

УДК 520.8

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОТОКОВ МНОГОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ “КВАНТОХРОН 4-48”

© 2009 В. Л. Плохотниченко^{1*}, А. В. Солин^{2**}, А. Г. Тихонов^{2***}

¹Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Минск, Национальный Институт Физики Частиц Высоких Энергий

Поступила в редакцию 4 декабря 2008 г.; принята в печать 15 марта 2009 г.

Описывается система регистрации световых потоков для изучения их свойств с высоким временным разрешением. В регистрирующей системе “Квантохрон 4-48” для измерения времени прихода фотонов используются периодические сигналы трех типов — секундные (pps), с частотой 10 кГц и частой 30 МГц, причем первые два поступают с GPS, а последний — с PCI-шины компьютера на линии с прибором. Для каждого момента по данным этих шкал создается 28-разрядный код времени и дополняется 48 разрядами, содержащими информацию о координатах, энергии и поляризации кванта, которые формируются на выходе детектора. Последовательность полных 64-разрядных слов буферизуется в FIFO-памяти и пересылается в память компьютера. Базовым элементом прибора, выполненного в виде стандартной PCI-платы, является микросхема XILINX SPARTAN XCS40XL RQ240AKP0505. Комплекс регистрации состоит из двух PC-серверов, снабженных этими платами, и управляющего компьютера. Система определяет моменты прихода фотонов с точностью 30 нс с мертвым временем 30 нс при максимальном потоке событий, накапливаемом без потерь, — 10^6 фотонов/с. Комплекс регистрации в течение 17 часов обеспечивает непрерывное накопление отсчетов от детектора, привязанных к Мировому времени с микросекундной точностью.

Ключевые слова: *методы астрономических наблюдений, приборы и инструменты*

1. ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей характеристикой быстропеременных астрофизических источников излучения являются закономерности вариаций интенсивности. Их изучение желательно проводить с максимально высоким временным разрешением. Для этого необходимо регистрировать отдельные фотоны, порождаемые в этих источниках. В качестве их детекторов ранее использовались фотоэлектронные умножители (ФЭУ) [1]. Со временем к ним добавились матричные ФЭУ, лавино-пролетные диоды (APD) [2], криогенные STJ — Superconducting Tunnel Junction [3, 4] и КЧД — координато-чувствительные детекторы фотонов различных конструкций (см., например, [5–7]).¹

На выходе этих детекторов принятым квантам света соответствуют стандартизованные электронные импульсы, длительности которых должны быть

много (в сотни раз) меньше среднего интервала между этими импульсами.

Развитие электронной техники позволило проводить высокоточные исследования свойств потоков случайных дискретных сигналов. Обзор применявшихся средств можно найти в работах [9] и [10].

Здесь мы описываем систему регистрации потоков случайных дискретных событий с координато-чувствительными детекторами фотонов, описанными в работах [6] и [7]. Эти события соответствуют потокам оптических квантов, накапливаемых в астрономических наблюдениях.

На начальном этапе развития время-регистрирующей техники измерения проводились в основном в старт-стопном режиме [11]. Ныне такой режим используется при измерениях в течение короткого времени после стартового импульса, синхронизованного с началом изучаемого процесса, как, например, при лазерной локации [12]. В астрофизических исследованиях накопление потока квантов идет на протяжении длительного времени [13]. Кроме того, при работе с координато-чувствительными детекторами можно определять пространственные, спектральные и поляризационные характеристики излучения, т.е. получать многомерные массивы данных [14].

*E-mail: pv1@sao.ru

**E-mail: solin@hep.by

***E-mail: ant@hep.by

¹Отметим, что ПЗС-матрицы, являющиеся наиболее эффективными современными детекторами, плохо приспособлены для регистрации отдельных фотонов и изучения слабых и быстропеременных источников [8].

В итоге каждому принятому фотону присваивается многоразрядный код, около половины разрядов которого формируются непосредственно на выходе детектора и содержат информацию о его координатах, цвете, поляризации. Вторая же половина разрядов кодирует момент прибытия фотона. В ходе наблюдений младшие разряды этого кода изменяются с каждым новым актом регистрации, а старшие — согласно “медленной” временной шкале. Таким образом реализуется оптимальное сочетание нониусных или многошкальных измерений времени с регистрацией многоразрядных характеристик событий.

История использования время-измерительных приборов в астрофизике быстропеременных процессов началась в САО АН СССР в 1972 году с создания преобразователя “время-код” Минским Институтом Физического Приборостроения [11]. Впоследствии его стали называть “Квантохрон-1”. Это устройство базировалось на разравнивающей памяти в виде 4 ячеек, имеющих 24 разряда, регистрирующих интервалы между соседними отсчетами, поступавшими по двум каналам от фотополяриметра. Ныне память такого типа называется FIFO (First Input — First Output). Применение разравнивающей памяти было вызвано необходимостью регистрации отсчетов, разделенных очень короткими временными интервалами, когда шина приема данных электронно-вычислительной машины еще не успевает перейти в состояние готовности к приему следующего отсчета. С этим устройством были проведены первые наблюдения быстропеременных объектов и кандидатов в черные дыры на БТА [15, 16].

