ОСОБЕННОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ В СЕТЯХ 5G И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ BBU-БЛОКОВ

ДЖИМ ОЛСЕН (JIM OLSEN), ведущий инженер технического персонала, Microchip Technology

Беспроводные сети все чаще из единичных объектов становятся распределенными системами, что влияет на сетевую синхронизацию. Для обеспечения высокой точности синхронизации применяется протокол PTP (Precision Time Protocol), с помощью которого распределяется информация о временных интервалах, что позволяет синхронизовать блоки по времени и фазе.

Синхронизация сетей всегда остается критичным требованием предоставления беспроводных услуг. Сетям 5G, отличающимся более высокими скоростями передачи данных и низкой задержкой, требуется обеспечить более надежный тайминг, чем это делали предшествующие технологии. Кроме того, наблюдается переход на открытые сети радиодоступа (Radio Access Network, RAN), которые позволят повысить гибкость сетевых архитектур. Раскрытие и виртуализация сетевых функций вызывает необходимость в новых схемах синхронизации.

После появления беспроводных систем связи одной из наиболее важных задач при работе с ними стала синхронизация времени между компонентами системы. В требованиях к сети системное время часто указывается как некая абсолютная величина, значение которой должно прослеживаться системой вплоть до первоисточника. В приложениях беспроводной связи таким источником, как правило, является группировка спутников. Одними из первых спутников, используемых для синхронизации времени, стали спутники GPS (Global Positioning System – система глобального позиционирования). GPS-навигация предоставляет пользователям точные данные о местоположении объекта в пространстве (долгота, широта, высота). Для обеспечения высокого уровня точности спутники системы должны быть синхронизованы по времени и иметь возможность восстанавливать синхронизацию в случае потери сигнала.

Благодаря наличию синхронизации между спутниками пользователи сети помимо данных о местоположении также получают точное значение времени, которое синхронизуется с атомными часами на борту GPS-спутника. Такой подход позволяет выполнить синхронизацию по времени всем компонентам системы. Атомные часы на спутниках GPS синхронизуются с Военно-морской обсерваторией США (United States Naval Observatory, USNO), которая, в свою очередь, осуществляет непрерывные замеры совместно с Международным бюро мер и весов (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), которое отвечает за обеспечение единой системы измерений и соответствие значений времени по всему миру. Время, полученное на основе показаний атомных часов, принято считать всемирным координированным временем (Coordinated Universal Time, UTC). Система GPS, разработанная и поддерживаемая Министерством обороны США, была первой развернутой группировкой спутников для определения местоположения, навигации и синхронизации времени (Positioning, Navigation and Timing, PNT). К настоящему времени в мире развернуто множество других систем спутниковой навигации (Global Navigation Satellite System, GNSS): Galileo (ЕС), ГЛОНАСС (Россия), Beidou (Китай), QZSS (Япония) и IRNSS (Индия).

По мере развития и перехода беспроводных систем с 2G на 5G принципы синхронизации сети претерпели существенные изменения. Так, если распределенная сеть RAN (Distributed Radio access network, DRAN) 2G/3G использовала приемники GPS в узлах макросот, сеть 5G переходит на более централизованную и взвешенную модель организации, где GPS-приемник совмещен с источником синхронизации.

Принципы синхронизации времени сети развивались в три этапа. На первом из них была организована синхронизация физического (пакетного) уровня, а приемник GPS находился на базовой станции DRAN для приложений TDD (Test-driven development). На втором этапе в систему были добавлены централизованные приемники GPS с доставкой сигнала синхронизации в «пулы» блоков BBU (baseband units – блоки базового диапазона, на которые приходится практически вся нагрузка по обработке данных, синхронизации, управлению, сбору статистики).

На обоих этапах использовались проприетарные каналы синхронизации между BBU-узлами и радиоблоками (RU). На третьем этапе происходит расширение протоколов синхронизации и передача значения времени непосредственно радиоблокам. На данном этапе также смягчаются требования к приемникам GPS на базовых станциях DRAN. С внедрением концепции Open RAN в 5G блоки BBU начинают подразделяться на централизованные (Centralized, CU) и распределенные (Distributed, DU), а их построение основывается на использовании технологий виртуализации и облачных вычислений, в связи с чем отпадает необходимость включать BBU-блоки в тракт синхронизации.

