

Особенности построения информационно-телекоммуникационных сетей на борту современных летательных аппаратов

Construction features of information and telecommunication networks on board of a modern air vehicle

Ключевые слова: бортовое радиоэлектронное оборудование – aviation electronics; целевой радиолокационный комплекс – target radar facility; локальная сеть передачи данных – local data network; видеосеть – video network; интегральная модульная авионика – integral modular avionics; сетевые стандарты и протоколы – networking standards and protocols.

В статье рассматриваются аспекты внедрения информационно-телекоммуникационных сетевых технологий в структуру целевых радиоэлектронных комплексов (РЭК), размещаемых на борту летательных аппаратов. Приводится концептуальная модель бортового РЭК, построенного с учетом концепции интегральной модульной авионики.

This article discusses aspects of the implementation of information telecommunication and network technologies in the structure of the target radar facility (TRF) to be placed on board of air vehicles. The conceptual model of onboard TRF is provided taking into account the concept of an integral modular avionics.

ВВЕДЕНИЕ

Специализированные бортовые целевые радиоэлектронные комплексы (РЭК), размещаемые на борту современных летательных аппаратов, чаще всего представляют собой распределенные информационно-вычислительные системы.

При построении систем данного класса одним из ключевых вопросов является применение информационно-телекоммуникационных технологий, посредством которых осуществляется объединение информационно-поисковых и других подсистем РЭК в единую систему. В данной статье приводится концептуальная модель РЭК, на примере которой

НИКУЛЬСКИЙ / NIKOLSKY I.

Игорь Евгеньевич

(i.nikulsky@npo-leninetz.ru)
доктор технических наук, доцент.
ОАО «ЦНПО «Ленинец»,
начальник отдела.
г. Санкт-Петербург

ОВЧАРОВА / OVCHAROVA L.

Любовь Владимировна

(lubushka-spb@list.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ОАО «ЦНПО «Ленинец»,
начальник отдела.
г. Санкт-Петербург

КРОТОВ / КРОТОВ А.

Александр Викторович

(alexan.krotov@gmail.com)
ОАО «ЦНПО «Ленинец»,
инженер.
г. Санкт-Петербург

рассматриваются аспекты внедрения стандартизованных бортовых информационно-телекоммуникационных сетевых технологий, реализуемых в рамках концепции интегральной модульной авионики (ИМА).

КЛАССИФИКАЦИЯ БОРТОВОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Развитие и совершенствование бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) современных летательных аппаратов сопряжено с широким внедрением информационно-телекоммуникационных технологий.

По функциональному назначению можно выделить два класса БРЭО – самолетное оборудование и оборудование целевых радиоэлектронных комплексов.

К первому классу относятся подсистемы, принимающие непосредственное участие в управлении летательным аппаратом, поддержании заданных

режимов его полета и безопасности. К таким подсистемам относятся, например, навигационно-пилотажный комплекс (НПК), индикаторные приборные панели в кабине экипажа, комплексы связи, системы управления двигателями и многие другие.

Ко второму классу можно отнести подсистемы, необходимые для выполнения специализированных функциональных задач, свойственных конкретному типу и функциональному назначению летательного аппарата-носителя и находящегося на его борту специализированного оборудования, например: самолет-истребитель, самолет-разведчик, самолет для поиска полезных ископаемых и мониторинга окружающей среды, противолодочный вертолет и другие.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЦЕЛЕВОГО РЭК

Рассмотрим взаимосвязь различных бортовых электронных подсистем (авионики) на примере концептуальной модели бортового целевого РЭК для поиска полезных ископаемых и мониторинга окружающей среды, размещаемого на борту средних и тяжелых самолетов-носителей (см. рис.1).