В 1978 году в САО АН СССР была разработана система регистрации “Квантохрон-2”, определяющая моменты прихода квантов, а не интервалы между ними [17]. В качестве разравнивающей памяти использовались четыре 50-разрядные FIFO-ячейки. Определение времен регистрации квантов позволило пополнить список наблюдаемых объектов пульсарами и вспыхивающими звездами, см. работы [18, 20].

На следующем этапе было разработано устройство “Квантохрон 3-16” на основе двойного буфера из 15-ти 32-разрядных ячеек памяти типа flip-flop, в которой два буфера используются по очереди [19–21]. Эта система принимала 16-разрядные координатные коды и добавляла к ним 16 нониусных разрядов времени регистрации с дискретностью измерения 20 нс. Старшие разряды отсчетов времени определялись с дискретностью от 100 мкс до 1 мс и относились ко всей группе из 15 фотоотсчетов. С этой системой регистрации проводились наблюдения с 1990 по 2004 год. В качестве светоприемной аппаратуры на линии с “Квантохроном 3-16” до 1998 г. использовались

многоканальные фотометры на базе ФЭУ, а впоследствии и координатно-чувствительные детекторы [22–25].

Физическое старение квантохронов предыдущего поколения, а также их недостаточные разрядность и быстродействие, побудили нас к разработке нового устройства.

Здесь мы описываем новую версию регистрирующей системы “Квантохрон 4-48”, далее просто “Квантохрон”, принимающую 48-разрядные коды с добавлением к ним 12 разрядов нониусного кода времени. В ней используются три шкалы измерения времени — секундная, для определения текущей секунды UT, тактовая, для измерения момента времени в диапазоне 0–1 с с дискретностью 100 мкс и нониусная, в диапазоне 0–100 мкс с дискретностью 30 нс.

Основные особенности “Квантохрона”:

- 1) устройство изготовлено в виде одноплатного модуля, монтируемого в PCI-шину компьютера;
- 2) вся логика функционирования прибора, буферная FIFO-память и PCI-контроллер для приема данных компьютером, размещены на одной программируемой вентиляционной матрице FPGA (Field-Programmable Gate Array) [26];
- 3) секундная и тактовая шкалы, а также привязка к UT формируются сигналами GPS;
- 4) мертвое время системы совпадает с дискретностью измерений и составляет 30 нс.

В настоящей работе рассматривается конструкция “Квантохрона”, особенности функционирования его отдельных частей, математическое обеспечение системы, результаты тестирования и структура наблюдательного комплекса.

2. УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ “КВАНТОХРОНА”

2.1. Состав “Квантохрона”

Функционально “Квантохрон” состоит из следующих элементов (см. Рис. 1):

- блока управления (control block — СВ), взаимодействующего с компьютером через статусный регистр для выполнения предустановок “Квантохрона”, получения команды на прием данных и контроля заполнения буферной памяти устройства;

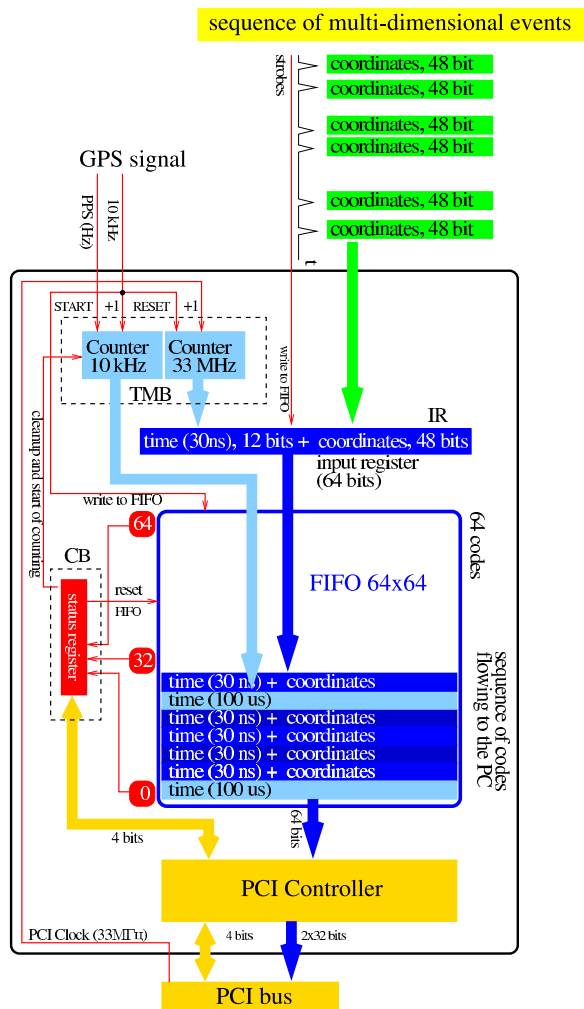


Рис. 1. Функциональная схема “Квантохрона 4-48”.

