

Расширение возможностей стандарта ARINC 818 для работы с высокоскоростными датчиками и системами

Часть 1

Тим Келлер, Пол Грюнвальд, Great River Technology

Материал предоставлен ЗАО «Фаворит-ЭК»

Спецификация стандарта ARINC 818 была впервые обнародована в 2006 г. и недавно подверглась существенному обновлению.

В данной статье рассматриваются все новые возможности, заложенные в спецификацию, и те преимущества, которые они создают для реализации систем разведки, наблюдения и рекогносцировки (ISR) и систем противодействия. Примеры применения стандарта будут опубликованы в № 9, 2014.

ВВЕДЕНИЕ

Стандарт Avionics Digital Video Bus (ADVB) («Цифровой видеоинтерфейс авиационного радиоэлектронного оборудования с высокой скоростью передачи данных»), которому присвоено обозначение ARINC 818, представляет собой стандарт и спецификацию передачи видеоинформации на дисплеи кабин пилотов воздушных судов. Он получил широкое признание в отрасли и применяется как на коммерческих, так и на военных судах. Используется на самолётах Boeing 787, A350XWB, A400M, KC-46A и многих других. Будучи первоначально ориентированным на дисплеи, сейчас этот стандарт – благодаря тому, что его применение обеспечивает высокую пропускную способность и высокую надёжность, – начинает распространяться на область высокоскоростных датчиков, таких как датчики инфракрасного излучения и оптические видеокамеры.

Спецификация стандарта ARINC 818 была впервые обнародована в 2006 году и недавно подверглась существенному обновлению, которое способствовало расширению сферы его применения также и в качестве стандарта на интерфейс высокоскоростных датчиков. Новая редакция спецификации – ARINC 818-2 – была опубликована в декабре 2013 года.

В новую редакцию вошло следующее: коммутация видеопотоков, поддержка стерео- и трёхмерных изображений, реализация последовательной передачи цветов, выделение интересующих пользователя областей, реализация

каналов передачи только данных, реализация многоканального режима, двунаправленная связь, поддержка более высоких скоростей передачи – до 32 Гбит/с, формирование сигналов синхронизации, возможности для реализации высокоскоростных интерфейсов с применением коаксиальных кабелей и описание характеристик оптического интерфейса. Эти дополнения к исходной редакции спецификации особенно ценны для широкополосных систем с несколькими датчиками, для которых характерны проблемы, связанные с габаритами, массой и мощностью (Size, Weight and Power – SWaP) и «узкими местами» по пропускной способности. Кроме того, системы с высокоскоростными датчиками, которые призваны отслеживать цели, могут извлечь преимущества, связанные с заложенной в спецификацию ARINC 818-2s возможностью переключаться из режима отображения полного изображения в режим сверхвысокоскоростного отображения тех или иных интересующих пользователя областей. Физическими средами высокоскоростной передачи, на которых реализуется спецификация ARINC 818, являются либо медный провод, либо оптоволоконный кабель, спецификация предусматривает коммутацию нескольких датчиков на одну линию передачи в режиме временного разделения.

ПРЕДЫСТОРИЯ И ОБЛАСТЬ ОХВАТА СТАНДАРТА ARINC 818

Мир «интеллектуальной работы с движущимися объектами» меняет-

ся прямо на глазах в стремлении идти в ногу с постоянно возникающими новыми угрозами и необходимостью внедрять новейшие технологии. Одной из целей при этом является реализация концепции видео с полноценным отображением движения (Full Motion Video) FMV 3.0, что должно вылиться в создание более интеллектуальных, более быстродействующих и более точных систем обработки, использования и распространения видео (Processing, Exploitation, and Dissemination – PED). Всё увеличивающееся количество датчиков, которые имеют всё более и более высокую разрешающую способность, и работают на всё более и более высоких частотах обновления информации, приводит к тому, что специалисты просто захлёбываются в море данных, а разработчики систем теряют последние силы в попытках решить технические проблемы – с тем, чтобы системы могли обнаруживать, классифицировать и отслеживать всё больше и больше целей одновременно.

