

ИКТ И СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ

УДК 621.395.74

ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
НА БОРТУ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**И. Е. Никульский**, начальник отдела ОАО «ЦНПО «Ленинец», д.т.н.; i.nikulsky@npo-leninetz.ru**Л. В. Овчарова**, начальник отдела ОАО «ЦНПО «Ленинец», заместитель главного конструктора, к.т.н.; lubushka-spb@list.ru**А. В. Кротов**, инженер-соискатель ОАО «ЦНПО «Ленинец»; alexan.krotov@gmail.com

Рассматриваются аспекты эволюции бортового радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов. На примере концептуальной модели современного целевого радиоэлектронного оборудования комплекса раскрыты особенности построения информационно-телекоммуникационных систем современной авионики. Приводится краткое описание современных стандартов построения бортовых информационно-телекоммуникационных сетей. Показаны особенности построения бортовых локальных сетей передачи данных и видеосетей.

Ключевые слова: бортовое радиоэлектронное оборудование, целевой радиоэлектронный комплекс, локальная сеть передачи данных, видеосеть, интегральная модульная авионика, сетевые стандарты и протоколы.

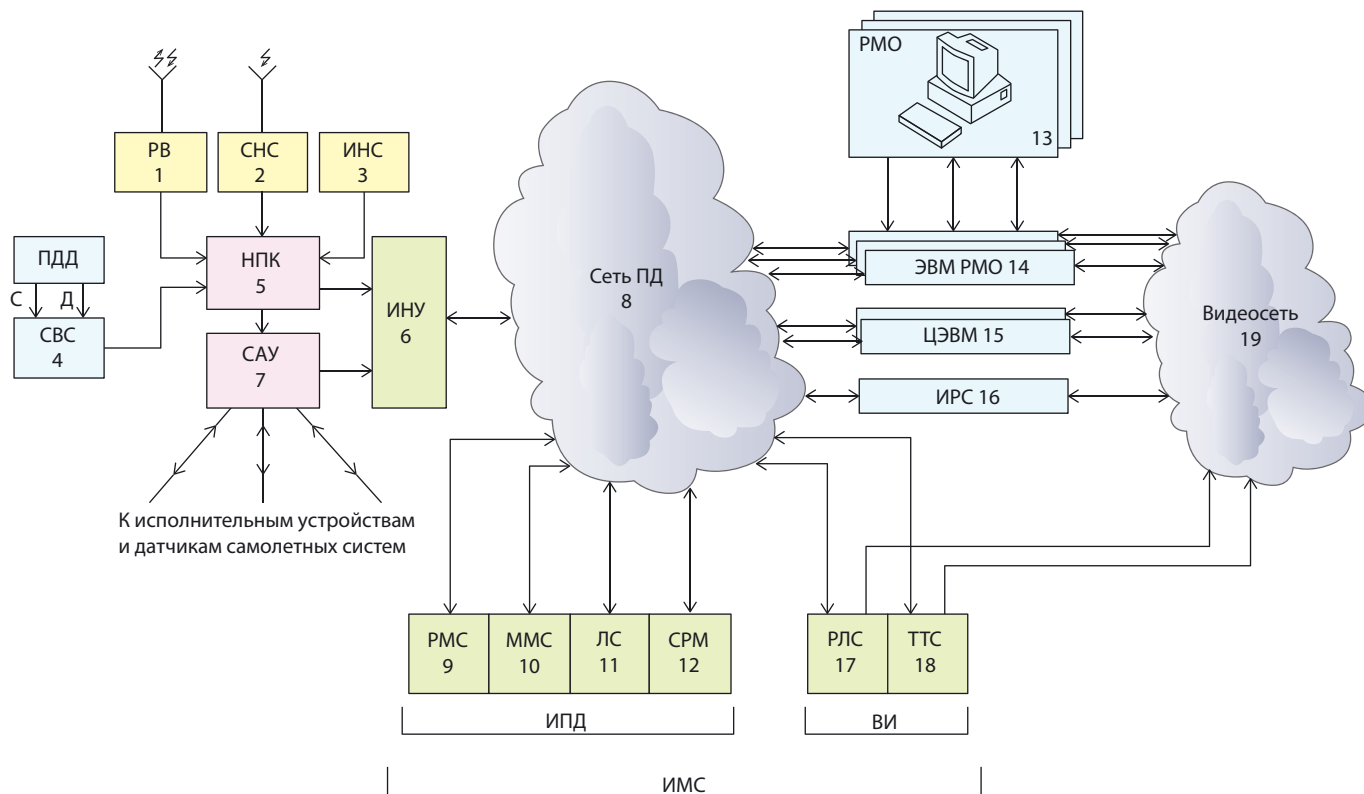
Введение. Целью данной публикации является расширение представлений читателей-связистов об информационно-телекоммуникационных технологиях специального назначения, применяемых в различных системах авиационной электроники (авионики) современных летательных аппаратов: самолетов и вертолетов гражданской и военной авиации.