Важной технической особенностью, во многом определяющей переход с распределенной архитектуры синхронизации GPS на централизованную архитектуру на основе телекоммуникационной версии IEEE 1588 – протокола точного времени PTP, является то, что архитектура первого типа в большей мере зависит от GNSS-приемников, а архитектура второго типа использует комбинации технологий GNSS-приемника и устройства-генератора PTP (PTP GrandMaster). Разница между

принципами построения архитектуры синхронизации становится особенно ощутимой, когда дело касается помех внутри канала передачи, которые неизменно являются главной проблемой, влияющей на синхронизацию в беспроводных системах связи. Развертывание приемника GPS с корректно заданными параметрами синхронизации сигнала со спутником позволяет назначить точные временные интервалы передачи, что, в свою очередь, не дает возможности радиоблокам, работающим на соседних или близких частотах, создавать помехи друг другу. Однако если приемник GPS выйдет из строя или прекратит отслеживание сигнала со спутника, радиоблок, подключенный к приемнику GPS, начнет создавать помехи соседним RU-блокам из-за падения уровня синхронизации и накопления фазовой ошибки. Снижение уровня синхронизации происходит достаточно быстро, что связано с использованием в большинстве RU-блоков дешевых генераторов с довольно низкой производительностью, что неудивительно, т. к. одним из принципов построения радиоблоков является снижение их стоимости за счет использования компонентов с менее требовательными характеристиками. Единственным вариантом снижения уровня помех в такой ситуации является отключение радиоблока от приемника GPS.

Для предотвращения описанного выше сценария используется принцип синхронизации на основе протокола PTP, где RU-блоки одного кластера синхронизуются с генератором PTP GrandMaster со встроенным GPS-приемником. Благодаря этому в случае если GPS в PTP GrandMaster выйдет из строя или перестанет отслеживать сигнал со спутника, фаза радиоблоков, которые синхронизуются с PTP, останется выровненной относительно соседних RU-блоков, и не возникнет проблема с помехами. При использовании высокоточных генераторов в PTP GrandMaster поддержание синхронизации с UTC в случае отключения GPS возможно в течение длительного периода времени. Кроме того, в протокол PTP могут быть добавлены функции резервного копирования, которые также поддерживают синхронизацию с UTC в случае сбоя. Подход к синхронизации системного времени на основе PTP GrandMaster является довольно экономичным и в то же время надежным решением, позволяющим сохранять выравнивание фаз радиоблоков в кластере даже в случае отключения GPS-приемника или нахождения системы вне прямой видимости супников.

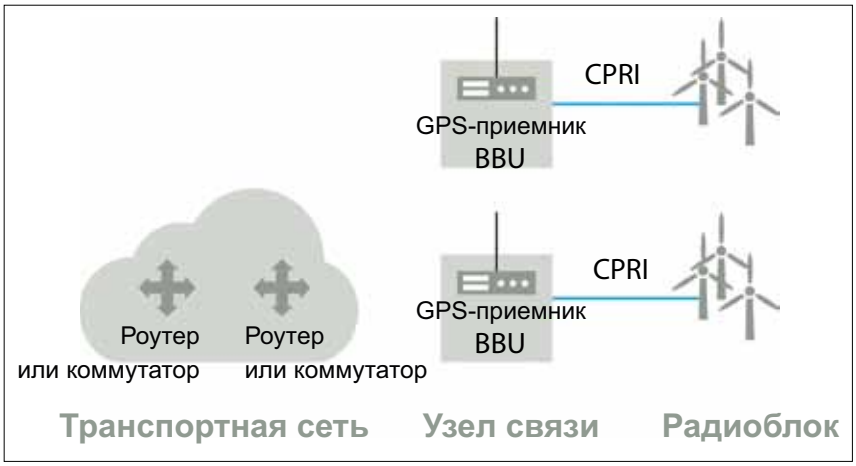

Рис. 1. **Пример распределенной архитектуры синхронизации системного времени по GPS в DRAN; GPS-приемник интегрирован в BBU-блок. Сигнал синхронизации доставляется из BBU-блока в радиоблок по интерфейсу CPRI**

1-Й ЭТАП: СИНХРОНИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ GPS-ПРИЕМНИКОВ В УЗЛАХ МАКРОСОТ

На данном этапе источником синхронизации является GPS-приемник, встроенный в BBU-блок, который соединен с радиоголовкой/радиоблоком (RH/RU). GPS-приемник, как правило, находится в основании узла связи. Сигнал синхронизации, извлеченный из приемника GPS с помощью BBU-блока, передается в RH-блок по оптоволоконному кабелю длиной несколько метров с помощью общего открытого радиоинтерфейса (Common Public Radio Interface, CPRI), как показано на рисунке 1.

