

УДК 004.7

**В. Л. Оленев\***

кандидат технических наук, доцент

**В. М. Новиков\*\***

начальник сектора

**Н. И. Сельвесюк\*\***

доктор технических наук, профессор

\*Санкт-Петербургский государственный университет

аэрокосмического приборостроения

\*\*Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем

### РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА ARINC825 НА БАЗЕ ОПТИЧЕСКОЙ WDM СЕТИ

Перспективные бортовые сети летательных аппаратов должны не только обеспечивать жесткие требования по обмену в реальном времени, но и учитывать постоянный рост вычислительной мощности абонентов бортовой сети, а также развитие функциональных задач, включая задачи искусственного интеллекта. В работе рассмотрена возможность модернизации бортового интерфейса ARINC825, на базе оптических и фотонных технологий. Также разработан и приведен анализ работы бортовых интерфейсов с помощью сети Петри.

**Ключевые слова:** ARINC825, оптические сети, WDM, сети Петри, бортовые сети.

**V. L. Olenev\***

PhD, Tech., Associate Professor

**V. M. Novikov\*\***

Head of the sector

**N. I. Selvesiuk\*\***

Dr. Sc., Tech., Professor

\*Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

\*\*State Research Institute of Aviation Systems

### IMPLEMENTATION OF THE ARINC825 PROTOCOL AS OPTICAL WDM NETWORK

Prospective on-board aircraft networks must not only provide strong requirements for real-time data exchange, but also take into account the constant growth in the computing power of on-board network subscribers, as well as the development of functional tasks, including artificial intelligence tasks. The paper examines the possibility of modernizing the ARINC825 on-board interface, based on optical and photonic technologies. An analysis of the on-board interfaces operation using a Petri net has also been developed and presented.

**Keywords:** ARINC825, optical network, WDM, Petri Net, Onboard network.

### Введение

Бортовые сети летательных аппаратов (ЛА) являются многоуровневыми, содержащими большое количество комбинаций различных коммуникационных технологий и физических сред передачи. Основой построения комплекса бортового оборудования (КБО) является бортовая распределенная информацион-

ная вычислительная среда (БРИВС) [1], построенная на основе однотипных вычислительных модулей (ВМ) [2]. В БРИВС реализуются два типа обмена: между двумя разными узлами сети («точка-точка») и широковещание. Эффективность БРИВС есть отношение количества каналов, предоставляемых бортовой сетью для обмена, к общему количеству узлов, готовых к обмену. Для достижения максимальной производительности необходимо каждому функциональному программному приложению (ФПП) предоставить выделенный канал обмена. Задачей статьи является рассмотрение реализации интерфейса ARINC825 на базе оптической WDM-сети.

### Технология интерфейса ARINC825

ARINC825 может использоваться в качестве основной или вспомогательной сети для авиации общего назначения [3] и должен интегрироваться в более крупную сетевую архитектуру КБО. ARINC825 относится к сети контроллеров, которая представляет собой линейную многоабонентскую двунаправленную шину данных. Способность ARINC825 передавать данные в полудуплексном режиме через общую экранированную витую пару имеет преимущества с точки зрения экономии веса. Протокол обеспечивает встроенную схему приоритета сообщений и механизмы восстановления и защиты от ошибок. Шина ARINC825 может быть спроектирована как канал «точка-точка» или как многоточечная общая шина.

ARINC825 использует арбитраж сообщений CSMA/CA и управление полосой пропускания в случае, если несколько узлов пытаются одновременно получить доступ к сети для передачи. Доступ предоставляется узлу, передающему сообщение с наименьшим числовым идентификатором (наивысший приоритет). От проектировщика системы ARINC825 требуется управление полосой пропускания, поскольку по мере увеличения количества узлов, узлы с сообщениями с более высоким приоритетом могут блокировать другие сообщения.

