

В. А. ГАЙДАМАНЧУК, А. В. САВЧУК

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТАКТОВОЙ ЧАСТОТЫ по протоколу сличения времени на перевалочной транспортной сети мобильной связи

Рассмотрен один из наиболее востребованных сегодня подходов к решению проблемы тактовой синхронизации частоты с достижением важного компромисса между повышением технико-экономической эффективности транспортной среды и сохранением качества обслуживания. Приведены результаты экспериментальных исследований.

One of the most claimed today approaches to the decision of a problem of clock synchronization of frequency with achievement of the important compromise between increase of technical and economic efficiency of transport environment and preservation of quality service is considered. The results of experimental researches are given.

Введение: узкое место в сетях мобильной связи общего пользования

При переходе от SDH к технике IP/MPLS/Ethernet операторы мобильной связи реализуют главное преимущество сетей с коммутацией пакетов — более высокую производительность по сравнению с коммутацией каналов. Кроме того, для целостности и непрерывности передачи информации в транспортной среде с коммутацией пакетов непосредственно на магистральном участке не нужна сеть тактовой синхронизации. Однако для сохранения приемлемого качества обслуживания синхронизация частоты жизненно необходима на периферии сети. Поэтому наиболее актуальной становится ныне проблема тактовой синхронизации изображенного на рис. 1 перевалочного участка транспортной сети мобильной связи (*Mobile Backhaul*) между контроллером радиосети (BSC или RNC) и базовой станцией (BTS или Node B — соответственно для сетей GSM или UMTS).

Аналитики утверждают [1], что число соединений для обслуживания телефонии и передачи данных на перевалочных сетях мировой мобильной связи удваивается каждые 2,5 года и достигло 1 триллиона в 2000 году. В результате персоналу эксплуатации мобильной связи придется увеличить суммарную прозводительность перевалочного участка в 5 раз по сравнению с 2007 годом при почти не увеличивающемся среднем доходе на абонента (ARPU). Кроме того, необходимо будет поддерживать большое разнообразие действующей техники: 2G/GSM, 2G/CDMA, 3G/UMTS, 3G/EVDO, HSDPA, WiMAX и LTE. А так как удельный вес услуг, требующих широкополосной мобильной связи, в 2010 году достиг 30% и наиболее эффективной транспортной средой для их пре-

доставления является IP/MPLS/Internet, то мало кто сомневается в том, что на *перевалочной сети становится необратимым внедрение транспортной среды IP/MPLS/Ethernet, в которой на физическом уровне передавать тактовую синхронизацию невозможно* [2].

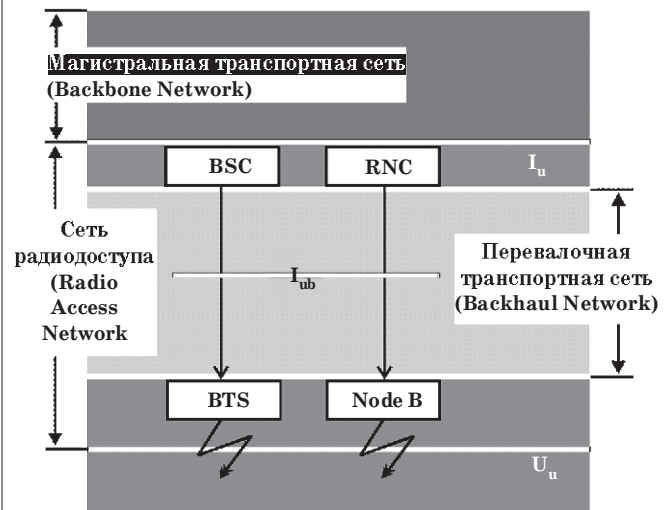


Рис. 1. Принцип организации стыков между сетями: I_u — стык магистральной сети с сетью радиодоступа; I_{ub} — стык между контроллером радиосети и базовой станцией; U_u — радиointерфейс

Требования к синхронизации частоты базовых станций

Технические требования к параметрам тактовой синхронизации базовых станций сетей нового поколения (3G/MPLS) помещены в разделе 4.2 европейского стандарта ETSI TS 125 402 — Synchronisation in UTRAN Stage 2, где отмечается следующее: «Основная проблема состоит в том, чтобы для формирования сигналов в радиосегменте

обеспечить на базовой станции опорный сигнал синхронизации с точностью частоты лучше, чем $50 \cdot 10^{-9}$. Основная рекомендация для ее решения — источником опорного сигнала должно быть первичное устройство синхронизации, соответствующее Рекомендации ITU-T G.811 (т. е. PRC). Уровень фазовых блужданий достаточно поддерживать в соответствии с Рекомендацией ITU-T G.813. Параметры оборудования синхронизации элементов сети радиодоступа и распределение в ней опорных сигналов должны быть такими, чтобы обеспечить во время отказов в сети синхронизации точность частоты на базовой станции $50 \cdot 10^{-9}$.

