

РАЗРАБОТКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАБИЛЬНОСТИ СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ПОКОЛЕНИЯ 4G

В статье рассмотрены показатели стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях. Рассмотрен эволюционный путь, который привел к модификации параметров стабильности сигналов синхронизации при переходе на пакетные сети. Рассмотрено предложение ведущего специалиста компании NSN Антти Пиетилайнаена (Antti Pietilainen) для оценки показателей стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях. Предложен самый подходящий параметр оценки показателей стабильности сигналов синхронизации – параметр МАФЕ.

Ключевые слова: синхронизация, сигналы синхронизации, показатели стабильности, пакетные сети, измерение параметров стабильности, параметр оценки.

Введение

Синхронизация частоты базовых станций поколения мобильной связи 3G – это дистанционное сличение времени по протоколу прецизионного времени РТР в сочетании с дифференцированием погрешности времени. В результате получают дистанционную оценку относительной частоты, но освежая понятия сетей синхронизации синхронной цифровой иерархии и на этой основе оценивать относительную частоту сигнала, доставляемого потребителю, как производную погрешности времени в пакетных сетях оказывается недостаточным. А, при внедрении сетей мобильной связи 4G возникает проблема не только синхронизации частоты, но и синхронизации времени базовых станций и проблема отказа от старых навыков становится еще острее [1]. Иначе говоря, для того, чтобы существующий опыт применить в перспективе и преодолеть ложные представления на основе неверных предположений, каждая компания должна осознать свои потребности и разработать собственные методики измерений, обосновать нормы и предельные соотношения.

Основная часть

Удачная попытка приспособить метрологию синхронизации к пакетным сетям предпринята ведущим специалистом компании NSN Антти Пиетилайненем на международном форуме ITSF (International Timing & Sync Forum) в 2011 году. Он рассуждал так: МТІЕ легко представить, как функцию окна шириной $n\tau_0$, скользящего вдоль графика $TIE(t)$ для того, чтобы определить в этом окне максимум $TIE(n\tau_0)$, т.е. размах отклонения фазы измеряемого сигнала от фазы опорного сигнала. Относительная частота y на интервале наблюдения $\tau = n\tau_0$ равна отношению:

$$y = \frac{\Delta x}{\tau} \quad (1)$$

и если каждую точку графика $MTIE(\tau)$ разделить на соответствующую абсциссу τ :

$$\frac{MTIE(\tau)}{\tau} = \frac{MTIE}{\tau}(\tau) = \frac{\Delta f}{f}(\tau), \quad (2)$$

то получим диаграмму, где по оси ординат отложены значения относительной частоты (рис.1). Эти преобразования привели к переходу от показателя стабильности фазы к показателю стабильности частоты – именно она интересует операторов в радиосегменте мобильной связи и в соответствии со стандартами 2G и 3G должна быть не хуже 50×10^{-9} [7]. По наземным линиям связи имеет смысл подводить к базовой станции тактовый сигнал со стабильностью не хуже 16×10^{-9} . На левой диаграмме этот предел показан в виде наклонной линии, а на правой – в виде прямой, параллельной оси абсцисс (рис.1).

