

А. В. САВЧУК, В. Н. ШАПОШНИКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ПО ПРОТОКОЛУ NTP

Наведено результати оцінювання точності звіряння часу у відомчих мережах передавання даних (Intranet) операторів зв'язку України та запропоновано рекомендації, сформульовані на підставі цих досліджень.

Приведены результаты оценки точности сличения времени в ведомственных сетях передачи данных (Intranet) операторов связи Украины и предложены рекомендации, сформулированные на основе этих исследований.

Results of an estimation of accuracy of checking of time in departmental networks of data transmission (Intranet) communication statements of Ukraine are resulted and the recommendations formulated on the basis of these researches are given.

О ТРЕБОВАНИЯХ К ТОЧНОСТИ СЛИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ В WAN, LAN И INTRANET

Точность сличения времени по протоколу NTP зависит от многих конкретных условий, в том числе от операционной системы и структуры сети. «Абсолютную» точность относительно UTC определить трудно даже при наличии местных прецизионных эталонных часов. Систематические погрешности обычно постоянны и неизменны во времени, так что их можно откалибровать и исключить. Этого нельзя сказать о погрешности, вызванной асимметрией задержек, когда задержки передачи в прямом и обратном направлениях значительно отличаются друг от друга. Как показывает опыт, эти задержки подвержены сильным изменениям в сети Интернет общего пользования в условиях непрерывного реконфигурирования сети провайдером услуг. Поэтому в [1] вопрос о том, какова ожидаемая точность в глобальной сети Интернет (WAN), назван нетривиальным, а ответы на него — неутешительными. Высказанное предположение о возможности сличения времени с точностью от нескольких миллисекунд до **нескольких десятков миллисекунд**, а в перегруженных каналах — до **100 мс** автор [1] называет слишком оптимистичным для глобального Интернета. По самым пессимистическим оценкам, в результате статистической обработки данных исследований 1997 года максимум интегральной функции распределения расхождений времени по ансамблю клиентов составил **686 мс**, а среднее значение — **234 мс**. Наилучшую оценку можно получить, если в этих данных оставить только «надежные» соединения, в которых расхождение времени менее чем **128 мс**. Тогда среднее значение расхождения времени составит **28,7 мс**. Среднеквадратичное отклонение (СКО) расхождения времени между партнерами NTP в глобальной сети Интернет может оказаться в пределах **0,012...56,7 мс** [2].

Весьма жесткие требования по синхронизации предъявляет Международная электротехническая комиссия (IEC). Так, в стандарте IEC 61850 установлены градации качества синхронизации внутристанционной автоматики предприятий энергетики по пяти классам точности от 1 мс до 1 мкс. Ценой значительных затрат с существенными доработками серийного коммутатора Ethernet и типовых решений упрощенного NTP (SNTP) удается обеспечить точность класса T3 — не хуже **25 мкс**. Это предельно достижимый для NTP результат, на который можно найти ссылку в технической периодике [3], полученный, правда, в специфической локальной сети (LAN). Этот результат не может быть повторен на реальной сети оператора связи.

В изолированных ведомственных сетях (Intranet) с полным дуплексом передачи и скоростью 100 Мбит/с, где коллизии Ethernet исключены и узлы срабатывают мгновенно, характеристики должны быть гораздо лучше, чем в глобальной сети Интернет. Поскольку в настоящее время не существует нормативных пределов минимальной точности сличения времени в сетях передачи данных операторов электросвязи, они могут ориентироваться на ведомственный стандарт, действующий в службе 9-1-1 экстренной помощи США [4]. По телефонному номеру 9-1-1 можно дозвониться в любой из центров реагирования и при необходимости вызвать оперативную группу. Для всех центров сети 9-1-1 установлено требование к точности синхронизации времени не хуже **100 мс** относительно UTC.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СЛИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ В INTRANET

В ходе исследования систем сличения времени были проведены измерения в сетях Intranet двух операторов связи Украины. Эти системы идентичны и состоят из 10–15 серверов времени Stratum 1, равномерно размещенных в сети, покрывающей территорию страны. Все серверы одного типа, который имеет такие основные технические характеристики: производительность — 100 запросов/с, время реакции на запрос клиента — 10 мс, точность метки времени на выходе относительно UTC в режиме отслеживания GPS — 1 мс. Клиенты NTP встроены в маршрутизаторы IP и коммутаторы Ethernet, сервисные платформы, системы Pre-paid, компьютеры систем биллинга, управления и технического обслуживания, а также в коммутационное оборудование основной сети.