Как полагают, для того, чтобы удовлетворить последнему требованию к точности частоты в аварийных ситуациях, необходимо доставлять к базовой станции тактовую частоту с точностью не ниже $16 \cdot 10^{-9}$ [2]. Тогда шаблон стабильности опорного сигнала по показателю максимальной ошибки временного интервала (MTIE) на входе базовой станции можно представить в табличной форме (табл. 1).

Таблица 1

Оценка допустимых блужданий фазы на входе базовой станции по показателю MTIE

Интервал наблюдения τ , с	MTIE, нс
$0,1 < \tau \leq 15,625$	250
$15,625 < \tau \leq 125$	100τ
$125 < \tau \leq 2000$	2000
$\tau > 2000$	$433 \tau^{0,2} + 0,01 \tau$

Выбор способа восстановления тактовой частоты

Неизбежная замена SDH транспортной средой с коммутацией пакетов привела к необходимости пересмотра концепции синхронизации сетей, результаты которого отражены в Рекомендации G.8261 ITU-T [3]. В этом документе, во-первых, перечислены известные способы решения проблемы (синхронный Ethernet, протокол сетевого времени — NTP и протокол прецизионного времени — PTP), во-вторых, предложены пределы нестабильности частоты для некоторых частных случаев, а в-третьих, в параграфе 8.2 отмечено, что способы восстановления тактовой частоты в сетях с коммутацией пакетов на основе «NTP или подобных протоколов» в некоторых случаях могут оказаться «единственной возможностью отслеживания PRC» для решения проблемы тактовой синхронизации. Более того, в параграфе 6 предусмотрена возможность обоснованного пересмотра сетевой нормы стабильности частоты, которая в соответствии с Рекомендацией G.823 ITU-T составляет в настоящее время $1 \cdot 10^{-11}$. В другом международном документе — стандарте MEF (Metro Ethernet Forum) выбор сделан значительно конкретнее: способы восстановления тактовой частоты по протоколам

сличения времени актуальны на современном этапе, а «синхронный» Ethernet оставлен на будущее [4].

По определению Рекомендации G.810 ITU-T, «синхронизация сети (*network synchronization*) — это обобщенное понятие способа распределения по всем узлам сети единой тактовой частоты или одинаковых интервалов времени». Но в Рекомендациях G.811 – G.813, G.823 ITU-T, где сформулированы требования к «классической» системе тактовой сетевой синхронизации, не было ни слова о «времени». Более того, в контексте синхронизации сети связистам предлагают говорить «не о UTC, а о «частоте UTC», поскольку сигнал стандартной частоты — это не шкала времени» (раздел 4.1.11 Рекомендации G.810 ITU-T). Однако по мере внедрения IP в ведомственных сетях (Intranet) передачи данных операторов электросвязи последние начали осознавать, что синхронизация жизненно необходима для систем биллинга и управления авариями, а следовательно, она становится экономическим фактором предприятия электросвязи. Таким образом, благодаря повсеместному внедрению техники коммутации пакетов, синхронизация частоты и сличение времени становятся не только необходимыми сами по себе, но и взаимно дополняющими.

Наиболее распространенным стандартным способом дистанционного сличения времени компьютерных часов в сетях Intranet служит протокол сетевого времени NTP, оптимизированный применительно к условиям глобальной сети Интернет [5]. При этом достигают точности сличения времени в очень широких (0,012 ... 56,7 мс) пределах, так как неопределенность частоты и разброс этой неопределенности в компьютерных часах клиента весьма велики — от $2 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-7}$.

В настоящее время «туннельный переход» тактовой частоты через сеть с коммутацией пакетов для подстройки частоты по протоколу стандарта IEEE 1588-2008 рассматривают как рабочий вариант тактовой синхронизации на перевалочной сети мобильной связи [2], если невозможно или нецелесообразно устанавливать приемник GPS на базовой станции или подключать ее к существующей сети синхронизации. Стандарт представляет собой адаптацию введенного ранее стандарта IEEE 1588-2002 для сличения времени с наносекундной точностью в системах промышленной автоматизации, известного также под названием «протокол прецизионного времени» PTP [6].

Потенциальные возможности восстановления тактовой частоты по протоколам сличения времени

Потенциальные возможности восстановления тактовой частоты по протоколам NTP и PTP огра-

ничені фазовим шумом в трактах передачі, викликаючим неопределенність расхождения времени, для оцінювання якого обычно використовують середньквдратичное отклонение — відповідно σ_{NTP} і σ_{PTP} . Полагаючи, що шум в тракті передачі розподілений по нормальному закону, можна оцінити можливість відновлення тактової частоти з заданою точністю, яка залежить від інтервала усереднення [7].

Результати дослідження систем сличения времени по NTP RFC-1305, проведенні на внутрішніх мережах Intranet (IP/MPLS Ethernet) двох операторів України, свідчать про те, що в умовах реальної навантаженості середньквдратичное отклонение расхождения времени σ_{NTP} становить 14...20 мс [8]. Тоді приведений на рис. 2 графік залежності неопределенності частоти

$Y_{NTP} = \frac{\sqrt{2\sigma_{NTP}}}{T}$ місцевого генератора від інтервала усереднення T має форму прямої лінії з нахилом -1 , де σ_{NTP} — середньквдратичное отклонение расхождения времени між місцевими і віддаленими опорними годинами [7].