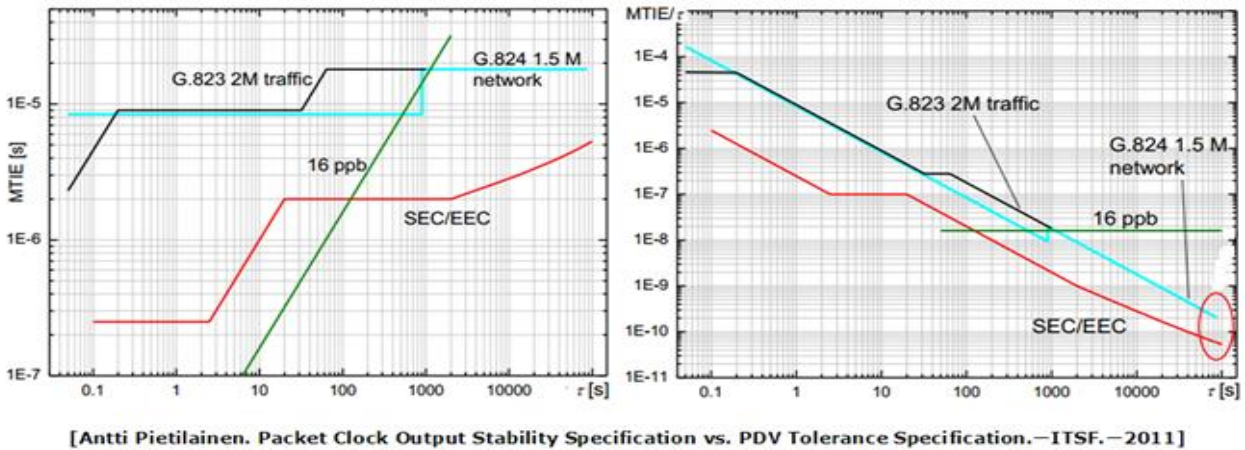


Рис. 1. Пределы стабильности для базовых станций мобильной связи 3G

Затем Антти Пиетилайнен отметил, что популярный для сети синхронизации синхронной цифровой иерархии показатель МТІЕ (Maximum Time Interval Error) по своей природе вычислений – хороший обнаружитель «самых плохих» отсчетов на многочасовом интервале измерений – скачков без какого-либо усреднения [2]. В практике эксплуатации сетей такие скачки явление неизбежное и один случайный скачок может повлиять на многочасовой сеанс измерений. Для того, чтобы получить истинную картину стабильности сигналов синхронизации, обслуживающему персоналу приходится выбирать один из двух вариантов:

- провести достаточное количество повторных длительных измерений в одной и той же контрольной точке с последующей статистической обработкой результатов;
- по собственному усмотрению исключить «незаконные» скачки из массива ТІЕ (Time Interval Error) прежде чем вычислять МТІЕ.

В пакетных сетях, когда исходными данными для вычисления служит параметр PDV (Packet Delay Variations) (с размахом отклонения до десятков мс) применять показатель МТІЕ более проблематично чем в сетях синхронной цифровой иерархии (со скачками ТІЕ до десятков нс). Более того, невозможно прямо сопоставить МТІЕ на входе оборудования “РТР-клиент” базовой станции со стабильностью тактового сигнала на выходе этого “РТР-клиента” [7].

Для того, чтобы повысить адекватность показателя стабильности в пакетных сетях, Антти Пиетилайнен предложил третий вариант усреднения данных МТІЕ в виде максимальной средней погрешности временного интервала (Maximum Average Time Interval Error – МАТІЕ):

$$MATIE(n\tau_0) = \max_{1 \leq k \leq N-2n+1} \frac{1}{n} \left| \sum_{i=k}^{n+k-1} (x_{i+n} - x_i) \right| \tag{3}$$

где x_i – последовательность погрешности времени в пакетах, $n\tau_0 = \tau$ – ширина окна наблюдения, $n = 1, 2, \dots, integer\ part\ (N/2)$ – число отсчетов в окне, τ_0 – интервал дискретизации, N – число отсчетов в массиве данных измерения и k – шаг скольжения окна. Если сравнить $MATIE(n\tau_0)$ с $MTIE(n\tau_0)$:

$$MTIE(n\tau_0) = \max_{1 \leq k \leq N-n} \left(\max_{k \leq i \leq k+n} x(i) - \min_{k \leq i \leq k+n} x(i) \right) \tag{4}$$

то можно сказать, что $MTIE(n\tau_0)$ – это обнаружитель размаха погрешности времени на указанном интервале наблюдения для всего массива данных измерения, а $MATIE(n\tau_0)$ – обнаружитель максимального среднего значения отсчетов погрешности времени на указанном интервале наблюдения. Усреднение эквивалентно низкочастотной фильтрации скачков. Если интервал наблюдения и частота Фурье f связаны соотношением: $\tau = 1/\pi f$, то $MATIE(n\tau_0)$ дает спектральный состав фазовых шумов измеренной последовательности отсчетов PDV.

Если применить к $MATIE(n\tau_0)$ преобразование, показанное на рис. 1, то получим спектральный состав частотных шумов в виде максимальной средней погрешности относительной частоты $MAFE(n\tau_0)$:

$$\frac{MATIE(n\tau_0)}{\tau} = MAFE(n\tau_0) \quad (5)$$

Показатель $MAFE(n\tau_0)$, – Maximum Average Frequency Error, – рассчитанный по массиву данных измерения пакетов RTP на входе клиента RTP базовой станции интересен тем, что его можно сопоставить с нестабильностью тактовой частоты на выходе фазовой автоподстройки “RTP – клиента” базовой станции. Это значит, что по поведению $MAFE(n\tau_0)$ на входе “RTP – клиента” можно судить о соответствии сети радиодоступа требованию к синхронизации – относительная частота в радиосегменте должна быть не хуже 50×10^{-9} [3,4].

На рис. 2 показан пример расчета в сопоставлении с двумя шаблонами, которые предложил Аннти Пиетиланен.

