

# Функциональные требования к блоку синхронизации в составе мультиплексора OTN

А. К. Канаев<sup>1</sup>, М. А. Сахарова<sup>2</sup>, Ф. А. Прошин<sup>3</sup>

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*

<sup>1</sup>kanaevak@mail.ru, <sup>2</sup>zuvakamariya@mail.ru, <sup>3</sup>fedorproshin@gmail.com

**Аннотация.** Технология оптической транспортной сети (OTN) на настоящее время используется на наиболее нагруженных участках телекоммуникационных сетей, позволяя предоставлять пользователям различные услуги и сервисы, включая голосовые каналы и данные. Магистральные сети должны обеспечивать высокую пропускную способность, обслуживая различные виды нагрузок. Многие участки традиционно функционируют на основе систем СЦИ, надёжно зарекомендовавших себя и предоставляющих значительный набор механизмов обеспечения, включая сеть тактовой сетевой синхронизации. Дальнейшее увеличение скоростей СЦИ требует усложнения структуры оборудования и ограничивается физическими возможностями аппаратуры. Данное условие обеспечивает перевод нагрузок магистрального уровня на оборудование OTN, где сеть СЦИ выступает как пользователь. Многие сервисы требуют высокой точности синхронизации, до единиц наносекунд. Важность механизмов переноса синхронизации в OTN обуславливает необходимость проработки данного вопроса, что приобретает большое значение. Данная работа направлена на анализ механизма переноса сигналов точного времени по OTN с соответствующей обработкой на оборудовании. Предлагается вариант построения блока синхронизации в составе мультиплексора OTN. Описана структура такого узла и процесс обработки сигналов.

**Ключевые слова:** оптическая транспортная сеть, OTN, сетевая синхронизация, RTP, блок синхронизации

## I. АРХИТЕКТУРА OTN

Принципы технологии OTN описываются рекомендациями МСЭ-Т в отношении архитектуры, скоростей и формата данных, функциональных блоков оборудования, механизмов защиты, интерфейсов управления, характеристик физического интерфейса, допустимого джиттера. Согласно [1] основной единицей в OTN выступает блок (кадр), имеющий байтовую структуру. Каждый кадр подразделяется на блок нагрузки (Optical Payload Unit, OPU), блок данных (Optical Data Unit, ODU), транспортный блок (Optical Transport Unit, OTU), определяющие цифровые уровни и структуру OTN.

Оптическая структура основывается на сочетании оптического трибутарного сигнала (Optical Tributary Signal, OTSi) и оптического заголовка. Выделяются классы использования (наличия) такого заголовка [1]: 1) отсутствие заголовка при интерфейсе «точка-точка»; 2) оптический заголовок, передаваемый в общем с трибутарным сигналом волокне; 3) оптический

заголовок, передаваемый вне данного волокна через выделенную сеть обмена заголовками (OCN).

## II. ОБОРУДОВАНИЕ OTN

Модель сети с использованием технологии OTN приводится на рис. 1. Терминальные мультиплексоры выполняют функцию размещения нагрузок (СЦИ, Ethernet, Fibre Channel и т. д.) в блоках OPU. Далее формированием заголовков данный OPU преобразуется до ODU, содержащего информацию о нагрузке и маршруте передачи. На основе ODU создаётся блок OTU, который затем преобразовывается до оптического сигнала и передаётся на выделенной длине волны. Секция мультиплексирования (Optical Multiplex Section, OMS) ограничивается точками ввода-вывода до уровня ODU. На участках между мультиплексорами и усилителями, регенераторами выделяется секция передачи (Optical Transmission Section, OTS).

Мультиплексор OTN имеет сложную архитектуру, которая может отличаться в зависимости от выполняемых функций. При интерфейсе «точка-точка» он выполняет функцию прозрачного размещения нагрузки и передачи по каналу на выделенной длине волны с дальнейшим выделением на оконечном узле. Сеть может строиться по более сложной топологии с наличием промежуточных узлов, на которых выполняется кросс-коммутация на уровне ODU. Такой мультиплексор оснащается несколькими линейными интерфейсами для каждого направления, наличие пользовательских интерфейсов определяется необходимостью ввода-вывода нагрузок на узле.

Обобщённая структура мультиплексора OTN показана на рис. 2. Оборудование строится по модульной архитектуре, позволяя наращивать мощность или менять тип подключаемого оборудования при его модернизации. Такой мультиплексор предполагает наличие модуля кросс-коммутации, который сообщается с каждым из интерфейсных модулей и обеспечивает переключение нагрузок на уровне ODU с одного порта на другой. Наиболее общее построение включает пользовательские интерфейсы 1GE, 10GE, STM-N на соответствующих модулях.