В данной статье упор делается на обсуждение того, каким образом изменения, внесённые в спецификацию ARINC 818, позволяют реализовать более сложные системы. При этом особое внимание уделяется интерфейсу «датчик и бортовой компьютер (mission processor) / видеопроцессор». Также будут рассмотрены три примера-сценария, иллюстрирующих то, как новые возможности, заложенные в спецификацию ARINC 818-2, упрощают реализацию соответствующих сложных интерфейсов. В Примере 1 рассматривается платформа (турель) с различными подлежащими интеграции электрооптическими и инфракрасными датчиками. Пример 2 посвящён решению задачи слежения за быстро движущимися целями в рамках системы разведки, наблюдения и рекогносцировки (ISR) или системы противодействия. В примере 3 описывается датчик с ультравысоким

разрешением для системы наблюдения за целями в обширном районе (Wide Area Surveillance – WAS).

ОБЗОР ПРОТОКОЛА ARINC 818-1

Поскольку не все читатели знакомы со стандартом ARINC 818, ниже приводится краткое описание данного протокола. Стандарт ARINC 818 основан на своём предшественнике – стандарте «Оптоволоконный канал для аудио- и видеoinформации» (Fibre Channel Audio Video – FC-AV), который был упрощён и специально переработан с целью построения критически важных видеосистем, которые должны иметь высокую пропускную способность и малые задержки.

Протокол ARINC 818 является протоколом последовательной связи «точка–точка» с кодированием по схеме 8b/10b для передачи видеoinформации, аудиоинформации и данных. Он предусматривает работу с пакетами данных, но при этом специально ориентирован на видеoinформацию, и является очень гибким – поддерживает целый ряд сложных видеофункций, включая мультиплексирование нескольких потоков видеоданных на одноканальную линию передачи или передачу одного потока данных по двухканальной линии. В протоколе определены четыре разных класса видеoinформации – от простой асинхронной системы до точной синхронизации на уровне растровых точек.

СТРУКТУРА ПАКЕТА ADVB

Стандарт ARINC 818 ориентирован на базовый (пакетный) механизм транспортировки данных – ADVB-кадр. Представляется важным именовать эти кадры именно «ADVB-кадрами», а не просто «кадрами» – с тем чтобы исключить неправильное отождествление их с экранными видеокдрами.

Как показано на рисунке 1, начало ADVB-кадра сигнализируется упорядоченным набором SOFх, а конец – упорядоченным набором EOFх. Каждый ADVB-кадр имеет заголовок, состоящий из шести 32-разрядных слов. Эти слова дают информацию относительно источника и планируемого получателя (адресата) данного ADVB-кадра, а также сведения о позиции кадров в передаваемой последовательности. Поле полезного контента содержит либо видеоданные, либо их параметры и вспомогательные данные. Размер поля может



Рис. 1. Структура ADVB-кадра (оптоволоконный канал (Fibre Channel, FC)).

быть разным, но не более 2112 байтов. С целью контроля целостности передачи все ADVB-кадры содержат 32-разрядный код циклического контроля (CRC), вычисляемый по данным, находящимся в промежутке между SOFх и CRC. Для вычисления CRC применяется тот же самый 32-разрядный полиномиальный алгоритм, который описан в стандарте FC-AV (Fibre Channel Audio Video).

Спецификация ARINC 818 (аналогично стандарту FC-AV) определяет понятие «контейнер» – набор ADVB-кадров, служащих для транспортировки видео. Другими словами, видеоизображение и данные инкапсулированы в контейнер, который вмещает множество ADVB-кадров. В рамках понятия «контейнер» стандарт ARINC 818 определяет объекты, каждый из которых содержит определённый тип данных. То есть, конкретные ADVB-кадры внутри контейнера представляют собой часть некоторого объекта. Как показано в таблице, в контейнере могут находиться объекты четырёх типов.

В большинстве случаев единичный контейнер отображает ровно один видеок кадр. Однако вполне допустима транспортировка в одном контейнере только части видеок кадра. Это возможно, например, в ситуации, когда есть необходимость обновлять курсорную информацию для дисплея с частотой, превышающей частоту видеок кадров, или когда задаются интересующие пользователя области с высокой скоростью перемещения целей. В этом случае в контейнере может находиться некоторая часть кадра, поэтому появление ADVB-кадров с объектами типа 0 происходит довольно часто. Данные о положении курсора могут быть загружены в ADVB-кадры с объектами типа 0, которые появляются в потоке достаточно часто – возможно, и несколько раз при передаче одного видеок кадра. Вспомогательные данные (объект типа

0) присутствуют и тогда, когда – наряду с видеок кадрами – может передаваться информация, задаваемая пользователем. Например, в поле вспомогательных данных могут вводиться метаданные типа «ключ–длина–значение» (Key-Length-Value, протокол KLV).