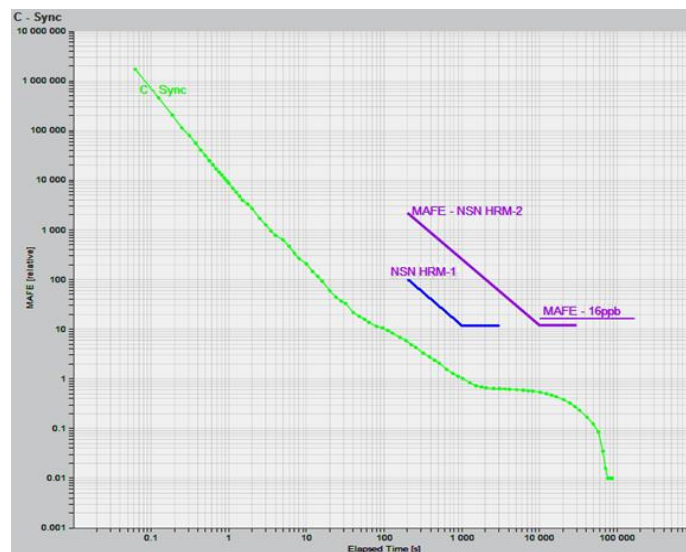


Рис. 2. Шаблоны HRM-1 и HRM-2 для параметра MAFE

Шаблон HRM-1 предназначен для применения на входе “RTP – клиента”, то есть на выходе модели 1 гипотетического образцового тракта пакетной сети (Hypothetical Reference Model 1 – HRM-1), который изображен на рис. 3, а HRM-2 – для HRM-2 (рис. 4).

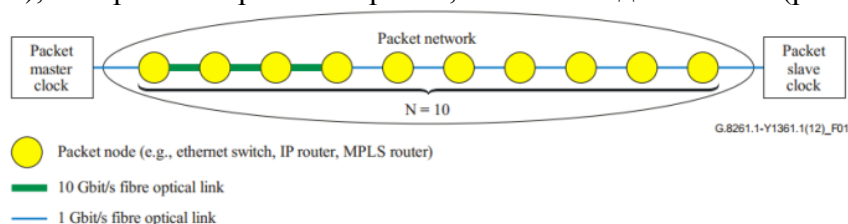


Рис. 3. Пакетный тракт для HRM-1

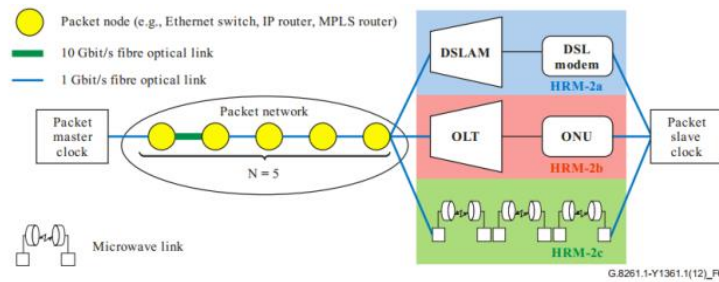


Рис. 4. Пакетный тракт для HRM-2

По этим шаблонам оценивают вычисленный из массива PDV параметр MAFE. На сегодняшний день параметр MAFE, наложенный на шаблоны HRM-1 и HRM-2 является самым адекватным параметром оценки показателей стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях.

Следует отметить, что предложенные Аннти Пиетилайненом показатели были приняты в перечень показателей стабильности сигналов синхронизации пакетных сетей в Дополнении I Рекомендации ITU-T G.8261.1 (02/12) [6]. И хотя шаблоны HRM-1 и HRM-2 в ITU-T в настоящее время не признают, тем не менее, их широко применяют в современной измерительной технике для пакетных сетей [5,6].

Приведем пример измерений, проведенных на сети компании ПрАТ “Киевстар” с расчетом параметров стабильности.

На рис. 5 изображен график $PDV(t)$ по которому был рассчитан представленный параметр $MAFE(\tau)$.

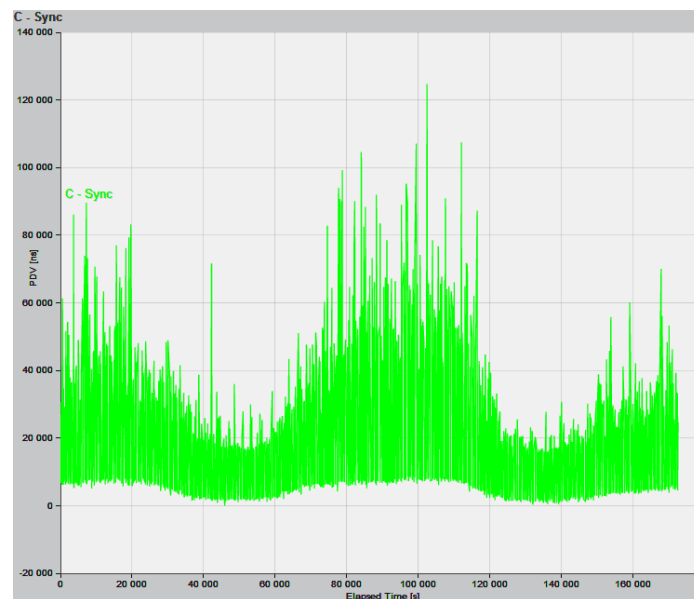


Рис. 5. Измерения PDV

На рис. 6 показано отношение частоты ко времени.