## III. ПЕРЕНОС СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ

Технология OTN предполагает прозрачное размещение нагрузки независимо от типа данных. Необходимость построения сети синхронизации обуславливается увеличением количества

требовательных к задержкам сервисов, особенно мобильной связи. По данным G.8251 [2] в отношении синхронизации технология OTN рассматривается как промежуточный «остров» в составе стандартной цепи

синхронизации МСЭ-Т G.803. Следовательно, отсутствуют механизмы переноса и обработки информации, связанной со шкалой времени, на уровне OTN.

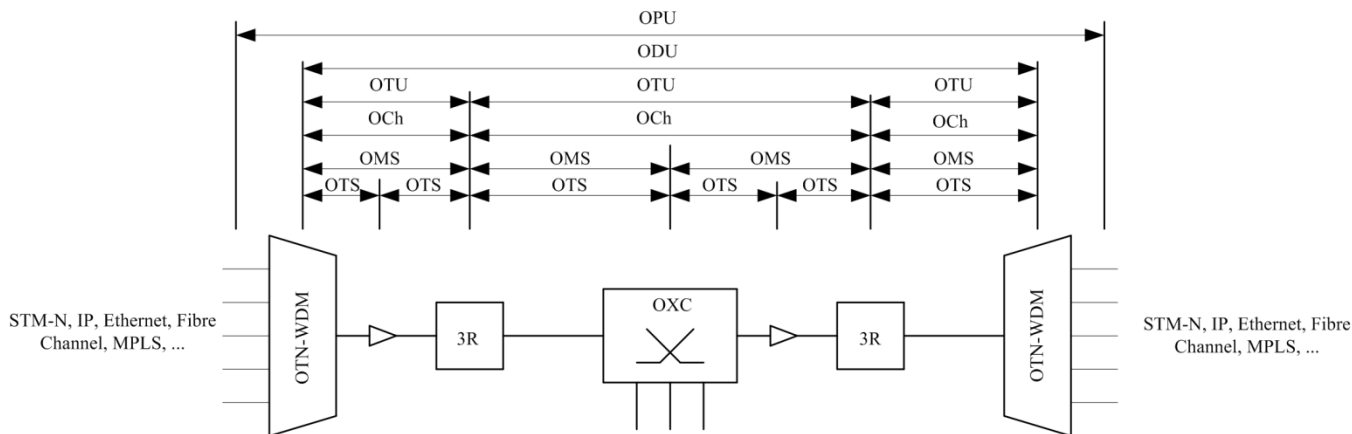


Рис. 1. Архитектура технологии OTN

Вариантом решения данного вопроса можно рассматривать использование протокола точного времени PTP, позволяющего при определённых условиях достигать точности менее 1 мкс. Величина точности может быть более высокой при аппаратной поддержке алгоритмов обработки. Предлагается использовать выделенный канал OTN Synchronization Message Channel (OSMC) в заголовке OTU, который согласно [1] позволяет передавать сообщения PTP или SSM. Структура кадра с заголовком OTU показана на рис. 3. Сообщения PTP инкапсулируются в кадры GFP-F, которые размещаются в OSMC.

Для достижения высокой точности PTP необходима аппаратная обработка меток времени в оборудовании OTN [3]. На основании данных условий предлагается создать блок синхронизации в мультиплексоре OTN, который выполняет функции обработки информации, связанной с PTP, на любой из линейных карт, не затрагивая основные потоки данных. Рассмотрим структуру предлагаемого блока и его работу в составе устройства.

