

Алгоритмы размещения данных в блоках различного уровня при мультиплексировании в OTN

Ф. А. Прошин¹, А. К. Канаев²

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
¹e-mail: fedorproshin@gmail.com, ²e-mail: kanaev@pgups.ru

Аннотация. Технология оптических транспортных сетей (OTN) представляет наиболее современный способ увеличения производительности существующих систем передачи, предоставляя пользователям большие ресурсы мощности. Возможность работы с любым видом пользовательских данных служит одним из наиболее важных её достоинств для действующих сетей. Взаимодействие между пользовательским оборудованием, связанным по OTN, обеспечивается на основе специальных алгоритмов преобразования, учитывающих свойства каждого типа нагрузки. Технология OTN включает значительный набор механизмов размещения пользовательских данных в блоках различного уровня, которые строятся в зависимости от типа передаваемой информации. Важно учитывать условия, при которых используется каждый алгоритм. Предлагается анализ существующих алгоритмов размещения нагрузки пользователей, которые установлены рекомендациями МСЭ-Т. Определены основные принципы формирования блоков данных OTN, включая синхронизацию каждого из них. Обозначены принципы передачи синхронизации по OTN до окончательного оборудования. На основе приведённых данных определены основные сферы, в которых действующими стандартами МСЭ-Т указано на необходимость дальнейших исследований для дополнения рекомендаций.

Ключевые слова: оптическая транспортная сеть; блоки данных; размещение нагрузки пользователей; синхронизация блоков

I. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ ДАННЫЕ В OTN

Основная функция технологии OTN – обеспечение взаимодействия существующих сетей, основанных на различных технологиях (с временным мультиплексированием, пакетных сетей), с высокой пропускной способностью и наличием механизмов управления информационными потоками [1]. Возможность передавать любые виды пользовательских данных основана на использовании специальных методов их преобразования в стандартные информационные единицы OTN.

A. Формирование блоков ODU

При изучении вопросов размещения данных в OTN требуется учитывать методы формирования блоков, в которых размещается и передаётся нагрузка. Нагрузка в

виде сигналов пользователя размещается в OPU, но при исследовании вопроса размещения нагрузки следует обозначить принцип формирования блоков ODU – основных единиц мультиплексирования и передачи данных. На основании [2] блоки могут формироваться, используя синхронизацию от местных часов или восстановленную синхропоследовательность из сигнала пользователя. Местные часы представляют собой генератор сетевого элемента (ГСЭ), который также используется в СЦИ для формирования модулей STM-N. Важно заметить, что скорости ODUk имеют определённые соотношения со скоростями модулей СЦИ для удобного их размещения. Позже появились ODU других форматов для возможности работы с другими технологиями и протоколами. На основании приведённого синхронные преобразования OPU–ODU–OTU обеспечиваются линейным сигналом или с помощью ГСЭ, который корректируется сигналом от ПЭГ.

B. Алгоритмы размещения данных

Принципы размещения нагрузки и мультиплексирования рассматриваются в OTN, используя понятие часов ODUk (ODUk clock – ODC), выполняющих функции формирования синхронизации блоков [3]. Процессы размещения, мультиплексирования, регенерации в OTN предполагают использование соответствующего типа ODC (табл. 1).

ТАБЛИЦА I НАЗНАЧЕНИЕ И ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ODC ФУНКЦИИ

Тип ODC	Назначение	Соотношение скоростей ODU и обрабатываемого сигнала
ODCa	асинхронное размещение (AMP, GMP) нагрузки в ODUk; асинхронное мультиплексирование ODUj в ODUk или ODUcп, формирование тестовых сигналов, AIS, OCI	произвольное, выравнивание с помощью вставок
ODCb	синхронное (BMP) размещение CBR в ODUk	подстройка под сигнал пользователя
ODCг	3R-регенерация ODUk	подстройка под входящий сигнал
ODCp	выделение нагрузки пользователя из ODUk; выделение ODUj из ODUk или ODUcп	подстройка под часы OPUk, OPUcп после процесса выравнивания

Учитывая [3], передача синхронизации по сети OTN – функция уровня пользователя, а в качестве синхронизации рекомендуется использовать STM-N с надёжными механизмами выравнивания нагрузки. Если для синхронизации рекомендуется использовать сигнал пользователя, необходимо обеспечивать его размещение таким способом, чтобы его обработка на промежуточном

или конечном узле позволяла однозначно обработать полученный сигнал. Технология OTN предполагает различные варианты размещения, которые можно подразделить на синхронные и асинхронные. Каждый из алгоритмов может использоваться с учётом вида исходного сигнала и имеет особенности реализации.