Некоторые идеи, изложенные в статье, смогут найти воплощение при проектировании элементов современных систем связи общего пользования (ССОП), а также промышленных и охранных видеосистем, систем управления, локальных сетей реального времени и других.

Классификация бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО). Основные качества современной авиационной техники, такие как безопасность, комфортабельность, удобство управления (для гражданских машин), стремительность, скрытность, маневренность, способность поражать цели всех классов в дневное и ночное время, в любую погоду, любыми, прежде всего высокоточными, средствами (для военных самолетов и вертолетов), обеспечиваются в значительной степени за счет оснащения летательных аппаратов сложными многофункциональными комплексами БРЭО.

Развитие и совершенствование БРЭО сопряжено с широким внедрением информационно-телекоммуникационных технологий.

По функциональному назначению можно выделить два класса БРЭО:



- самолетное оборудование — подсистемы, принимающие непосредственное участие в управлении летательным аппаратом, поддержании заданных режимов его полета и безопасности. К ним относятся, например, навигационно-пилотажный комплекс (НПК), индикаторные приборные панели в кабине экипажа, комплексы связи, системы управления двигателями и т.д.;

- оборудование целевых радиоэлектронных комплексов (РЭК) — подсистемы, необходимые для выполнения специализированных задач, свойственных конкретному типу и функциональному назначению летательного аппарата-носителя и находящегося на его борту специализированного оборудования (самолет-истребитель, самолет-разведчик, самолет для поиска полезных ископаемых и мониторинга окружающей среды, противолодочный вертолет и др.).

Концептуальная модель целевого РЭК. 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, представлена на рисунке.

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

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

Радиовысотомер *1* определяет высоту полета самолета посредством радиолокации поверхности земли. Спутниковая навигационная система (СНС) *2* необходима для получения текущих координат от орбитальных группировок спутников ГЛОНАСС/ GPS. Кроме того, текущие координаты вычисляются посредством инерциальной навигационной системы (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 воздушных сигналов (СВС) *4* с приемником динамического давления (ПДД) выдает воздушные сигналы «Статическое» (С) и «Динамическое» (Д), определяющие высотно-скоростные режимы полета.

Ввод и отображение информации о параметрах полета на индикаторных панелях в кабине экипажа, а также выдачу этих параметров в систему автоматического управления самолетом (САУ) *7* осуществляет навигационно-пилотажный комплекс (НПК) *5*.

Подсистемы *1–5* могут входить в состав самолетного оборудования либо быть составными частями целевого РЭК. Их связь с вычислительным комплексом целевого РЭК поддерживается посредством интерфейса навигации и управления (ИНУ) *6*, который преобразует сигналы и протоколы взаимодействия с НПК *5* и САУ *7* в сигналы и протоколы бортовой сети передачи данных (ПД) *8*. К этой сети ПД подключены ЭВМ рабочих мест операторов (ЭВМ РМО) *14*, центральная ЭВМ *15*, информационно-регистрирующая система (ИРС) *16*, а также показанные в нижней левой части схемы информационно-мониторинговые системы: радиометрическая система (РМС) *9* (для мониторинга и поиска радиационных аномалий), магнитометрическая система (ММС) *10* (для поиска магнитных аномалий), лидарная (лазерная локационная) система *11* (мониторинг чистоты воздушной среды), система радиомониторинга (СРМ) *12* (мониторинг электромагнитных излучений).