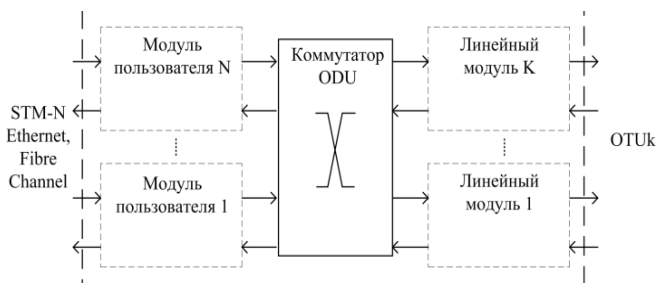


Рис. 2. Общая схема мультиплексора OTN

На рис. 4 изображён мультиплексор, который включает пользовательские интерфейсные модули (от 1 до N), линейные (от 1 до K), плату кросс-коммутации ODU и блок синхронизации. На данном рисунке рассмотрена структура одного пользовательского и линейного модуля, которая аналогична для остальных модулей соответствующего типа. Как указано ранее, для переноса сообщений PTP предлагается использовать канал OSMC заголовка OTU. Предположим, что алгоритм определения лучших часов (Best Master Clock Algorithm, BMCA) реализован [4], устройство работает в режиме ведомого. Входной сигнал на линейном модуле 1, содержащий сообщение PTP, преобразовывается до OTUk. Процессор обработки заголовков считывает OTU OH. Выделенный OSMC отправляется в блок синхронизации. Блок GFP-F обеспечивает выделение сообщения PTP, которое далее поступает в блок обработки пакета. Здесь в него проставляется метка  $t_n$  времени получения (используется шкала времени от локальных часов 1588). Блок кадра статуса определяет тип переданного сообщения перед его поступлением в модуль обработки PTP, обеспечивающий необходимые вычислительные операции и запись меток.

Ответное сообщение PTP, сформированное блоком программного обеспечения, отправляется через модуль обработки, который считывает статус пакета и проставляет в него метку времени отправки с учётом локальной шкалы, в блок инкапсулирования GFP-F. Полученный кадр GFP-F с сообщением PTP поступает на процессор и записывается в заголовок OSMC отправляемого кадра OTU, который скремблируется и преобразовывается в оптический сигнал.

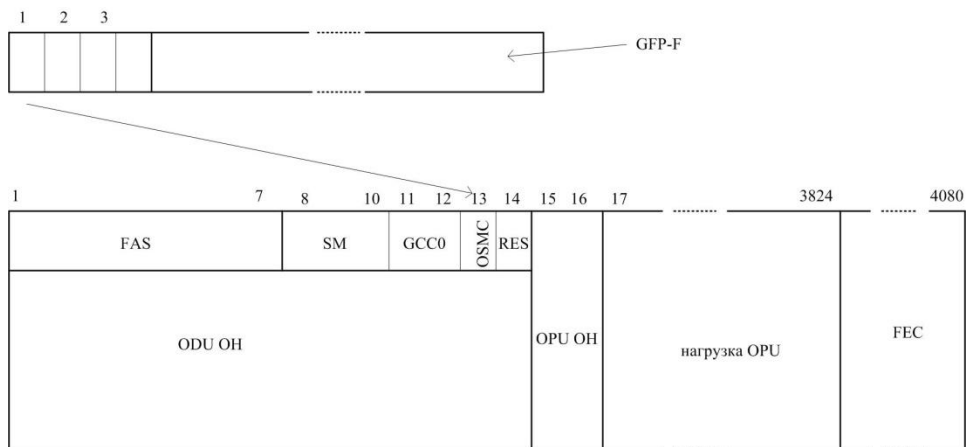


Рис. 3. Структура кадра OTU с заголовком

На схеме блока процесс «Вставка TS one-step» может дополнительно использоваться для работы PTP в одношаговом режиме, при котором необходимая информация о временных метках передаётся с помощью сообщения «Sync». Метки (Timestamp) вставляются в пакет с минимальной обработкой. Системному программному обеспечению PTP не требуется генерация соответствующего сообщения «Follow\_Up».

Необходимым условием работы блока синхронизации выступает наличие опорного источника, который подключается ко входу REF CLK. Данным источником предлагается выбирать кварцевый термостатированный генератор (ОСХО), стабильность которого относительно высока и равна до 0,1 ppm в зависимости от производителя.