Хорошей иллюстрацией вышесказанного может служить пример-описание того, как в соответствии с протоколом ARINC 818 передаётся цветной кадр формата XGA RGB. Такой кадр требует передачи данных со скоростью ~141 Мбайт/с (1024 пикселя × 3 байта на пиксель × 768 строк × 60 Гц). Если добавить «накладные расходы» протокола и продолжительность гасящего сигнала, то требуется стандартная скорость передачи данных по каналу, равная 2,125 Гбайт/с. Протокол ARINC 818 пакетирует видеоизображения в ADVB-кадры. Структура ADVB-кадра показана на рисунке 1, причём максимальная длина поля полезного контента составляет 2112 байт. Каждый ADVB-кадр начинается с 4-байтового упорядоченного набора битов (поля), именуемого SOF (Start of Frame), и заканчивается полем EOF (End of Frame). Кроме того, в целях контроля целостности данных при передаче в ADVB-кадр включается 4-байтовое поле кода циклического контроля CRC. Поле полезного контента первого ADVB-кадра последовательности содержит встроенную заголовочную информацию, которой сопровождается каждый кадр видеоизображения.

Каждая строка видеок кадра XGA требует 3072 байтов, что превышает максимально допустимую длину поля полезного контента FC-кадра. Поэтому каждая такая строка распределяется на два ADVB-кадра. Транспортировка XGA-изображения «потребляет» объём полезного контента, содержащийся в 1536 FC-кадрах. Кроме того, должен быть добавлен заголовок видеок кадра.

Четыре типа данных, находящихся в ADVB-кадрах и именуемых «объектами»

Объект	Данные
0	Вспомогательные
1	Аудио (не используется)
2	Видео: поля прогрессивной развёртки или нечётные поля чересстрочной развёртки
3	Видео: чётные поля чересстрочной развёртки

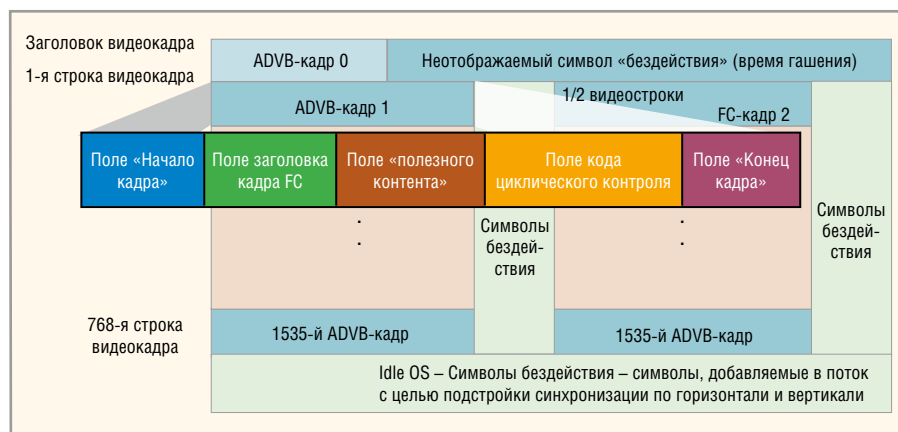


Рис. 2. Пример XGA-изображения пакетированного в 1537 ADVB-кадров; показано также время гашения (Idle OS)

Это означает, что всего требуется 1537 FC-кадров, как это и показано на рисунке 2. Между ADVB-кадрами необходимо вставлять неотображаемые символы «бездействия», которые используются для синхронизации передатчиков и приёмников и служат в качестве механизма подстройки синхронизации гашения по вертикали и по горизонтали.