ТАБЛИЦА II Виды сигналов с соответствующими алгоритмами размещения

Сигнал		Блок для размещения	Способ размещения
CBR	CBR2G5	OPU1	AMP, BMP
	CBR10G	OPU2	
	CBR40G	OPU3	
	CBR10G3	OPU2e	BMP
	меньше 1,238 Гбит/с	OPU0	GMP
	от 1,238 до 2,488 Гбит/с	OPU1	
	для дальнейшего изучения	OPU2	
	40GBASE-R	OPU3	
100GBASE-R	OPU3		
более 2,488 Гбит/с	OPUflex	BMP	
Кадры GFP		OPUk	выравнивание скорости каждого кадра в соответствии со скоростью OPU путём вставок заполняющих байтов.
Тестовые последовательности	Нулевая (NULL)	OPUk, OPUCn	заполняется нулевыми битами
	Псевдослучайная (ПСР)		каждые 8 последовательных битов записываются в 8 битов поля нагрузки
Нестандартные потоки данных	поток с октетной синхронизацией	OPUk	каждый октет входящего потока записывается в октет поля нагрузки
	поток без октетной синхронизации		группа из 8 последовательных произвольных битов записывается в октет поля нагрузки
Пакетные данные	менее или равная 100 Гбит/с	OPUk, OPUflex(GFP), OPUflex(GFP, n, k)	преобразование в кадры GFP-F для размещения
		OPUflex(IMP, s)	представление в виде потока MAC Ethernet 10, 25, 40, 50, 75, 100 Гбит/с и кодирование
	более 100 Гбит/с	OPUflex(IMP, s)	представление в виде потока MAC n x 25 Гбит/с и кодирование

Принцип бит-синхронного размещения (BMP) предполагает точное соответствие скорости сигнала CBR и скорости OPUk. Каждый байт исходного сигнала соответствует байту нагрузки OPUk. На практике скорости пользовательского сигнала и сформированного OPU отличаются, поэтому необходимо выполнять выравнивание, что соответствует асинхронному принципу (AMP), используемому поля управления JC, PJO NJO. Технология OTN также вводит новый принцип – обобщённый алгоритм размещения (GMP) сигналов. Возможности использования алгоритмов, учитывая вид нагрузки, приведены в таблице 2.

II. ВОПРОСЫ РАЗМЕЩЕНИЯ НАГРУЗКИ

A. Общие проблемы размещения нагрузки

Технология OTN позволяет работать с любым существующим типом данных, для которых выбирается соответствующий алгоритм. При стандартизации данного вопроса возникают определённые сложности, которые относятся и к традиционным СЦИ, и к постепенно выходящим на транспортный уровень технологиям пакетной коммутации:

- обеспечение оптимального размещения нагрузки;

- согласование скорости загружаемого сигнала и скорости блока OTN;

- доставка синхронизации на оконечное оборудование.

Стандартные блоки данных OTN оптимально подходят для размещения STM-N модулей, так как изначально основной задачей ставилось обеспечение взаимодействия с СЦИ, надёжно функционирующими на транспортном уровне, поэтому скорости OPU (ODU) соотносятся с их скоростями. Необходимость согласования скоростей определяется используемым алгоритмом – AMP, BMP, GMP. Механизм AMP имеет в основе принципы, работающие в СЦИ и адаптированные к OTN. Главный принцип состоит в наличии полей управления в заголовке OPU. Появление новых типов данных создало необходимость создать в OTN особый метод – GMP, отличительной особенностью которого можно назвать то, что он позволяет размещать сигналы с отклонениями частоты более +/-65 ppm.

Относительно синхронизации данных можно сказать, что в OTN изначально предполагалось использовать уровень сигналов СЦИ, имеющих устоявшиеся механизмы выравнивания. Таким образом, OTN совмещает принципы

традиционного бит-стаффинга и выравнивания с помощью указателей. Именно для нагрузок вида STM-N стандартом наиболее полно описываются механизмы выравнивания.

В. Популярность сетей с пакетной коммутацией

На данное время большое распространение получают транспортные сети, основанные на пакетной коммутации, особенно Ethernet. Достоинства таких сетей (простота, экономичность и архитектура) создали необходимость дополнения стандартов OTN в области транспорта пакетных данных, имеющих отличия от синхронных сигналов (СЦИ). При данном условии появляются дополнительные трудности:

- a. создание механизмов выравнивания, работающих с асинхронным режимом;
- b. согласование скоростей потоков со стандартными скоростями OTN;
- c. обеспечение синхронизации данных в пакетной сети.