2-Й ЭТАП: СИНХРОНИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ GPS-ПРИЕМНИКОВ

На данном этапе BBU-блоки удалены от RH-блоков и объединены в концентраторы (хабы), или т. н. централизованные RAN (cRAN), которые являются точками агрегации кластеров RH. Источником синхронизации в этом случае служит GPS-приемник в хабе cRAN и интегрированный в BBU-блок или GPS-приемник, который объединен с генератором PTP GrandMaster. Во втором

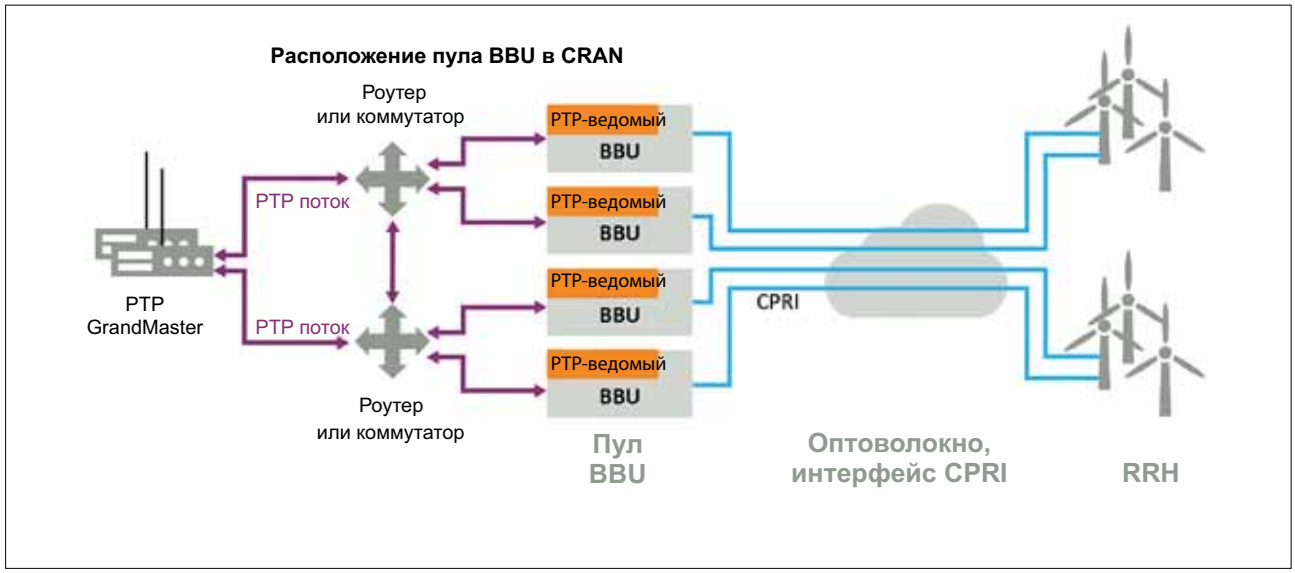

Рис. 2. **PTP GrandMaster выступает в роли источника сигнала синхронизации, который передается от ведомых PTP в BBU к RRH по интерфейсу CPRI**