- блока измерения времени (time measurement block — TMB), состоящего из счетчиков тактовых импульсов от GPS (10 кГц) и тактовой частоты PCI-шины (33 МГц);
- входного регистра (input register — IR) для формирования полного 64-разрядного кода, присваиваемого каждому фотону, до размещения этого кода в буферной памяти и состоящего из счетчика тактов PCI-шины и 48-разрядных обобщенных координат;
- буферной памяти типа FIFO размером 64×64 для временного хранения до 64-х 64-разрядных кодов фотонов и счетчиков тактовых импульсов GPS;
- контроллера PCI-шины для приема команд управления и передачи принятых данных.

2.2. Описание работы блоков

Входными сигналами при работе квантохрона являются:

- секундные импульсы (pps — pulse per second) и тактовые импульсы частоты 10 кГц, поступающие от GPS для создания реперной шкалы времени;
- многозарядные коды обобщенных координат зарегистрированных квантов, формируемые КЧД или другим приемником излучения.

Блок управления (CB) подает команду очистки буферной памяти “Квантохрона” и сигнал начала работы, а также хранит в статусном регистре информацию об уровнях заполнения буферной памяти. Его четыре разряда могут записываться, а другие четыре только считываться центральным процессором компьютера через PCI-шину. В последних четырех разрядах содержатся флажки-сигналы, которые сообщают: первый об отсутствии данных, второй о разрешении считывания содержимого половины памяти и третий о переполнении памяти и потере отсчетов в последовательности регистрируемых событий. Четвертый разряд не используется.

Прием данных программой центрального процессора начинается с установки в 0 указателя заполнения буферной памяти в статусном регистре и разрешения работы с входными сигналами. С этого момента “Квантохрон” ожидает прихода ближайшего pps-импульса, после чего начинает работать счетчик тактов, подсчитывающий импульсы (10 кГц) от GPS.

Узел измерения времени (TMB) состоит из двух счетчиков: тактового, подсчитывающего количество импульсов, поступающих от GPS с частотой 10 кГц, и нониусного, считающего тактирующие импульсы частоты 33 МГц PCI-шины. Тактовый счетчик включается сигналом, передаваемым ему от компьютера через статусный регистр, и ближайшим к нему pps, приходящим от GPS в начале каждой секунды UT. Каждый следующий отсчет счетчика, появляющийся с периодичностью 100 мкс, тут же в составе 64-разрядного кода переносится в память FIFO. Промежутки между ними заполняются пространственными кодами зарегистрированных квантов и их нониусными отсчетами.

Нониусный счетчик обнуляется в момент прихода очередного тактового импульса, и его текущее состояние постоянно отображается в 12-ти “временных” разрядах полного кода фотона во входном регистре. Они переписываются в память FIFO по сигналам о зарегистрированных квантах. Импульсы генератора PCI-шины и импульсы GPS

не синхронизованы, поэтому отсчет времени имеет точность не менее 30 нс (интервал между импульсами PCI-шины).

Выражение, для определения момента УТ прихода координатных импульсов приводится ниже.

Входной регистр (IR) имеет 64 разряда и соединяет с текущим значением 12-ти разрядного нониусного счетчика 48-разрядный координатный код. При этом 4 старших разряда остаются свободными.

Во входном регистре коды потока регистрируемых событий появляются на время 50–100 нс. В течение этого интервала по отдельному проводу приходит сопровождающий каждый фотон строб-пульс, после чего содержимое входного регистра передается в буферную FIFO-память. Если за время очередного такта не было ни одного строб-пульса, то входной регистр не считывается, и в буферной FIFO-памяти окажутся только отсчеты времени, обрамляющие данный такт.

Буферная FIFO-память имеет объем 512 байт, достаточный для хранения 64 слов по 64 разряда (8 байт). В буферную память устройства заносятся коды, содержащие либо отсчет тактового счётчика, либо коды фотонов из буферного регистра. Буферная память служит для выравнивания во времени нерегулярности потока регистрируемых кодов фотонов.

FIFO-память считывается центральным процессором через PCI-контроллер по адресу ее верхней ячейки, как одиночными словами, так и блочно. В избыточные разряды в ячейках памяти записываются единицы, что позволяет улучшить динамическую надежность работы “Квантохрона” в стыках между считываемыми порциями данных и упростить алгоритм распознавания тактов в потоке отсчетов при их редукации.

PCI-контроллер работает по командам центрального процессора компьютера, позволяет выполнять команды записи/чтения статусного регистра, а также обеспечивает пересылку накопленных данных из буферной FIFO-памяти в память компьютера. PCI-контроллер получает из FIFO 64-разрядные коды и передает их центральному процессору за 2 такта как одиночные 32-разрядные слова или как массивы из 64-х 32-разрядных слов. Данные считываются процессором через младшую ячейку FIFO-памяти устройства, адрес которой становится известным системе ввода/вывода (BIOS) компьютера при его включении и инициализации “Квантохрона”, см. ниже. Блочное считывание применяется для ускоренной передачи данных в компьютер. Если частота их следования не превышает 1.5×10^6 отсч./сек, то PCI-контроллер успевает передавать центральному процессору накопленные коды прежде, чем на их место придут следующие.

