



контролируемая степень валидности значения $D(t)$ не станет равной 1 (произойдет обновление "опоздавших" датумов-аргументов).

В заключении отметим, что предложенная модель темпоральных вычислений обеспечивает автоматический контроль степени валидности темпоральных данных (автовалидация), что является важным при выполнении вычислений в различных системах реального времени.

Н.И. Виноградов

АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС GPS/GLONASS ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОДНОСТОРОННЕЙ СЕТЕВОЙ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТОВ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королёва (национальный исследовательский университет))

Маршрутизация в глобальной сети представляет собой сложный механизм. Качество процесса маршрутизации описывается такими параметрами как временная задержка пакетов, сетевой джиттер (вариация задержки), величина потерь пакетов и доступная пропускная способность канала[1]. Временная задержка и сетевой джиттер являются ключевыми параметрами для приложений, связанных с общением пользователей в сети – интернет-телефония, видеоконференции[2]. Однако существующие измерительные механизмы способны находить только двухстороннюю задержку (RTT), которая не позволяет однозначно определять OWD (onewaydelay), необходимую для правильной настройки приложений.

Для мониторинга OWD один из пяти региональных интернет-регистраторов RIPE NCC вплоть до 01 июля 2014 года предоставлял пользователям мирового интернет-сообщества доступ к сервису TestTrafficMeasurement (TTM)[3], позволявшему измерять ключевые характеристики соединения между отдельными узлами в сети Интернет, сохранять экспериментальные данные и статистически обрабатывать их. Аппаратно данный сервис реализовывался путем размещения у конечного пользователя сервера с платой приемника GPS и внешней антенны для устойчивого приема сигналов от спутников[4]. Точность измерения односторонней сетевой задержки при передаче между узлами обеспечивалась путем прикрепления к пакету точной временной метки. Для этого GPS-приемник после нахождения географического местоположения формирует на своем выходе PPS (pulse per second) прямоугольный сигнал с периодом 1 секунда и настраиваемой скважностью, фронт которого синхронизирован с временем GPS или UTC (Coordinated universal time) с точностью ± 40 нс[5]. Указанный сервис не получил широкого распространения, было запущено недостаточное количество узлов из-за их высокой стоимости и инсталляции и сопровождения. В результате проект был свернут.



Предложенная RIPENCC технология синхронизации узлов передачи данных с помощью спутниковой системы GPS/GLONASS позволяет создать доступный измерительный комплекс для измерения односторонней задержки пакетов, используя современную аппаратную базу. В основу комплекса положен комбинированный GPS/GLONASS-приемник общего применения на основе чипа UBX-G6010-ST компании U-blox AG. Выбранный приемник отличается высокой чувствительностью до -162 дБм, большим количеством программных настроек, возможностью формирования до двух сигналов PPS независимыми настройками и точностью синхронизации до ± 30 нс [6]. Также аппаратный комплекс включает в себя преобразователь логических уровней RS-232/TTL для согласования порта UART GPS/GLONASS-приемника с COM-портом персонального компьютера, а также цепи питания от порта USB. Сигналы TX и RX приемопередатчика UART модуля U-blox передаются на сервер для оперативного изменения настроек приемника, а также для получения данных о текущем режиме работы приемника и точных географических координатах расположения сетевого узла для дальнейшей обработки полученных статистических данных.

Рассмотрим теоретические аспекты формирования точного сигнала PPS для синхронизации сетевых узлов. Точность временного импульса определяется отклонением от опорного времени. Каждый навигационный спутник на орбите несет высокоточные атомные часы, которые и будут приняты нами за опорное значение. Задержка формирования импульса сигнала точного времени для любого спутника на Земле складывается из следующих составляющих [7]:

- 1) Постоянная составляющая задержки связана с задержкой распространения электромагнитной волны в волноводе между антенной и приемником.
- 2) Кратковременная составляющая задержки возникает от импульса к импульсу и связана с процессами генерации и квантования временного импульса.
- 3) Задержка неопределенности (флуктуации) положения связана эффектом многолучевого распространения сигнала или вызвана разнящимися временами прохождения сигнала в ионосфере.

Первая составляющая задержки в нашем случае играет номинальную роль, поскольку пассивная антенна расположена непосредственно на плате приемника спутниковых сигналов. Она составляет для нашего случая 0.2 нс (при длине волновода $0,05$ м). Более существенной является задержка распространения сигнала в преобразователе интерфейсов RS-232/TTL. По данным производителя микросхемы MAX3232 типовое время распространения при напряжении питания $V_{cc} = 5 \pm 0,5$ В составляет 300 нс. Обе эти составляющие задержки учтены в настройках приемника в части генерации сигнала PPS.

Ошибка квантования связана с особенностями работы встроенного генератора приемника с выходной частотой 48 МГц, при формировании сигнала PPS частотой кратному целому числу величина джиттера задержки



минимальна. Для сигнала PPS частотой 1 Гц величина ошибки квантования рассчитывается средствами встроенного программного обеспечения чипа U-bloxi может быть учтена разработчиком.