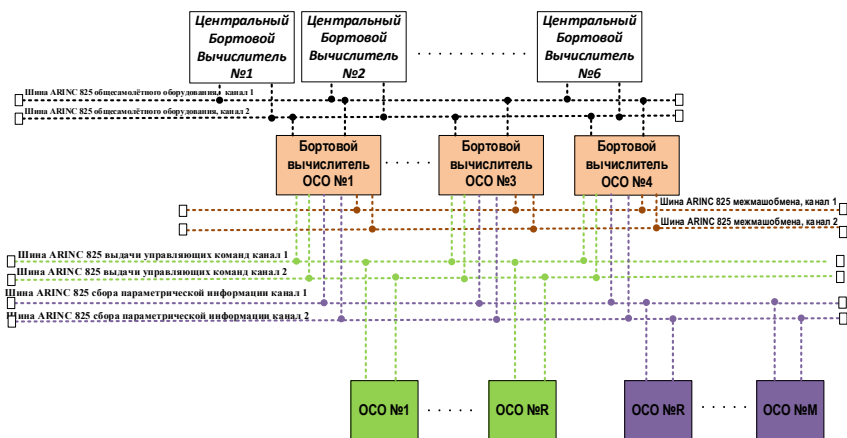


Рис. 1. Сеть ARINC825 для информационного обмена общесамолетного оборудования

На рис. 1 приведена топология сети ARINC825 ЛА, реализующая информационный обмен и управления общесамолетного оборудования (ОСО). Топология сети имеет четыре информационных уровня, при этом обмен идет как в горизонтальном направлении (между узлами одной шины), так и в вертикальном, при этом бортовые вычислители выполняют роль шлюзов и организуют обмен между шинами. Несмотря на небольшие скорости обмена, такая топология накладывает определенные требования на организацию приоритетов между узлами и на сам шлюз, который должен вести предобработку данных в процессе обмена.

Сеть Петри, демонстрирующая представленную на рис. 1 топологию, приведена на рис. 2. Это сеть Петри с приоритетами, отражающая все аспекты работы шинной топологии ARINC825. Сети Петри выбраны для моделирования такой сети, как наиболее подходящий формальный механизм, предназначенный для описания работы параллельных систем [3].

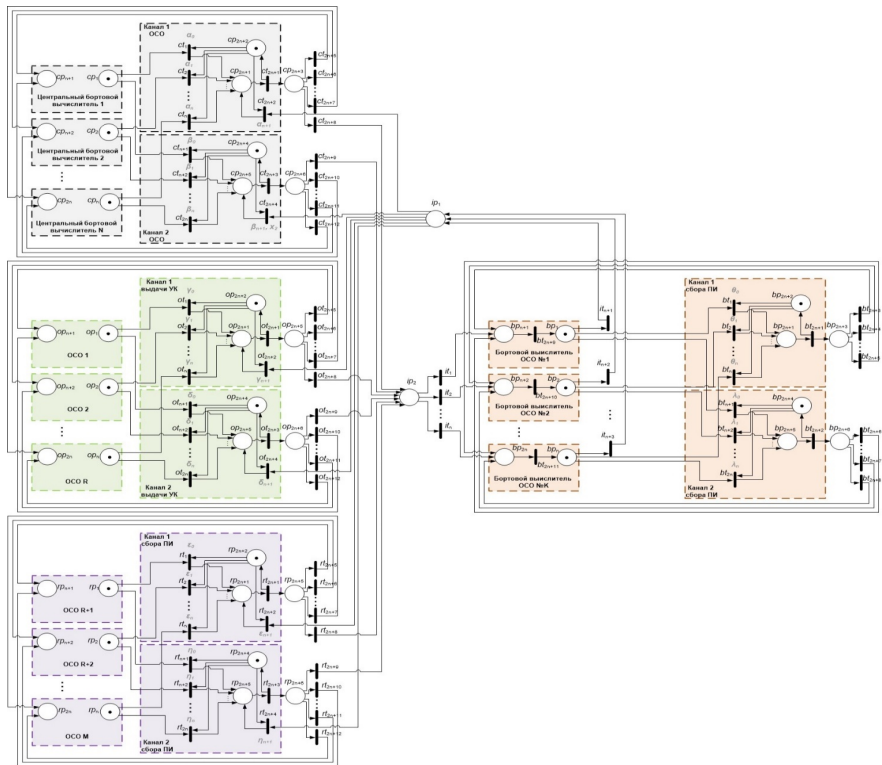


Рис. 2. Сеть Петри для информационного обмена на борту ЛА по ARINC 825

Бортовой интерфейс ARINC825 находит широкое применение в современных комплексах бортового оборудования как средство обмена информацией для исполнительных систем и датчиков самолетного оборудования, обеспечивая возможность любого узла сети ARINC825 выполнять роль контроллера, возможность выполнять широковещательный обмен. Это продемонстрировано при помощи сети Петри на рис. 2.

Однако в настоящее время с ростом вычислительных возможностей отдельных самолетных систем, и особенно реализацией интеллектуальных систем, дальнейшее применение интерфейса ARINC825 сталкивается с ограниченной скоростью передачи данных и увеличением числа узлов и длины шины, что увеличивает время ожидания начала обмена и вероятность коллизий при арбитраже.

Для дальнейшего эффективного использования ARINC825 и устранения выше перечисленных проблем необходим переход на современную физическую оптическую среду передачи данных. Как уже отмечалось ранее, протокол ARINC825 может быть реализован в любой среде: медном проводе, оптоволокне или беспроводной сети. Оптоволоконная связь может иметь ограниченное применение только для соединений «точка-точка» [4]. В настоящее время с развитием оптоволоконных и фотонных технологий данное ограничение может быть устранено.