2.3. Техническое исполнение

“Квантохрон 4-48” построен на основе чипа FPGA — XILINX SPARTAN XCS40XL PQ240AKP0505 [27]. Прошивка микросхемы разработана с помощью языка проектирования логических матриц VHDL [28], используемого для описания и моделирования электронных систем. Конфигурационный код для работы FPGA, заполняющий чип в момент включения компьютера в процедуру инициализации, записан в микросхему flash-памяти, распаянную на обратной стороне платы “Квантохрона”. Систему можно перепрограммировать в некоторых пределах для обеспечения выполнения других функций.

Внешний вид “Квантохрона 4-48” показан на Рис. 2.

В центре размещена микросхема FPGA, слева — контакты 48-ми разрядного входного сигнала, на три нижних контакта подаются строб-пульс и синхроимпульсы GPS, внизу — ламели для установки в PCI-слот, вверху и справа посередине — ламели для расширения функциональных возможностей устройства; верхние контакты справа — для заливки конфигурационного кода в чип flash-памяти из программатора. Плата работает в компьютерах с процессорами типа P-III, P-IV.

Основные характеристики “Квантохрона 4-48”:

- локальная точность измерения момента прихода фотона — 30 нс;
- мёртвое время системы — 30 нс;
- предельный поток, регистрируемый без потерь — 10^6 фотоотсчётов/сек;
- разрядность принимаемых сигналов — 48, что соответствует полю координат 2^{48} ;
- предельная длительность экспозиции — 2^{16} сек.

Сигналы pps и тактовые импульсы GPS имеют точность привязки к Мировому времени лучше 1 мкс, что обуславливает хронометрическую точность регистрации времени прихода импульсов.



Рис. 2. “Квантохрон 4-48” — система регистрации и хронометрирования потоков случайных событий.

3. ДРАЙВЕР

В операционной системе LINUX можно выполнять программу, работающую с внешними устройствами, как на уровне пользовательской задачи, так и на уровне ядра системы. Однако в первом случае невозможно длительное накопление потоков отсчетов без множественных потерь из-за прерываний этого процесса другими задачами. Для обеспечения запрета любых прерываний программа приёма данных от “Квантохрона” может корректно работать только как код, исполняемый на уровне ядра системы, поэтому драйвер написан в виде *plug-and-play* PCI-модуля. Он начинает работу после загрузки командой *insmod* с определения адресов статусного регистра и расположения памяти FIFO в адресном пространстве компьютера. Для накопления данных драйвер посылает в “Квантохрон” команды остановки предыдущей работы и обнуления индикатора заполнения FIFO-памяти. Далее драйвер начинает постоянно считывать и анализировать статусный регистр. При появлении очередного *pps*-импульса в “Квантохроне” начинает работать схема регистрации показаний счетчиков тактовых импульсов (10 кГц), поступающих от GPS, и многомерных кодов потока отсчетов, которые заносятся в буферную память, как это описано выше. В момент заполнения половины памяти FIFO в 4-м разряде статусного регистра (индикатора заполнения) появляется единица, что служит разрешающим сигналом программе для

чтения принятых кодов. После этого прочитанный участок FIFO-памяти освобождается для приема последующих отсчетов и индикатор заполнения памяти устанавливается в 0. Операции выполняются до тех пор, пока компьютером не будет завершено накопление данных.

Если по какой-то причине программа не смогла прочитать накопленные в памяти данные, а FIFO продолжает заполняться до своего максимального объема, то появившаяся в 7-м разряде статусного регистра единица (признак переполнения) будет означать, что часть данных потеряна и корректный анализ этого участка временного ряда невозможен.

Тактовые и нониусные отсчеты имеют следующий вид в hex-коде:

0xFFFE0000+<номер такта, 32 бит>

и

0xFNNNCCCCCCCCCCCC,

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, CCCCCCCCCC — 48 бит многомерных кодов координат.

В результате выполнения задачи сбора данных в памяти компьютера накапливаются массивы кодов, в которых все пришедшие координатные коды соединены с кодами времени прихода фотонов. В эти массивы входят:

- номер секунды, прошедшей от начала суток (записывается в заголовке массива);

- номер тактового импульса GPS частоты 10 кГц, отсчитанный от начала очередной секунды;
- количество тактовых импульсов PCI-шины с частотой 33 МГц (нониусный счетчик), прошедших в интервале от предыдущего тактового импульса GPS (10 кГц) до прихода данного фотона (N).

