

Использование служебного канала для построения сети синхронизации в OTN

А. К. Канаев¹, Э. В. Логин², Ф. А. Прошин³

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
¹kanaev@pgups.ru, ²elinabeneta@yandex.ru, ³fedorproshin@gmail.com

Аннотация. Распространение технологии OTN, которая считается многими производителями основной для построения транспортной сети, обуславливает требования по обеспечению уровня качества предоставления сервисов. Так как современные сервисы представляют собой совокупность различных типов данных, которые совместно используются пользователями, важно обеспечивать чёткую временную шкалу на каждом узле. Вопрос доставки синхронизации к узлам OTN изначально решался в виде прозрачного размещения нагрузки и выделения на каждом узле в соответствии с служебной информацией на уровне пользователя. Применение понятия кроссовой коммутации к OTN обеспечило возможность маршрутизации на уровне ODU, сокращая задержки и повышая эффективность обработки данных. Данная работа направлена на изучение механизма синхронизации в OTN, обеспечивающего доступ к единой шкале времени на каждом узле. Основой для описания служат рекомендации МСЭ-Т и технические решения производителей. На основе анализа существующих решений предлагается построение универсальной системы, которая может быть основой сетевой синхронизации для OTN. Следует сказать, что данному вопросу уделяется меньше внимание со стороны МСЭ-Т, чем в отношении форматов сигналов, интерфейсов оборудования и механизмов мультиплексирования, которые функционируют при наличии надёжного источника синхронизирующих сигналов.

Ключевые слова: оптическая транспортная сеть, OTN, служебный канал, синхронизация узлов сети

I. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СЛУЖЕБНЫХ КАНАЛОВ OTN

Блок OTN согласно [1] имеет байтовое устройство в виде стандартного кадра, который включает области полезной нагрузки, служебных заголовков различного уровня и, дополнительно, поле коррекции ошибок – Forward Error Correction (FEC). Наличие механизмов управления нагрузкой и контроля параметров прохождения данных по сети, включая индикацию неисправностей на различных уровнях, возможность мониторинга ODU в составе OTU при коммутации на промежуточных устройствах в отдельных подсетях и применение механизмов защитного переключения, позволяют эффективно работать с любым типом потоков. То есть служебная часть кадра OTN передаёт основную информацию о содержащемся типе данных или состоянии канала при отсутствии полезной нагрузки. Служебные каналы представляют собой байты заголовков (Overhead, OH) на каждом уровне: OPU, ODU, OTU. Байты OPU определяют содержание, тип размещения, способ выравнивания и дополнительную информацию, относящуюся к полезной нагрузке. На уровне ODU расположены заголовки, выполняющие функции мониторинга данных на уровне маршрута сети, управления защитными переключениями и служебные данные о конечных узлах. Далее расположен уровень OTU, на котором ведётся мониторинг уровня секции. На рис. 1 приводится стандартное устройство заголовков OTN каждого уровня.

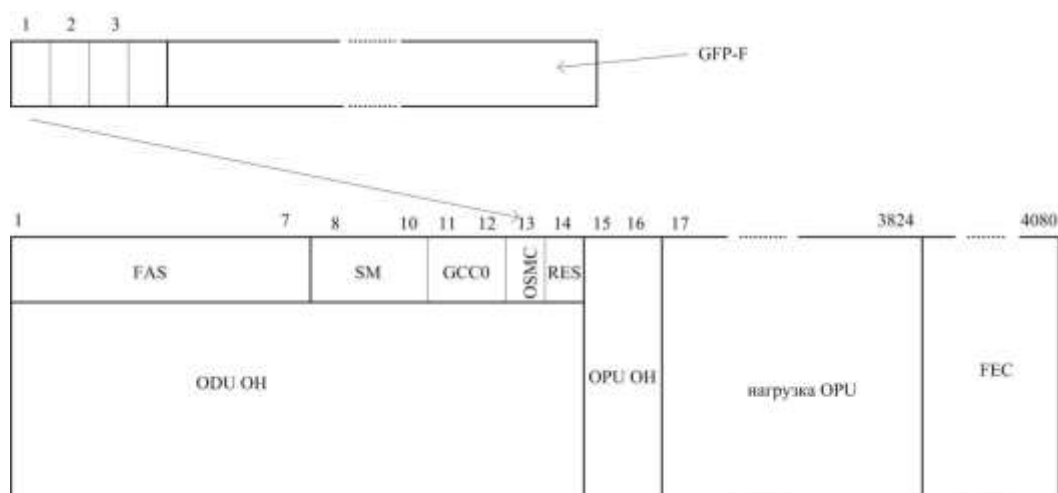


Рис. 1. Блок OTN и GFP-F

Данная работа направлена на анализ возможностей канала сообщений синхронизации (OTN Synchronization Message Channel, OSMC) при реализации механизма PTP. На основании [1] OSMC занимает 1 байт заголовка OTU, передавая SSM, eSSM, сообщения PTP путём размещения в GFP-F. Как указано ранее, данная работа предполагает моделирование процесса синхронизации с

помощью PTP. То есть для передачи по OSMC одного кадра GFP-F с сообщением PTP необходимо рассматривать совокупность последовательных кадров OTU в составе мультикадра. Следовательно, для доставки сообщения PTP потребуется последовательность кадров OTU, количество которых соответствует длине GFP-F с сообщением PTP.

II. ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕДУЩИХ И ВЕДОМЫХ ЧАСОВ

Механизм PTP наиболее полно стандартизован [2], предполагает различные настройки с учётом области его применения. Общий принцип работы механизма представлен на рис. 2. Уровень точности синхронизации может быть различным с учётом того, каким способом реализуется алгоритм в оборудовании. Так как сообщения PTP представляют собой стандартные пакеты, функционирующие в традиционных сетях Ethernet на уровне IP, то наиболее простая модель взаимодействия с OTN может быть получена как последовательное вставка PTP с уровня IP до Ethernet, с размещением далее в OPU путём GFP-F [3]. Данный вариант возможен с точки зрения [1], но важно учитывать количество промежуточных этапов, которые включены в процесс обмена сообщениями. Такое количество может вносить значительные задержки, обуславливаемые переменным характером времени обработки на уровне приложений.

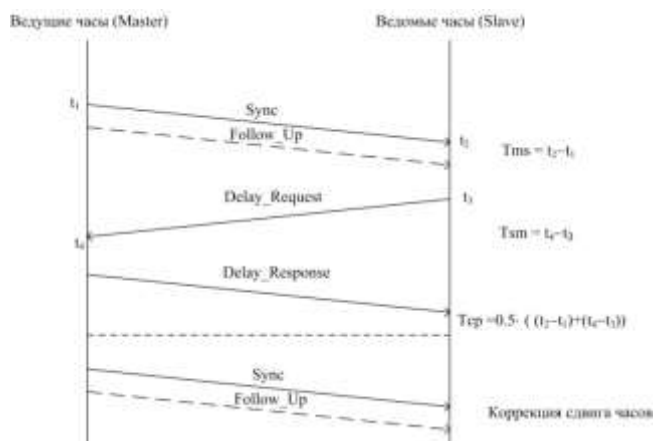


Рис. 2. Алгоритм обмена сообщениями PTP

Более эффективное решение основывается на использовании служебного канала OSMC, который выделен для функций обмена сообщениями синхронизации. Для общего описания можно представить модель обмена PTP относительно уровневой модели. При использовании PTP в пакетной сети, например, на основе Ethernet, формирование и обработка сообщений выполняется на уровне IP, который реализуется, в основном, в виде программ. Служебный OSMC позволяет уменьшить количество промежуточных этапов, напрямую работая с OTU ОН. На рис. 3 приводится упрощённое описание взаимодействия ведущего и ведомого устройств.

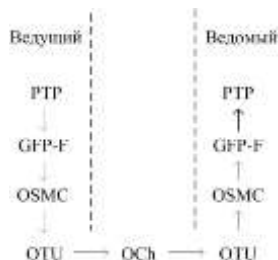


Рис. 3. Последовательность обработки PTP

Использование OSMC предлагает расширение возможностей синхронизации:

- уменьшение количества промежуточных этапов вложения;
- доступ к информации PTP на уровне OTU;
- возможность корректировки PTP на промежуточных узлах при кросс-коммутации.

Снижение количества промежуточных этапов инкапсулирования снижает составляющую задержки передачи, которая вносит переменный характер. Для более качественного анализа вносимых задержек необходимо представить процесс синхронизации.

III. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ OTN

Используем стандартный алгоритм работы PTP, включающий обмен сообщениями Sync, Follow_Up, Delay_Request, Delay_Response и определение величин сдвига на основе меток времени. На рис. 4 представлен алгоритм, который отражает последовательность этапов обмена.

Представленный алгоритм реализует цикл, который включает вычисление времени доставки сообщения в прямом T_{ms} (master–slave) и обратном T_{sm} (slave–master) направлениях и определение сдвига точного времени $T_{сдв}$, используемого при повторном опросе сообщениями Sync, Follow_Up для корректировки ведомых часов. Процесс размещения GFP-F в OSMC, показанный на блок-схеме одним блоком, представляет собой последовательное размещение каждого байта GFP-F в выделяемом байте каждого кадра OTU. Для упрощения логики работы модели учитываем данный процесс как простой этап, распределённый между последовательностью кадров OTU в составе мультикадра. Начальное состояние соответствует условиям, при которых ведомые часы определены. Последовательность процессов обработки представлена одинаково для прямого и обратного направлений. Конечное состояние определяется достижением синхронизации между ведущими и ведомыми часами.

