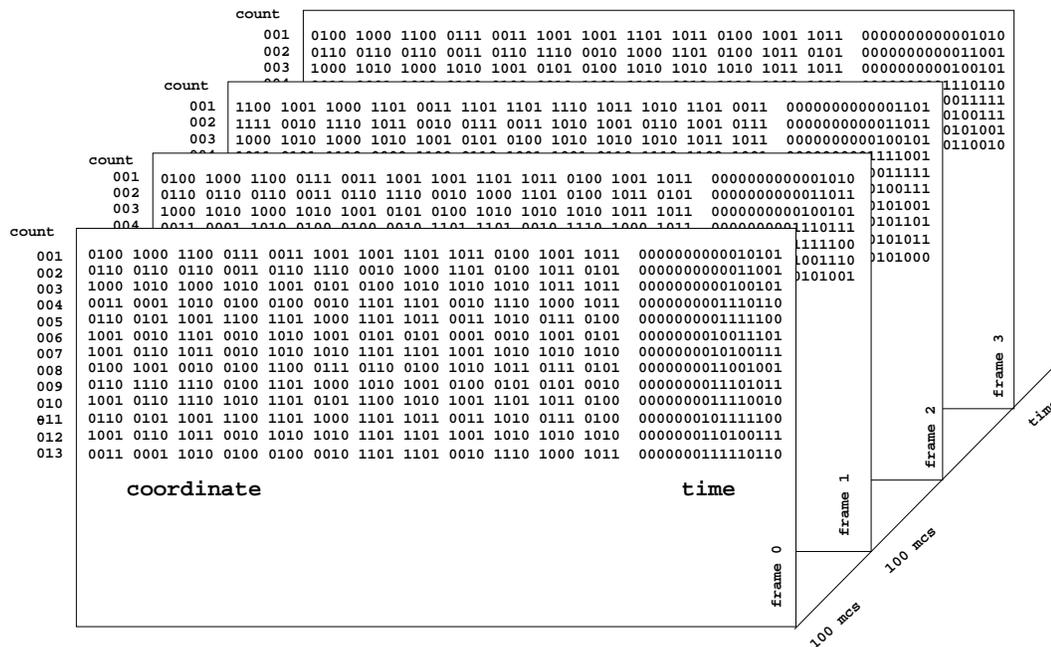


Рис. 3. Образец принимаемых данных — аппаратные фотонные листы.

Собранные в один 64-разрядный код отсчеты нониусных счетчиков и координат размещаются строками в порядке их поступления во внутренней памяти Квантохрона в виде строк на очередной странице, номер которой определяется значением счетчика тактовых импульсов частотой 10 кГц, поступающих от сервера времени. Этот счетчик страниц достигает значения 10 000 к окончанию очередной секунды. Адрес строки на странице, определяется значением счетчика событий, который устанавливается в 0 при начале очередного 100 мкс такта или фрейма измерения. Счетчики тактовых импульсов частотой 10 кГц используются для измерения времени регистрации очередной серии квантов после начала заполнения очередной страницы и одновременно служат адресом этой страницы.

Полным циклом измерения является кадр длительностью 1 с, который помещается в банках памяти Квантохрона даже при предельных интенсивностях регистрируемых потоков квантов. Полученный кадр может быть прочитан современным компьютером общего назначения в свободном режиме из пользовательской программы, без необходимости делать это предельно быстро в почти реальном времени, как в используемом ныне устройстве Квантохрон 4-48. В каждом фрейме, длительностью 100 мкс, как уже отмечалось выше, может быть получена и размещена на соответствующей ему странице информация о 256 квантах. Это и определяет указанный выше предельный темп регистрации данных. Его можно поднять увеличением

объёма буферной памяти, что определяется техническими параметрами применяемых элементов.

Отдельной задачей является определение конца порции отсчетов, записанных на странице. Для этого при окончании такта может выполняться обнуление координатного регистра по переднему фронту тактового импульса и записи показания нониусного счетчика в момент такого события. Это может быть сделан сигнал «ог», как показано в правом верхнем углу схемы на рис. 2, по которому в последовательность стробов входных данных включается тактовый импульс. В этом случае при окончании такта он будет регистрироваться как отсчет от детектора, измеряя длину промежутка между тактами количеством циклов высокой частоты, прошедших между соседними тактовыми импульсами, что позволит регулярно, в каждом рабочем такте определять действительную длительность цикла нониусного генератора. При этом счетчик частоты запишет время окончания такта в единицах этих циклов, которое:

- легко находить при обработке, как длительность фрейма в циклах нониусного генератора $-10\,000 \pm 1$;
- можно использовать для определения цены делений шкалы этих измерений.