Выравнивание нагрузки для пакетных данных имеет важное значение, так как поток кадров переменной длины должен размещаться в стандартном поле нагрузки фиксированной скорости. Данный вопрос в OTN решается на основе алгоритмов GFP и IMP. Алгоритмы имеют определённые отличия, но общий принцип состоит в том, что скорость кадра согласуется с OPU путём вставки-удаления управляющих символов, удаления последовательностей (IMP) или путём корректировки длины кадров на этапе формирования кадра GFP. Данное условие потребовало создания специального блока ODUflex, способного подстраиваться под необходимую скорость.

Современные протоколы высокоскоростной передачи (100GBASE-X, 40GBASE-R и более) имеют скорость, которая превышает скорость OPU, что не позволяет выполнить прямое размещение исходного сигнала. Решение данного вопроса достигается путём преобразования, обозначенного «Timing Transparent Transcoding (TTT)» в сочетании с GMP. Данный метод позволяет снизить скорость до значения, соответствующего OPU, на основе изменения формата кодовых слов.

Протоколы, начиная от 40GE, предполагают передачу по параллельным потокам (lanes) и здесь появляется проблема временного согласования. При скремблировании каждого потока из 64b в 66b блоки выполняется добавление 2 битов для синхрозаголовка. Для правильного выделения на приёмнике через каждые 16383 кодовых 66b-блоков вводится специальный PCS-маркер, представляющий собой кодовую 66b-последовательность. Данный механизм необходим для восстановления сигнала из параллельного в последовательный поток.

Синхронизация данных, передаваемых через OTN, может достигаться на основе механизма GMP. Поля управления JS содержат 14-битовую $C_n(t)$ и 10-битовую $\sum C_n D$ последовательности, участвующие в операциях размещения-выделения нагрузки. Принимающее

устройство, получая данные значения из заголовка OPU, может правильно выделить сигнал. Этот механизм разработан для OTN и на данное время имеется его функциональное описание [2].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данное время технология OTN представляет собой наиболее оптимальное решение для построения транспортных сетей. Большой набор механизмов взаимодействия существующих типов данных выступает главным её преимуществом. Наиболее полно рекомендациями МСЭ-Т стандартизованы принципы функционирования с синхронным режимом передачи, в особенности с СЦИ. Но учитывая возрастающую популярность технологий пакетной коммутации, особенно Ethernet, возникают проблемы, связанные с асинхронным характером работы. Достижением в области алгоритмов размещения можно считать создание GMP, позволяющего работать и с низкоскоростными STM-1, и с современными протоколами до 400GE.

Здесь важно учитывать вопросы синхронизации данных. Если для сигналов СЦИ она переносится самим модулем STM-N и позволяет достигать высокой точности, то при работе с пакетными транспортными сетями возникает вопрос о надёжном механизме доставки синхронизации. Возможным решением можно назвать встроенный в GMP механизм управления выравниванием, который имеет схожий с СЦИ принцип, но предполагает более сложный алгоритм формирования синхронизирующих последовательностей. Также действующие стандарты МСЭ-Т имеют указания на необходимость дальнейшего изучения вопросов, связанных с развитием пакетных транспортных сетей и дополнения нормативных документов. В основном, это вопросы, связанные со стандартизацией алгоритмов размещения высокоскоростных потоков 200GBASE-R, 400GBASE-R и методами их транспорта в условиях ограничений по скорости OTN. На основании описанного можно сказать, что OTN выполняет важную функцию – обеспечивает взаимодействие традиционных систем СЦИ с набирающими популярность транспортными сетями на основе пакетных технологий. Это говорит о необходимости дальнейшей стандартизации и совершенствования нормативных документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ciena. Оптическая транспортная сеть. [Электронный ресурс] URL : https://media.ciena.com/documents/Ciena+Experts+Guide+to+OTN_ru_RU.pdf
- [2] Interfaces of the optical transport network ITU-T G.709/Y.1331 (06/2020) / International Telecommunication Union. Geneva : ITU, 2020. 280 p.
- [3] The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN) ITU-T G.8251 (11/2018) / International Telecommunication Union. Geneva : ITU, 2018. 124 p.
- [4] White paper «Generis Mapping Procedure» URL : https://www.maxlinear.com/uploadedfiles/products/communications/exa r_gmp_wp.pdf