Гибкость и взаимозаменяемость

Стандарт ARINC 818 покрывает практически всё разнообразие существующих видеоформатов, схем цветового кодирования, классов синхронизации и объёмов, подлежащих встраиванию данных, благодаря чему разработчик систем не заперт в строгих рамках. Однако построить систему, способную работать со всеми возможными сочетаниями характеристик, практически нереально. Поэтому каждая разработка требует создание документа, описывающего необходимую конфигурацию интерфейса протокола Arinc 818 (Interface Control Document, ICD). Этот документ нужен для описания области задач проекта и упрощает его реализацию. Бесплатные образцы-шаблоны ICD можно найти на сайте www.ARINC818.com.

Предыстория редакции стандарта ARINC 818-2 и новые возможности

На протяжении последних восьми лет стандарт ARINC 818 быстро распространялся в военной и коммерческой авиакосмической индустрии в качестве самого предпочтительного видеointерфейса для тех применений в авионике, где требуется высокая пропускная способность и малые задержки. Современные «Стекланные кабины» с экранной индикацией насыщены линиями

передачи стандарта ARINC 818. Увеличение количества таких каналов дало толчок к переходу на ARINC 818 и в области коммутации и организации интерфейса с датчиками, видеокамерами, радарными, улучшенными системами видения для пилотов, регистраторами, бортовыми компьютерами (mission processors) и многими типами дисплеев. Для удовлетворения потребностей разрабатываемых в настоящее время сложных ARINC 818-систем спецификация ARINC 818 была обновлена. Благодаря этому она позволяет работать с более широкой номенклатурой датчиков, с широкодиагональными дисплеями, передавать командно-управляющую информацию, осуществлять сжатие и кодирование данных, синхронизацию датчиков и коммутацию видеопотоков. Многие вновь введенные возможности позволяют применять стандарт ARINC 818 для работы с новыми классами датчиков и систем в области ISR и противодействия. Далее даётся краткий обзор новых возможностей спецификации.

Весной и летом 2013 года специалисты авиакосмической отрасли, представлявшие такие компании, как Airbus, Boeing, Cotsworks, DDC, Honeywell, SRB Consulting и Thales, вместе со специалистами компании Great River Technology (в роли отраслевого координатора) разработали Дополнение 2 к рассматриваемой спецификации. На промежуточной сессии Airlines Electronic Engineering Committee (AEEC), состоявшейся в Загребе (Хорватия) в конце октября 2013 года, проект получил единодушное одобрение исполнительного комитета организации. В том же году, 18 декабря, ARINC официально опубликовала эту редакцию под обозначением ARINC Specification 818-2.

Пропускная способность

На тот момент, когда утверждался стандарт ARINC 818, протокол оптоволоконного канала (FC-AV) поддерживал скорости передачи 1,0625, 2,125, 4,25 и 8,5 Гбит/с. Затем, со временем, появились каналы со скоростью передачи 14,025 и 28,05 Гбит/с. Сегодня же планируются ещё более высокие скорости. Например, для дисплея формата WQXGA (кадровая частота 30 Гц, разрешение 2560 × 1600 пикселей, 24-рядное кодирование цвета) требуется пропускная способность 3 864 Мбит/с. В версию ARINC 818-2 введены скорости передачи 5,0, 6,375 (FC 6x), 12,75 (FC 12x), 14,025 (FC 16x), 21,0375 (FC 24x) и 28,05 (FC 32x) Гбит/с. Опции 6x, 12x и 24x были введены с тем, чтобы сделать возможным использование в качестве физической среды передачи высокоскоростного двунаправленного канала на коаксиальном кабеле с электропитанием.

Аэрокосмическая отрасль начинает применять для подключения датчиков и дисплеев системы связи, характеризующиеся очень высокими скоростями передачи. Программируемые пользователем вентиляльные матрицы (Field Programmable Gate Array, FPGA) Virtex 7 фирмы Xilinx и Stratix V компании Altera имеют модификации с трансиверами, работающими на скорости 28Гбит/с, что позволяет реализовывать на базе спецификации ARINC 818 ультраскоростную связь.

