

МЕТРИКИ ОЦЕНКИ СТАТИСТИК СТАБИЛЬНОСТИ СЕТЕЙ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ С ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ СООБЩЕНИЙ

Бирюков Н.Л., Касим А.М., Триска Н.Р.

*Институт телекоммуникационных систем НТУУ “КПИ”
Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины
ГП “Украинский научно-исследовательский институт связи”
E-mail: nlbir@mail.ru*

Metrics for timing stability statistics estimation for packet transmission mode

The new metrics proposed for measurement of synchronization and timing parameters in packet networks are summarized. The advanced research of conventional synchronization metric – Maximum Time Interval Error (MTIE) is presented.

В условиях перехода к сетям следующего поколения NGN актуальность приобретают задачи обеспечения требуемого качества услуг реального времени, поддержания высокой точности тактовой сетевой синхронизации и сообщений точного времени в пакетной транспортной среде. Изменения транспортных технологий и всей сетевой инфраструктуры в соответствии с концептуальными положениями NGN обусловили появление новых подходов к решению задач синхронизации. Так, одним из актуальных направлений исследований является отработка методов оценки статистик стабильности сетей тактовой синхронизации с пакетной передачей сообщений. В этом контексте возникает задача подбора подходящих метрик, которые позволили бы наиболее эффективно оценить качество синхронизации в современном оборудовании пакетных сетей.

Традиционные метрики оценки качества сигналов синхронизации, к которым относятся максимальное отклонение временного интервала – МОВИ (MTIE – Maximum Time Interval Error) и девиация временного интервала ДВИ (TDEV – Time Deviation), продолжают изучаться и развиваться. Последнее издание терминов и определений, используемых в синхронизации пакетных сетей [1], дополняющее “классическую” Рекомендацию G.810, включает дополнительные определения и оценочные формулы minTDEV и percentile TDEV (перцентиль TDEV). Характеристики minTDEV и percentile TDEV, как и традиционный параметр девиации временного интервала TDEV, дают представление о шумах и, в данном случае, о характере “шумов” задержек пакетов в сети. Функция bandTDEV, по сравнению с minTDEV и percentile TDEV, обладает более гибкими возможностями вычисления. Функция percentileTDEV более чувствительна к малым отклонениям параметров, чем TDEV, но уступает в этом смысле minTDEV.

Появились также новые усредняющие метрики, подобные TDEV, которые описывают максимальные фазовые или частотные девиации [1]: MATIE (maximum average time interval error) – максимальная средняя ошибка временного интервала ОВИ (МСОВИ); MAFE (maximum average frequency error) – максимальная средняя ошибка частоты МСОЧ; minMATIE и minMAFE.

Целесообразность и эффективность использования предложенных функций подлежит дальнейшему изучению. Авторы отмечают, что функция MAFE хорошо подходит для представления погрешности частоты, но, в отличие от TDEV, не годится для изучения шумов. Функция MAFE, подобно minTDEV и percentileTDEV, основана на отборе в нижней области, чувствительна к малым значениям выходных переменных.

Интересную тенденцию представляет расширение сферы применения функций, используемых для оценивания стабильности, на другие телекоммуникационные приложения, например, оценивание трафика [2, 3]. Так, предлагается использовать модифицированную дисперсию Адамара для улучшения оценки параметров всплесков долговременного трафика. Изменение трафика Интернет на различных временных интервалах обнаруживает повторяемость и долгосрочные зависимости. Поэтому, для оценивания параметров всплесков нагрузки по результатам серий временных измерений, предложено использовать анализ спектра с высоким разрешением с помощью модифицированной дисперсии Адамара (MHVAR). Функция MHVAR обобщает хорошо известные идеи применения модифицированной дисперсии Аллана (MAVAR), широко используемой с 1981 года при анализе стабильности частоты, в сериях измерений, значения в которых отличаются на несколько порядков. Исследовались свойства функций MHVAR при обработке массивов данных степенных случайных процессов и некоторых детерминированных сигналов, а именно, дрейф, синусоида, скачки. Показатели MHVAR оценивались по результатам анализа и моделирования и сравнивались с диаграммами MAVAR. Исследования показали, что MHVAR обеспечивает более высокую точность и достоверность в оценивании порядка показателей степени шумов, даже несколько лучше MAVAR, а также обладает рядом других достоинств.