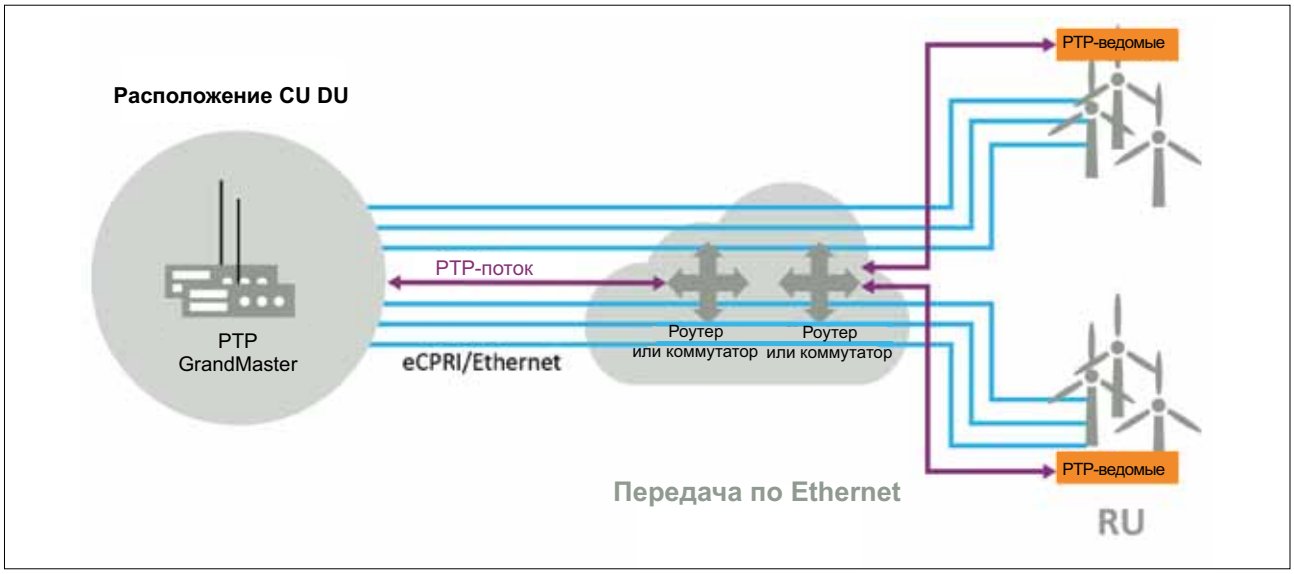

Рис. 3. **Передача сигнала синхронизации от GrandMaster PTP в ведомые PTP-модули 5G напрямую через Ethernet**

случае сигнал синхронизации от PTP GrandMaster доставляется к ведомым (Slave) PTP в BBU-блоки. Как только блок BBU получает сигнал синхронизации от PTP или приемника GPS, он передает его через интерфейс CPRI в удаленные радиоголовки (RRH) (см. рис. 2). Заметим, что в сервисных архитектурах 3G и 4G линии CPRI ограничены длиной около 17 км.

3-Й ЭТАП: СИНХРОНИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ GPS-ПРИЕМНИКА В ТОЧКАХ АГРЕГАЦИИ КЛАСТЕРА

Стандарт 5G требует высокой плотности сигналов и использования дополнительных меньших и более высоких частот, чем в 4G, что, в свою очередь, предполагает также наличие тщательно продуманной архитектуры синхронизации, которая способствовала бы снижению межканальных помех среди RRH/RU.

На данном этапе модули BBU разделяются на два типа: централизованные (Centralized, CU) и распределенные (Distributed, DU). Модули обоих типов можно виртуализовать; при этом сигнал синхронизации, ранее передаваемый через CPRI, будет передаваться от PTP в радиоблоки 5G через Ethernet. Такой подход приводит к существенным изменениям в архитектуре синхронизации: GPS-приемник окончательно перемещается в точку агрегации кластеров, а использование PTP станет обязательным во всей сети. Новая архитектура также потребует применения более надежных и отказоустойчивых GPS-приемников на глубоких участках сети и большего количества PTP, а также систематического резервного копирования и защиты GPS-сигнала.

Не вызывает сомнения тот факт, что построение сетей 5G с должным уровнем синхронизации и отказоустойчивости подразумевает повсеместное использование PTP. Кроме того, по мере более широкого использования подхода к построению сетей Open RAN для развертывания 5G отпадет необходимость в DU-части архитектуры для передачи сигнала синхронизации от GrandMaster PTP к ведомым PTP и радиоблокам 5G, как это видно из рисунка 3.

ВЫВОДЫ

Стандарт 5G вносит существенные изменения, охватывающие почти все аспекты построения мобильных беспроводных сетей, начиная с используемых частот и архитектуры передачи данных и заканчивая принципами синхронизации сети. Принципы синхронизации и зависимость от GPS, наблюдаемая в системах 3G и 4G, все больше направлены в сторону PTP из-за необходимости повысить безопасность, надежность и гарантированное выравнивание фаз радиоблоков 5G вне зоны прямой видимости спутниковых систем.

Высокая степень и надежность синхронизации расширяют возможности по работе с широкополосными сервисами и становятся отличительной чертой сетей 5G.