Сжатие и шифрование

В исходной версии стандарта ADVB была предусмотрена только передача несжатой видео- и аудиоинформации. Однако такие приложения, как датчики с высоким разрешением, беспилотные летательные аппараты / беспилотные авиационные системы (UAV/UAS) с ограниченной пропускной способностью канала «воздух-земля» и системы, в которых требуется передавать только данные, заставляют предусматривать процедуру сжатия и/или кодирования (шифрования) передаваемой информации. Это вызвало оживлённые дискуссии о том, что необходимо заложить в стандарт. Например, следует ли определить в нём кодеки, алгоритмы и обмен ключами? В конце концов, было решено внедрить в контейнеры ARINC 818 только флаги-признаки, чтобы идентифицировать, подвергнут ли полезный контент (будь то видеоинформация, аудиоинформация или

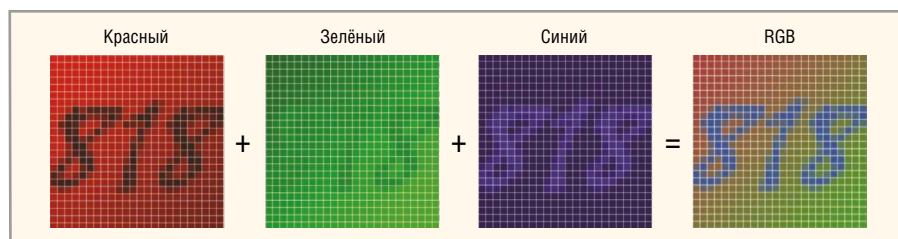


Рис. 3. Пример реализации режима последовательной передачи цветов по полям, показывающий как RGB-изображение передаётся посредством последовательной передачи трёх изображений в трёх основных цветах

просто данные) кодированию и/или сжатию.

Несмотря на то, что изначально стандарт ARINC 818 разрабатывался для систем управления и отображения, в которых центральную роль играет человек, существуют ситуации, когда требуется либо кодирование информации, либо её сжатие, либо и то и другое вместе. Сжатие позволяет сократить объём видеоданных настолько, что их можно передавать или регистрировать даже при использовании сильно ограниченных по пропускной способности каналов передачи «воздух–земля» или при ограниченных ресурсах, отведённых на хранение информации. Кодирование защищает данные в процессе передачи, что необходимо при работе с конфиденциальной или секретной информацией. Эти дополнительные возможности могут позволить использовать некий датчик, который был разработан для применения как в системе с оператором, так и в необслуживаемой системе (например, на беспилотнике). Для этого потребуются внести лишь минимальные изменения в интерфейсы стандарта ARINC 818.

В полном соответствии с идеологическим принципом ARINC 818, обеспечивающим максимальную гибкость, для каждого отдельного проекта выпускается документ описания интерфейса (ICD), который специфицирует конкретные детали реализации.

Коммутация

При разработке стандарта ARINC 818 ставилась задача добиться 100-процентного качества обслуживания, поэтому в него был заложен протокол, ориентированный на схему связи «точка–точка». Однако, в связи с быстрым ростом на борту самолётов числа камер, датчиков и дисплеев и с соответствующим увеличением количества каналов ARINC 818, возникла необходимость ввести в спецификацию функцию их коммутации.

От спецификации FC-AV контейнеры ARINC 818 «унаследовали» идентификаторы источника данных и её получателя. Поэтому, в принципе, возможна маршрутизация на основе соответствующих адресов. Но с практической точки зрения для данных или аудиоинформации реализовать это было бы трудно, так как в этом случае размеры контейнера могут меняться, а задержка выхода на конец передачи полезного контента становится слишком большой. Что касается видео, то рассматриваемая спецификация требует, чтобы активная коммутация происходила только между передачами видеокадров. На практике – во избежание повреждения видеокадров – коммутация должна откладываться до истечения периода гашения по вертикали. В целях обеспечения взаимозаменяемости, рассматриваемая спецификация формализует к техническим средствам только несколько требований, а исходя из принципа обеспечения максимальной гибкости, даются лишь самые общие указания по данному вопросу – с отсылкой к ICD проекта, где должны описываться конкретные детали реализации.

Последовательная передача цветов по полям

С целью поддержки режима последовательной передачи цветов по полям в стандарт был введён код описания видеоформата. В указанном режиме каждый компонент цвета передаётся в отдельном контейнере и есть возможность передавать не только основные цвета, как это характерно для традиционных систем. Как правило, каждый цвет передаётся на более высокой скорости, поддерживаемой быстрым стробированием светодиодных излучателей (LED). Например, в режиме RGB («красный–зелёный–синий») передаётся сначала содержимое красной составляющей кадра R, затем зелёной G, потом синей B, после чего цикл повторяется, как это показано на рисунке 3. Каждый

контейнер будет передаваться с утроенной частотой смены кадров, то есть 180 Гц для 60-герцевого видео.