В состав структуры рассматриваемой модели входят следующие основные подсистемы:

- радиовысотомер (РВ) – 1;
- спутниковая навигационная система (СНС) – 2;
- инерциальная навигационная система (ИНС) – 3;
- система воздушных сигналов (СВС) с приемником динамического давления (ПДД) – 4;
- навигационно-пилотажный комплекс (НПК) – 5;
- интерфейс навигации и управления (ИНУ) – 6;
- автоматическая система управления самолетом (АСУ) – 7;
- сеть передачи данных «Сеть ПД» – 8;
- радиометрическая система (РМС) – 9;
- магнитометрическая система (ММС) – 10;
- лидарная система (ЛС) – 11;
- система радиомониторинга (СРМ) – 12;
- рабочие места операторов, расположенные в фюзеляже (РМО) – 13;
- ЭВМ рабочих мест операторов (ЭВМ РМО) – 14;
- центральная ЭВМ (дублированная) – 15;
- информационно-регистрающая система (ИРС) – 16;
- радиолокационная система (РЛС) – 17;
- телевизионно-тепловизионная система (ТТС) – 18;
- сеть передачи данных цифрового видео – «Видеосеть» – 19.

- инерциальная навигационная система (ИНС) – 3;
- система воздушных сигналов (СВС) с приемником динамического давления (ПДД) – 4;
- навигационно-пилотажный комплекс (НПК) – 5;
- интерфейс навигации и управления (ИНУ) – 6;
- автоматическая система управления самолетом (АСУ) – 7;
- сеть передачи данных «Сеть ПД» – 8;
- радиометрическая система (РМС) – 9;
- магнитометрическая система (ММС) – 10;
- лидарная система (ЛС) – 11;
- система радиомониторинга (СРМ) – 12;
- рабочие места операторов, расположенные в фюзеляже (РМО) – 13;
- ЭВМ рабочих мест операторов (ЭВМ РМО) – 14;
- центральная ЭВМ (дублированная) – 15;
- информационно-регистрающая система (ИРС) – 16;
- радиолокационная система (РЛС) – 17;
- телевизионно-тепловизионная система (ТТС) – 18;
- сеть передачи данных цифрового видео – «Видеосеть» – 19.

В нижней части схемы рис.1 показаны информационно-мониторинговые системы (ИМС), среди которых можно выделить две группы систем:

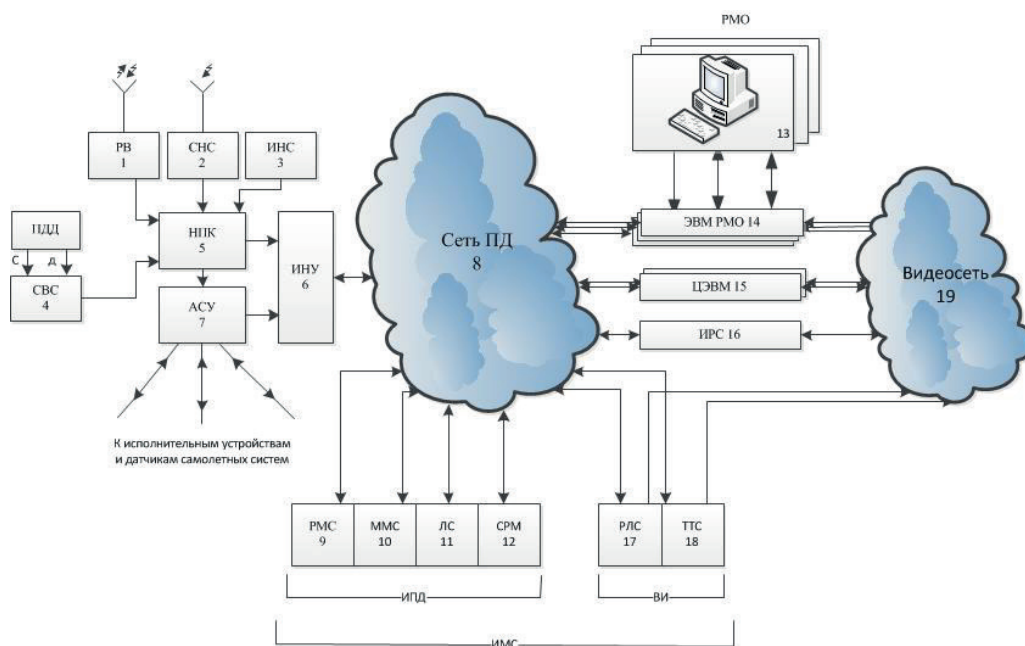


Рис.1. Концептуальная модель целевого РЭК

ИНФОКОММУНИКАЦИИ

- с интерфейсами передачи данных (ИПД);
- с видеоинтерфейсами (ВИ).

