

Вторая редакция стандарта ARINC 818: ЧТО НОВОГО?

Пол Грюнвальд, **Great River Technology, Inc.**

Перевод Валерия Бауткина и Полины Шиян (Москва)

31 октября 2013 года Исполнительный комитет Airlines Electronic Engineering Committee единогласно одобрил Приложение 2 к системе ARINC 818, суть которого раскрывается в данной статье. Предлагаемый материал был представлен на XXXII Конференции, проходившей в Сиракузах, штат Нью-Йорк, 6–10 октября 2013 года, и посвящён авиакосмическим цифровым системам.

ВВЕДЕНИЕ

Стандарт «Цифровой видеоинтерфейс авиационного радиоэлектронного оборудования с высокой скоростью передачи данных (Avionics Digital Video Bus, ADVB)», получивший официальное название ARINC 818, впервые был принят в октябре 2006 г. при полной поддержке со стороны производителей и разработчиков аппаратуры специального назначения. К настоящему времени этот стандарт был использован для передачи видеоинформации на дисплеи пилотских кабин таких самолётов, как Boeing 787, Airbus A350 и A400M, C-130 AMP, а также при модернизации C-17, F15 и F18. Стандарт находит широкое применение во множестве других коммерческих и военных самолётов. В 2013 г. комитет ARINC 818 выпустил новую версию стандарта. Целью этого обновления являлось добавление новых функций и стандартизация некоторых новшеств, внесённых в процессе использования стандарта пользователями и производителями самолётов.

ARINC 818 является прекрасным примером того, как стандарт, подготовленный на основе сотрудничества и партнёрских отношений, может способствовать лучшей совместимости и практике использования авиационного оборудования. В то же время регулярное обновление стандарта позволяет обеспечивать его соответствие новейшим потребностям и возможностям производства, гарантируя учёт требований отрасли. В процессе работы над стандартом ARINC 818-2 принимали участие представители и поставщиков (производители оборудования), и пользователей (пилоты летательных аппаратов), что гарантирует важность и необходимость самого стандарта и открывает перспективы его развития.

Предшественником ARINC 818 был стандарт FC-AV (Fibre Channel, Audio Video). Он был принят ANSI под кодовым названием ANSI INCITS 356-2002. В этом документе описывалось использование первых пяти уровней (с 0 по 4) стандарта Fibre Channel (FC). Как в стандарте HOTLink®, так и в FC-AV в качестве среды передачи физического (нулевого) уровня могут использоваться медные и оптические волокна, а для кодирования информации на первом уровне (FC-1) протокола передачи данных – кодирование 8B/10B. Уровень FC-2 определяет контейнер для хранения передаваемой видеоинформации, описывая способ упаковки видеокладов в кадры Fiber Channel, а также структуру заголовков и объектов кадра FC. Эти объекты содержат вспомогательную информацию, аудио- и видеоданные, в то время как заголовок описывает формат видео и порядок размещения видеокладов в последующих кадрах протокола FC. В FC-AV, как правило, не используется уровень управления FC-3, но в то же время используется уровень отображения FC-4, особенно Frame Header Control Protocol (FHCP). Заголовок кадра используется для передачи информации, которая необходима для реконструкции видеоизображения, инкапсулированного в контейнере. Следует отметить, что FC-AV является двунаправленным протоколом (более подробную информацию о FC-AV можно получить на сайте www.fc-av.info).

В 2005 году Airbus и Boeing совместными усилиями инициировали разработку нового стандарта в Digital Video Subcommittee ARINC в связи с работой над новыми авиалайнерами моделей Boeing 787 и Airbus A400M. Главным побудительным мотивом для этого стало стремление унифицировать множе-

ство отраслевых стандартов, использовавшихся поставщиками авиакосмического электронного оборудования. Например, у всех основных производителей, таких как Honeywell, Rockwell Collins и Thales, использовались собственные протоколы связи. Помимо этого новый стандарт должен был обладать повышенной пропускной способностью и возможностями, описываемыми далее в статье.

Основной целью разработки ARINC 818 было создание надёжного протокола, отвечающего повышенным потребностям современных видеосистем в пропускной способности, и позволяющего осуществлять прецизионное тактирование передачи для чёткой синхронизации дисплеев. При этом в качестве физического уровня передачи данных по-прежнему используется Fibre Channel, а на более высоких уровнях задействуются все преимущества новейших сетевых стандартов. Преимуществом FC являются детерминированность протокола и низкая латентность. В то же время в стандарте ARINC 818 включены операции обнаружения ошибок.