### **Реализация протокола ARINC825 на базе оптической WDM-сети**

Детерминированная оптическая сеть реального времени (ДОС РВ) относится к области передачи информации в виде пакетов без коммутации каналов с организацией обмена между оконечными системами по принципу распределенной памяти. ДОС РВ представляют класс сетей, в функционировании которых главную роль при коммутации, мультиплексировании, ретрансляции играют не электронные, а чисто оптические технологии.

Подробно концепция построения ДОС РВ приведена в [5–7]. Она базируется на использовании в качестве транспортной архитектуры оптической технологии спектрального уплотнения (Wavelength Division Multiplexing, WDM) заключающейся в возможности организации передачи по одному оптическому волокну множества отдельных оптических  $\lambda$ -каналов. Организован информационный обмен по принципу распределенной разделяемой памяти (Distributed Shared Memory, DSM), где для каждого ФПП отводится собственная область памяти, которая в свою очередь является окном для обмена с «внешними» абонентами волоконной оптической среды, по выделенному для данного ФПП  $\lambda$ -каналу. Когда данные заносятся в DSM одного сетевого узла, то логика DSM одновременно (на аппаратном уровне без привлечения программных ресурсов) отправляет данные к другим сетевым узлам DSM.

При реализации ARINC825 на WDM-сети есть суммарное количество  $\lambda_i$ -каналов, способных мультиплексироваться в единый информационный канал  $\lambda^0 = U\lambda_n$ . В приемной части сетевого оптического узла (COU) организуется фильтрация  $\lambda_i$ -каналов. Для реализации будем применять топологию оптического WDM-кольца, в которой, в отличие от классического кольцевого

интерфейса, каждому из множеств ФПП систем, формирующих выходные данные  $P^{out}$ , ставится в соответствие фиксированная длина волны  $\lambda_i^{Dat}$ , и область памяти  $M_i^{out}$  приемопередающего контроллера. ФПП любого ВМ осуществляет передачу сообщений в область памяти  $M_i^{out}$  приемопередающего контроллера, а далее в бортовую сеть в произвольный момент времени по выделенному  $\lambda_i^{Dat}$ -каналу, не дожидаясь его освобождения. Одновременно любой сетевой узел может вести прием всего набора длин волн  $\mathcal{U}_n$  и далее производить фильтрацию нужных  $\lambda_i$ -каналов.

Таким образом, сформированная ARINC825-wdm (см. рис. 3) реализует безкоммутационную среду обмена информацией и отсутствие задержек и коллизий при сетевом обмене [8], разделение управляющего и информационного потока данных по разным сетевым топологиям или  $\lambda_i$ -каналам, прямой доступ к областям распределенной памяти, программный выбор для каждого ФПП выделенного  $\lambda$ -канала, отсутствие необходимости приоритетных установок для различных потоков данных и настраиваемую скорость обмена для каждого  $\lambda_i$ -канала, при этом диапазон, скорости могут варьироваться от килогерц до гигагерц. На основании вышеперечисленного ДОСРВ позволяет любому ФПП выбирать свое время для приема данных и тем самым освободиться от жесткой синхронизации обмена. Также вследствие используемой в ДОС РВ распределенной памяти, где в каждом узле для каждого ФПП выделена соответствующая область данных, ситуации, когда приемник не имеет достаточно памяти для записи поступающих данных, исключены, поэтому нет необходимости в управлении потоком данных от приемника.

Сеть Петри, демонстрирующая работу представленных на рисунке устройств по топологии «кольцо», изображена на рис. 4. Это классическая сеть Петри, не использующая приоритетов, в которой количество устройств не ограничено.

