

УДК 621.373-187.4; 621.39.072.9

В. И. ВАКАСЬ, Н. В. ФЕДОРОВА, Д. А. ДЕМИН,

Государственный университет телекоммуникаций, ПрАТ Киевстар, лаборатория «Квалитек», Киев

ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТАБИЛЬНОСТИ СИГНАЛОВ синхронизации В ПАКЕТНЫХ СЕТЯХ

Рассмотрены основные методы измерения параметров стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях. Проведен анализ доступной измерительной техники. Указаны основные новые измеряемые параметры. Представлены результаты измерений на реальной сети.

Ключевые слова: синхронизация; пакетные сети; измерение параметров стабильности; PDV (*Packet Delay Variation*); MAFE (*Maximum Average Frequency Error*).

Введение

Для оценки работоспособности сети синхронизации необходимо проведение измерений. Ни одна система управления сетевым оборудованием или его мониторинга не дает реальной картины по качеству опорных сигналов синхронизации, потребляемых конечными устройствами, в роли которых выступают, как правило, базовые станции мобильной связи [1–3].

Особенностью синхронизации в пакетных сетях является применение специальных технологических протоколов [1; 4–6], таких как РТР (*Precision Time Protocol*), или стандарт IEEE 1588v2, предназначенный для решения задач синхронизации в пакетных сетях.

Наличием новой среды передачи и новых технологических протоколов были обусловлены и новые измеряемые параметры стабильности сигналов синхронизации, позволяющие оценить качество стабильности в пакетной среде. Вопросам измерения и дальнейшей обработке указанных параметров и посвящена эта статья.

Основная часть

Измерение параметров стабильности в пакетной сети представляет собой восстановление тактовой частоты по Рекомендации ITU-T G.8261.1. Данный документ не касается измерений сигналов синхронизации на физическом уровне (классическая сеть синхронизации — G.810, G.823), а также измерений в среде Синхронный Ethernet (G.8262), хотя современная измерительная техника позволяет их выполнять. Мы в своей работе будем руководствоваться только протоколом РТР, так как именно с него началась тактовая синхронизация пакетной сети ПрАТ Киевстар [1; 4; 7].

Отметим, что сеть синхронизации пакетной сети начала строиться параллельно с реализацией проекта 3G. В настоящее время сегмент сети РТР основан на грандмастерах TP5000 Microsemi (Symmetricom).

Остановимся подробнее на двух измерительных приборах — **Time Analyzer 7500** (Microsemi, бывший Symmetricom) и **Sentinel** (Calnex).

Идеология **Time Analyzer 7500** заключается в том, что сам измерительный прибор состоит из компонентов сети синхронизации, работающих по протоколу РТР, и вычисляет все данные, необходимые не только для оценки точности сличения времени и оценки стабильности частоты, но и для оценки таких параметров сети, как двусторонняя и односторонняя задержка пакетов, а также девиация задержки пакетов **PDV** (*Packet Delay Variation*) [7]. В сущности, мы имеем измеритель (датчик данных измерений), встроенный непосредственно в РТР-сервер и/или РТР-клиент с целью извлечения текущих результатов измерений и соответствующих log-файлов сервера (клиента) для вычислений показателей качества и сопоставления их с нормированными пределами. Аппаратное проставление меток времени обеспечивает наносекундную точность.

Характеристики сети оцениваются по показателям TDEV и минимальному отклонению времени пакетов (**packet MinTDEV**), вычисленным на основе результатов измерения PDV по меткам времени сообщений РТР относительно местного (опорного) времени.

Модуль PDV программного обеспечения **Time Monitor** содержит набор из шести шаблонов для пакетной синхронизации из стандартов для электросвязи. Имеется четыре шаблона по показателю **packetTDEV** и два по показателю **packetZTIE**, которые соответствуют требованиям к эксплуатационным характеристикам стыков синхронизации, а также транспортных стыков. Эти шаблоны позволяют определить, насколько поток пакетов РТР, проходящий по сети, соответствует критериям качества синхронизации прикладных процессов. При заданных условиях можно просто классифицировать результаты по признаку годен/не годен [5–7].