ВЫСОКАЯ ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ

На тот момент, когда утверждался стандарт ARINC 818, оптоволоконный канал поддерживал скорости передачи 1,0625, 2,125, 4,25, и 8,5 Гбит/с. К настоящему времени скорость передачи достигла 14,025 и 28,05 Гбит/с и, по мере роста спроса, планируются ещё более высокие скорости. Например для дисплея формата WQXGA (кадровая частота 30 Гц, разрешение 2560 × 1600 пикселей, 24-битный цвет) требуется пропускная способность 3864 Мбит/с.

МАЛЫЕ ЗАДЕРЖКИ

Одной из наиболее важных особенностей ARINC 818 является способность передавать несжатое видео с чрезвычайно малыми временными задержками, в большинстве случаев не превышающими длительности одного кадра. Малые задержки особенно важны для индикаторов на лобовом стекле лета-

тельного аппарата (Heads-Up Displays, HUD), где различия в изображении, формируемом HUD, и реальном фоне могут вызвать головокружение или укачивание лётчика.

В общем случае задержка определяется конкретной реализацией системы отображения. В некоторых случаях изображение проходит потоком через несколько стеков и может быть отображено практически в режиме реального времени. В других случаях используется два попеременно заполняемых графических буфера, один из которых служит для отображения, а другой – для заполнения, получая при этом задержку вывода изображения в один кадр. При частоте развёртки 30 Гц задержка равна 33 мс, а при 60 Гц она уменьшается уже до 16 мс, что уже достаточно мало даже для самых требовательных приложений [1]. В ARINC 818 отсутствуют ограничения на частоту кадров, что позволяет за счёт её повышения добиться ещё меньших задержек.

Впервые стандарт ARINC 818 был опубликован в октябре 2006 г., а дополнение к нему – год спустя. С тех пор он использовался во множестве программ, а дисплеи с ARINC 818 успешно отработали

Таблица 1. Скорости передачи данных, поддерживаемые стандартом ARINC 818-1

Скорость, Гбит/с	Примечание
1,0625	FC 1x rate
1,5	
1,62	
2,125	FC 2x rate
2,5	
3,1875	FC 3x rate
4,25	FC 4x rate
8,5	FC 8x rate

Таблица 2. Скорости передачи данных, поддерживаемые стандартом ARINC 818-2

Скорость, Гбит/с	Примечание
1,0625	FC 1x rate
1,5	
1,62	
2,125	FC 2x rate
2,5	
3,1875	FC 3x rate
4,25	FC 4x rate
5,0	
6,375	FC 6x rate
8,5	FC 8x rate
12,75	FC 12x rate
14,025	FC 16x rate
21,0375	FC 24x rate
28,05	FC 32x rate

сотни тысяч лётных часов как на военных, так и на коммерческих самолётах.

Развитие авиационных программ привело к возникновению новых требований к устройствам на основе протокола ARINC 818. Для поддержания совместимости в рамках ARINC 818 в адрес рабочей группы по цифровому видео был направлен проект инициации процесса модификации стандарта APIM 13-001, и в январе 2013 г. в Майами, штат Флорида, процесс модернизации стандарта был начат.

На протяжении весны и лета представители Airbus, Boeing, Cotswolds, Elbit, Thales, Honeywell, DDC, SRB Consulting, Inc. и Great River Technology обсуждали и подготавливали различные составляющие новой редакции.

20 августа 2013 г. в Аннаполисе, штат Мэриленд, прошла встреча, где проект стандарта в новой редакции был утверждён. И окончательно ратифицирован на промежуточной сессии в г. Загреб (Хорватия), проходившей с 31 октября по 1 ноября 2013 г.

В новую редакцию были включены следующие пункты:

- поддержка более скоростных режимов: Fiber Channel 6x, 12x, 16x, 24x, 32x и т.д.;
- способы сжатия видео;
- способы кодирования видео;
- основные принципы коммутации видео;
- поддержка Field Sequential Color (последовательной передачи цветов);
- объединение каналов передачи;
- поддержка двунаправленной связи и синхронизации видеокамер;
- режимы передачи исключительно цифровых данных;
- поддержка stereo/3D-дисплеев;
- описание характеристик оптического сигнала;
- руководство для расчёта циклического контрольного кода (CRC) для базовых кадров.

СКОРОСТЬ

В первой версии стандарта ARINC 818-1 поддерживаются следующие скорости (см. табл. 1). Во второй версии список скоростей выглядит гораздо шире (см. табл. 2).

Скорости 6x, 12x и 24x были добавлены для того, чтобы появилась возможность использования высокоскоростных двунаправленных коаксиальных линий связи с передачей питания по сигнальному кабелю. Режим «5 Гбит/с» добавлен для совместимости со стан-

дартными интерфейсами, широко используемыми в ПЛИС (FPGA).