Задним фронтом того же тактового импульса сбрасываются показания нониусного счетчика и счетчика квантов, пришедших в за время выполнения такта.

Возможно применение другого метода индикации окончания строк с кодами квантов на страницах. Например в банк памяти заранее обнуляется, и появление 0 на месте очередного фотоотсчета будет служить признаком окончания заполненных строк.

Если на какой-то странице произошло заполнение всего пространства памяти событий, то значение счетчика событий будет установлено в 0 и далее он будет повторно указывать адреса для заполнения буферной памяти в пределах этой же страницы. Такие явления могут происходить только при очень высоком темпе поступления данных, превышающем объявленные 2.56 млн отсч./с, но тем не менее их надо исключить и поэтому число событий не должно превышать 255. Это приведет к потере избыточных событий, однако будет зарегистрирован факт переполнения.

3.2. Определение моментов регистрации фотонов

После переписи кодов фотонов на компьютер и исключения пустых участков на страницах памяти, архивируемые данные записываются в формате, подобном уже отработанному в предыдущей версии Квантохрон 4-48 (Plokhotnichenko et al. 2009b). В нём тактовые и нониусные отсчеты для надёжности распознавания в сплошном потоке имеют вид в шестнадцатеричном или hex-коде соответственно:

0xFFFE0000+<номер такта, 32 бит>

и

0xFNNNCCCCCCCCCC,

где 0x — hex-формат, а каждая буква означает 4-битное число. F — первые 4 бита — резерв, все биты установлены в 1, NNN — 12 бит нониусного отсчета, CCCCCCCCCCC — 48 бит многомерных кодов координат.

Время прихода фотона определяется по формуле:

$$t = UTC_{[s]} + 10^{-4}T + sN \quad (1)$$

где $UTC_{[s]}$ — номер секунды, полученный от сервера времени по локальной сети перед началом экспозиции, T — количество 10 кГц импульсов, пришедших от начала секунды, s — интервал между нониусными импульсами. $s \sim 10^{-8}$ при нониусной частоте 100 МГц или 2.5×10^{-9} с при частоте 400 МГц, N — номер высокочастотного импульса, пришедшего после начала такта. Значение s определяется возможностями элементной базы. Его измерение в работающем устройстве описано в разделе 3.1. Размерность отсчетов —

$t[s]$. Высокочастотный генератор внутренней нониусной частоты не предполагается синхронизировать с 10 кГц импульсами сервера времени, поэтому изменения времени будут иметь неопределенность в привязке к UTC в его младшем разряде, что меньше неточности привязки к UTC сигналов PPS и тактовых импульсов сервера времени. Но такая дискретность обеспечивает возможность анализа локальных интервалов между приходящими событиями.

Из массивов принятых кодов с отсчётами времени формируются обобщенные фотонные листы, содержащие информацию о полноформатном времени регистрации каждого фотона и его координатах, которая может обрабатываться другими программами, в том числе и внешними заявителями наблюдательного времени.

4. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ КВАНТОХРОН 5-48

Естественным представляется создание прибора с использованием различных типов программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) (англоязычные аббревиатуры FPGD, PLD, CPLD). В качестве одного из возможных вариантов компоновки устройства на рис. 4 приводится структурная схема прибора, собранного из схем ряда SPARTAN. В них с помощью программаторов записываются исполняющие коды-ключи описанных выше процедур, а обмен данными производится с помощью внутренних шин (internal bus), объединяющих как собственно PLD, так и банки памяти на базе модулей DIMM в единую конструкцию.

PCI-контроллер представляет собой специализированную микросхему. Вместо него возможно использование чипа USB-контроллера или Giga Ethernet для работы в выделенной линии. Это будет определяться на этапе конструирования.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предлагаемой для изготовления (проектирования) система многоканального хронометрирования потоков фотонов с высоким временным разрешением развиваются проверенные практикой многолетних наблюдений принципы многомерной хронометрии, реализованные в системах Квантохрон 3-16, Квантохрон 4-48. Его особенность заключается в организации дополнительно (надстроечного) функционального узла, обеспечивающего автономный на протяжении секунды прием информации в многостраничную буферную память, переключаемую тактовыми синхроимпульсами от сервера времени. Благодаря такой конструкции можно выполнять непрерывное на протяжении длительного времени получение данных от