Идеология построения прибора **Sentinel** существенно отличается от предыдущей. Этот прибор не состоит из сетевых устройств синхронизации и представляет собой специализированный программно-аппаратный комплекс для проведения измерений параметров стабильности. Ядром является его программное обеспечение, позволяющее

выполнить весь спектр измерений РТР и обработать результаты для всех случаев оценки работоспособности сетевого оборудования. Измерения и мониторинг РТР-серверов осуществляются постоянно.

Измерения PDV имеют целью восстановление тактовой частоты по Рекомендации G.8261.1. Кроме того, возможны вычисления показателей качества MTIE/TDEV/MAFE/FPP/FPC. Аппаратная часть содержит встроенный рубидиевый генератор, встроенный блок GPS, встроенный компьютер для проведения измерений и обработки полученных данных, а также платы пакетной коммутации и входов-выходов.

Важной особенностью прибора Sentinel является его способность проводить до шести измерений PDV одновременно. Можно работать с местным или дистанционным управлением (через Web либо Ethernet) в режиме мониторинга или ведомого устройства синхронизации с подключением внешней памяти через USB и представлением результатов измерений в формате *.pdf.

В этой статье изложены результаты измерений только одного прибора *Calnex Sentinel* в измерительном режиме «псевдоклиент». Схема измерений представлена на рис. 1.

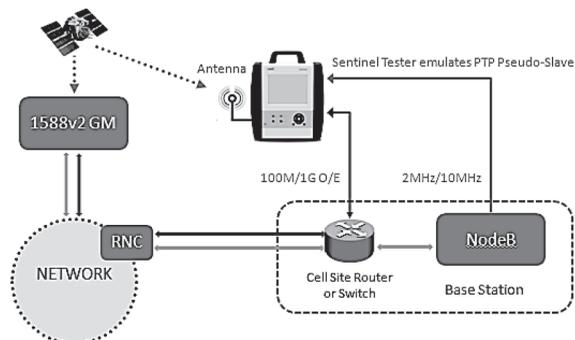


Рис. 1. Схема измерений параметров стабильности прибором Sentinel в режиме «псевдоклиент»

Отметим, что режим «псевдоклиент» обладает преимуществами в оценке удаленных РТР-серверов TP5000 и позволяет применить результаты измерений для планирования развития сети (размещение новых РТР-серверов, топология сети базовых станций и пр.).

Рассмотрим результаты двух измерений. Они, на наш взгляд, наиболее информативны и интересны.

Измерение 1 — удаленное измерение из Киева (Sentinel) РТР-сервера TP5000 в Полтаве. Измерения PDV продолжались в течение трех суток (рис. 2, где четко видны суточные блуждания, связанные с нагрузкой на сеть MPLS в зависимости от времени суток). Тем не менее результаты показывают пригодность этого сигнала для синхронизации базовой станции.

Измерение 2 — более удаленное: Киев (Sentinel) — Кривой Рог (TP5000). Главная особенность этого измерения — моделирование аварии на РТР-сервере

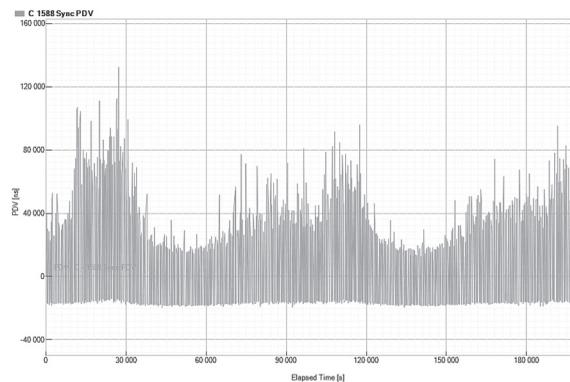


Рис. 2. Измерение PDV в течение трех суток (измерение 1)

TP5000. Был выдернут патч-корд из активного блока генератора TP5000, после чего сервер перешел на резервный. Затем был проведен обратный переход на основной блок генератора. Все операции осуществлялись в течение суток с набором статистических данных и измерением PDV. Результаты представлены на рис. 3, где четко видны флуктуации измеренного PDV, связанные с переключением на резерв и обратно. Здесь также имеем удовлетворительное качество опорного сигнала и его пригодность для синхронизации базовой станции, несмотря на удаленность сервера и экстремальные условия.