В дополнение к перечисленным выше скоростям в соответствующей Спецификации интерфейса управления (Interface Control Document, ICD) можно указать любую другую скорость передачи исключительно для цифровых данных, передаваемых в обратном направлении по отношению к основному потоку. Например, для видеокамеры вполне достаточно скорости передачи сигналов управления, существенно меньшей даже скорости FC 1x.

СЖАТИЕ И КОДИРОВАНИЕ

Изначально в стандарте ADBV была предусмотрена только передача несжатых видео- и аудиосигналов. Однако для современных дисплеев и датчиков высокого разрешения желательно использовать процедуру сжатия информации. Кроме того, некоторые данные могут быть секретными и соответственно нуждаются в защите. С учётом этих требований в спецификацию была внесена поправка, описывающая новый класс объектов с указанием наличия способа сжатия, типа шифрования или обоих свойств сразу.

Так как ADVB унаследовал спецификации Fiber Channel Audio Video, то в нём используются те же классы объектов. Эти классы указываются в заголовке кадра ADVB для Объектов 0–3. Коду 50h соответствуют дополнительные данные Объекта 1, 40h – аудиоданные Объекта 1 и 10h – видеоданные Объектов 2 и 3.

Вместо того чтобы попытаться охватить все типы сжатия или алгоритмы шифрования, было принято решение следовать философии ARINC 818 и в документе ICD определять алгоритмы, используемые в проекте. Теперь для сжатых, зашифрованных или использующих оба преобразования дополнительных данных можно использовать вновь введённые классы 51h, 52h и 53h. Для аналогичных преобразований аудиоданных используются классы объектов 41h, 42h и 43h, а для видеоданных – типы 11h, 12h, 13h.

При использовании в проекте нескольких типов кодеков для выбора правильного можно использовать поле простого параметрического индекса цифрового видео (Digital Video index field). Всё это означает, что сам по себе стандарт ARINC 818 недостаточен для полного описания работы системы, и для уточнения деталей реализации требуется использовать спецификацию ICD.

КОММУТАЦИЯ СИГНАЛОВ

Стандарт ARINC 818 изначально создавался как интерфейс «точка–точка», который помогает достичь 100%-го качества обслуживания. Поскольку в аэрокосмическом оборудовании часто используются несколько каналов передачи данных, важную роль приобретает возможность их коммутации. В то же время, для того чтобы гарантировать совместимость отдельных подсистем, необходимо формализовать некоторые детали реализации и включить соответствующие рекомендации в спецификацию стандарта. При этом в сам стандарт было внесено только несколько жёстких требований.

Первое требование – реальное переключение должно осуществляться только между различными контейнерами. С практической точки зрения это означает, что при передаче видео коммутатор (для выполнения переключения) будет ожидать периода вертикального бланкирования, что позволит исключить появление некорректных кадров. Для передачи данных и аудио реализовать это становится несколько сложнее, и здесь большую роль играет точный выбор размера контейнера с данными, в противном случае ожидание окончания передачи контейнера может сделать задержку переключения слишком большой.

Помимо вопросов, обсуждавшихся ранее, стандарт ARINC 818-2 содержит руководство ICD по описанию охватываемых пунктов, таких как внутри- и внеполосное управление, многоадресные передачи, состояния портов, диагностика и задержки.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ПЕРЕДАЧА ЦВЕТОВ

Код описания видеоформата был дополнен поддержкой режима последовательной передачи цветов. В этом режиме каждый компонент цвета передаётся в отдельном контейнере. Например в режиме RGB передаётся сначала содержимое красной составляющей кадра R, затем зелёной G, потом синей B, после чего цикл повторяется. Каждый контейнер будет передаваться с утроенной частотой смены кадров, т.е. 180 Гц для 60 Гц видео.

ОБЪЕДИНЕНИЕ КАНАЛОВ

Традиционным методом для преодоления ограничений пропускной способности является использование нескольких путей для транспортировки видео. Видеокادر разбивается на более мел-

кие сегменты и передаётся по двум или более каналам. Использование нескольких путей позволяет снизить стоимость передачи: например FPGA с двумя линиями передачи по 3,1875 Гбит/с обойдётся дешевле, чем имеющая одну линию с пропускной способностью 6,375 Гбит/с.

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. С помощью объединения каналов такое изображение можно разделить на два потока и передать через два канала ARINC 818 со скоростью 4,25 Гбит/с каждый.