Время прихода фотона определяется по формуле:

$$t = UTC_{[s]} + 10^{-4} \times T + s \times N,$$

где $UTC_{[s]}$ — номер секунды, полученный от сервера Мирового Времени по межкомпьютерной сети перед началом экспозиции, T — количество 10 кГц GPS-импульсов, пришедших от начала секунды, s — интервал между тактовыми PCI-импульсами. Он оказывается порядка 3×10^{-8} с, его точная величина определяется для каждого конкретного компьютера сравнением PCI-частоты с внешней эталонной частотой (например, с GPS).

Следует отметить, что описанный драйвер может корректно работать только на одноядерном процессоре.

4. ТЕСТИРОВАНИЕ

Для определения реальной точности измерений времен прихода фотонов выполняется тестирование системы регистрации по “стандартным частотам”, когда на вход “Квантохрона” подаются импульсы от высоко-стабилизированного внешнего генератора, имитирующие поток событий от детектора. Наиболее подходящим “пространственным” сигналом, поддающимся простейшему анализу является так называемый “шахматный код”, представляющий собой набор чередующихся нулей и единиц с сопутствующими им строб-импульсами. Чередование происходит и между соседними рядами, и между соседними кодами в виде последовательности:

```
01010101...
10101010....
01010101....
.....
```

Генератор “шахматного кода” изготовлен в виде отдельного электронного блока, подключаемого к “Квантохрону” вместо детектора квантов на время тестирования. Кроме периодических импульсов при исследовании “Квантохрона” могут использоваться и другие их последовательности, в том числе и стохастические, поступающие, например, от фотоэлектронного умножителя.

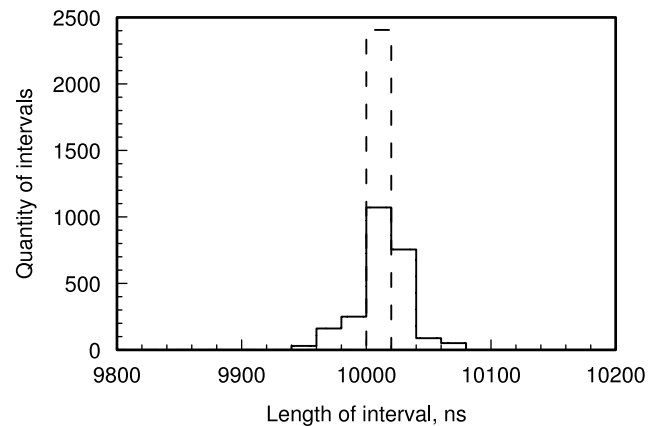


Рис. 3. Гистограмма распределения интервалов между зарегистрированными импульсами частоты 100 кГц. Пунктиром показан ее вид при идеальной работе “Квантохрона”.

Проверка работоспособности “Квантохрона” заключается в первую очередь в поиске сбоев среди принятых наборов чередования нулей и единиц как в полях самих координатных кодов, так и в их последовательностях.

Второй существенной характеристикой является точность регистрации временных рядов. Для её оценки программой тестирования выдвигается гистограмма рассеяния интервалов между регистрациями импульсов около интервала, имеющего наиболее вероятную длительность. При нормальной работе системы гистограмма рассеяния пульсов близка к δ -функции. Из рисунка 3 видно, что практически все интервалы между импульсами имеют одну и ту же длительность, с разбросом ± 90 нс, что существенно лучше точности в 1 мкс привязки к мировому времени, обеспечиваемой GPS.

Такое тестирование позволяет быстро оценить качество функционирования “Квантохрона”, убедиться в общей работоспособности устройства.

При подготовке к наблюдению строго периодических вариаций блеска выполняется проверка долговременной стабильности работы прибора. Для этого длительные ряды “шахматных кодов”, полученные от тестового блока, активируемого периодическими импульсами частоты 10 кГц, идущими от GPS, накапливаются в режиме сбора наблюдательных данных и затем обрабатываются программами, предназначенными для поиска и исследования периодического излучения пульсаров [21, 29]. Было установлено, что рассеяние импульсов около ожидаемого времени их прихода во временном ряде часовой длительности меньше 1 мкс. Таким образом мы получили доказательство, что наша аппаратная точность позволяет изучать кривую блеска пульсара в Крабе с разрешением 1 мкс [30].