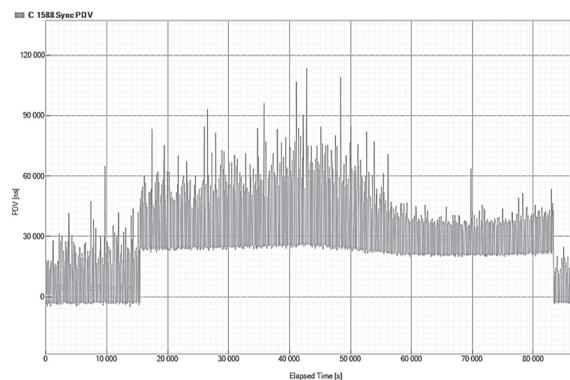


Рис. 3. Измерение PDV при моделировании аварии на РТР-сервере TP5000 (измерение 2)

В обоих случаях измерительный прибор Sentinel выступает фактически в роли базовой станции как потребитель опорного сигнала РТР. Именно такие измерения дают полную картину происходящего на сети. Опираясь на эти измерения, можно делать выводы о качестве прохождения сигнала по сети MPLS, а также о необходимости установки дополнительных РТР-серверов TP5000. Следует также подчеркнуть важность постоянного такого мониторинга сигналов синхронизации, поскольку пакетные сети характеризуются динамичностью изменений в течение суток.

Результаты измерения PDV не достаточны для оценки сигнала синхронизации. Необходимо из измеренных данных получить ряд дополнительных параметров. Как минимум, это набор MTIE/TDEV/MAFE/FPP/FPC.

До сих пор нет полного эксплуатационного перечня этих параметров (в отличие от классической сети синхронизации — TIE/MTIE/TDEV) [5; 7]. Однако параметр **MAFE** можно считать основным для определения качества сигнала синхронизации в пакетной сети.

Результаты расчета параметра **MAFE** для измерений 1 и 2 приведены на рис. 4. Как видим, параметр вписывается в маску с существенным технологическим запасом, чем еще раз подтверждается пригодность сигналов в измерениях 1 и 2 для синхронизации базовых станций.

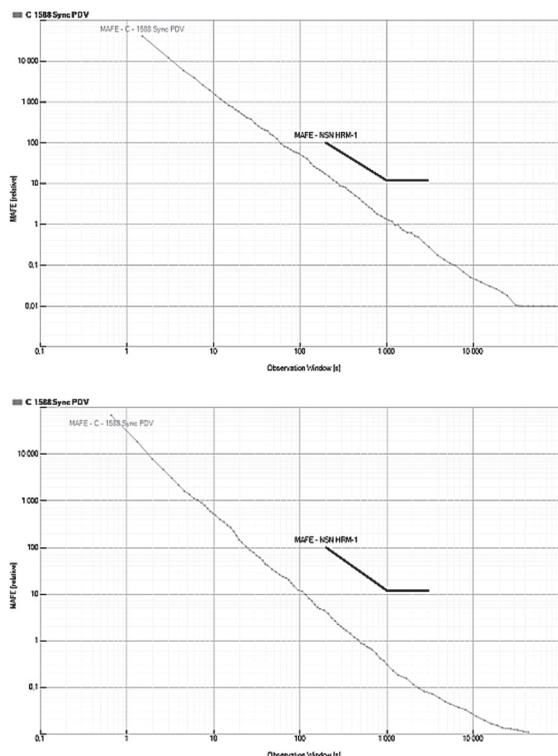


Рис. 4. Результаты расчета **MAFE** для измерений 1 и 2

Выводы

1. Измерения параметров стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях необходимы для оценки качества предоставляемых услуг мобильной связи [6].