Эффект многолучевого распространения может быть компенсирован использованием приемной антенны соответствующей формы и функционированием приемника в режиме наблюдения одного навигационного спутника. Этот режим возможен в случае стационарного размещения аппаратного комплекса в месте с точно рассчитанными географическими координатами. Точность временного решения находится в прямой зависимости от точности географического решения. Точность временной синхронизации не хуже ± 10 нс возможно при точности географического решения не хуже 1 м. При длительном наблюдении видимых спутников навигационной группировки приемник способен рассчитать географическое решение с необходимой, заранее заданной точностью, после чего переходит в режим наблюдения одного выбранного спутника, что позволяет избежать влияния эффекта многолучевого распространения.

Еще один аспект использования навигационного приемника в качестве источника временной синхронизации связан с выбором параметров сигнала PPS. Для обеспечения долговременной стабильности и компенсации кратковременных флуктуаций (джиттера) целесообразно использовать сигнал с периодом $T=1$ с. Величина скважности составит

$$D = \frac{T}{\tau} = \frac{1\text{с}}{200\text{мс}} = 5,$$

Где $\tau=200$ мс - длительность импульса сигнала PPS. Этот параметр отражает характер формируемого приемником сигнала PPS, необходимого для стабильной фиксации события подсистемой обработки прерываний ПК.

Для того чтобы оценить эффективность географической маршрутизации необходимо сначала обратиться к природе задержек пакетов в компьютерных сетях. Существуют две основные причины, объясняющие задержки в сети [8]. Первая из них связана с физическими принципами и объясняется распространением сигнала с хоть и гигантской, но конечной скоростью равной скорости света в среде. Эта составляющая зависит от длины линий связи, составляющих маршрут и проходящий все промежуточные узлы. Такая составляющая задержки получила название задержки распространения.

Второй тип задержки связан с обработкой пакетов в точках передачи и приема, а также на промежуточных маршрутизаторах. Эта величина носит случайный характер и описывается теорией массового обслуживания. Различают задержку обработки, передачи, ожидания и т.д.

Целью создания аппаратного комплекса по измерению односторонней задержки передачи пакетов является проведение серии экспериментов по измерению минимальной односторонней задержки передачи по сетям на различные расстояния, что позволит построить экспериментальную кривую зависимости временной задержки от расстояния и вычлени



телекоммуникационную составляющую. Для этого будет разработан программный продукт на основе операционной системы реального времени, который возможно разместить на большом количестве измерительных узлов для проведения необходимых экспериментов и получения необходимого количества экспериментальных данных.

В работе предложена концепция и аппаратное решение по созданию комплекса для измерения односторонней сетевой задержки пакетов.

Литература

1. Chimento P. IP packet delay variation metric for IP performance metrics (IPPM)[Текст]/С. Demichelis, P. Chimento//RFC 3393, November 2002.
2. Soo Ngee K. Effect of delay and delay jitter on voice/video over IP [Текст]/L. Zhang, L. Zheng, K. Soo Ngee//Computer Communications. – 2002. – Т. 25. – №. 9. – С. 863-873.
3. Test Traffic Measurement Service [Электронный ресурс]/RIPE NCC. - Электрон. текстовые дан. on-line. – Загл. титул. экрана. -URL: <https://www.ripe.net/data-tools/projects/archive/ttm/test-traffic-measurement-service> (Дата обращения 21.02.2014).
4. Installation Instructions for GroupC TTEC Test-boxes [Электронный ресурс]/RIPE NCC. - Электрон. текстовые дан. on-line. – Загл. титул. экрана. -URL: <https://www.ripe.net/data-tools/projects/archive/ttm/current-hosts/group-c-ttec> (Дата обращения 21.02.2014).
5. U-blox - GPS Essentials of Satellite Navigation, GPS-X-02007 [Электронный ресурс]/U-Blox AG. - Электрон. текстовые дан. on-line. – Загл. титул. экрана. -URL: http://www.u-blox.com/images/stories/Resources/gps_compendiumgps-x-02007.pdf (Дата обращения 21.02.2014).
6. U-blox - UBX-G6010-ST_ProductSummary_(GPS.G6-HW-09001) [Электронный ресурс]/U-Blox AG. - Электрон. текстовые дан. on-line. – Загл. титул. экрана. -URL: https://u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/UBX-G6010-ST-TM_Product_Summary_%28GPS.G6-HW-11034%29.pdf (Дата обращения 21.02.2014).
7. U-blox- GPS-based Timing Considerations with u-blox 6 GPS receivers. Application Note]/U-Blox AG. - Электрон. текстовые дан. on-line. – Загл. титул. экрана. -URL: [http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/Timing_AppNote_\(GPS.G6-X-11007\).pdf](http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/Timing_AppNote_(GPS.G6-X-11007).pdf) (Дата обращения 21.02.2014).
8. Sukhov A. M. Evaluating the effectiveness of geographic routing based on RIPE Atlas data [Текст]/А.М.Сухов// 22nd Telecommunications forum TELFOR 2014. - Belgrade, Serbia, 2014.