Радиовысотомер 1 определяет высоту полета самолета посредством радиолокации поверхности земли.

Спутниковая навигационная система 2 необходима для получения текущих координат от орбитальных группировок спутников ГЛОНАСС–GPS.

Кроме этого текущие координаты считываются посредством ИНС 3, построенной на базе специализированной ЭВМ, обрабатывающей сигналы от акселерометров (датчиков ускорений) и гироскопов (датчиков курса и положения самолета). Эти две навигационные системы взаимно дополняют друг друга.

Система СВС 4 с приемником динамического давления, выдающего воздушные сигналы «статическое» (С) и «динамическое» (Д), определяет высотнo-скоростные режимы полета.

Ввод и отображение информации о параметрах полета на индикаторных панелях в кабине экипажа, а также выдачу этих параметров в систему САУ 7 осуществляет НПК 5.

Подсистемы 1–5 могут входить в состав самолетного оборудования, либо могут являться составными частями целевого РЭК.

Связь этих подсистем с вычислительным комплексом целевого РЭК осуществляется посредством интерфейса навигации и управления ИНУ 6, который преобразует сигналы и протоколы взаимодействия с НПК 5 и АСУ 7 в сигналы и протоколы бортовой сети передачи данных 8, к которой подключены ЭВМ рабочих мест операторов 14, центральная ЭВМ 15, информационно-регистрающая система ИРС 16, а также показанные в нижней левой части схемы информационно-мониторинговые системы: РМС 9 (для мониторинга и поиска радиационных аномалий), ММС 10 (для поиска магнитных аномалий), ЛС 11 – лидарная (лазерная локационная) система (осуществляет мониторинг чистоты воздушной среды), СРМ 12 (выполняет мониторинг электромагнитных излучений).

Центральная ЭВМ 15 обеспечивает решение всех основных вычислительных задач, в том числе управление траекторией самолета (через ИНУ 6) при решении специализированных поисковых задач (полет галсами и других), а также обработку и подготовку к записи в ИРС 16 результатов мониторинговых и поисковых мероприятий согласно полетному заданию, также записанному в ИРС 16.

ЭВМ РМО 14 управляет отображением на индикаторах РМО всей текущей информации,

вводом исходных данных, активизацией соответствующих ИМС и осуществляет управление ими, а также реализует ряд других функций, связанных с деятельностью операторов.

В нижней правой части этой схемы показаны ИМС, имеющие видеоинтерфейс (формирующие на выходе полный цифровой телевизионный сигнал стандартного либо повышенного разрешения) – РЛС 17 (осуществляет метеомониторинг, поиск терпящих бедствие судов и т.д.) и ТТС 18 (предназначена для видеомониторинга поверхности земли, тепловизионного мониторинга очагов лесных пожаров, дефектов трубопроводов теплоцентралей и др.).

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Из рассмотрения концептуальной модели рис. 1 нетрудно заметить, что информационно-телекоммуникационная система приведенного РЭК сегментирована на две независимые локальные сети – сеть передачи данных и видеосеть.

Такой подход отличается от традиционного для современных телекоммуникаций подхода к построению сети, при котором все виды трафика передаются через одну сеть (например, в сетях доступа и на других иерархических уровнях сетей следующего поколения NGN-IMS) [3, 4].

Именно такой подход доминирует при построении бортовых РЭК, начиная с момента появления на борту распределенных вычислительных комплексов и цифровых видеосистем (уже более 15 лет). Это вызвано следующими причинами:

- сеть передачи данных должна работать в реальном времени и обеспечивать гарантированную доставку управляющей информации с минимальными задержками (очереди минимальной длины, отсутствие загрузки «тяжелым» видеотрафиком, минимальные задержки передаваемых кадров, отсутствие конфликтов);

- видеосеть должна обеспечивать передачу несжатого высокоскоростного видеотрафика с минимальными задержками, что требует специализированной организации сетевой архитектуры.