Методов разбиения видео на фрагменты достаточно много, выбор их зависит от конкретной реализации, но, как правило, это разбивка на левые и правые половинки кадра или на чётные / нечётные пиксели. И вновь способ разбиения описывается в документе ICD, где должны указываться такие параметры, как допустимая несимметричность и задержка между каналами. Для соответствия спецификации каждый канал должен передавать полный кадр ADVB с заголовком и вспомогательными данными. Чтобы свести к минимуму размер буфера, необходимо обеспечить рассинхронизацию каналов не более 1/5 максимальной длительности кадра ADVB.

КАНАЛЫ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Ещё одно новшество, добавленное в спецификацию стандарта ARINC 818, позволяет создавать каналы, предназначенные только для передачи данных. Такие каналы обеспечивают возможность передачи только команд управления, данных контроля состояния или координат сенсорных экранов. При этом используются только контейнеры объектов типа 0. Заголовок кадра ADVB должен сообщать размеры (в байтах) Объекта 0, чтобы приёмник мог определить только передающиеся данные (тремя способами):

1) размер объекта в заголовке ADVB для Объектов 1, 2 и 3 будет установлен равным 0;

2) количество строк и столбцов данных в слове дополнительных данных будет установлено на 0;

3) в слове 3 (слове управления) Объекта 0 будет установлено 8 бит, что соответствует типу параметра 1.

Передаваемые данные могут быть любого размера и могут упаковываться

в несколько кадров ADVB. Общий размер (в байтах) должен быть указан в поле размер Объекта 0 в заголовке ADVB. Любые специфические правила пакетирования (например, использование кадров ADVB фиксированного размера) должны быть указаны в ICD. Каналы исключительной передачи данных могут иметь как одну из упомянутых ранее стандартную скорость передачи, так и любую другую, описанную в ICD.

ДУНАПРАВЛЕННЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ КАМЕР

С точки зрения практики, двунаправленный интерфейс камеры – просто частный случай канала исключительной передачи данных. Впрочем, некоторые специфические рекомендации для этого типа каналов стоит включить в описание стандарта. Для передачи видео с камеры нужно использовать одну из стандартных скоростей передачи данных, в то время как для канала управления следует придерживаться вышеуказанных правил для каналов исключительной передачи данных. Ещё одна потенциальная возможность применения этого интерфейса состоит в его использовании для синхронизации нескольких камер, чтобы облегчить такие операции, как наложение и объединение изображений. В этом случае специальный бит указывает, что данный пакет является маркером синхронизации и служит для синхронизации запуска иницирующего кадра (Start of Frame Initiate, SOFi). И, опять-таки параметры канала управления камерой и допустимые погрешности синхронизации должны быть указаны в ICD.

СТЕРЕО И ДРУГИЕ ТИПЫ ДИСПЛЕЕВ

Возможность создавать стереодисплеи на основе ARINC 818 существовала всегда. Однако вторая редакция стандарта добавила в него некоторые параметры управления, расширившие его возможности. Добавления позволили сделать дисплей не только стереоскопическим, но и многофункциональным, с выводом изображения на часть экрана или плиточным размещением нескольких изображений. Примером могут служить изображения на экране, разделённые по горизонтали (см. рис. 1) и по вертикали (см. рис. 2), а также расположенные в виде плиток (см. рис. 3).

С помощью дополнительных управляющих объектов появляется возможность делать горизонтальные и вертикальные срезы изображений. При

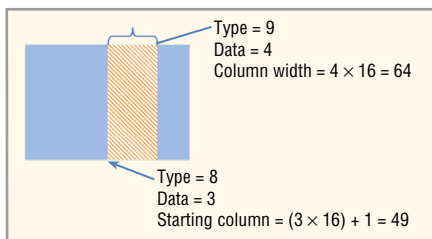


Рис. 1. Передача вертикальной полосы изображения с использованием объектов типов 8 и 9

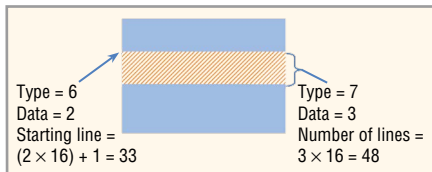


Рис. 2. Передача горизонтальной полосы изображения с использованием объектов типов 6 и 7

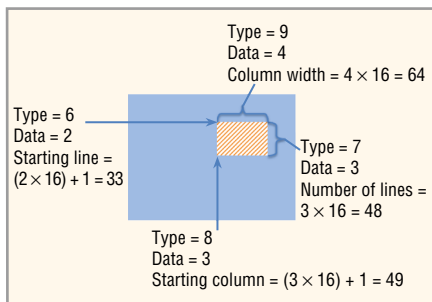


Рис. 3. Передача изображения в виде прямоугольной плитки с использованием объектов типов 6, 7, 8 и 9

одновременном использовании горизонтального и вертикального срезов можно выделять интересующую область. Возможно также разделение левых и правых каналов изображения и зоны вставки изображений. Добавлены также положения, гарантирующие, что код циклического контроля (Cyclic Redundancy Check, CRC) будет рассчитываться только по конкретным пикселям.