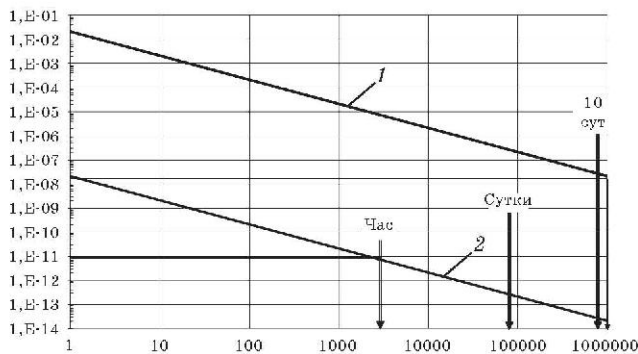


Рис. 2. Графіки залежності неопределенності частоти місцевого генератора від інтервала усереднення T для протоколів NTP і PTP — відповідно прямі 1 і 2

Очевидно, граничне значення $Y_{NTP} \approx 16 \cdot 10^{-9}$ можна отримати на інтервалі усереднення $T \approx 10$ сут, а для того, щоб забезпечити запас на аварійні ситуації $Y_{NTP} \approx 16 \cdot 10^{-9}$, інтервал усереднення повинен бути більше 10 сут. Аналогічна оцінка по σ_{PTP} показує, що з допомогою PTP можна забезпечити $Y_{PTP} \approx 1 \cdot 10^{-11}$ на інтервалі усереднення близько 1 ч. Ці результати однозначно свідчать на користь протоколу PTP, на який слід робити ставку, щоб не мати проблем в процесі обслуговування і експлуатації мереж мобільної зв'язку. Проглядається найбільш ймовірне рішення для транспортної мережі з комутацією пакетів: **виділені сервери PTP в поєднанні з виділеними або/і вбудованими в базові станції клієнтами PTP**. Ясно, що використання виділених клієнтів сприяє

ет вільному вибору оператором виробників обладнання.

Результати лінійних випробувань PTP

На мережі Intranet в транспортній середі IP/MPLS/Ethernet двох операторів мобільної зв'язку України були проведені лінійні випробування сервера [9] і виділеного клієнта [10] PTP з метою перевірки можливості використання протоколу PTP для відновлення тактової частоти. Схема відповідних вимірювань приведена на рис. 3. Для вимірювання стабільності відновленої тактової частоти був використаний спеціалізований вимірювальний пристрій ІВО-1М [11]. Для того щоб оцінити залежність стабільності відновленої тактової частоти від числа переприємів в реальної мережі Intranet со середньою навантаженістю 20%, були сконфігуровані два тракту, позначені на рис. 3 цифрами 1 і 2:

тракт 1 — в складі шести елементів мережі: двох маршрутизаторів доступу СЕ (Cisco Catalyst 3750 customer edge), трьох граничних маршрутизаторів РЕ (Cisco Catalyst 3750 provider edge) і одного магістрального маршрутизатора Р (Cisco 7603 provider);

тракт 2 — в складі 10 елементів мережі: двох маршрутизаторів СЕ, шести маршрутизаторів РЕ і двох маршрутизаторів Р.

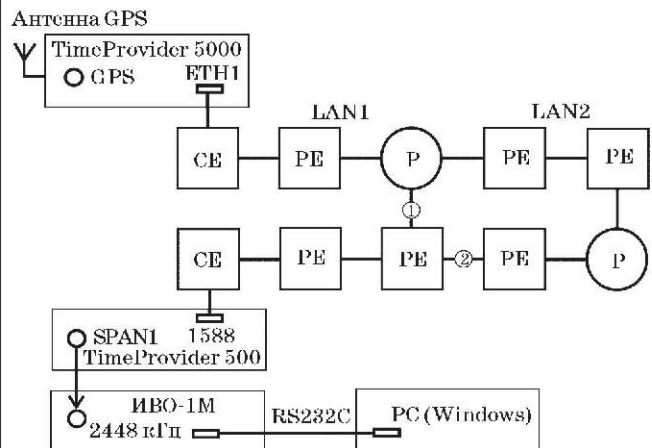


Рис. 3. Схема вимірювань стабільності відновленої тактової частоти

Результати вимірювань для трактів 1 і 2 представлені в графічній формі на рис. 4, де приведений також відповідний шаблон для базової станції Node B згідно табл. 1.

В результаті проведених досліджень виявилось, що характеристики двох трактів, які відрізняються майже вдвічі за кількістю переприємів, практично однаково і з великим запасом задовольняють технічним вимогам TS 125 402. Такий результат можна пояснити тим, що навантаження реальної мережі занадто мало для того, щоб мати вплив на якість синхронізації.