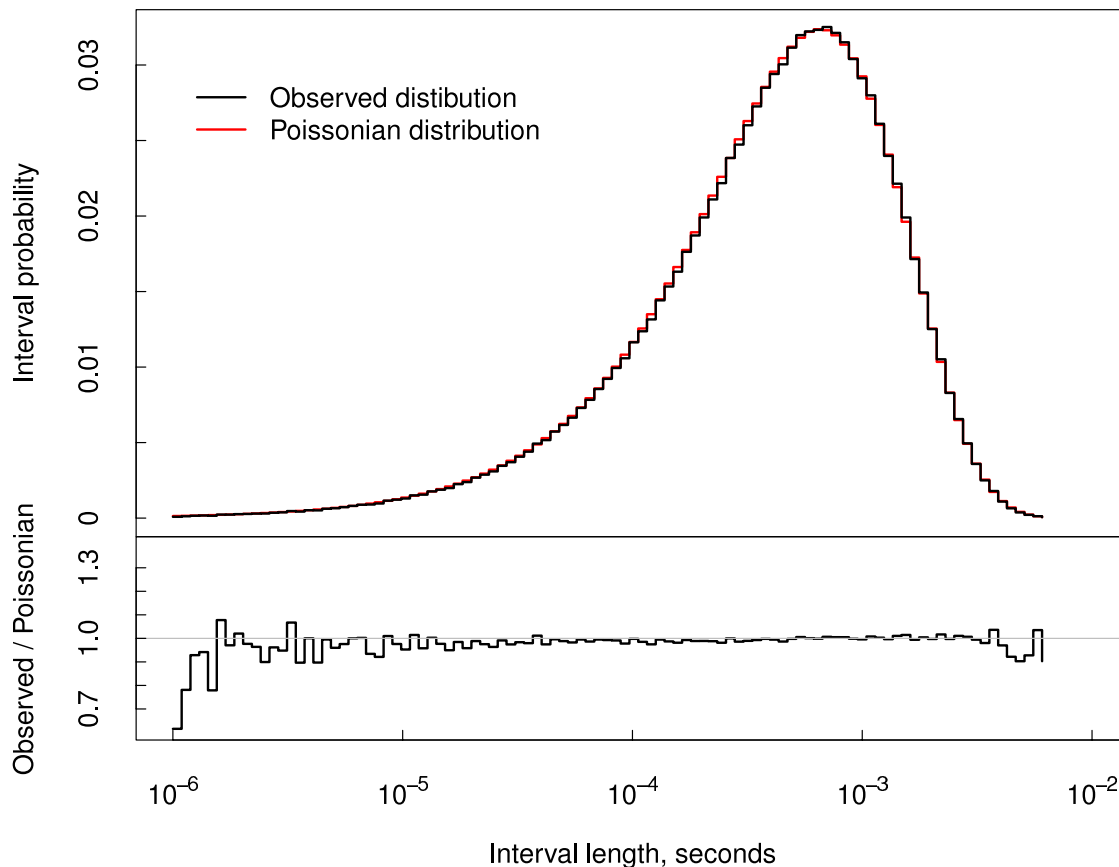


Рис. 4. Распределение длин интервалов между приходом квантов, зарегистрированных катодом КЧД, при его постоянной и равномерной засветке в сравнении с распределением интервалов в пуассоновском потоке (вверху). Нормировка на пуассоновское распределение (внизу).

На Рис. 4 показано распределение длин интервалов, полученное для потока зарегистрированных квантов с помощью алгоритмов, описанных в [21, 29, 31]. Этот временной ряд формировался при равномерном освещении детектора, имитирующего фон ночного неба на 6-м телескопе. Распределение близко к пуассоновскому, а его небольшие искажения свидетельствуют о сложной зависимости мёртвого времени от длительности интервалов. Их можно компенсировать нормировкой на распределение от эталонного источника света с такой же интенсивностью пуассоновского потока фотонов.

Проведенное тестирование иллюстрирует эффективность “Квантохрона” при измерении временных характеристик слабых световых потоков.

5. СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА

Описанное выше устройство регистрации потоков многомерных сигналов “Квантохрон-4/48” позволяет непрерывно принимать данные от детекторов в течение длительного времени, и его

продолжительность определяется размером оперативной памяти, резервируемой для накапливаемой информации. Поскольку в режиме приема данных в компьютере, где установлен “Квантохрон”, запрещаются все прерывания, то для оперативного управления этим приемом накапливаемые в течение секундной экспозиции данные забираются дополнительным клиентским компьютером, где они анализируются и сохраняются на жёстких дисках. В течение следующей секунды данные принимаются другим компьютером со вторым “Квантохроном”. Таким образом построена 3-компьютерная система (см. Рис. 5), в которой два идентичных компьютера программами QC_serv (Рис. 6) принимают данные по очереди, а их переключением программой QC_client управляет третий клиентский компьютер. Все три компьютера постоянно синхронизируют свое системное время по серверу времени, взаимодействующему с GPS. Управление и оперативная визуализация накапливаемых данных выполняется с помощью графического интерфейса QC_show.

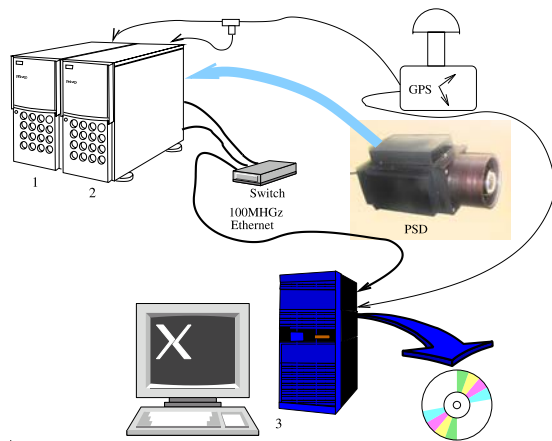


Рис. 5. Лабораторный вариант комплекса для регистрации слабых световых потоков. Два сервер-компьютера (1 и 2) принимают синхро-сигналы GPS и поток отсчетов от координатно-чувствительного детектора (КЧД). Клиент-компьютер (3) с X-терминалом пользователя осуществляет управление, накопление и контроль процесса. Разветвление внутренней Ethernet-линии между компьютерами выполняется сетевым переключателем Switch.