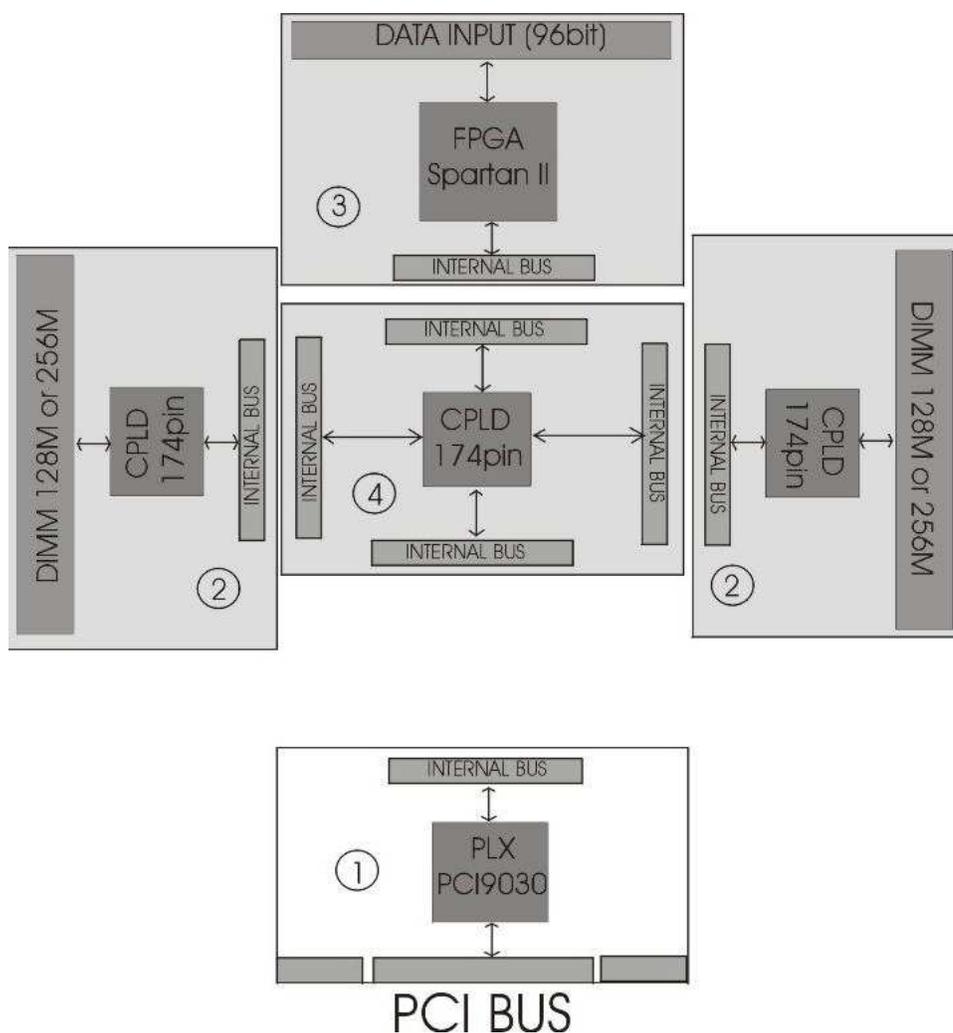


Рис. 4. Вариант сборки платы Квантохрона на интегральных элементах. 1 — PCI-контроллер; 2 — банки памяти; 3 — временной модуль, содержащий регистры входных данных, синхросигналов и счетчиков; 4 — коммуникатор, переключатель внутренних шин адресов и данных. Функции диспетчера совместно исполняют узлы 3 и 4.

детекторов на одном компьютере в режиме простой пользовательской задачи без использования драйвера в ядре системы. В устройстве исключены неконтролируемые искажения временной структуры данных вплоть до предельных интенсивностей регистрируемых потоков. При превышении — легко обнаружимая потеря отсчетов на странице памяти.

В отличие от подобных устройств предыдущих поколений новый прибор не требует постоянного сканирования его готовности к передаче данных драйвером уровня ядра операционной системы с запретом всех прерываний. В каждом его секундном цикле регистрации входных потоков событий используются три опорные частоты 1 Гц, 10 кГц и 100 МГц, после чего данные циклически размещаются в одном из двух банков памяти, независимо от компьютера, накапливающего и обрабатывающего информацию. Прибор по существу является мно-

гомерным хронометрическим граббером для исследования с помощью компьютеров офисных типов излучения астрофизических объектов, регистрируемого координатно-чувствительными детекторами фотонов различных типов, а также при лабораторных исследованиях новых детекторов.