Сличение времени в сетях передачи данных — процесс по своей природе непрерывный: системные часы всех элементов сети и компьютеров управления сетью недостаточно синхронизировать лишь однажды. Системные часы выдают метку времени, которая получает приращение на каждом тактовом интервале (tick). Период «тика» изменяют косвенной подстройкой частоты генератора системных часов по протоколу NTP.

Измерения точности сличения тремя различными способами были проведены на сетях Intranet в течение четырех месяцев в условиях реальной нагрузки. Результаты обработки и анализа полученных данных свидетельствуют об адекватности всех трех способов, дающих приблизительно одинаковые оценки. В предлагаемой статье представлена схема измерений (рис. 1), наиболее обоснованная с метрологической точки зрения и позволяющая просто и наглядно трактовать полученные с ее

помощью результаты. Для оценки точности сличения времени в сети передачи данных по схеме, изображенной на рис. 1, используют статистику, которую набирают «смягчающие» алгоритмы программной реализации NTP. Системные часы измерительного компьютера с операционной системой Windows XP синхронизируют с помощью утилиты SymmTime™ [6] по опорному серверу S250 [5]. В этой схеме измерительный компьютер и опорный сервер размещены в одном станционном помещении, а утилита SymmTime™ является единственным клиентом сервера S250. Точность сличения времени в Intranet оценивают сравнением показаний синхронизированных системных часов со шкалами времени удаленных серверов с помощью прикладной программы мониторинга сетей NTP Domain Time II [7].

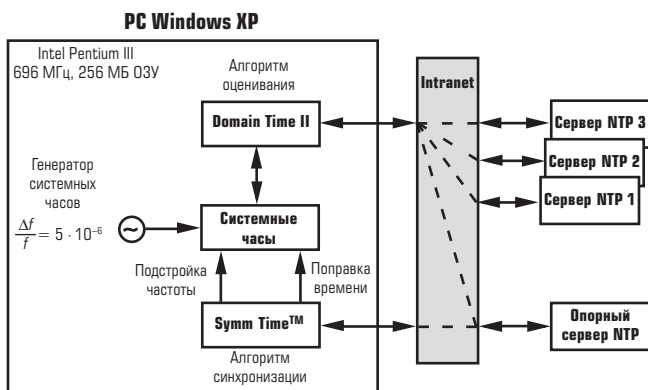


Рис. 1. Схема для измерения точности сличения времени в сети передачи данных

В результате обмена сообщениями NTP с удаленным сервером программа Domain Time II вычисляет характерное для данного сервера *расхождение* θ времени относительно системных часов и *одностороннюю задержку* d передачи. Эти вычисления выполняются независимо для трех удаленных серверов, что дает оценку точности сличения времени в виде списка выборок (θ_i, d_i) , полученных в условиях реальной нагрузки в сети, где $1 \leq i \leq 3$ — номера удаленных серверов, и, кроме того — контрольную выборку для местного опорного сервера (θ_0, d_0) .

Результаты измерений на интервале 88064 с (24 часа, 27 мин, 44 с) представлены в виде функций времени $[\theta_0(t), d_0(t)]$, $[\theta_1(t), d_1(t)]$, $[\theta_2(t), d_2(t)]$ и $[\theta_3(t), d_3(t)]$ соответственно на рис. 2–5. Если часы подводить через интервалы около 15 мин, то погрешность в основном обусловлена сетевым джиттером, а на интервалах, превышающих это значение, как правило, доминируют блуждания частоты генератора [1]. Поэтому интервал опроса опорного сервера клиентом SymmTime™ выбран 1024 с. Подведение системных часов с помощью утилиты SymmTime™ происходит так, чтобы расхождение времени оставалось в пределах ± 30 мс относительно шкалы времени опорного сервера. В зависимости от интервала обновления схема NTPv3 выбирает режим частотной либо фазовой автоподстройки [1]. Режим фазовой автоподстройки используют на интервалах менее 1024 с, поэтому в нашем случае выбран режим частотной автоподстройки, в результате которой периодическая функция расхождения времени $\theta_0(t)$ на рис. 2 имеет вид ломаной линии, причем тангенс угла наклона каждого отрезка этой линии равен неопределенности частоты генератора системных часов на соответствующем интервале подстройки, кратном 1024 с. Периодичность установившегося процесса сличения