Первая группа причин обусловлена требованиями минимизации средних задержек при передаче управляющих команд, что необходимо для устойчивой работы контуров управления внутри РЭК и обеспечения точности привязки обнаруживаемых аномалий и признаков к навигационным данным с учетом высокой скорости движения самолета относительно поверхности земли.

Вторая группа причин обусловлена необходимостью передачи видеопотоков без сжатия и, как

следствие, высокими нагрузками на видеосеть при очень жестких требованиях к задержкам передаваемого трафика. Последнее связано с тем, что любое сжатие исходного видеопотока приводит к значительным задержкам при обработке видеосигнала, которые могут достигать нескольких секунд. С другой стороны, многие задачи, решаемые целевыми РЭК, требуют очень низких задержек при передаче видеосигнала. Это и системы телевизионной автоматики, работающие с захватом целей на сопровождение, системы привязки целей к координатам в движении, где точность привязки существенно повышается при снижении задержек передачи видеопотока, и многие другие. Этот комплекс требований и определяет потребность передачи по сети исходных видеопотоков на скоростях до десятков Гбит/с без сжатия и с минимальными задержками.

АСПЕКТЫ ЭВОЛЮЦИИ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Первые бортовые комплексы имели одну аналоговую вычислительную машину и строились по централизованному принципу. Дальнейшее развитие авионики привело к переходу на цифровые методы вычислений, увеличению числа бортовых ЭВМ и к использованию принципа «одна задача — одна ЭВМ». Такой принцип построения БРЭА получил название федеративного и являлся преобладающим при построении целевых РЭК предыдущего поколения. Применение этого принципа привело к существенному повышению капитальных затрат на строительство РЭК, к высокому уровню эксплуатационных расходов при их техническом обслуживании и к снижению функциональной надёжности.

Это потребовало развития новых подходов к построению бортовых РЭК.

Основным современным направлением построения БРЭА является применение принципов стандартизированной интегрированной модульной авионики (ИМА).

Под ИМА понимается концепция построения комплекса БРЭА, базирующаяся на открытой сетевой архитектуре и единой вычислительной платформе [5], что предусматривает полную стандартизацию конструкторских решений, аппаратных и программных функций и интерфейсов, а также сетевых технологий и протоколов.

Головной отечественной организацией, осуществляющей проведение единой научно-технической политики авиационной промышленности в области радиоэлектронного оборудования для летательных аппаратов гражданской и военной авиации, является ФГУП «Государственный научный центр Российской Федерации

Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ГосНИИАС).

Основным зарубежным «законодателем мод» в стандартизации БРЭА является фирма *ARINC* (*Aeronautical Radio Inc, США*). Результаты деятельности этой организации, как и иные военные стандарты США, положены в основу некоторых отечественных стандартов авионики. Так, основными стандартами построения телекоммуникационных сетевых интерфейсов на протяжении последних десятилетий являлись ГОСТ Р 52070–2003 (*MIL-STD 1553 B*) «Интерфейс магистральный последовательной системы электронных модулей», стандарт локальной сети ПД со скоростью передачи 1 Мбит/с, с бесконфликтным централизованным квитируемым доступом, шинной топологией, на основе линий на витых парах, а также его функциональное расширение по ГОСТ Р 50832–95 до скорости передачи 20 Мбит/с (с применением волоконно-оптических линий) [2]. Второй из указанных стандартов не получил широкого внедрения.

Кроме этого, для организации радиальных подключений оборудования (точка-точка) в течение многих лет используется стандарт ГОСТ 18977–79 (на скорости до 100 Кбит/с, на основе витых пар, на базе стандарта *ARINC 429*).

Видеосети в БРЭА предыдущих поколений чаще всего строились на основе оригинальных решений, использующих передачу цифрового видеосигнала по многоразрядным параллельным шинам на основе витых пар и коммутацию каналов.

Среди современных иностранных стандартов построения информационно-телекоммуникационной инфраструктуры ИМА можно выделить два наиболее перспективных стандарта:

– *ARINC 664* «Информационные сети летательных аппаратов»;

– *ARINC 818* «Цифровой видеоинтерфейс авиационного радиоэлектронного оборудования с высокой скоростью передачи данных».