2. Для проведения измерений необходимы:

- выбор измерительного прибора;
- организация схемы измерений;
- выбор эксплуатационных параметров стабильности при расчете результатов измеренного PDV;
- обработка результатов измерений.

Рецензент: доктор техн. наук, профессор **О. В. Копейка**, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

В. І. Вакась, Н. В. Федорова, Д. О. Дьомін

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАБІЛЬНОСТІ СИГНАЛІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ В ПАКЕТНИХ МЕРЕЖАХ

Розглянуто основні методи вимірювання параметрів стабильності сигналів синхронізації в пакетних мережах. Проведено аналіз доступної вимірювальної техніки. Зазначено основні нові вимірювальні параметри. Подано результати вимірювань на реальній мережі.

Ключеві слова: синхронізація; пакетні мережі; вимірювання параметрів стабильності; PDV (Packet Delay Variation); **MAFE** (Maximum Average Frequency Error).

3. Проведенные измерения позволяют оптимизировать как эксплуатационные задачи, так и планирование сети синхронизации при дальнейшем развитии мобильной связи 3G.

Литература

1. **Вакась, В. И.** Методы обеспечения синхронизацией базовых станций от разных иерархических уровней сети с коммутацией пакетов / В. И. Вакась, Н. В. Федорова // Вісник ДУІКТ.— 2012.— Т. 10, №4.— С. 91–96.

2. **Вакась, В. И.** Синхронизация базовых станций при внедрении технологий IP-сетей / В. И. Вакась, И. П. Черняк // 21-я Междунар. Крым. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011): материалы конф. (Севастополь, 12–16 сент. 2011 г.).— Севастополь: Вебер, 2011.— С. 374–375.

3. **Вакась, В. И.** Синхронизация базовых станций мобильной связи в транспортном окружении сети IP/MPLS / В. И. Вакась, И. П. Черняк // 20-я Междунар. Крым. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2010): материалы конф. (Севастополь, 13–17 сент. 2010 г.).— Севастополь: Вебер, 2010.— С. 335–336.

4. **Вакась, В. И.** Практическая реализация синхронизации на сетях IP/MPLS / В. И. Вакась, Н. В. Федорова // Зв'язок.— 2013 р.— №1.— С. 23–27.

5. **Вакась, В. И.** Комбинирование методов обеспечения синхронизацией базовых станций от разных иерархических уровней сети с коммутацией пакетов / В. И. Вакась, Н. В. Федорова // 22-я Междунар. Крым. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2012): материалы конф. (Севастополь, 10–14 сент. 2012 г.).— Севастополь: Вебер, 2012.— С. 320–321.

6. **Вакась, В. И.** Контроль и измерение параметров сигналов синхронизации в IP/MPLS-сети / В. И. Вакась, Н. В. Федорова // 23-я Междунар. Крым. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013): материалы конф. (Севастополь, 09–13 сент. 2013 г.).— Севастополь: Вебер, 2013.— С. 273–274.

7. **Вакась, В. И.** Распространение опорных сигналов синхронизации в IP-сетях. Реализация по протоколу RTP / В. И. Вакась, Н. В. Федорова // Системи управління, навігації та зв'язку.— 2014.— №1.— С. 91–96.

V. I. Vakas, N. V. Fedorova, D. A. Diomin

MEASUREMENTS OF PARAMETERS STABILITY OF SYNCHRONIZATION SIGNALS IN PACKAGE NETWORKS

In article the main methods measurements of parameters stability of synchronization signals in package networks are considered. The analysis of available measuring equipment is carried out. The key are specified the new measured parameters. Results of measurements on a real network are reported.

Keywords: synchronization; package networks; measurement of parameters stability; PDV (Packet Delay Variation); MAFE (Maximum Average Frequency Error).