времени свидетельствует о его непрерывной природе. СКО расхождения времени системных часов равно 14 мс, а в среднем шкалы времени системных часов и опорного сервера смещены на 5...3 мс, причем эта величина имеет тенденцию к уменьшению с увеличением интервала измерений (пунктирная линия на рис. 2). Поскольку сличение времени системных часов имеет локальный характер, то задержка передачи $\theta_0(t)$ равна нулю почти на всем интервале измерений.

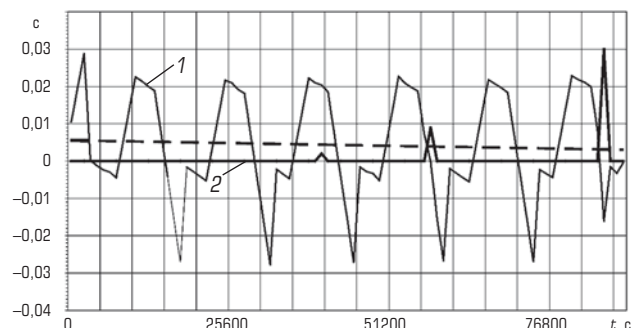


Рис. 2. Результаты измерений расхождения времени клиента относительно времени опорного сервера (СКО = 0,014 с) — кривая 1 и задержки, с — кривая 2

Сравнение показаний времени со шкалами удаленных серверов на рис. 3–5 свидетельствует о том, что все они работают одинаково, поскольку характер изменения, период, размах и СКО расхождения времени синхронизированных системных часов почти одинаковы на всех четырех графиках. Отличительные особенности измерений для каждого из четырех серверов сведены в таблице. Так как оценить удаленность серверов числом элементов сети в тракте передачи оказалось невозможным в условиях исследований, то в таблице она охарактеризована географическим расстоянием.

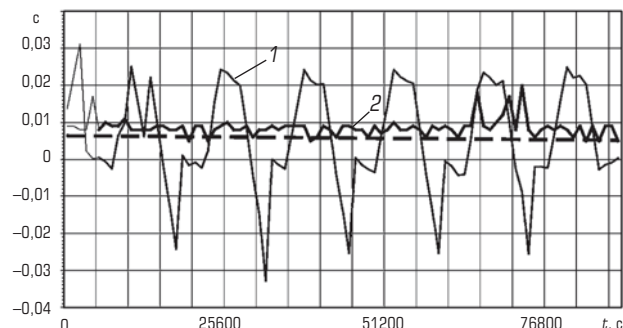


Рис. 3. Результаты измерений расхождения времени клиента относительно 1-го сервера (СКО = 0,014 с) — кривая 1 и задержки, с — кривая 2

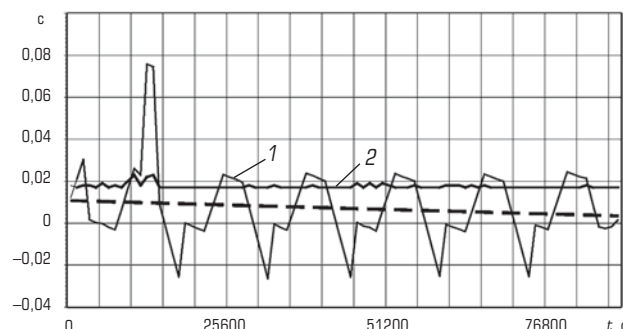


Рис. 4. Результаты измерений расхождения времени клиента относительно 2-го сервера (СКО = 0,017 с) — кривая 1 и задержки, с — кривая 2