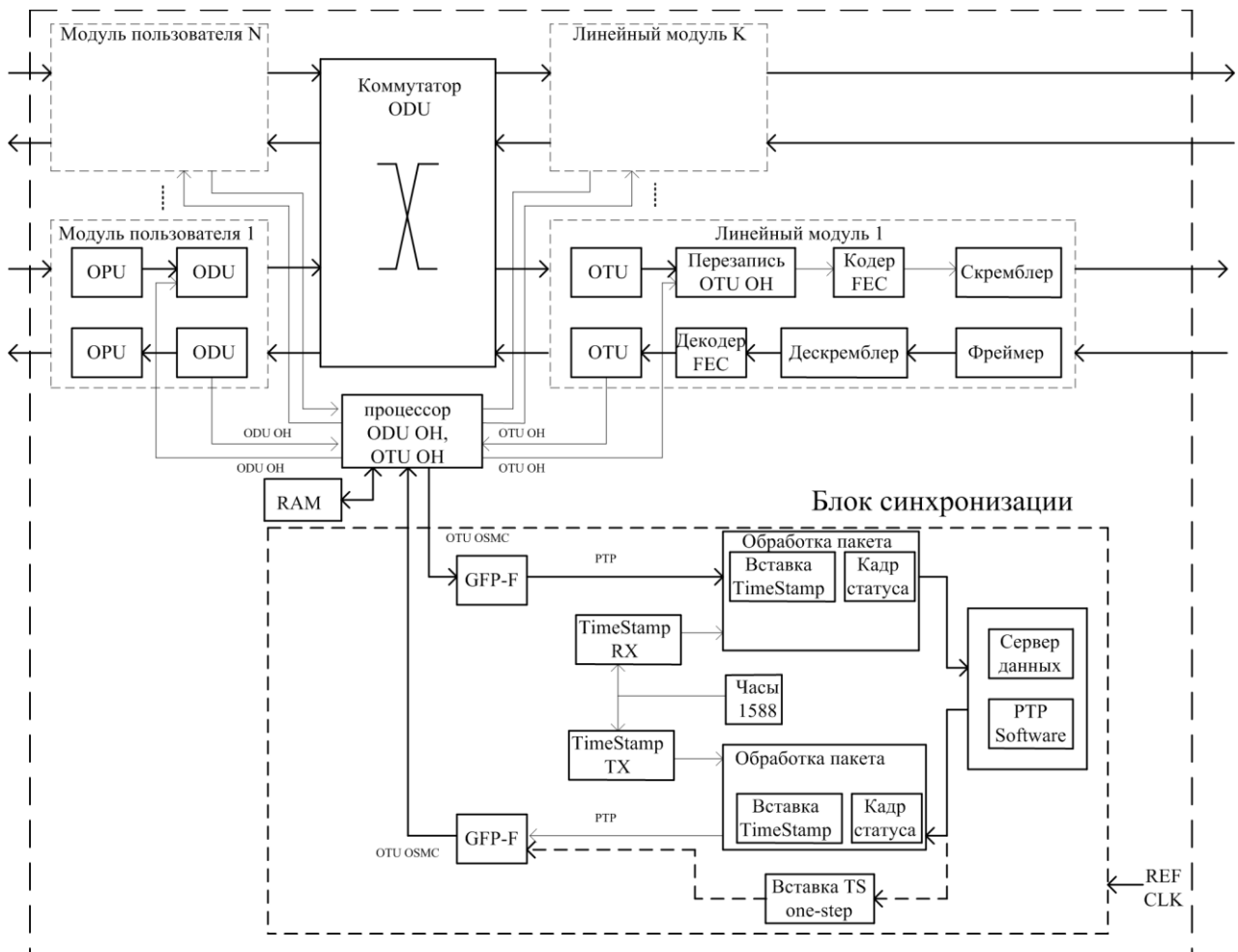


Рис. 4. Схема мультиплексора OTN с блоком синхронизации

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация данного блока позволяет обеспечить более высокую точность работы узла OTN вне зависимости от передаваемой нагрузки. Использование канала OSMC обеспечивает минимальное время, которое необходимо на обработку сообщений RTP, так как требуется считать только заголовок OTU, что выполняется отдельным устройством. Следовательно, задержки не зависят от процессов обработки нагрузки, как это может возникать при переносе сообщений RTP в составе Ethernet на уровне нагрузки OPU. Это снижает возможную асимметрию времени прохождения пакетов в прямом и обратном направлении между ведущим и ведомым устройствами. Дальнейшая реализация предлагаемого устройства синхронизации требует

выбора соответствующих микросхем, реализующих описываемые процессы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Interfaces for the optical transport network ITU-T G.709/Y.1331 (06/2020) / International Telecommunication Union. Geneva : ITU, 2020. 280 p.
- [2] The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN) ITU-T G.8251 (11/2018) / International Telecommunication Union. Geneva: ITU, 2019. 124 p.
- [3] Li Z., Zhong Z., Zhu W., Qin B. A Hardware Time Stamping Method for PTP Messages Based on Linux System // TELKOMNIKA, 2013, Vol. 11, No. 9, p. 5105-5111. e-ISSN: 2087-278x
- [4] Yuan K., Guo X., Tian J. Research and Implementation of Clock Synchronization Technology Based on PTP // J. Phys.:Conf. Ser. 2021, Vol 1757 (012139). doi: 10.1088/1742-6596/1757/1/012139