Использование хронометрии потоков квантов, регистрируемых от координатно-чувствительными детекторами (КЧД), встроенными в многофункциональные фотометры, позволяет расширять унифицированные наблюдательные средства в виртуальную область, где интерактивно-программными методами временного анализа массивов накопленных потоков квантов в виде фотонных листов можно дополнять аппаратные средства исследований.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность всем коллегам, в сотрудничестве с которыми по частям форми-

ровалась и зрела идея описанного здесь устройства, — А. А. Пимонову за многочисленные обсуждения проблемы, в результате которых появилась идея построения первого проекта Квантохрона 3–8, А. В. Журавкову за сотрудничество в реализации его трёх вариантов, два из которых 15 лет использовались в наблюдениях на БТА и с ними началось внедрение КЧД в астрономическую практику, В. Н. Черненко за конструктивные замечания к работе, позволившие существенно улучшить её текст, и В. А. Мурзину за полезные дискуссии. А также А. В. Солину и А. Г. Тихонову, совместно с которыми элементы описываемого устройства в 2004 г. были отлажены в прототипе описываемого прибора — Квантохрон 4–48, используемом в программных наблюдениях на БТА уже 15 лет. А основную роль в появлении этой статьи сыграл Г. М. Бескин, инициировавший работы по созданию всех хронометрических устройств предыдущих поколений, затративший много сил и внимания на представление её описания в виде, понятном широкому кругу читателей.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Выполненная работа поддержана в рамках государственного задания САО РАН в части «Проведение фундаментальных научных исследований». Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (включая соглашение №05.619.21.0016, уникальный идентификатор проекта RFMEFI61919X0016).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conceptual Design of a High Temporal Resolution System for the Detection of the Fluxes of Stochastic Events

V. L. Plokhotnichenko¹

¹Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

This paper presents the functional design of Quantochron 5–48 high temporal resolution system for multidimensional chronometration of stochastic fluxes. The device can determine the photon arrival times by array detectors and the accompanying spatial, spectral, and polarization characteristics of these photons, with a sampling time of 10 nanoseconds and the accuracy of UTC calibration provided by the time server. The peak intensity of detected fluxes is determined by the frequency of the internal high-frequency generator and may amount to 10^8 counts/s. The average intensity is determined by the input/output computer bus bandwidth and may exceed 10^6 counts/s. The simplicity of design and use allows the device to be mass replicated and widely used.

Keywords: *techniques: photometric*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. M. Beskin, V. V. Pavlova, and V. L. Plokhotnichenko, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **50**, 74 (2000).
2. Y. A. Dedov, M. A. Ostrovskij, K. V. Peselev, et al., *Small PCs and their implementation* (Statistika, Moscow, 1980) [in Russian].
3. M. I. Demchuk, O. A. Evseev, G. S. Tsarevskij, et al., *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*, No. 20, 5 (1977).
4. S. V. Karpov, PhD Thesis (Spec. Astrophys. Obs., Nizhnii Arkhyz, 2007).
5. L. N. Korolev, *Computer structures and their software* (Nauka, Moscow, 1974) [in Russian].
6. S. I. Neizvestnyj and A. A. Pimonov, *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*, No. 23, 56 (1978).
7. A. A. Pimonov, *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*, No. 25, 31 (1979).
8. A. A. Pimonov, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (Sternberg Astron. Inst. Moscow State Univ., Moscow, 1983).
9. V. L. Plokhotnichenko, G. M. Beskin, V. G. de Bur, et al., *Astrophysical Bulletin* **64** (3), 308 (2009a).
10. V. L. Plokhotnichenko, A. V. Solin, and A. G. Tikhonov, *Astrophysical Bulletin* **64** (2), 198 (2009b).
11. V. F. Shvartsman, *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*, No. 19, 5 (1977).
12. G. S. Tsarevskij and V. F. Shvartsman, *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*, No. 19, 39 (1977).
13. A. V. Zhuravkov, A. A. Pimonov, and V. L. Plokhotnichenko, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **37**, 159 (1994).
14. A. V. Zhuravkov and V. L. Plokhotnichenko, RF Patent No. 2012027 (1994).