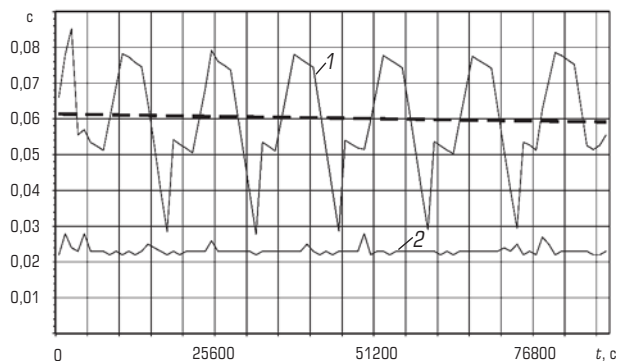


Рис. 5. Результати вимірювань розходження часу клієнта відносно 3-го сервера (СКО = 0,014 с) — крива 1 і задержки, с — крива 2

Сервер	Відстань, км	Розходження часу θ_i , с		Середнє значення задержки d_i , с
		Середнє	СКО	
Опорний	0	0,0025	0,014	0
1-й	348	0,006	0,014	0,009
2-й	479	0,004	0,017	0,018
3-й	729	0,06	0,014	0,22

Результати, приведені на рис. 2–5 і поміщені в таблиці, свідчать про те, що розходження шкали часу серверів, розміщених в радіусі близько 500 км, рівне середньому значенню розходження часу, не перевищує 6 мс, а СКО розходження часу — 17 мс. Відзначимо, що середньоквадратичне значення θ_i в контексті NTP називають джиттером i -го партнера і порівнюють з вимірними варіаціями задержок в мережі. При цьому середнє значення θ_i служить індикатором асиметрії задержок. Середнє значення односторонньої задержки передачі d_i прямо залежить від відстані і збільшується на порядок при досягненні відстані, близької до 500 км. В будь-якому випадку, чим менше задержка d_i , вичислена для i -го сервера, тим точніше буде розходження часу θ_i для цього ж сервера. Іншими словами, найкращі оцінки розходження часу будуть отримані при найменшій задержці. В цьому проявляється локальна природа сличення часу. **Можно утверждать, что в исследуемых сетях Intranet на расстояниях, превышающих 500 км, задержка передачи и расхождение времени увеличиваются на порядок. Это означает, что подсети NTP в Intranet должны отличаться по географическому признаку.**

Удаленные серверы оценивают по протоколу NTP еще по одному важному показателю — их достижимости. Сервер может оказаться недостижимым для клиента по двум причинам — из-за перегрузок в сети и вследствие того, что производительность сервера оказывается недостаточной для обслуживания слишком большого числа запросов. Оценка достижимости удаленных серверов была получена с помощью схемы измерений, которая отличается от схемы на рис. 1 тем, что системные часы подводились по усредненным поправкам времени, вычисленным по сообщениям NTP, которыми Domain Time II обменивался с 4-м сервером (удаленным на 836 км) и 5-м сервером (удаленным на 852 км). Утилита Symm Time™ в этом случае была отключена. Результат измерений представлен на рис. 6. Можно отметить заметную корреляцию расхождений времени по отношению к обоим серверам, что косвенно свидетельствует о том,

что они оба работоспособны. В то же время 4-й сервер не обрабатывает приблизительно 50% запросов, а вариации задержек в направлении к 5-му серверу значительно больше.

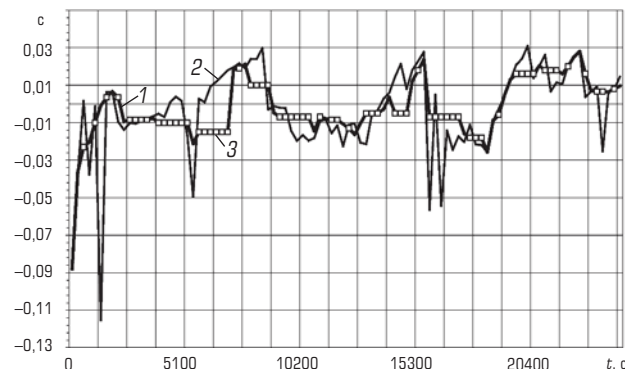


Рис. 6. Схема для оцінки досяжності віддалених серверів (інтервал опитування — 255 с): 1 — розходження часу відносно 4-го сервера, с; 2 — розходження часу відносно 5-го сервера, с; 3 — відсутність реакції 4-го сервера на запит клієнта