УДК 621.396.662.072.078

В. Я. КАЗИМИРЕНКО, канд. техн. наук,
Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВИЗИРОВАННЫХ АНАЛОГОВЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СТАНЦИЙ: ВЫБОР КОМБИНИРОВАННОЙ МОДУЛЯЦИИ И ФОРМИРОВАТЕЛЯ ЦИФРОВОГО ПОТОКА

Раскрыты механизмы значительного повышения спектральной, энергетической и экономической эффективности цифровизации линий на основе аналоговых радиорелейных станций и даны рекомендации по их использованию.

Ключевые слова: аналоговая радиорелейная линия; алгоритмическая модель передающего и приемного трактов; частотная модуляция; демодулятор; отношение сигнал/помеха; формирователь цифрового потока; каналы DVB-C и DVB-T.

Введение

Сравнение цифровых радиорелейных линий (РРЛ) и РРЛ, в которых цифровой контент передается в аналоговом формате, убедительно доказывает эффективность цифровизации линий на основе аналоговых радиорелейных станций (РРС). Ведь существующие технические решения [1–6] позволяют использовать практически все оборудование аналоговой РРС, к которому прилагается формирователь промодулированного цифрового потока с последующей частотной модуляцией (ЧМ) в передающем тракте и частотной демодуляцией в приемном тракте.

Основная часть

Использование алгоритма, базирующегося описанной в [10] модели, позволило получить ряд важных результатов.

Показано, что при использовании комбинированной модуляции в канале связи наряду с помехами, влияние которых достаточно точно предсказуемо, действуют факторы, не регламентированные для аппаратуры по передаче информации в аналоговом формате (например, фазовый джиттер). Некоторые параметры не удовлетворяют требованиям при передаче цифрового потока. В частности, нестабильность частоты при передаче аналогового телевидения нормируется на уровне 10^{-5} , а при передаче потока QAM-64 требуется 10^{-6} .

Уровень нерегламентированных мешающих факторов (МФ) может изменяться в процессе эксплуатации, в том числе за счет износа оборудования.

В принципе, воздействие таких МФ на частотно модулированный (ЧМ) сигнал вносит в него искажения, которые не приводят к существенному ухудшению качества аналогового телевизионного контента. Однако искажения в ЧМ сигнале могут стать причиной искажений символов, полученных в результате цифровой модуляции, что повлечет

за собой недопустимые ошибки после цифровой демодуляции и потребует специальных мероприятий для восстановления качества.

Рассматривалось использование модуляции 16-QAM и 64-QAM.

Анализ влияния регламентированных факторов на гауссов канал связи показывает, что в случае применения первичной модуляции 16-QAM, если выполнен комплекс процедур по подавлению фиксированных и прочих помех, достигается выигрыш в требуемом отношении мощности сигнала к мощности шума на входе приемного устройства и создается запас помехоустойчивости, составляющий 8...9 дБ, по сравнению с передачей аналогового сигнала. При этом снижается значение пикфактора, т. е. обеспечивается достаточная помехоустойчивость на пролете РРЛ, практически равная помехоустойчивости аналогового канала связи при минимуме мешающих факторов.

При использовании модуляции 64-QAM указанный запас снижается до 2...3 дБ. И хотя использование данной модуляции в принципе позволяет организовать передачу по многопролетной РРЛ, все же из-за малого запаса даже при условиях, близких к идеальным, воздействие ряда МФ может создать условия, неприемлемые для качественной передачи.

В число таких МФ, влияние которых может резко ухудшить качество передачи, входят нерегламентированные факторы, способные исказить картину (по крайней мере, на нескольких интервалах РРЛ) в соответствии с помехами рефракционного или интерференционного типа.

В процессе исследований проведено сравнение характеристик передачи каналов DVB-C и DVB-T. Это имело смысл, поскольку по каналу DVB-T, использующему модуляцию COFDM, в принципе осуществима передача телевизионного контента,