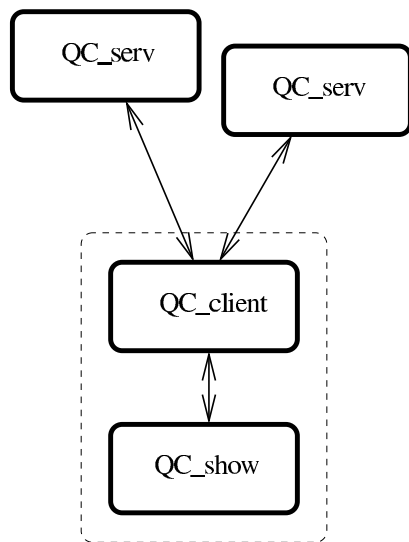


Рис. 6. Схема взаимодействия 4-х компонент программного комплекса в этих компьютерах. QC_serv – серверные программы, работающие в двух компьютерах с “Квантохроном”, QC_client – клиентская программа, взаимодействующая по локальной сети с компьютерами сбора и принимающая данные от них поочередно. QC_show – программа управления и визуализации накопленных изображений.

В процессе приема информации обеспечивается 10-миллисекундное перекрытие секундных экспозиций, что позволяет контролировать его непрерывность по совпадению отсчетов в этих промежутках.

В конечном итоге на жёстких дисках клиент-компьютера накапливается массив кодов, содер-

жащий информацию о зарегистрированном временном ряде объёмом до 75 миллиардов событий-фотоотсчетов (порядка 600 Гб) за ночь наблюдений.

При реализации сетевого взаимодействия компьютеров использовались рекомендации, приведённые в книге Теренса Чана [32].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

“Квантохрон 4-48” используется в САО РАН с 2004 года в составе многомодового панорамного фотоспектрополяриметра, описанного в работах [33] и [34]. С его помощью были проведены наблюдения по поиску чёрных дыр [35, 36], исследованию пульсаров [30] и вспышкающих звезд.

Эта система регистрации может использоваться для приёма потоков дискретных событий различного происхождения. “Квантохрон” способен функционировать на линии с несколькими КЧД при использовании разработанного для этой цели коммутатора и работать с многоанодным КЧД, при разрядности кода, превышающей нынешние 48 бит. Для реализации этой схемы может служить аналоговый сумматор моментов [5].