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОСТРОЕНИЮ ПОДСЕТЕЙ NTP

Системное проектирование подсетей NTP даже для больших сетей Intranet не сложнее, чем проектирование услуг на основе других подсетей (почта или служба доменных имен), но в распределении времени есть некоторые специфические особенности. Имеется несколько критериев проектирования, как правило, противоречивых: обеспечение заданной точности, устойчивый счет времени в условиях маловероятных отказов и перегрузок, минимизация зависимости от параметров и размещения серверов, простота и удобство конфигурирования клиентов. Как показывает опыт эксплуатации подсетей NTP, большинство серьезных нарушений работы происходит в виде случайных блокировок серверов с низкой производительностью. Например, клиент может быть сконфигурирован так, чтобы отправлять пакеты с 1-секундным интервалом одному выделенному серверу. Вначале, пока число таких клиентов невелико, серьезных проблем не возникает, но по мере развития современных сетей электросвязи число элементов сети с клиентами NTP увеличивается очень быстро и сервер перестает успевать обрабатывать запросы.

Очевидно, основой надежности сети NTP остается избыточность: серверов должно быть несколько, но оптимальное их число зависит от многих противоречивых технических факторов. **Опыт эксплуатации подсетей NTP позволяет сформулировать общие положения их построения в Интернете [1]:**

- ◆ если имеется только один сервер, то точность полностью зависит от него, так как клиент будет сличать время по нему, даже если он выйдет из строя и будет выдавать неправильные метки времени;
- ◆ если имеется два сервера, то клиент не может доверять ни одному серверу, поскольку мажоритарное решение невозможно;
- ◆ если имеется три сервера, то клиент переживет потерю только одного из них и вынесет мажоритарное решение так, что будет исключен один неправильный;
- ◆ если имеется четыре сервера или больше, то с помощью алгоритма группирования можно отыскать трех лучших из оставшихся, и даже при наличии скачкообразных поправок

времени на вход алгоритма коррекции часов поступит средневзвешенное расхождение времени.

Эти правила развертывания сетей применимы и в Intranet, но в этом случае говорят об NTP «операторского класса» со своей спецификой [5]:

- ◆ если в глобальной сети общего пользования серверы Stratum 1 предназначены для обслуживания серверов Stratum 2, которые, в свою очередь, выступают в роли арбитров для множества серверов Stratum 3 и клиентов, то в Intranet нецелесообразно прибегать к многоуровневой иерархии, так как точность синхронизации уменьшается с увеличением Stratum;

- ◆ в Intranet нагрузка на серверы Stratum 1 постоянно возрастает, и доступ клиентов к ним должен быть контролируемым — этого можно достичь, применяя ограниченное число многопортовых серверов NTP Stratum 2 повышенной производительности с проставлением меток времени на аппаратном уровне;

- ◆ в условиях постоянного обновления оборудования сетей электросвязи и растущей необходимости синхронизации времени для новых типов оборудования (например, Softswitch, коммутаторов Ethernet и маршрутизаторов IP) правила составления конфигурационных списков клиентов должны быть предельно простыми;

- ◆ качество обслуживания сети NTP в Intranet должно быть таким же, какое гарантировано для предоставления основных

услуг (эксплуатационная готовность составных частей инфраструктуры оператора не ниже 99,999%);

- ◆ подсети NTP, предназначенные для корпоративной сети IP, системы управления и технического обслуживания, а также системы биллинга должны быть изолированы друг от друга с целью повышения сетевой безопасности.

На основании этих общих положений можно развернуть полноценную сеть синхронизации текущего времени на основе систем сличения, описанных в этой статье, в виде, представленном на рис. 7. На Stratum 1 этой сети размещены существующие относительно малопроизводительные серверы, равномерно распределенные по сети. Опорными часами для них служат приемники GPS. На Stratum 2 следует установить высокопроизводительные многопортовые серверы NTP, чтобы в конфигурационном списке каждого из них были включены все серверы Stratum 1 в радиусе около 500 км. Как показывают приведенные ранее результаты исследований в данных условиях, среднеквадратичное отклонение расхождения времени на этом расстоянии не превышает 10...20 мс. Географически размещать серверы Stratum 2 следует таким образом, чтобы из любой подсети NTP три из них были бы доступны на расстоянии не более 500 км. Тогда конфигурационный список клиента NTP, встроенного в любой вновь вводимый элемент сети, зависит только от его географического положения и должен содержать адреса