В основу стандарта *ARINC 664* положен протокол *AFDX* (*Avionics Full Duplex Switched Ethernet* – авиационный полнодуплексный коммутируемый Ethernet), стандартизованный рабочей группой *ARINC* и построенный на базе широко известного стандарта *IEEE 802.3*.

Применение данного протокола позволяет использовать традиционную логическую структуру современных сетей (стек протоколов TCP/IP). Вместе с этим данный протокол обеспечивает указанные выше требования к бортовым авиационным информационно-телекоммуникационным системам – надёжную передачу пакетов и ограниченную задержку передачи. Эта архи-

тектура использует известные принципы построения локальной сети полнодуплексного *Ethernet* [6], но имеет при этом ряд характерных дополнений, обеспечивающих выполнение данных жестких требований.

Так, в коммутаторах *AFDX* используется статическая таблица, в отличие от традиционных коммутаторов *Ethernet* сетей общего пользования (ОП), где составляется динамическая таблица коммутации, и коммутатор «узнает и забывает» об узлах, подключенных к нему. Процесс «узнавания» вносит переменную задержку и поэтому исключен в сети *AFDX*, где отсутствует протокол разрешения адреса (*ARP*), используемый в сетях общего пользования, который осуществляет привязку *MAC*-адресов к *IP*-адресам узлов [6]. Такой подход к построению сетевой инфраструктуры стал возможен в бортовых сетях ввиду сравнительно небольшого числа постоянно подключенных к сети узлов (терминалов) и априорному наличию информации о направлениях продвижения трафика (информационном тяготении) в этих сетях, то есть о том, от каких узлов к каким должны передаваться данные (чего нет в сетях ОП). В сети *AFDX* основной политикой является определение всех узлов и их сетевых адресов. Другим важным отличием *AFDX* является создание избыточности линейного оборудования и аппаратного обеспечения на физическом уровне. При этом узлы, включенные в сеть, имеют дублированные контроллеры *Ethernet*, также имеется специализированный протокол управления избыточностью, и на верхние уровни сети пропускается один из двух одинаковых пакетов (принятых по дублированной сетевой инфраструктуре). В сети предусмотрены специализированные настройки избыточности, позволяющие использовать избыточность не только для повышения надежности, но и для повышения пропускной способности.

Дублированные информационные кадры могут передаваться в этой сети через разные коммутаторы и по разным физическим линиям и путям, что создает существенное повышение надежности передачи.

В сети могут создаваться полупостоянные виртуальные каналы, что обеспечивает возможность подключений *PPP* (точка-точка), фактически имитируя и заменяя *ARINC 429*. В сети *AFDX* предусмотрены и многие другие функции и возможности для снижения вероятности блокирования применяемых портов, создание сервисных точек доступа и многие другие.

Таким образом, сеть *AFDX* представляет собой сеть, подобную современным версиям *Ethernet* [6], но имеющую специализированные сетевые особенности.

Стандарт для военных видео и графических распределенных систем *ARINC 818* включает описание как интерфейса, так и протокола, ориентированных на передачу несжатого цифрового видео с высокой пропускной способностью и низким временем задержки. Этот стандарт был выпущен в 2007 году и был предложен *ARINC* и аэрокосмическим сообществом для удовлетворения жестким требованиям бортовых видеосистем реального времени. До этого он уже успешно использовался в двух программах – Боинг 787 и Аэробус А400М.

Этот стандарт использует в качестве первоначальной основы стандарт *Fiber Chanel - Аудио /Видео (FC-AV)*, определенный в *ANSI ICITS 356-2002*.

Протокол *ARINC 818* представляет собой протокол и интерфейс точка-точка (*PPP*) с волоконно-оптической средой распространения, с линейным кодированием 8В/10В, ориентированный на передачу видео, аудио и данных.

Кроме организации двухполюсных сетей он обеспечивает формирование гибких массивов из сложных видеофункций, включая мультиплексирование нескольких видеопотоков на одном соединении. Его временная структура привязана к временной структуре видеосистем и имеет циклический характер. Определены четыре различных класса видео: от простого асинхронного, до современных цифровых видеосистем, структурированных с точностью до пикселей.

