

# Высокоскоростная телеметрическая система для оптико-электронного комплекса

*Сергей Карамов*

В данной статье рассматриваются различные варианты построения высокоскоростной телеметрической системы записи и обработки видеоизображений для оптико-электронного комплекса. Обоснован вариант создания системы на базе персонального компьютера с использованием платы компании ADLINK для ввода-вывода цифровых сигналов, который обеспечил сжатые сроки реализации, а также относительно низкую стоимость и универсальность решения. Описаны особенности работы системы, показана возможность её совершенствования на основе новых изделий компании ADLINK.

## **Цель и особенности проекта**

Представленный в данной статье проект имел своей целью создание телеметрической системы для оптико-электронного комплекса, использующего в своей основе фотоприёмник матричного типа. Назначение оптико-электронного комплекса – слежение и управление высокоманевренными объектами в сложной фоновой обстановке в условиях действия активных и пассивных помех. Комплекс выполнен в виде малогабаритной переносной аппаратуры, включающей в свой состав оптическую часть, фотоприёмник матричного типа, вычислительное устройство, канал передачи команд управления, телеметрическую линию связи. Вычислительное устройство производит приём и обработку видеоинформации, полученной из фотоприёмника матричного типа, и выдачу команд на объект управления в соответствии с заложенным алгоритмом работы [1, 2].

Основной отличительной особенностью данного комплекса является высокая кадровая частота получаемого видеоизображения. Она составляет величину порядка 500 Гц и более, что связано с необходимостью обеспечения устойчивости контура управления объектом. Следует заметить, что в обычных телевизионных камерах кадровая

частота редко превышает величину 50–60 Гц, и этого для большинства применений оказывается достаточно.

Для такого комплекса необходимо было разработать телеметрическую систему, способную как в лабораторных, так и в полевых условиях (при температуре до  $-50^{\circ}\text{C}$ ) обеспечивать запись, воспроизведение и последующую обработку изображения, полученного с высокой кадровой частотой.

## **Выбор способа построения системы**

Рассматриваемый оптико-электронный комплекс способен обрабатывать видеоизображения с различными, динамически меняющимися в зависимости от внешних условий параметрами. Максимальное разрешение обрабатываемого видеоизображения составляет  $1280 \times 1024$  пикселей. Максимальное количество градаций яркости монохроматического изображения –  $2^{10}$  (10 бит на пиксел). Кадровая частота получаемого видеоизображения зависит от динамики объекта управления и выбранного текущего разрешения системы и при максимальном разрешении  $1280 \times 1024$  пикселей составляет 500 Гц. При меньшем текущем разрешении обрабатываемого видеоизображения кадровая частота может быть пропорционально увеличена. Таким образом, максимальный информационный поток, выдаваемый ком-

плексом, составляет 6,55 Гбит/с, или 820 Мбайт/с. Для обеспечения дистанции безопасного удаления телеметрического пункта наблюдения от пункта работы комплекса длина телеметрической линии связи должна была быть не менее 100 метров. Между тем, конструктивное исполнение оптико-электронного комплекса в виде мобильного и переносного устройства накладывало существенные ограничения по массе, объёму и потребляемой мощности его аппаратуры. Дополнительное ограничение было связано с такой особенностью конструкции комплекса, как наличие двух каскадов собственных внешних разъёмов, из чего следовала необходимость вывода телеметрического канала через часть внешнего разъёма типа РСГ, что, например, исключало возможность использования интерфейса Ethernet 1000Base-T со скоростью 1 Гбит/с. Выход из этих проблем и ограничений виделся в уменьшении объёма информации.

Исходя из анализа возможностей сокращения информационного потока, было предложено несколько технологий: прореживание информации по кадровой частоте с передачей кадров по принципу 1 из 2, 1 из 3 или 1 из 4; уменьшение количества градаций яркости монохроматического изображения (сокращение разрядности кода пиксела с 10 до 8 бит); передача видео-

Таблица 1

Основные технические характеристики платы PCI-7300A

ИНТЕРФЕЙС	PCI
Каналов двунаправленного дискретного ввода-вывода	32
Дополнительных пользовательских каналов ввода-вывода	4 входных и 4 выходных
Логические уровни	5 В / ТТЛ
Максимальная частота входного сигнала	20 МГц
Пропускная способность	80 Мбайт/с
Максимальная кратковременная пропускная способность	160 Мбайт/с
Внешний разъём	100-контактный SCSI-2

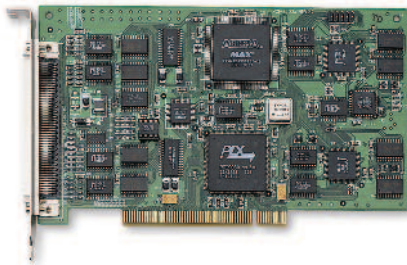


Рис. 1. Внешний вид платы цифрового ввода-вывода ADLINK PCI-7300A

изображения окном меньшего размера по сравнению с исходным форматом текущей картинки; передача видеоизображения полного размера, но с «заглублением», то есть с усреднением в рамках нового элемента разрешения кодов группы пикселей исходного кадра размером 1×2, 2×2, 3×3 и т.п. В результате комбинации данных технологий удалось уменьшить требования к информационному потоку до 75–100 Мбайт/с без ущерба для достоверности получаемой информации в рамках требований решаемых задач. То, что такое ограничение пропускной способности информационного потока не сказалось на достоверности результатов, было подтверждено в ходе последующих экспериментов.