Для определения влияния параметров процесса обмена создана модель с использованием среды имитационного моделирования AnyLogic [4]. Для правильной логики процесса функционирования направление от ведущего к ведомому и от ведомого к ведущему построены отдельно друг от друга. Каждый блок соответствует процессу, описываемому указанным ранее алгоритмом.

Агент в данной модели представляет собой сообщение PTP, которое проходит каждый шаг алгоритма с определённой задержкой [5]. Величины задержек различны, так как различные процессы могут быть реализованы на ASIC или на уровне программы. Каждый блок Delay настроен, соответствуя средним значениям, принятым на практике [6], что даёт возможность рассматривать влияние отдельного процесса на общий результат.

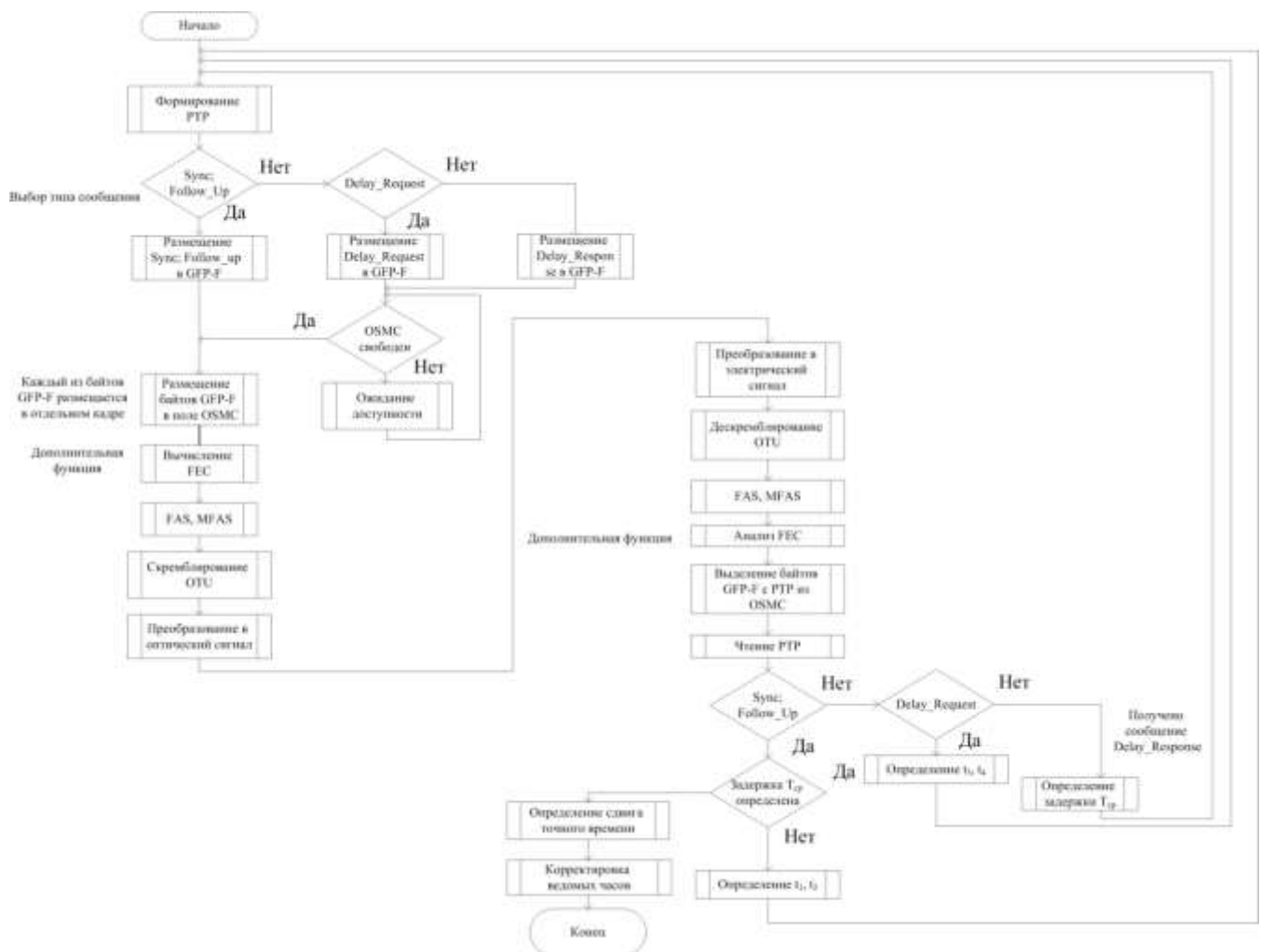


Рис. 4. Алгоритм обмена RTP

Моделирование производилось с целью определения времени прохождения сообщения от ведущего устройства к ведомому и в обратном направлении, которые при теоретическом расчёте принимаются равными. На рисунке приведены результаты 100 реализаций цикла синхронизации. Процесс формирования и обработки сообщений RTP описывается экспоненциальным распределением задержки, так как данный этап определяется программными мощностями операционной системы. Графики распределения задержки приводятся на рис. 5, 6, 7.

