

УДК 621.3.037.3

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

© 2023 А.В. Жаринов

Ульяновское конструкторское бюро приборостроения, г. Ульяновск, Россия

Статья поступила в редакцию 11.02.2023

В данной статье рассмотрена проблема передачи сигнальных текстовых сообщений в бортовых вычислительных сетях летательного аппарата. В статье приведен краткий обзор перспективных направлений в проектировании современной авионики, таких как: интегрированная модульная авионика и Avionics Full Duplex Ethernet. В тексте статьи приведен протокол позволяющий формировать текст сигнальной зоны на многофункциональном индикаторе в кабине пилота, а так же осуществить передачу закодированного текста посредством применения протокола Arinc 664 (AFDX). Применение данного протокола позволяет передавать на многофункциональный индикатор в кабине пилота полностью сформированную в вычислительном блоке зону сигнальных сообщений. Преимуществом данного подхода является отсутствие фрагментирования информации, а следовательно увеличение частоты обновления информации на экране индикатора.

Ключевые слова: интегрированная модульная авионика, комплексное бортовое оборудование, бортовые сети, комплексная информационная система сигнализации, Arinc 429, Avionics Full Duplex Ethernet (AFDX).

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-1-76-82

ВВЕДЕНИЕ

При разработке авионики современных отечественных пассажирских лайнеров начиная с 2000-х годов начала применяться интегрированная комплексная архитектура (ИМА)[1]. Интегрированное комплексное бортовое оборудование имеет такую архитектуру, при которой замена любого блока не требует существенных изменений и модернизаций всей системы, перепайки контактов или реконфигурации сети. Поскольку в ИМА вычислительные процессы распределены между функциональными приложениями в оборудовании.

По сравнению с федеративной архитектурой переход к концепции ИМА позволяет существенно снизить весовые и стоимостные характеристики бортового оборудования ВС. Переход к ИМА обусловлен экономическими и организационно-техническими предпосылками. С одной стороны, наблюдаются все возрастающие потребности в расширении и удобстве наращивания функциональности оборудования с одновременным стремлением к снижению его стоимости и уменьшению эксплуатационных расходов. С другой стороны, существующий и прогнозируемый уровень развития технологий и элементной базы позволяет осуществлять все более глубокую интеграцию на аппаратном и алгоритмическом уровнях [6].

Применение ИМА во многом основано на новом подходе в построении вычислительных

*Жаринов Андрей Валерьевич, инженер-исследователь.
E-mail: Jaa111200@mail.ru*

сетей. Современные вычислительные сети ЛА спроектированы в соответствии со стандартом Avionics Full Duplex Ethernet (AFDX) [3]. Отличительной особенностью применения AFDX в бортовых сетях обмена является переход от сетей построенных на каналах точка-точка (ARINC 429 или RTM 1495-75) [8] и каналом множественного доступа с центральным управлением к сетям на основе пакетной коммутации.

Уведомления и предупреждения об отказах или нештатных ситуациях на борту передаются пилоту в следующем виде [5]:

- Звуковая сигнализация;
- Центральный сигнальный огонь;
- Информационные кадры по общесамолетным системам на многофункциональном индикаторе(МФИ);
- Зона сигнальных текстовых сообщений на МФИ.

В данной работе будет рассмотрен способ передачи текстовых сообщений в сети AFDX между вычислительным блоком концентратором (ВБ) и МФИ.

СТРУКТУРА КОМПЛЕКСНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ ЛА

Комплексная информационная система сигнализации (КИСС) отвечает за предупреждение пилота о наступлении определенных событий на борту (штатных или нештатных). Современная система авионики выстроена так, что комплексы бортового оборудования отвечающие за

определенную самолетную систему, могут сами выявлять наступление тех или иных событий, в том числе и отказов оборудования. Затем сообщения об этих событиях поступают в вычислительный блок, где формируется информация для пилота. В вычислительном блоке формируется, какой текст, каким цветом и т.д. должен отобразиться на экране МФИ в кабине пилота.