Также необходимо было обеспечить непрерывную запись телеметрической информации за всё время работы комплекса в течение, как минимум, 30 секунд, что при потоке в 100 Мбайт/с потребовало объёма памяти не менее 3 Гбайт.

При выборе способа построения телеметрической системы рассматривались три варианта решения.

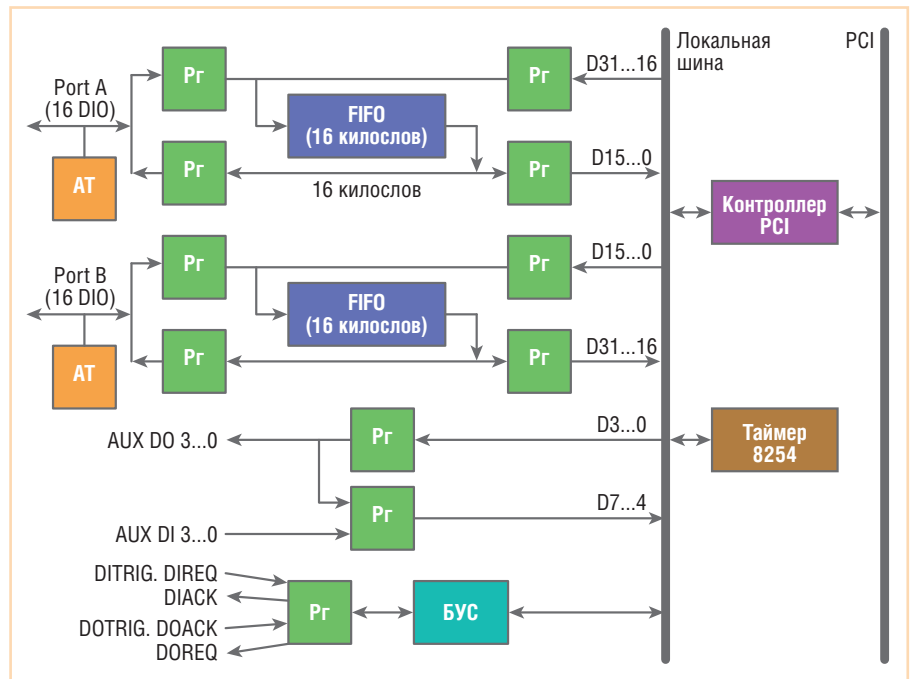
Первый вариант предполагал использование стандартного высокоскоростного сетевого интерфейса Ethernet 100Base-TX, имеющегося практически в любом персональном компьютере. Однако для обеспечения заданной пропускной способности необходимо было задействовать, по крайней мере, восемь входных портов персонального компьютера. К тому же в электронной аппаратуре комплекса нужно было организовать восемь параллельных приёмопередатчиков Ethernet, что создало бы неразрешимые проблемы с размещением элементов на печатной плате комплекса. Дополнительное неудобство этого варианта заключается в необходимости разбивки телеметрической информации при передаче по Ethernet на восемь асинхронных потоков и обратной сборки информации в

единный файл на стороне персонального компьютера.

Второй вариант заключался в использовании интерфейса Camera Link, специально предназначенного для высокоскоростных камер. Camera Link использует в качестве физической реализации дифференциальный интерфейс LVDS и предполагает сериализацию данных из параллельных 28 бит в последовательные 7-битовые коды по четырём выходным шинам (парам LVDS). Теоретическая пропускная способность этого интерфейса составляет 255 Мбайт/с, но она существенно зависит от длины и качества линии связи. В реальности на больших дистанциях скорость передачи снижается в несколько раз и её необходимо специально подбирать для каждой конкретной системы. Микросхем передатчиков Camera Link представлено на рынке на порядок меньше, чем микросхем передатчиков LVDS, к тому же здесь, в

отличие от LVDS, отсутствуют передатчики Camera Link в исполнении Military.