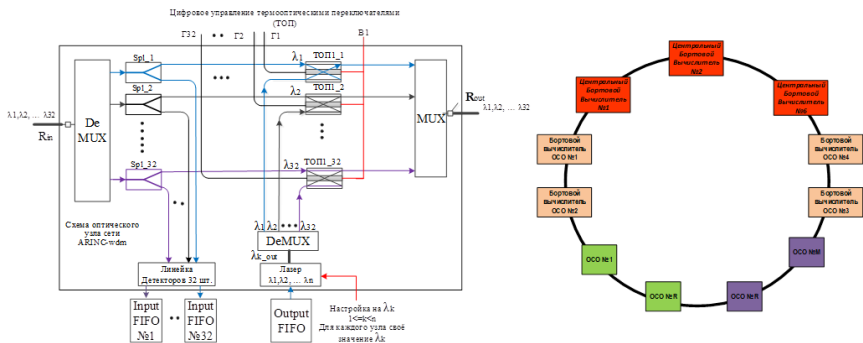


Рис. 3. Организация сетевого узла WDM-сети и реализации ARINC 825 в WDM-кольце

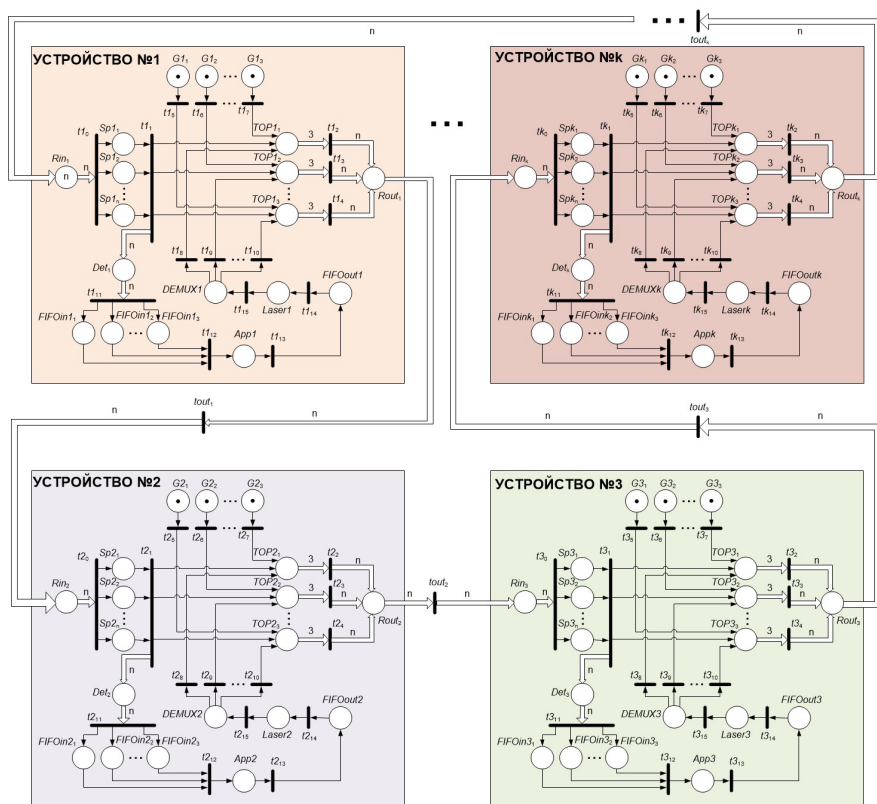


Рис. 4. Сеть Петри, демонстрирующая информационный обмен по WDM-кольцу

### Заключение

В статье приведен анализ современной бортовой сети ARINC825, предоставляющей широкие возможности по реализации информационного обмена ЛА. Однако возможности ARINC825 не всегда обеспечивают решение задач для перспективных ЛА.

Представленная в статье разработка ARINC825-WDM на платформе ДОС РВ позволяет вести обмен в диапазоне от 1 Мбит до 10 Гбит, увеличить количество источников информации в одной сети, предоставить каждому сообщению свой выделенный канал, разделить управляющий и информационный потоки данных, прямой доступ ФПП к областям распределенной памяти, программный выбор выделенного  $\lambda$ -канала, отсутствие необходимости приоритетных установок для различных потоков данных.

Представленные модели, реализованные при помощи формализмов сетей Петри, демонстрируют такие из представленных преимуществ WDM-

технологии, как быстрое распространение данных по сети и отсутствие промежуточных обработок внутри устройств. В дальнейшем планируется доработать представленные сети до временных сетей Петри, чтобы на них продемонстрировать малые задержки.

### Библиографический список

1. Новиков В. М. Решение задач интеллектуальной поддержки экипажа в части реконфигурации при КБО при отказах // Сборник VI Международной научно-практической конференции «АВИАТОР», 2019. С.189–192.
2. Deterministic Real-Time Optical Network / V. M. Novikov [et al.] // WE-CONF-2022, 2022. С. 1–10.
3. Оленев В. Л. Методология формализованного проектирования коммуникационных протоколов на основе сетей Петри // Информация и космос. 2022. № 4(2). С. 37–45.
4. ARINC Specification 825. General Standardization of CAN (Controller Area Network) Bus Protocol for Airborne Use. 2007. 159 p.
5. Концепция применения полностью оптических бортовых сетей при решении задач динамической реконфигурации бортовой информационно-вычислительной среды на базе РМЭ // Сборник пятой Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. С. 45–49.
6. Новиков В. М. Формирование способов построения комплекса бортового оборудования на базе однородной оптической среды // Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях. Воронеж: ВГУ, 2018. С. 237–254.
7. Концепция построения полностью оптической бортовой информационно-вычислительной сети с интеллектуальным управлением / А. М. Соловьев [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии, 2023. № 1. С. 37–54.
8. Сетевое оконечное устройство для безкоммутационной бортовой сети / А. М. Соловьев [и др.] // УАКС МКПУ, 2023.