МФИ представляет собой ЖК-монитор, который содержит ряд функциональных приложений для приема-вывода информации по различным каналам передачи данных (КЛС, AFDX, РК и др.), для формирования изображений на экране, проведению контроля и других функций. Пилот сам способен выбирать какую информацию хочет видеть на экране, посредством применения специального пульта с трекболом, напоминающий шариковую компьютерную мышь. Таким образом современные кабины авиалайнеров практически не содержат аналоговых приборов, а приборная панель состоит из большого количества различных мониторов (рис. 1).

Но перед тем, как сигнальное сообщение попадет на экран МФИ, система, отвечающая за те или иные происходящие события, должна отправить соответствующий сигнал на ВБ, которой в свою очередь, соединит сообщения, отправленные с других систем, и выдаст на экран пилоту.

В вычислительном блоке содержатся правила определения приоритета индикации одних сообщений над другими. Например, гораздо важнее показать пилоту информацию о том, что отказала система шасси, чем сообщение о том, что не работает принтер.

Количество индикаторов и вычислительных блоков определяется разработчиком ЛА на этапе проектирования самолетных систем (рис. 2) в зависимости от размеров ЛА, размера кабины и сложности КБО. Однако исходя из высоких требований к безопасности и отказоустойчивости, используется дублирование, как каналов передачи данных, так и самих функциональных модулей в системе.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, СВЯЗАННЫЕ С AFDX

Стандарт AFDX описывает управление передачей сообщений в бортовых сетях на основе традиционного стандарта Ethernet 802.3. Согласно стандарту AFDX, бортовая сеть состоит из следующих компонентов[2]:

- абоненты, передающие сообщения;
- оконечные системы – системы, обеспечивающие интерфейс между абонентами и сетью;
- пакетные коммутаторы, соединяемые линиями передачи данных.

Шесть основных аспектов сети передачи данных AFDX включают полный дуплекс, резервирование, детерминизм, высокую скорость работы, коммутируемую и профилированную сеть.

На канальном уровне модели OSI [4] передача информации в сетях AFDX основывается на применении виртуальных каналов (Virtual Links) в организации общения между абонентами. Каждый виртуальный канал имеет адрес отправителя и адрес получателя, называемый MAC-адресом виртуального канала, но в зависимости от традиционного понимания MAC-адреса в стеке TCP/IP, в AFDX MAC-адрес не