В контексте оптимизации методов оценки статистик стабильности в сетях с пакетной передачей сообщений (в частности, при синхронизации с использованием двустороннего протокола точного времени RTP) представляет интерес углубленное исследование свойств функции МОВИ [4-6]. Эта функция традиционно используется при обработке результатов измерений высокоточных сигналов тактовой частоты и определяется как максимальный размах (от пика до пика) временных отклонений (ошибок) $x(t)$ на всех возможных интервалах наблюдения τ в течение периода измерения T :

$$\text{МОВИ}(n \tau_0) \cong \max_{1 \leq k \leq N-n} [\max_{k \leq i \leq k+n} x_i - \min_{k \leq i \leq k+n} x_i], \quad n = 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

Выражение в квадратных скобках в (1) представляет максимальный размах на данном интервале наблюдения $\tau_i \in [1\tau_0, 2\tau_0, \dots, (N-1)\tau_0]$. Поэтому функцию

МОВИ(τ) можно записать как $\max[PtP(\tau)]$. Выражение (1) можно также интерпретировать как известный в инженерной практике метод “скользящего окна”, который используется для просмотра массивов данных с переменной шириной окна. МОВИ($n \tau_0$) обладает многими замечательными свойствами, облегчающими интерпретацию данных измерений. В частности, как следует из определения, функция МОВИ($n \tau_0$) неотрицательная, монотонная, неубывающая, вогнутая (выпукла вверх) [5, 6].

В [4] предложены метрики, основанные на ансамблях из L функций МОВИ, а в [5, 6] исследовались общие свойства функции МОВИ и, на их основе, некоторые свойства ансамблей МОВИ, а также их связь с другими метриками, в частности, автокорреляционными функциями. Кроме того, предложено семейство функций от размахов ОВИ, а именно минимальное $\min[PtP(\tau)]$ и среднее $\text{mid}[PtP(\tau)]$ отклонения размахов $PtP(\tau)$ на интервалах наблюдения τ . Функции $\min[PtP(\tau)]$ и $\text{mid}[PtP(\tau)]$ обладают теми же свойствами, что и функция МОВИ($n\tau_0$) – неотрицательная, монотонная, неубывающая, вогнутая (выпукла вверх). Также эти функции отображают линейное смещение частоты и дрейф. На любом интервале наблюдения для данной выборки объемом N верно неравенство:

$$\min[PtP(\tau)] \leq \text{mid}[PtP(\tau)] \leq \max[PtP(\tau)] \equiv \text{МОВИ}(\tau), \quad (2)$$

откуда следует, что оценивание последовательности ОВИ по, например, $\min[PtP(\tau)]$, дает лучшие результаты для подстройки часов по относительной разнице фаз тактовых частот передающих и приемных часов, чем традиционная функция ОВИ. Кроме того, данные функции удобно использовать в алгоритмах максимального правдоподобия оценивания статистик.

Сравнение предлагаемых оценок $\min[PtP(\tau)]$ и $\text{mid}[PtP(\tau)]$ с МАТІЕ и minМАТІЕ подлежит дальнейшему изучению.

Литература

1. ITU-T Recommendation G.8260 (02/2012) Definitions and terminology for synchronization in packet networks.
2. Accurate Estimation of the Hurst Parameter of Long-Range Dependent Traffic Using Modified Allan and Hadamard Variances// Bregni S., Jmoda L. / IEEE Transactions on Communications.
3. Improved Estimation of the Hurst Parameter of Long-Range Dependent Traffic Using the Modified Hadamard Variance /Stefano Bregni, Luca Jmoda// IEEE ICC 2006 proceedings //Documents/IEEE/ 10.1.1.137.2836.
4. Коновалов Г.В. Определение характеристик качества ансамбля из L синхросигналов с использованием ускоренных методов вычислений // Метрология и измерительная техника в связи, 2002, № 5. – С. 25-30.
5. Бирюков Н.Л., Триска Н.Р. Использование функции максимальной ошибки временного интервала для оценки состояния цифровых трактов. “Зв’язок”-2004, № 1 – С. 50-54.
6. Бірюков М.Л. Оцінювання якості двохстороннього обміну повідомленнями точного часу за функціями відхилу часового інтервалу // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ” 2011, - № 1 - С. 24-29.