При проработке третьего варианта было учтено, что для непрерывной записи информации целесообразней использовать память персонального компьютера (ПК), чем буферную память платы ввода-вывода информации. Поэтому было выбрано решение по организации специализированного высокоскоростного интерфейса с применением персонального компьютера. В качестве платы ввода телеметрической информации в ПК выбрана быстродействующая плата цифрового ввода-вывода PCI-7300A фирмы ADLINK Technology, показанная на рис. 1. Основные технические характеристики этой платы приведены в табл. 1, а её структурная схема представлена на рис. 2. Необходимо отметить, что теоретическая пропускная способность 32-разрядного интерфейса PCI в пер-



**Условные обозначения:** AUX DO 3...0 – дополнительные цифровые выходы; AUX DI 3...0 – дополнительные цифровые входы; DITRIG, DIREQ, DIACK – сигналы управления входными данными; DOTRIG, DOREQ, DOACK – сигналы управления выходными данными; Port A, Port B – порты ввода-вывода; AT – активные терминаторы; Pr – регистр; БУС – блок управления и синхронизации внутренних ресурсов платы.

Рис. 2. Структурная схема платы ADLINK PCI-7300A



Рис. 3. Структурная схема телеметрической системы

сональном компьютере составляет величину 133 Мбайт/с. В реальности же пропускная способность определяется микросхемой северного моста и конкретной материнской платой и обычно составляет величину порядка 100–120 Мбайт/с.

В результате проведенного анализа возможных способов построения телеметрической системы был выбран вариант на базе персонального компьютера с использованием быстродействующей платы цифрового ввода-вывода ADLINK PCI-7300A.

**ОПИСАНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Структурная схема телеметрической системы приведена на рис. 3. В качестве интерфейса связи выбран LVDS. Физической средой передачи сигналов является кабель типа STP (экранированная витая пара) категории 5е ком-

пании Belden, содержащий четыре витые пары одножильного провода. Для связи задействовано три кабеля, переплетённых вместе и уложенных в бухту. Два кабеля образуют 8 витых пар для передачи 8-битовых данных. В третьем кабеле две витые пары используются для передачи сигнала строба управления и тактовой частоты, а оставшиеся две витые пары — для организации обратного канала управления параметрами комплекса. В вычислительном устройстве оптоэлектронного комплекса в качестве LVDS-передатчиков установлены три 4-битовые микросхемы в миниатюрном корпусе TSSOP16 без каких-либо дополнительных компонентов. На разъёме комплекса требуется всего 20 контактов для выходного LVDS-интерфейса.

Однако для осуществления возможности ввода данных в плату PCI-7300A необходимо конвертировать логические уровни сигналов LVDS в TTL и преобразовать разрядность данных. Для этого был разработан и изготовлен отдельный блок преобразования (рис. 4), который запитывается от ком-



Рис. 4. Блок преобразования интерфейсов

пьютера через переходник со стандартного разъёма PS/2, используемого для связи ПК с клавиатурой. Схематехника