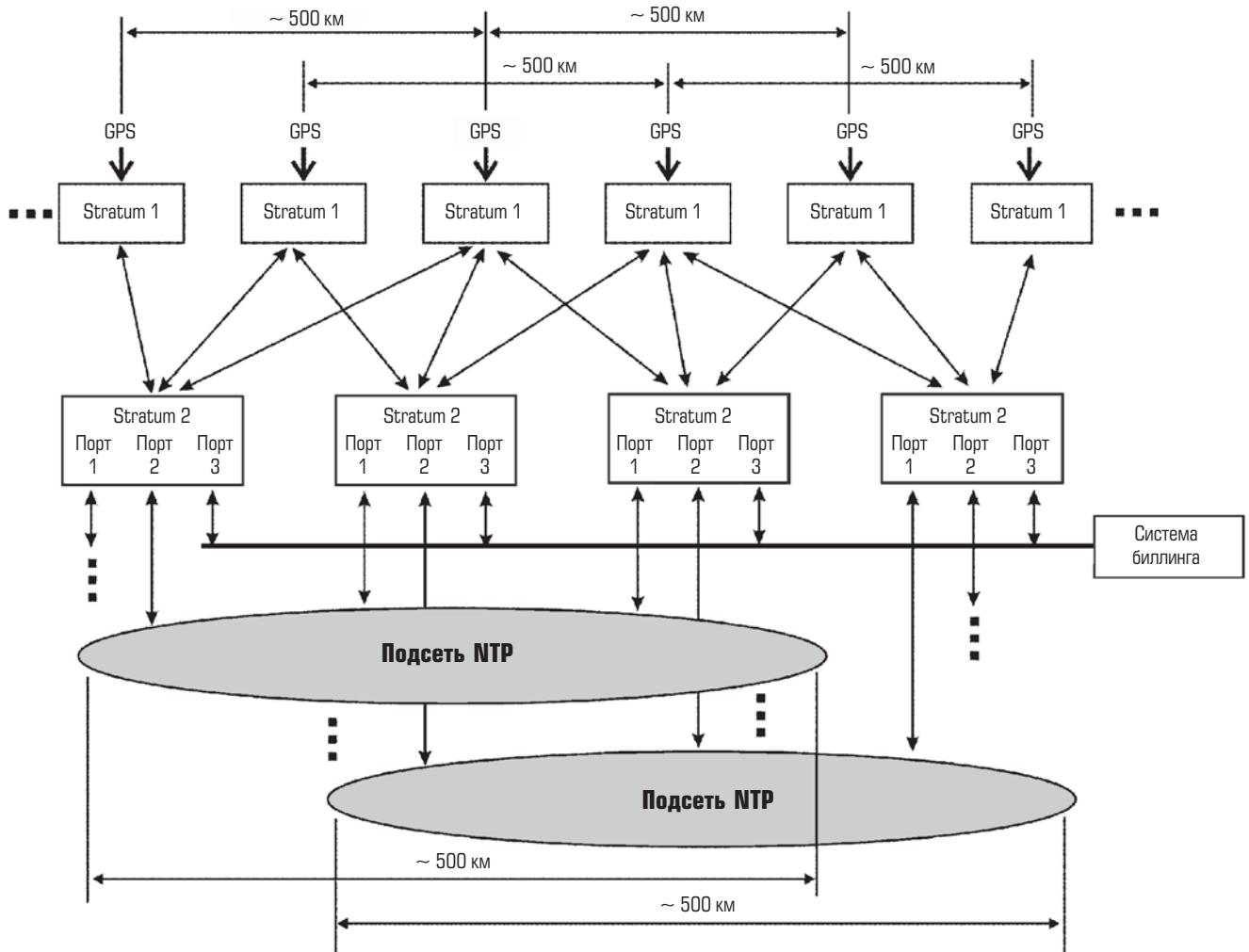


Рис. 7. Основные принципы построения подсетей NTP в Intranet

именно этих трех серверов Stratum 2. Подсети NTP целесообразно изолировать географически (с целью повышения точности сличения времени) или/и по назначению (с целью повышения сетевой безопасности). В условиях Украины для этого достаточно четырех серверов Stratum 2, которые должны удовлетворять основным техническим требованиям:

- ◆ производительность — не менее 2500 запросов/с;
- ◆ точность метки времени в режиме отслеживания GPS — не менее 100 мкс, причем около 90% меток времени должны быть проставлены с точностью порядка 50 мкс относительно UTC;
- ◆ число независимых портов 10/100Base-T — не менее 3.