Между циклами предусмотрены специальные заполнители (*Ides*), регулирующие упаковку строк и кадров видеосигнала в контейнеры *ARINC 818*.

При передаче видеосигнал пакетизируется. Для передачи *XGA-RGB* требуется пропускная способность приблизительно 141 Мбайт/с (1024 пикселя x3 байта на пиксель x768 строк x60 Гц кадровой частоты). Добавление заголовков, контрольных сумм и другой служебной информации требует обеспечения стандартной скорости передачи 2,125 Гбит/с.

В низкоскоростных (1,0625 Гбит/с) реализациях *ARINC 818* можно использовать физическую среду распространения на основе витых пар или оптоволоконные линии. При скоростях выше 2 Гбит/с используются специализированные оптоволоконные трансиверы различных модификаций. Так, при радиусах покрытия сети менее 500 м можно использовать бортовые кабели на основе многомодового волокна, работающие в

окне прозрачности 0,85 мкм. Для крупных объектов и сетей с радиусом покрытия до 10 км предполагается использование одномодового волокна в диапазоне 1,3 мкм. В дальнейшем предполагается использование специализированного ряда скоростей, где в качестве первичной скорости выбирается скорость *FC-AV1*, 0,625 Гбит/с, а результирующее значение образуется умножением этого значения на соответствующий коэффициент. Предусматривается применение скоростей 1x, 2x, 4x, 8x (до 8,5 Гбит/с), а в дальнейшем и до 12x, 16x, 32x.

Для обеспечения столь высоких скоростей может понадобиться *CWDM*-уплотнение.

В недавнем прошлом в аэрокосмическом сообществе возникли новые требования к расширению функций *ARINC 818*. Был инициирован проект/модернизация *APIM13-001*, который был направлен в рабочую группу Digital Video и был утвержден в январе 2013 г. в Майами шт. Флорида. В этот проект были включены новые дополнения, к которым относятся:

- повышение скорости до 32x;
- принципы сжатия видео (например, для записи в регистраторах);
- принцип шифрования;
- принципы коммутации;
- принципы объединения каналов;
- двунаправленные интерфейсы камер и синхронизация;
- каналы передачи данных;
- поддержка 3D дисплеев;
- руководство по расчету контрольных сумм; и ряд других.

Таким образом, *ARINC 818* представляет собой быстроразвивающийся стандарт, эволюционирующий в направлении создания коммутируемых локальных сетей цифрового видео реального времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрены основные стандарты информационно-телекоммуникационных технологий современной авионики. Кроме этого в научной литературе широко обсуждается применение в данной области и других широко известных информационно-телекоммуникационных технологий, центральное место среди которых занимает технология *Ethernet* (ввиду её широкого распространения и доступности элементной базы), кроме этого обсуждается применение таких технологий, как *Fiber Channel Avionics Environment*, *Rapid IO*, *Wi-Fi*, *Space Wire* и ряда других [1, 5].

Литература

1. *Парамонов П.П.* Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении / П.П. Парамонов, И.О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (82). – С. 1–10.
2. *Павлов А.М.* Принцип организации бортовых вычислительных систем перспективных летательных аппаратов / А.М. Павлов // Мир компьютерной автоматизации. – 2001. – № 4.
3. *Никульский И.Е.* Концепция построения мультисервисной сети оператора связи / А.В. Никитин [и др.] // Вестник связи. – 2010. – №5. – С. 47–49, №7. – С. 41–45.
4. *Никульский И.Е.* Моделирование ядра мультисервисной сети с относительной приоритизацией неоднородного трафика / Т.И. Алиев, И.Е. Никульский, В.О. Пяттаев // Научно-технический вестник. СПбГУИТМО, выпуск 04(62). С-Пб, 2009 – С. 88–96.
5. *Федосов Е.А.* Перспективный облик и технологии разработки комплексов бортового оборудования воздушных судов / Е.А. Федосов [и др.] // Технический журнал «Полет». – 2013. – №8. – С. 44–52.
6. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд. [Текст] / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер – СПб.: Питер, 2003. – 944 с.