“Квантохрон 4-48” по совокупности характеристик значительно превосходит существующие системы регистрации дискретных потоков событий с высоким временным разрешением. Эти приборы либо позволяют исследовать со сверхвысоким временным разрешением (50–100 пс) мощные и короткие световые импульсы (при лазерном картировании и изучении Черенковских вспышек) [12], либо способны принимать данные, приходящие лишь по небольшому числу (4–10) параллельных каналов. Так, самая современная система последнего типа, созданная в США для оптических исследований пульсаров, имеет мёртвое время 1 мкс и точность регистрации лишь 0.1 мкс всего при 4 каналах [37]. Основное отличие описанной системы регистрации от применяемых в рентгеновской астрономии [38] заключается в существенно более высоком быстродействии при регистрации потоков большей интенсивности. Подобная система регистрации, но уже изначально ориентированная для работы с координатно-чувствительным детектором и привязкой к Мировому Времени по GPS, была разработана в Ирландии, см. работы [39] и [40].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Г. М. Бескина, Н. М. Шумейко (НЦ ФЧВЭ, Беларусь), В. Г. де-Бура, В. Мурзина, В. С. Шергина, В. Н. Черненкова, С. В. Карпова, С. И. Синянского, С. В. Моисеева за помощь в выполнении данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. Лаллеман, в *Методы астрономии*, ред. В. А. Хилтнер, (Мир, Москва, 1967) с117.
2. A. Shearer, in *High Time Resolution Astrophysics*, Eds. D. Phelan, O. Ryan, A. Shearer (Springer, Netherlands, 2007), p.1.
3. <http://www.stsci.edu/stsci/meetings/nhst/talks/BlasCabrera.pdf>
4. <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=33525>
5. М. Р. Айбунд, Л. С. Горн, М. А. Грунтман и др., ПТЭ №1, 70 (1984).
6. V. Debur, T. Arkhipova, G. Beskin, et al., NIM Elsevier A **513**, 121 (2003).
7. G. Beskin et al., Astronomical Instrumentation 2008, SPIE Conference proceedings, **7021**, 9 (2008)
8. Г. Уокер, *Астрономические наблюдения*. (Мир, Москва, 1990).
9. В. В. Данилевич, А. Ф. Чернявский, *Временные измерения в физическом эксперименте*. (Энергоатомиздат, Москва, 1984.)
10. В. В. Данилевич, В. К. Новиков, ПТЭ №3, 7 (1987).
11. В. Ф. Шварцман, Сообщения САО, вып.19 (1977).
12. W. Predhorsky, R. Clayton Smith and Cheng Ho, Appl.Opt. **35**, 441 (1996).
13. Г. М. Бескин. Кандидатская диссертация по математике и физике. (САО, Нижний Архыз, 1988)
14. V. Plokhotnichenko, G. Beskin, V. de-Bur and S. Karrov, AIP Conference **984**, 194 (2008).
15. Г. М. Бескин, В. Л. Плохотниченко, В. Ф. Шварцман, Астрон.циркуляр, №1040, (1979).
16. G. M. Beskin, V. L. Plokhotnichenko, and V. F. Shwartsman, in *Current problems of relativity and cosmology*. Moscow University Press, 263 (1981).
17. А. А. Пимонов, Сообщ. САО вып 25, 31 (1979).
18. Г. М. Бескин и др., Письма в АЖ **60**, 742 (1983).
20. G. M. Beskin et al., Sov. Astron. Lett., **14**, 65 (1988).
19. А. В. Журавков, А. А. Пимонов, В. Л. Плохотниченко, Препринт САО РАН №91, 1992 г.
20. А. В. Журавков, В. Л. Плохотниченко, Изобретение, ВНИИГПЭ, регистр. №МКИ G04F (10 апреля 1991).
21. В. Л. Плохотниченко, Кандидатская диссертация по математике и физике. (САО, Нижний Архыз, 1992).
22. G. Beskin et al., Experimental Astronomy **7**, 413 (1997).
23. G. Beskin, V. Pavlova, and V. Plokhotnichenko, Bull. Spec. Astrophys. Obs. **50**, 74 (2000).
24. A. Pozanenko et al., ADASS XII, ASP Conference Series **295**, 457 (2003).
25. G. Beskin et al., AIP Conference Proceedings **662**, 583 (2003).
26. <http://www.eecg.toronto.edu/EECG-/RESEARCH/FPGA.html>.
27. <http://parts.o2xygen.com/parts/x/21.html>
28. А. М. Сергиенко, *VHDL для проектирования вычислительных устройств* (ЧП "Корнейчук", ООО "ТИД ДС", ТИД 'ДС', Москва, 2003).
29. С. В. Карпов, Кандидатская диссертация по математике и физике. (САО, Нижний Архыз, 2007).
30. S. Karrov et al. Ap&SpSci, **308**, 595–599, (2007)
31. В. Л. Плохотниченко, Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв. вып. 38, 29, (1983).
32. Теренс Чан, *Системное программирование на C++ для UNIX*. (BHV, Киев, 1997).
33. V. Plokhotnichenko et al., NIM Elsevier A **513**, 167 (2003).
34. В. Л. Плохотниченко, Astrophys. Bul. (в печати).
35. G. Beskin et al., astro-ph/0709.2552.
36. G. Beskin et al., Ap&SpSci **308**, 477 (2007).
37. D-S. Moon, B. E. Pirger, and S. S. Eikenberry, PASP **113**, 646 (2001).
38. W. T. Vestrand et al., A Workshop Celebrating the First Year of the HETE Mission', 2001
39. C. Byrne, Irish Astronomical Journal **20**, 282 (1992).
40. M. Redfern et al., Gemini Newsletter **38**, 1 (1992).

THE "QUANTOCHRON 4-48" FACILITY FOR REGISTRATION OF RANDOM FLUXES OF MULTIDINEMSIONAL SIGNALS

V.L. Plokhotnichenko, A.V. Solin, A.G. Tikhonov

A facility for the registration of light fluxes meant for the study of their properties with high temporal resolution is described. The "Quantochron 4-48" detecting facility measures the photon arrival times using periodic signals of three types—second-long period signals (pps), 10-kHz, and 30-MHz signals. The first two come from a GPS, whereas the latter signal comes from the PCI bus of the computer connected to the facility. These time scales are used to produce for each time instant a 28-bit time code supplemented by 48 bits bearing the information about the coordinates, energy, and polarization of the photon at the output of the detector. The sequence of complete 64-bit words is buffered in FIFO memory and sent to computer RAM. The device has as its base element a XILINX SPARTAN XCS40XL PQ240AKP0505 microchip incorporated into a PCI slot. The registration facility consists of two PC servers equipped with these boards and a control computer. The facility determines the photon arrival times to within 30 ns with a dead time of 30 ns and maximum lossless count rate of 10^6 photons/s. The registration facility allows continuous recording of detector counts over 17 hours with a one microsecond World-Time (UT) calibration accuracy.

Key words: *methods of astronomical observations, equipments and instruments*