* * *

Для полноценного проектирования подсетей NTR в Intranet необходимы конкретные исходные данные, для сбора которых, возможно, придется провести дополнительные исследования. Например, в качестве критерия протяженности конкретных подсетей NTP целесообразно использовать число последовательных маршрутизаторов IP в тракте передачи, а не географическое расстояние. В нашем случае, когда не было соответствующих исходных данных, протяженность подсети NTP по результатам измерений принята равной около **500 км**. Это значение можно принять в качестве оценки при эскизном проектировании. Она хотя и приближительна, но, очевидно, что в хорошо спроектированной сети Intranet число переприемов в маршрутизаторах коррелирует с географическим расстоянием. Поскольку нет требования к минимальной точности сличения времени в

сетях электросвязи, то его можно сформулировать в стандарте предприятия: целесообразно, чтобы **точность сличения времени у всех клиентов NTP была бы не хуже 100 мс относительно UTC**. Этого достаточно для посекундной тарификации разнообразных тарифных планов, и в то же время, как показывают приведенные здесь результаты, такой показатель вполне можно обеспечить в инфраструктуре, показанной на рис. 7.

Литература

1. Mills D. L. *Computer network time synchronization: the network time protocol* / Mills D. L. // CRC Press, 2006.— 304 p.
2. Mills D. L. *Precision synchronization of computer network clocks* / Mills D. L. // *Electrical Engineering Department Report 93-11-1, University of Delaware.*— November 1993.— 66 p.
3. Шайе Т. *Время то же, но место — другое. Точная синхронизация времени для задач автоматики* / Топ Шайе // АББ Ревю.— 2003.— № 2.— С. 9–14.
4. *Presentence NTP Auditor* // Bytefusion Ltd.— 2003–2004.— www.bytefusion.com.
5. *How NTP Impacts the New Telecom* // *Symmetricom Application Brief.*— 2007.— February, 7.— www.symmetricom.com.
6. *SymmTime™ is a convenient multizone desktop time utility* // *Symmetricom Timing Test & Measurement Division.*— www.symmetricom.com.
7. *Domain Time II Technical Information* // *Symmetricom Products: NTP Network Appliances.*— www.symmetricom.com.

М. И. АНТОНЮК, Е. С. САВЕНКО

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ QoS

Розглянуто можливості забезпечення якості обслуговування в мережах передавання даних.

Рассмотрены возможности обеспечения качества обслуживания в сетях передачи данных.

Possibilities of maintenance of quality of service in data transmission networks are considered.

Качество обслуживания QoS (Quality of Service) определено в [1] как вероятность соответствия сети связи заданному соглашению о трафике или же, в ряде случаев, как неформальное обозначение вероятности прохождения пакета между двумя точками сети.

Итак, QoS представляет собой совокупность технологий, позволяющих приложениям запрашивать и получать прогнозируемый уровень качества услуг с точки зрения пропускной способности сети и общей задержки доставки данных. QoS предполагает улучшение параметров сети и достижение гарантированного качества услуг.

Это обеспечивается:

- поддержкой определенной полосы пропускания на сети;
- уменьшением вероятности потери пакетов;
- предотвращением сетевых перегрузок или контролем над ними;
- настройкой и конфигурированием сетевого трафика;
- установкой количественных характеристик трафика при передаче через сеть.

Механизмами QoS являются:

- классификация и маркировка пакетов;
- управление интенсивностью трафика;
- распределение ресурсов;
- предотвращение перегрузки сети и политика отбрасывания пакетов;
- маршрутизация.

Маршрутизация на основе политики — это механизм качества обслуживания, позволяющий заменить традиционную маршрутизацию пакетов механизмом, учитывающим всевозможные настраиваемые пользователем параметры [2].

Существуют три модели реализации качества обслуживания: наилучшая возможная, интегральная и дифференцированная [3].

Наилучший возможный вид услуг реализуется в сети в том случае, когда делается все возможное для доставки пакета, но при этом ничего не гарантируется (например, FTP или HTTP).

Интегрированный вид услуг (IntServ) обеспечивает возможности приложениям запрашивать сквозные требования у