Рисунок 1. Кабина современного пассажирского лайнера

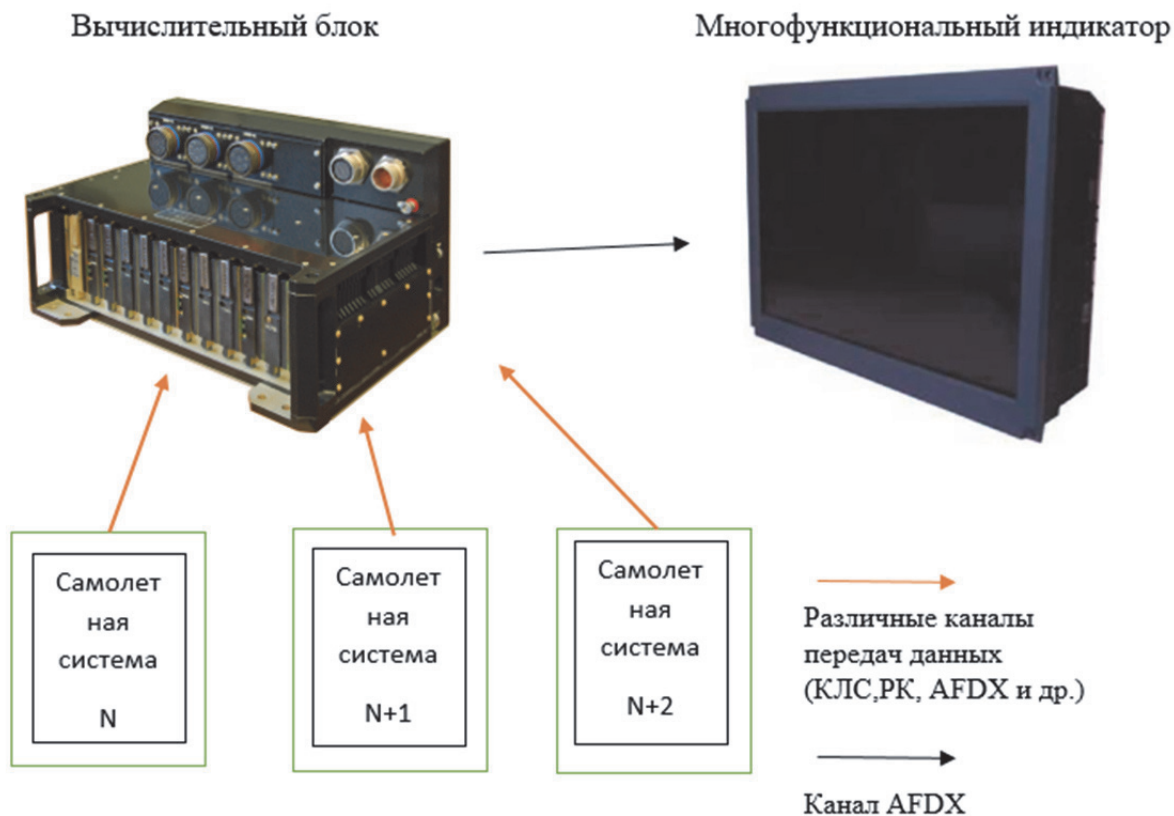


Рисунок 2. Структурная схема системы оповещения экипажа

закрепляется за сетевой картой абонента, а является идентификатором канала. Таким образом мы можем менять MAC-адрес при конфигурации сети. В остальном же используется протокол Ethernet (дуплекс, передача информации кадрами и т.д.)[7].

На сетевом уровне используется протокол IP, однако маршрутизация на этом уровне не производится, так как функция маршрутизации переключается на канальный уровень. На транспортном уровне используется протокол UDP (выборочно TCP). Таким образом сети AFDX используют стек основанный на семействе протоколов TCP/IP, на которых строится современный интернет.

Применение виртуальных каналов позволяет разделить пропускную способность сети, а также разграничить отправку сообщений по времени между различными абонентами. Порт

отправитель может посылать информацию в несколько портов получателей, но принимать информацию порт способен только из одного источника (рис. 3).

На уровне приложения порты (Application port) разделяются на порты отправители (Source port) и порты получатели (Destination port)[9]. Конфигурация портов, а также их размеры определяются заранее, при проектировании оконечной системы (ОС). В случае с комплексной информационной системой сигнализации ОС являются Вычислительный блок и МФИ. Так же при проектировании КБО, нужно заранее предусмотреть сколько портов понадобится в том или ином блоке.

В данной статье будет рассмотрен способ передачи информации с применением одного Source port в Вычислительном блоке и одного Destination port в МФИ. Максимальный размер

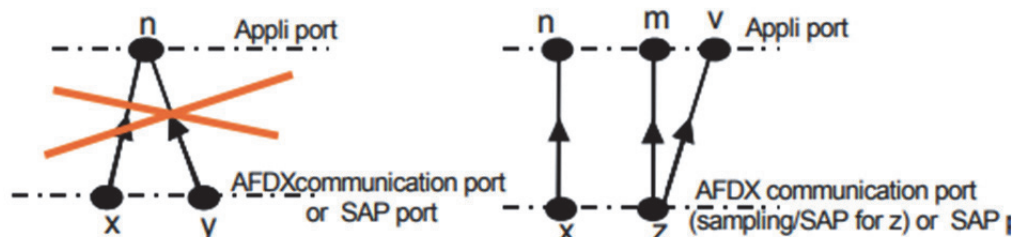


Рисунок 3. API-порты AFDX

полезной информации в одном сообщении в соответствии со спецификацией Atinc 664 1471 байт. Это накладывает ограничения на способы передачи текстовой информации.

Применение AFDX в современных авиалайнерах позволяет сократить количество проводов, а следовательно вес ЛА. Помимо этого упрощается процедура проектирования, сборки и обслуживания вычислительных сетей. Если в сетях типа «точка-точка» реконфигурация сети сопровождалась физическим переключением информационных кабелей, то в коммутируемых сетях AFDX реконфигурация может производиться путем загрузки конфигурационных файлов.