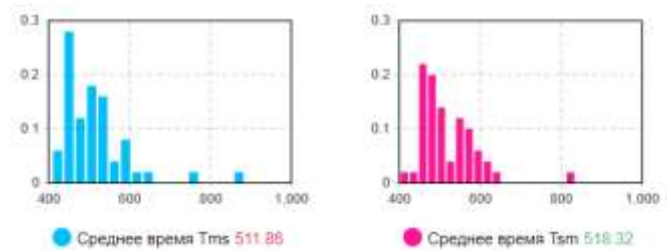


Рис. 5. Средняя задержка при min=15 мс

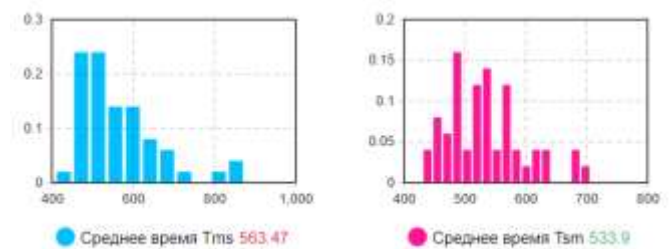


Рис. 6. Средняя задержка при min=30 мс

По результатам моделирования средние значения времени прохождения сигнала T_{ms} и T_{sm} отличаются. При задании распределения с $MX=50$ мс и ограничении минимального значения до min получены распределения времени T_{ms} , T_{sm} . При min=15 мс появляются единичные значения, которые сильно отклоняются от среднего значения (750–850 для T_{ms} ; более 800 для T_{sm}). При повышении min до 30 мс доля таких отклонений возрастает, что увеличивает среднее время прохождения сообщения. Для min=45 мс распределение имеет более монотонный характер, что обуславливает увеличение количества больших величин задержки.

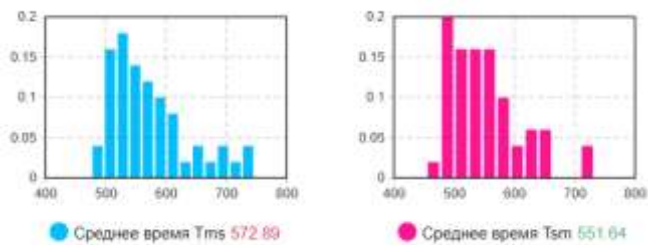


Рис. 7. Средняя задержка при min=45 мс

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построенная модель процесса синхронизации описывает использование PTP в OTN, используя для обмена сообщениями служебный канал. Данный метод более эффективен по сравнению с переносом PTP в составе пакетной нагрузки OPU, так как позволяет получить метку на уровне ODU. Это позволяет реализовывать алгоритм PTP на сети с промежуточными узлами, в которых обеспечивается OTN-коммутация. Недостатком описанного метода можно назвать наличие промежуточного этапа GFP-F для переноса сообщений в заголовке OTU.

Наибольшую задержку при описываемом методе синхронизации вносит процесс обработки PTP, который относится к программной части оборудования, так как алгоритм выполняется в большинстве оборудования

операционной системой. Процесс описывается переменной задержкой, что вносит погрешность в определение Tsdv и в эффективность корректировки часов. Наличие отдельных отклонений, как показано на рис. 6, означает что среднее время определяется с большой погрешностью и сдвиг часов может быть определен неверно. Повышение точности и снижение переменной доли задержек может достигаться при аппаратной обработке PTP, требующей поддержки на каждом устройстве.

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] Introduction to Precision Time Protocol. White Paper: EndRun Technologies, CA, USA, 6 p.
- [3] Generic Framing Procedure ANSI T1X1.5/2000-024R3 (Draft ANSI T1.xxx.yy-200x) / American National Standards Institute: ANSI, 2000, 42 p.
- [4] Боев В.Д. Имитационное моделирование систем : учеб. пособие для прикладного бакалавриата / В.Д. Боев. М. : Издательство Юрайт, 2017. 253 с.
- [5] Эльберг М.С. Имитационное моделирование : учеб. пособие / М.С. Эльберг, Н.С. Цыганков. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. 128 с.
- [6] Телегин С.А. Протокол PTP для синхронизации сетей NGN. Вопросы применения // Первая миля. 2009, №5, с. 20–23.