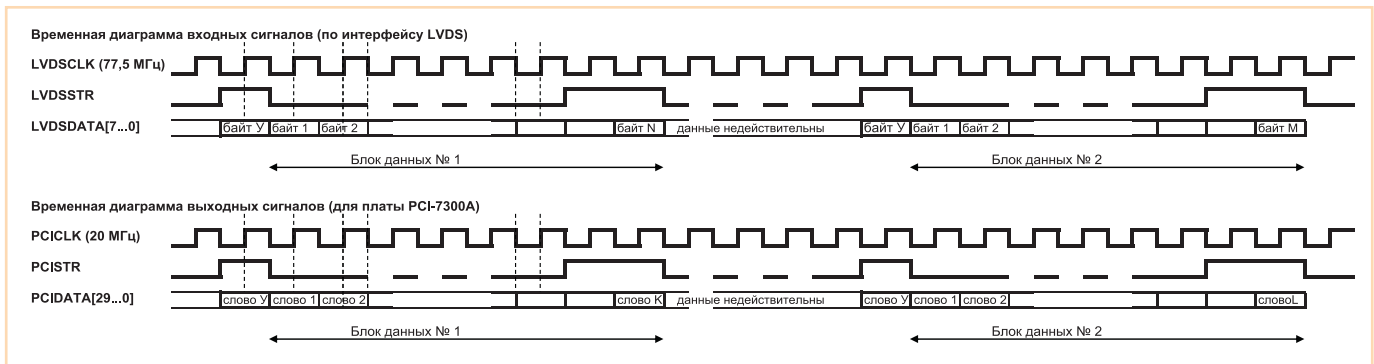


Рис. 5. Временные диаграммы входных и выходных сигналов блока преобразования

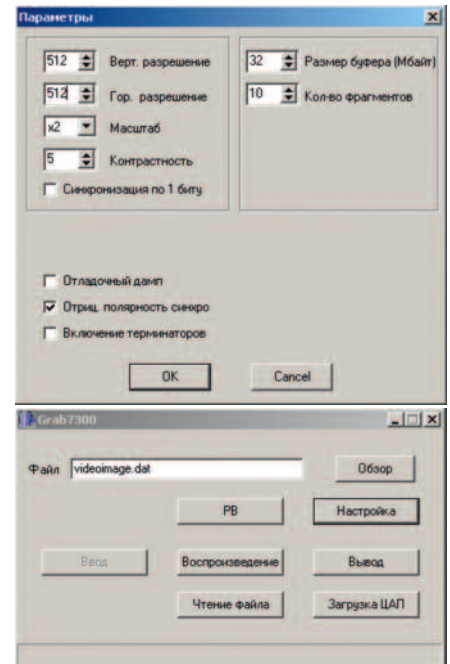


Рис. 6. Копии экрана программы записи видеоизображения и его отображения

блока преобразования элементарна: входной LVDS-буфер, простейшая ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема), выходной TTL-буфер, микросхема регулятора питания. Схема разведена на двухслойной печатной плате. Стоимость всех комплектующих этого блока, включая печатную плату и корпус, составила менее \$100. ПЛИС перекодирует 8-битовые входные данные с частотой 77,5 МГц в выходные 31-битовые данные с частотой 20 МГц. Частота 20 МГц выбрана, исходя из параметров платы PCI-7300A, и при необходимости может быть повышена. На рис. 5 показаны временные диаграммы входных и выходных сигналов блока преобразования. Во время передачи одиночного строба LVDSSTR по сигналам LVDS-DATA[7...0] передаётся управляющий байт, обозначающий тип данных в текущем передаваемом пакете: телеметрические данные, кадровый синхроимпульс, строчный синхроимпульс, ви-



Рис. 7. Отладка телеметрической системы в условиях лаборатории

деоданные. Двойной строб LVDSSTR означает конец передачи текущего пакета. Аналогичная временная диаграмма используется для сигналов, передаваемых на плату PCI-7300A: во время передачи одиночного строба PCISTR по сигналам PCIDATA[29...0] передаётся управляющее слово, обозначающее тип данных; двойной строб PCISTR означает конец передачи текущего блока данных. Примечательно, что длина блоков данных не регламентирована и может быть произвольной в соответствии с алгоритмом, заложенным в оптико-электронном комплексе. Это позволяет передавать видеозображения нестандартной формы, например не прямоугольное, а круглое,

и, в конечном счёте, оптимизирует пропускную способность системы.

Плата PCI-7300A работает в режиме прямого доступа к памяти DMA Bus Master. Вся полученная телеметрическая информация сохраняется на быстродействующем жёстком диске или в ОЗУ компьютера.

С платой поставляются стандартные библиотеки, позволяющие быстро написать пользовательское приложение. Помимо этого в свободном доступе есть драйверы для SCADA-систем и популярной программы математического моделирования Matlab. На рис. 6 приведены примеры скриншотов программы, осуществляющей взаимодействие с платой PCI-7300A. Максимально достижимая производительность представленной телеметрической системы составляет 620 Мбит/с при длине линии связи с пунктом наблюдения до 100 м.

Описанное решение на основе платы цифрового ввода-вывода PCI-7300A (рис. 7) позволило в сжатые сроки организовать телеметрическую систему для оптико-электронного комплекса и само по себе получилось более универсальным в применении и менее дорогостоящим, чем широко распространённые решения на базе платы фрейм-граббера и интерфейса Camera Link.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная высокоскоростная телеметрическая система записи и обработки видеозображений успешно эксплуатируется в полевых условиях с 2003 года и показала свою высокую надёжность [3].

В настоящее время широкое распространение получил высокоскоростной интерфейс PCI Express, пришедший на смену PCI. Компания ADLINK предлагает для этого интерфейса плату PCIe-7300A, являющуюся полностью программно совместимой с платой PCI-7300A. При необходимости существенного увеличения пропускной способности телеметрической системы можно использовать плату PCIe-7350 этой же компании, обеспечивающую производительность 200 Мбайт/с. Кроме того, PCI Express допускает подключение нескольких однотипных плат, что позволяет пропорционально наращивать пропускную способность системы. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Карамов С.В. Методы идентификации параметров трохоидальной траектории летательного аппарата // Труды VI Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления». — М.: ИПУ РАН, 2007. — С. 293–323.
2. Карамов С.В. Методы сопровождения объектов, имеющих квазитрохоидальные траектории // Труды 10 Междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение». — М., 2008. — Т. 2. — С. 659–662.
3. Карамов С.В., Тикменов В.Н. Построение вычислительной аппаратуры для малогабаритной оптико-электронной системы слежения и управления высокоскоростными объектами // Труды 8 Междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение». — М., 2006. — Т. 2. — С. 558–560.

E-mail: [sergkar@mail.ru](mailto:sergkar@mail.ru)