ПЕРЕДАЧА СИГНАЛЬНЫХ ТЕКСТОВЫХ СООБЩЕНИЙ В СЕТЯХ AFDX

Передача текстовой информации на МФИ с применением протокола AFDX накладывает ограничения на объем передаваемого сообщения. Как было сказано в предыдущем разделе, максимальным размер «полезной нагрузки» составляет 1471 байт (таблица 1). Это означает, что при разработке комплексной информационной системы сигнализации желательно уместить весь текст отображаемой страницы в эти 1471 байт для избегания фрагментирования информации, а следовательно уменьшения пропускной способности сети.

В зависимости от приоритета происходящего события сигнальные сообщения делят на 4 группы [10]:

- Warning (индицируются красным цветом);
- Caution (индицируются желтым цветом);
- Advisory (индицируются белым цветом);
- Memo (индицируются зеленым цветом).

В выделенной зоне на МФИ сигнальные текстовые сообщения могут находиться в следующих состояниях:

- Мигание;
- Подчеркивание (используется для выделения не подтвержденных пилотом сообщений);
- Инверсия (зона вокруг сообщения выделяется цветом приоритета, а сам текст остается черным. Используется для выделения новых сообщений);

- Скрытое сообщение (пилот имеет возможность скрыть сообщение с экрана МФИ. Вместо скрытых сообщений на экране индицируется спец. символ).

- Сфокусированное сообщение (индицируется рамка фокуса вокруг сообщения. Используется для того, чтобы пилот понимал с каким сообщением работает при подтверждении или скрытии сообщения).

Также в выделенной зоне на МФИ могут индицироваться такие символы как: символы переполнения сигнальной зоны (стрелка вверх или вниз).

Таким образом для каждой индицируемой строки необходимо помимо самого текста закодировать и передать выше перечисленные характеристики и специальные символы.

Признак пустой строки в Таблице 2 указывает на то, что строка под данным номером, не имеет текстового сообщения. Этот признак необходимо передавать для разделения строк между собой либо при условии когда k-количество сигнальных сообщений меньше n – количество строк в выделенной зоне на экране МФИ.

В зависимости от размеров сигнальной зоны на экране МФИ может уместиться разное n количество строк. В статье разобран пример, когда зона сигнальных сообщений вмещает 14 строк (n=14).

Теперь, когда определен характер передаваемой информации, необходимо определить кодировку полезных данных AFDX, при условии ограничения в 1471 байт [7].

Номер строки можно закодировать в двоичном коде, как обычное число. Под это достаточно выделить один байт.

Для передачи цвета строки достаточно передать заранее определенный номер цвета. Для этого будет достаточно одного байта согласно таблице 3.

Характеристики передаваемого сообщения имеют значение True/False. Поэтому коды их наличия можно разместить в одном байте.

Для кодировки текста можно воспользоваться стандартной кодировкой ASCII в части кодирования букв на латинице в этом случае для каждого символа или пробела будет достаточно одного байта.

Таблица 1. Общий вид сообщения AFDX

		64 – 1518 байт						
7 байт	1 байт	14 байт	20 байт	8 байт	17-1471 байт	1 байт	4 байта	12 байт
Преамбула	Начальный ограничитель	MAC Заголовок	IP Заголовок	UDP Заголовок	AFDX данные (Payload)	Порядковый номер AFDX-кадра	Контрольная сумма MAC – кадра	Межкадровый интервал

Таблица 2. Информация, необходимая для индикации текстовых сообщений

Номер строки	Номер в двоичном коде	Для каждой строки
Текст	Не более 42 символов. В соответствии с кодировкой.	Для каждой строки
Цвет	Красный, Желтый, Белый, Зеленый. В соответствии с кодировкой.	Для каждой строки
Инверсия	Да / Нет	Для каждой строки
Подчеркивание	Да / Нет	Для каждой строки
Мигание	Да / Нет	Для каждой строки
Рамка фокуса	Да / Нет	Для каждой строки
Признак скрытого текста	Да / Нет	Для каждой строки
признак переполнения страницы сверху (стрелка ввверх)	Да / Нет	Для каждой строки
признак переполнения страницы снизу (стрелка вниз)	Да / Нет	Для каждой строки
Признак пустой строки	Да / Нет	Для каждой строки