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

ЭВМ РМО *14* управляет отображением на индикаторах РМО *13*, расположенных в фюзеляже, всей текущей информации, вводом исходных данных, активизацией соответствующих ИМС, а также реализует ряд других функций, связанных с деятельностью операторов.

В нижней правой части рисунка показаны ИМС, имеющие видеointерфейсы (формирующие на выходе полный цифровой телевизионный сигнал стандартного либо повышенного разрешения). Радиолокационная система (РЛС) *17* осуществляет мониторинг метеоусловий, поиск наземных, надводных и других объектов, а телевизионно-тепловизионная система (ТТС) *18* предназначена для видеомониторинга поверхности земли, тепловизионного мониторинга очагов лесных пожаров, дефектов трубопроводов теплоцентралей и т.д.

Особенности информационно-телекоммуникационной системы. Из рассмотрения концептуальной модели, приведенной на рисунке, следует, что информационно-телекоммуникационная система данного РЭК сегментирована на две независимые локальные сети: сеть передачи данных и видеосеть (облако цифровой видеосети *19*).

Предложенный подход к построению сети отличается от традиционного, принятого в современных телекоммуникациях, при котором все виды трафика передаются через одну сеть (например, в сетях доступа и на других иерархических уровнях сетей следующего поколения NGN-IMS) [1, 2]. Именно такой подход доминирует при построении бортовых РЭК, начиная с момента появления на борту распределенных вычислительных комплексов и цифровых видеосистем, т.е. уже более 15 лет. Это вызвано следующими причинами:

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

2. Видеосеть должна обеспечивать передачу несжатого высокоскоростного видеотрафика с минимальными задержками, а это требует специализированной организации сетевой архитектуры.

Первая группа причин обоснована необходимостью минимизации средних задержек при передаче управляющих команд, без чего невозможна устойчивая работа 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 вызвана 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 (до нескольких секунд) задержкам при обработке видеосигнала, с одной стороны. С другой — многие задачи, решаемые целевыми РЭК, требуют очень низких

задержек при передаче видеосигнала. Речь идет о системах телевизионной автоматики, работающих с захватом целей на сопровождение, системах привязки целей к координатам в движении, где точность привязки существенно повышается при снижении задержек передачи видеопотока, и многих других. Этот комплекс требований и определяет необходимость передачи по сети исходных видеопотоков на скоростях до десятков гигабит в секунду — 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 использованию принципа «одна задача — одна ЭВМ». Следствием применения такого принципа построения БРЭО, получившего название федеративного и преобладающего при построении целевых РЭК предыдущего поколения, стали существенное увеличение капитальных затрат на строительство РЭК, высокий уровень эксплуатационных расходов при их техническом обслуживании и снижение функциональной надежности. Все это потребовало развития новых подходов к построению бортовых РЭК.

Основным направлением построения БРЭО в наши дни является применение принципов стандартизированной интегрированной модульной авионики (ИМА). Под ИМА понимается концепция построения комплекса БРЭО, базирующаяся на открытой сетевой архитектуре и единой вычислительной платформе [3], что предусматривает полную стандартизацию конструкторских решений, аппаратных и программных функций и интерфейсов, а также сетевых технологий и протоколов.

Головной организацией, реализующей единую научно-техническую политику авиационной промышленности в области радиоэлектронного оборудования для летательных аппаратов гражданской и военной авиации в России, является ФГУП «Государственный научный центр Российской Федерации Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем (ГосНИИАС)».

Зарубежным «законодателем мод» в стандартизации БРЭО считается фирма ARINC (Aeronautical Radio, США). Нормативные документы этой организации, наряду с другими военными стандартами 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 В) «Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей», стандарт локальной сети передачи данных со скоростью передачи 1 Мбит/с, с бесконфликтным централизованным квитирированным 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) [4]. Второй из указанных стандартов не получил широкого применения.

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

Видеосети в БРЭО предыдущих поколений чаще всего строились на основе оригинальных решений, использующих передачу цифрового видеосигнала по многоуровневым

параллельным шинам на основе витых пар и коммутацию каналов.