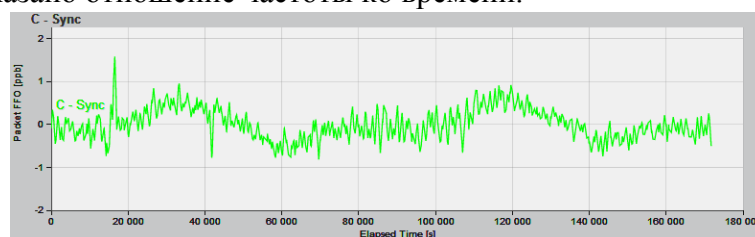


Рис. 6. Отношение частоты ко времени

На рис. 7 представлена функція розподілення затримок пакетів синхронізації.

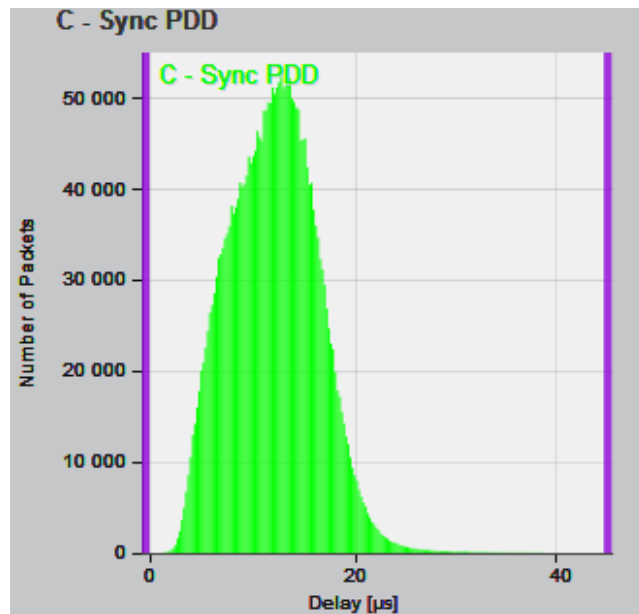


Рис. 7. Расчет пакетов синхронизации

Выводы

1. Для того, чтобы повысить адекватность показателя стабильности в пакетных сетях, Антти Пиетилайнен предложил третий вариант усреднения данных МТІЕ в виде максимальной средней погрешности временного интервала (Maximum Average Time Interval Error – МАТІЕ).

2. Самым подходящим параметром оценки показателей стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях является параметр МАФЕ, наложенный на шаблоны HRM-1 и HRM-2 также предложенный Антти Пиетилайнен.

3. Предложенные Антти Пиетилайненом показатели были приняты в перечень показателей стабильности сигналов синхронизации пакетных сетей в Дополнении I Рекомендации ITU-T G.8261.1 (02/12) [6].

Список использованных источников:

1. D.L. Mills. Computer network time synchronization: the network time protocol. CRC Press, 2006 (Имеется перевод на русский язык: Сличение времени в компьютерных сетях: протокол сетевого времени на Земле и в космосе. / Миллс, Д. [пер. с англ. под ред. А.В. Савчука,] – К.: WIRCOM. – 2011. – 464 с).
2. S. Bregni. Synchronization of Digital Telecommunication Networks. John Willey & Sons, Inc. 2001. (Имеется перевод на русский язык: С. Брени. Синхронизация цифровых сетей связи. М., Мир, 2003).
3. Fedorova N.V., Diomin D.A.. Parameters of Synchronization Signals in IP/MPLS networks. // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016 р., №1 (41). – С.44-51.
4. Вакась В.И., Федорова Н.В., Демин Д.А. Измерения параметров стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях. // Зв'язок. – 2016 р., №1. – С.40-43.
5. Вакась В.И., Федорова Н.В. Распространение опорных сигналов синхронизации в IP-сетях. Реализация по протоколу РТР. // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. – 2014 р. – №1 – С.91-96.
6. ITU-T G.8261.1/Y.1361.1 (02/2012). Packet delay variation network limits applicable to packet-based methods (Frequency synchronization).

Надійшла: 15.04.2018

Рецензент: к.т.н. Довбешко С.В.