Пропускная способность оптического канала передачи

Спецификация ADVB никогда напрямую не регламентировала параметры физической среды передачи, ссылаясь на другие документы, например, ARINC 801 (волоконно-оптические коннекторы) или ARINC 802 (волоконно-оптический кабель). Однако для обеспечения совместимости и необходимой пропускной способности в ICD был добавлен раздел, описывающий пропускную способность оптического канала передачи. По отношению к передатчикам сигнала в ICD должны быть описаны следующие параметры:

- тип оптического волокна, по которому передаётся сигнал:
 - многомодовый или одномодовый тип волокна;
 - плавный или ступенчатый характер изменения коэффициента преломления;
 - диаметры оболочки и сердцевины волокна;
- скорость передачи данных;
- длина волны оптического излучения и максимальная ширина спектра;
- минимальная и максимальная выходная оптическая мощность;
- пиковая амплитуда модулированного оптического сигнала и/или коэффициент модуляции;
- максимальная длительность нарастания и спада сигнала и/или очковая диаграмма.

По отношению к приёмникам в ICD указываются:

- тип оптического волокна, по которому передаётся сигнал:
 - многомодовый или одномодовый тип волокна;
 - плавный или ступенчатый характер изменения коэффициента преломления;
 - диаметры оболочки и сердцевины волокна;
- скорость передачи данных;
- длина волны оптического излучения и максимальная ширина спектра;
- минимальная и максимальная оптическая мощность на входе приёмника;
- сигналы разрешения и запрещения передачи.

Стандартные ICD теперь могут быть определены для каждой скорости передачи данных.

Вычисление кода циклического контроля CRC

Одним из наиболее сложных вопросов при внедрении стандарта ARINC 818-1 был правильный расчёт контрольного кода CRC для ведущего кадра. Сам по себе расчёт CRC достаточно сложен, поэтому легко допустить ошибку в его реализации. Поэтому в стандарт был добавлен пример, подробно описывающий каждый шаг в расчёте CRC для видеокадров.

Перспективы ARINC 818-2

Стандарт видеоинтерфейса и протоколов обмена ARINC 818 создавался в расчёте на создание систем с высокой пропускной способностью, способных передавать несжатый цифровой видеосигнал с минимальными задержками. Он был модернизирован ARINC и аэро-

космическим сообществом для соответствия ужесточающимся требованиям к высокопроизводительным цифровым видеосистемам. Ещё до окончательного утверждения новая редакция стандарта была принята за основу во множестве аэрокосмических и военных программ и стала стандартом «де-факто» для высокопроизводительных видеосистем военного назначения. В настоящее же время стандарт ARINC 818 оценивается как перспективная основа для систем, ориентированных на использование в медицинской и станкостроительной промышленности.

Видеосистемы на базе ARINC 818 включают в себя датчики, работающие в инфракрасном и других диапазонах длин волн, оптические видеокамеры, радары, бортовые самописцы, маршрутные системы, системы искусственного зрения, системы со слиянием изображений, индикаторы на лобовом стекле, многофункциональные планшетные дисплеи и видеоконцентраторы. Эти видеосистемы используются для обеспечения рулёжки и взлёта летательных аппаратов, погрузки, навигации, слежения за целью, предупреждения столкновений и выполнения множества других важнейших задач.

В новой редакции стандарта ARINC 818-2 были добавлены пункты, позволяющие более чётко описывать сложные видеосистемы, включающие датчики, обработку/коммутацию сигналов и управление дисплеями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стандарт ARINC 818 широко используется во всё большем количестве систем, так как обеспечивает надёжную защиту от ошибок, малые задержки и высокую пропускную способность каналов передачи данных для дисплеев, видеокамер и датчиков. Он используется во всём мире при проектировании гражданских и военных самолётов нового поколения, а также в программах модернизации существующих систем.

Активное участие производителей и поставщиков аэрокосмической отрасли в разработке представленной редакции показывает, что ADVB имеет широкую поддержку. Более высокие скорости передачи, сжатия и шифрования сигналов, а также построение сетей и развитых схем подключения дисплеев гарантирует ARINC 818 стабильный рост популярности и расширение сферы применения за пределами аэрокосмической отрасли.