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

- 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 (Asynchronous Full Duplex Switched Ethernet — асинхронный полнодуплексный коммутируемый Ethernet), стандартизованный рабочей группой ARINC и построенный на базе широко известного стандарта IEEE 802.3. Его применение позволяет использовать традиционную логическую структуру современных сетей (стеки протоколов IP, UDP, TCP, RTP и др.).

Вместе с тем данный протокол поддерживает указанные выше требования к бортовым авиационным информационно-телекоммуникационным системам: надежную передачу пакетов и ограниченную задержку передачи. Эта архитектура использует известные принципы построения локальной сети полностью дуплексного Ethernet [5], но имеет при этом ряд характерных дополнений, обеспечивающих выполнение данных жестких критериев. Так, в коммутаторах AFDX используется статическая таблица, в отличие от традиционных коммутаторов Ethernet ССОП, где составляется динамическая таблица коммутации и коммутатор «узнает и забывает» об узлах, подключенных к нему.

Процесс «узнавания» вносит переменную задержку, поэтому исключен в сети AFDX, где отсутствует используемый в ССОП протокол разрешения адреса (ARP), который осуществляет привязку MAC-адресов к IP-адресам узлов [5]. Такой подход к построению сетевой инфраструктуры стал возможен в бортовых сетях благодаря сравнительно небольшому количеству постоянно подключенных к сети узлов (терминалов) и априорному наличию информации о направлениях продвижения трафика (информационном тяготении) в этих сетях, т.е. о том, от каких узлов и к каким должны передаваться данные (чего нет в ССОП). В сети AFDX основной политикой является определение всех узлов и их сетевых адресов.

Другое важное отличие AFDX — создание избыточности линейного оборудования и аппаратного обеспечения на физическом уровне. При этом узлы, включенные в сеть, снабжены дублированными контроллерами Ethernet и имеется специализированный протокол управления избыточностью, на верхних уровнях сети пропускается один из двух одинаковых пакетов (принятых по дублированной сетевой инфраструктуре). В сети предусмотрены специализированные настройки избыточности, позволяющие использовать ее для повышения не только надежности, но и пропускной способности.

Дублированные информационные кадры могут передаваться в этой сети через разные коммутаторы и по разным физическим линиям и путям, благодаря чему существенно повышается надежность передачи.

В сети могут создаваться полупостоянные виртуальные каналы, что обеспечивает возможность подключений PPP (точка-точка), а также фактическую имитацию и замену ARINC 429. В сети AFDX предусмотрено множество других функций и возможностей для снижения вероятности

блокирования применяемых портов, создания сервисных точек доступа и т.д.

Таким образом, AFDX [6] представляет собой сеть, подобную современным версиям Ethernet [5], но при этом имеет специализированные сетевые карты и коммутаторы.

Стандарт для военных видео- и графических распределенных систем ARINC 818 включает описания как интерфейса, так и протокола, ориентированных на передачу несжатого цифрового видео с высокой пропускной способностью и низким временем задержки [7, 8]. Этот документ, выпущенный в 2007 г., был предложен ARINC и аэрокосмическим сообществом для удовлетворения жестких требований к бортовым видеосистемам реального времени. До этого он успешно использовался в двух программах: «Боинг 787» и «Аэробус А400М».

ARINC 818 основан на стандарте Fiber Channel (аудио/видео) (FC-AV), определенном в ANSI ICITS 356–2002.

Протокол ARINC 818, ориентированный на передачу видео, аудио и данных, представляет собой протокол и интерфейс точка-точка (PPP) с волоконно-оптической средой распространения, линейным кодированием 8В/10В. Кроме организации двухполюсных сетей, он обеспечивает формирование гибких массивов, состоящих из сложных видеофункций, включая мультиплексирование нескольких видеопотоков на одном соединении. Его временная структура привязана к временной структуре видеосистем и имеет циклический характер. Определены четыре класса видео: от простого асинхронного до современных цифровых видеосистем, структурированных с точностью до пикселей.