Новые ЖК-технологии (LCD) используют в настоящее время именно этот режим, поскольку он не требует интерполяции в промежутках между пикселями (sub-pixels), благодаря чему даёт возможность применять более дешёвые компактные дисплеи. Эти дисплеи могут быть прозрачными, так как не требуют цветочных фильтров. Как правило, они характеризуются более высокой контрастностью изображения и широким углом обзора. Описанные характеристики делают данную технологию наиболее предпочтительной при создании наשלменных индикаторов и носимых дисплеев.

Объединение каналов передачи

Одним из способов преодоления ограничений пропускной способности является использование нескольких параллельных каналов. Видеокадр разбивается на более мелкие сегменты и передаётся по двум или более физическим каналам. Потребность в таком решении может быть связана с необходимостью использовать кабельные каналы, которые имеют ограниченную пропускную способность. Это может быть продиктовано также и соображениями экономии. ПЛИС (FPGA) с двумя линиями со скоростью передачи 3,1875 Гбит/с каждая обойдётся дешевле, чем та же матрица, имеющая одну линию с пропускной способностью 6,375 Гбит/с.

Например, для передачи изображения формата WQXGA с 24-битной глубиной цвета при частоте кадров 60 Гц требуется канал с пропускной способностью 737 280 000 бит/с. При использовании опции связывания каналов такое изображение можно «расщепить» и передать через два канала ARINC 818 со скоростью 4,25 Гбит/с на каждом.

Стандарт ARINC 818 позволит применять два способа связывания каналов – на пиксельном уровне (нечётные/чётные пиксели) и на уровне видеостроки (левая/правая), что показано на рисунке 4.

Каналы передачи данных

В спецификацию введена опция работы с каналами связи, предназначенными исключительно для передачи данных (но не видео- или аудиоинформации). Такие каналы обычно используются для передачи команд и управляющих данных. Например, «нормаль-

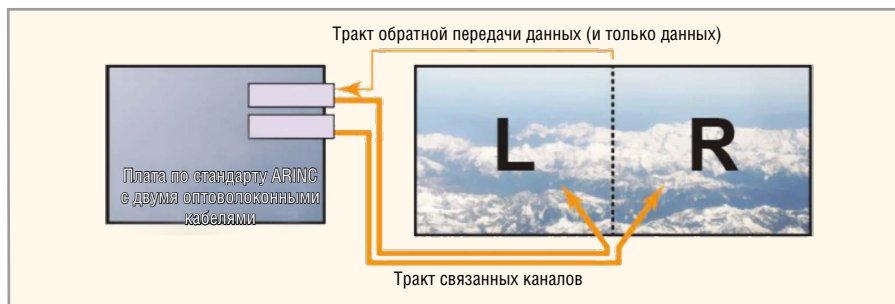


Рис. 4. Пример связывания левого (L) / правого (R) каналов

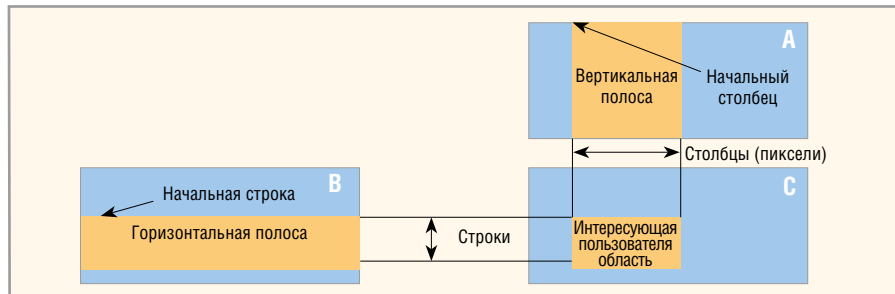


Рис. 5. Плиточное размещение, выделение полос и областей, интересующих пользователя

ный» канал ARINC 818 от камеры или датчика транспортирует поток видеoinформации. Рассматриваемый же дополнительный канал может доставлять к камере, например, управляющую информацию, необходимую для выполнения таких функций, как фокусировка или регулировка уровня белого. Ещё один пример – организация обратного тракта передачи для сенсорного экрана или сигнала, вводимого при помощи кнопки на рамке-оправе того или иного устройства. При этом одновременно на дисплей кабины пилота передаётся видеоизображение, как это показано на рисунке 4.