Таблица 3. Кодировка цвета текстового сообщения

Цвет	Кодировка
Красный	00000001
Янтарный	00000010
Зеленый	00000011
Белый	00000100

Таким образом кодировка одной строки будет иметь следующий вид:

Резерв (табл. 5) можно использовать для увеличения количества текстовых символов либо для передачи служебной информации при необходимости.

В итоге для передачи одной строки нам нужно 52 байта. Передача полностью сигнальной строки составит $n \cdot 52$ байт. На примере

МФИ пассажирского авиалайнера (рис.4), где сигнальная зона составляет 14 строк, нам понадобится 728 байт. Т.е. в выделенный диапазон уместились.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция ИМА и применение протокола AFDX позволило разработчикам комплексного бортового оборудования значительно упростить решение многих задач, в том числе и передача сигнальных сообщений на экран МФИ. С применением технологии AFDX стало возможным передавать полностью сформированный текст сигнальной зоны одним файлом, а не набором сообщений, как в ARINC 429.

Предложенный в статье протокол позволяет передавать до 28 сигнальных сообщений ($1471/52 = 28$), если МФИ располагает большой

Таблица 4. Кодировка хар-ик текстового сообщения

Переменная	Кодировка		Разряд
	True	False	
Инверсия	1	0	1 бит
Подчеркивание	1	0	2 бит
Мигание	1	0	3 бит
Рамка фокуса	1	0	4 бит
Временная рамка	1	0	5 бит
Признак пустой строки	1	0	6 бит
Признак переполнения сверху	1	0	7 бит
Признак переполнения снизу	1	0	8 бит

Таблица 5. Структура кодировки строки

Номер байта	1 байт	2 байт	3 байт	4-10 байт	11-52 байт
Закодированная информация	Номер	Цвет	Характеристики и спец. символы	Резерв	Текст



Рисунок 4. Сигнальная зона текстовых сообщений на МФИ пассажирского авиалайнера

сигнальной зоной. К тому же мы избежали фрагментирования информации по разным пакетам, что позволит обеспечить высокую скорость обновления информации на экране.

Данная статья может быть полезной разработчикам комплексных систем индикации

и сигнализации, построенных в соответствии с концепцией ИМА и применением AFDX в качестве шины передачи данных. Предложенный протокол можно адаптировать под различные ЛА, увеличив или уменьшив количество строк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gaska T., Watkins C., and Chen Y., "Integrated Modular Avionics — Past, present, and future", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 30:9 (2015), 12–23.
2. Балашов, В. В. Построение бортовых сетей реального времени на основе технологии ПКС, б. д. / В.В. Балашов, В.А. Костенко, Т.И. Ермакова - URL: <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2019-1-23-38> (дата обращения 14.01.2023).
3. Костенко, В. А. Построение бортовых коммутируемых сетей минимальной сложности / В. А. Костенко, А. А. Морквин // Программирование, вып. 4 (2021 г.): 14–19. URL: <https://doi.org/10.31857/S013234742104004X> (дата обращения 14.01.2023).
4. Balashov, Vasily V., Valery A. Kostenko, u Tatiana I. Ermakova. «Design of Onboard Real-Time Networks Based on SDN Technology». Modeling and Analysis of Information Systems 26, вып. 1 (15 март 2019 г.): 23–38. <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2019-1-23-38>.
5. Воробьев, В.Г. Основные принципы построения базового комплекса стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования / В.Г. Воробьев, В.В. Глухов, В.П. Зыль, С.В. Кузнецов. - М.: МИИГА, 1988..
6. Федосов, Е.А. Интегрированная модульная авионика / Е.А. Федосов, В.В. Косьянчук, Н.И. Сельвесюк // Радиоэлектронные технологии. - 2015. - № 1. - С. 66-71.
7. Aircraft Data Network. Part 7. Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) Network, Aeronautical Radio, 2012.
8. Руководящий технический материал авиационной техники РТМ 1495-75. Обмен информацией двухполярным кодом в оборудовании летательных аппаратов. Дата введения в действие 01.07.1975 г.
9. ARINC Specification 653. Airlines Electronic Engineering Committee. [PDF] (<http://www.arinc.com>).
10. Руководство по летной эксплуатации самолет RRJ-95В. «Гражданские самолеты Сухого», 2011.