Между каналами 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 × 3 байта на пиксель × 768 строк × 60 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 задействованы специализированные оптоволоконные трансиверы различных модификаций. Так, при радиусах покрытия сети <500 м применяются бортовые кабели на основе многомодового волокна, работающие в окне прозрачности 0,85 мкм. Для крупных объектов и сетей с радиусом покрытия до 10 км допускается использование одномодового волокна в диапазоне 1,3 мкм.

В дальнейшем рассматривается возможность реализации специализированного ряда скоростей, где в качестве первичной выбирается скорость FC-AV 1,0625 Гбит/с, а результирующее значение образуется умножением этого значения на соответствующий коэффициент. Предусматривается применение скоростей 1×, 2×, 4×, 8× (до 8,5 Гбит/с), а в перспективе и до 12×, 16×, 32×. Для обеспечения столь высоких скоростей может понадобиться CWDM-уплотнение.

Не так давно аэрокосмическое сообщество сформулировало новые требования к расширению функций ARINC 818 [8]. Был инициирован проект/модернизация APIM13-001: после рассмотрения в рабочей группе Digital Video его ут-

вердили в январе 2013 г. в Майами (штат Флорида). В проект APIM13-001 включены дополнения: повышение скорости до 32×; 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 др.

Таким образом, ARINC 818 представляет собой быстро развивающийся стандарт, который эволюционирует в сторону создания коммутируемых локальных сетей цифрового видео реального времени.

Заключение. В статье рассмотрены основные стандарты информационно-телекоммуникационных технологий современной авионики. Кроме того, в научном сообществе широко обсуждается применение и других хорошо известных информационно-телекоммуникационных технологий, центральное место среди которых занимает Ethernet (ввиду большого распространения этой технологии и доступности ее элементной базы), а также Fiber Channel, Rapid IO, Wi-Fi, Space Wire и др. [3, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Никитин А. В., Пятаев В. О., Никольский И. Е., Филиппов А. А.** Концепция построения мультисервисной сети оператора связи // Вестник связи. — 2010. — № 5. — С. 47–49; № 7. — С. 41–45.
2. **Алиев Т. И., Никольский И. Е., Пятаев В. О.** Моделирование ядра мультисервисной сети с относительной приоритизацией неоднородного трафика // Науч.-техн. вестник СПбГУ-ИТМО. — Вып. 04 (62). — СПб, 2009. — С. 88–96.
3. **Федосов Е. А., Чуянов Г. А., Косьянчук В. В., Сельвесюк Н. И.** Перспективный облик и технологии разработки комплексов бортового оборудования ВС // Полет. — 2013. — № 8. — С. 44–52.
4. **Павлов А. М.** Принцип организации бортовых вычислительных систем перспективных летательных аппаратов // Мир компьютерной автоматизации. — 2001. — № 4.
5. **Олифер В. Г., Олифер Н. А.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / Учебник для вузов. 2-е изд. — СПб.: Питер, 2003. — 944 с.
6. **Schaadt D.** AFDX/ARINC 664 Concept, Design, Implementation and Beyond. White paper. [Electronic resource] // SYSGO AG, 2007. URL: http://www.cems.uwe.ac.uk/~ngunton/afdx_arinc664.pdf (Accessed: 04.12.2013).
7. **Keller T.** ARINC 818 Avionics Digital Video Bus The Protocol Standard for High-Performance Video Systems. White paper. [Electronic resource] // Great River Technology, Inc., Albuquerque, NM. [Official website] URL: <http://greatrivertech.com/pdfs/what-is-arinc-818.pdf> (Accessed: 04.12.2013).
8. **Grunwald P.** What's New in ARINC 818 Supplement 2 [Electronic resource] // Great River Technology, Inc., Albuquerque, NM. [Official website] Thirty-second Digital Avionics Systems Conference in Syracuse, New York, October 6–10, 2013. URL: <http://greatrivertech.com/pdfs/arinc-818-NewInSupp2.pdf> (Accessed: 04.12.2013).
9. **Парамонов П. П., Жаринов И. О.** Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Науч.-техн. вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2013. — № 2 (82). — С. 1–10.

Получено 29.01.14