Передачи «исключительно данных» могут быть любого размера и состоять из множества ADVB-кадров. Любые специфические правила пакетирования (например, использование ADVB-кадров фиксированного размера) должны быть указаны в ICD. Каналы передачи только данных могут иметь как одну из упомянутых выше стандартных скоростей передачи, так и любую другую, описанную в ICD. Указание на то, что речь идёт о канале передачи только данных, делается через бит заголовка кадра.

Двунаправленные каналы, высокоскоростные линии и синхронизация датчиков

При разработке стандарта ARINC 818 изначально ставилась задача добиться 100-процентного качества обслуживания, поэтому из соображений простоты было решено отказаться от процеду-

ры подтверждения установления связи (квитирования), которая была обязательной в сетях Fibre Channel. В то же время, по мере распространения стандарта ARINC 818 в области камер и датчиков, возникла необходимость в организации двунаправленной связи.

С практической точки зрения, двунаправленный интерфейс камеры – просто частный случай канала передачи исключительно данных. Но авторы стандарта пришли к пониманию, что в стандарт всё же следует включить некоторые указания по этой функции. Одной из главных характеристик реализации данной функции в стандарте является возможность работы видеоканала и канала обратной передачи команд и управляющих данных на разных скоростях. Эта возможность важна, когда речь идёт о новых физических уровнях, обеспечивающих двунаправленную связь по одному коаксиальному кабелю. В частности, на скорости 3, 6 или 12 Гбит/с в прямом направлении и на скорости 20 Мбит/с – в обратном. Имеющиеся на рынке чипсеты (например, выпускаемые фирмой Epcologic/Microchip) продемонстрировали реализацию функции двунаправленной связи по кабелю длиной 25 м и более и прошли проверку с контактными кольцами, которые часто применяются в случае установки на шарнирном узле платформы с датчиками. Демонстрация применения спецификации ARINC 818 в соответствующих высокоскоростных интерфейсах на коаксиальных кабелях прошла успешно [1].

В новую редакцию рассматриваемого стандарта был также введён метод синхронизации, при котором используется специальный бит в заголовке кадра, показывающий, что данное иницирующее поле-символ начала кадра (SOFi) является синхронизирующим сигналом. Это даёт возможность использовать соответствующий пакет для синхронизации нескольких датчиков с тем, чтобы облегчить их совместную работу. Благодаря версии ARINC 818-2 появляется возможность передавать информацию от нескольких датчиков, объединять их в системы и управлять ими. И всё это без ущерба тем преимуществам, которые характерны для стандарта ARINC 818.

СТЕРЕО- и другие типы дисплеев (выделение полос и областей)

Стандарт ARINC 818 с самого начала предусматривал возможность работать со стереодисплеями, но во вторую его редакцию были введены некоторые управляющие параметры, придавшие стандарту в этом отношении дополнительную гибкость. Эти параметры дают возможность оперировать не только стереоизображениями, но также выделять части изображения, размещать его фрагменты по схеме плиточного покрытия экрана (Tiling) и выделять интересующие пользователя области. На рисунке 5 приведены примеры – выделение вертикальной полосы (кадр А), выделение горизонтальной полосы (кадр В) и плиточное размещение или выделение интересующие пользователя области (кадр С).

Дополнительные управляющие параметры дают возможность делать горизонтальные и вертикальные срезы изображений. При одновременном их использовании пользователь может выделять интересующие его области. Возможно также разделение изображений, полученных с левого и правого каналов, и организация зон-вставок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Keller T., Alexander J. ARINC 818 express for high-speed avionics video and power over coax. Proc. SPIE 8383. Head- and Helmet-Mounted Displays XVII; and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics VI. 2012.

Окончание статьи читайте в следующем номере журнала.

Во второй части будут рассмотрены примеры применения стандарта ARINC 818.