ORGANIZATION OF THE TRANSMISSION OF SIGNALING MESSAGES IN THE COMPUTER NETWORKS OF THE AIRCRAFT

© 2023 A.V. Zharinov

Ulyanovsk Instrument Design Bureau, Ulyanovsk, Russia

This article considers the problem of transmitting signal text messages in the onboard computer networks of an aircraft. The article provides a brief overview of promising areas in the design of modern avionics, such as integrated modular avionics and Avionics Full Duplex Ethernet. The text of the article provides a protocol that allows you to generate the text of the signal zone on the multifunctional indicator in the cockpit, as well as to transmit the encoded text using the Arinc 664 (AFDX) protocol. The use of this protocol makes it possible to transmit to the multifunctional indicator in the cockpit the zone of signal messages completely formed in the computing unit. The advantage of this approach is the absence of information fragmentation, and therefore an increase in the frequency of updating information on the indicator screen.

Keywords: integrated modular avionics, integrated airborne equipment, onboard networks, integrated signaling information system, Arinc 429, Avionics Full Duplex Ethernet (AFDX).

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-1-76-82

REFERENCES

1. Gaska T., Watkins C., and Chen Y., "Integrated Modular Avionics — Past, present, and future", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 30:9 (2015), 12–23.
2. Balashov, V. V. Postroenie bortovyh setej real'nogo vremeni na osnove tekhnologii PKS, b. d. / V.V. Balashov, V.A. Kostenko, T.I. Ermakova - URL: <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2019-1-23-38> (data obrashcheniya 14.01.2023).
3. Kostenko, V. A. Postroenie bortovyh kommutiruemyh setej minimal'noj slozhnosti / V. A. Kostenko, A. A. Morkvin // Programmirovanie, vyp. 4 (2021 g.): 14–19. URL: <https://doi.org/10.31857/S013234742104004X> (data obrashcheniya 14.01.2023).
4. Balashov, Vasily V., Valery A. Kostenko, i Tatiana I. Ermakova. «Design of Onboard Real-Time Networks Based on SDN Technology». Modeling and Analysis of Information Systems 26, вып. 1 (15 март 2019 г.): 23–38. <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2019-1-23-38>.
5. Vorob'ev, V.G. Osnovnye principy postroeniya bazovogo kompleksa standartnogo cifrovogo pilotazhno-navigacionnogo oborudovaniya / V.G. Vorob'ev, V.V. Gluhov, V.P. Zyl', S.V. Kuznecov. - М.: МИИГА, 1988..
6. Fedosov E.A., Kos'yanchuk V.V., Sel'vesyuk N.I. Integrirovannaya modul'naya avionika / E.A. Fedosov, V.V. Kos'yanchuk, N.I. Sel'vesyuk // Radioelektronnye tekhnologii. - 2015. - № 1. - S. 66-71.
7. Aircraft Data Network. Part 7. Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) Network, Aeronautical Radio, 2012.
8. Rukovodyashchij tekhnicheskij material aviacionnoj tekhniki RTM 1495-75. Obmen informaciej duhpolyarnym kodom v oborudovanii letatel'nyh apparatov. Data vvedeniya v dejstvie 01.07.1975 g.
9. ARINC Specification 653. Airlines Electronic Engineering Committee. [PDF] (<http://www.arinc.com>).
10. Rukovodstvo po letnoj ekspluatatsii samolet RRJ-95B. «Grazhdanskie samolety Suhogo», 2011.

Andrey Zharinov, Research Engineer.
E-mail: Jaa111200@mail.ru