

Антонюк Я.М., Шияк Б.А.

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН і МОН України, Київ

Антонюк М.І.

Державний університет телекомунікацій, Київ

ОЦІНЮВАННЯ ЗАТРИМКИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ЗА ФІКСОВАНИМИ ПРОТОКОЛАМИ У СЕГМЕНТАХ КОМП'ЮТЕРНИХ КАМПУСНИХ МЕРЕЖ

Розглянуто задачу оцінки продуктивності комп'ютерних мереж та їх сегментів - одне з основних питань формування та функціонування сучасних кампусів, освітніх просторів і корпоративних хмарних рішень. Узагальнюються вимірювання характеристик продуктивності мережі, що проведено для послідовності пакетів, які надходять на певний інтерфейс мережевого адаптера обчислювального пристрою.

Суть завдання зведено до обробки результатів активних вимірювань, що засновані на генерації спеціальних «вимірювальних» пакетів у вузлі джерела. Ці пакети повинні проходити через мережу так само, як і пакети, характеристики яких ми збираємося оцінити. Вимірювання в вузлі призначення виконуються на послідовності «вимірювальних» пакетів. У свою чергу, пасивні вимірювання засновані на аналізі характеристик реального трафіку.

Методи вирішення даного завдання засновані на систематизації параметрів, що характеризують вимірювані затримки. Таким чином, порівнюються два зазначених типу існуючих вимірювань в мережі: активні вимірювання і пасивні вимірювання.

У матеріалах зроблено висновок про наступне. При незмінному характері передачі даних різними елементами мережі, загальна ширина смуги пропускання будь-якого складового шляху в мережі буде дорівнювати мінімальній пропускну здатності складових елементів маршруту. Щоб збільшити пропускну здатність складеного шляху, спочатку необхідно звернути увагу на самі повільні елементи, так звані вузькі місця. Перелік параметрів і методи їх аналізу представляють загальну оцінку продуктивності сегментів в комп'ютерних мережах кампуса. На підставі наведених методів, робляться висновки про можливість вимірювань між будь-якими двома вузлами, або точками, мережі на підставі попередніх даних про пропускну здатність окремих елементів мережі.

Ключові слова: кампусна мережа, швидкість пульсації трафіку, значення пульсації, пікова швидкість передачі інформації, постійна швидкість передачі інформації, діапазон зміни затримки пакету, час проходження сигналу.

Antonyuk Y.M., Shyyak B.A

International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Kyiv

Antonyuk M.I.

State university of telecommunication, Kyiv

PERFORMANCE EVALUATION OF COMPUTER CAMPUS NETWORK SEGMENTS

The task of evaluating the performance of computer networks and their segments is considered - one of the main issues of the formation and functioning of modern campuses, educational spaces and corporate cloud solutions. To measure the characteristics of network performance, certain measurements were made on a

sequence of packets arriving at some interface of a network device.

Problem definition is the active measurements are based on the generation of special "measuring" packets in the source node. These packets must go through the network in the same way as packets whose characteristics we are going to evaluate. Measurements in the destination node are carried out on a sequence of "measuring" packages.

Passive measurements are based on measurements of the characteristics of real traffic.

Solution methods of the one problem based on the analysis of the parameters characterizing the delays that we measure, two types of existing measurements in the network are compared: active measurements and passive measurements.

In the materials made conclusion about the next. With the consistent nature of data transmission by different network elements, the total bandwidth of any composite path in the network will be equal to the minimum bandwidth capacity of the constituent elements of the route.

To increase the capacity of the composite path, you must first pay attention to the slowest elements, called bottlenecks.

The list of parameters and methods for their analysis represent a general assessment of the performance of segments in campus computer networks.

Keywords: *campus network, rate of traffic ripple, ripple value, peak information rate, sustained information rate, variation in packet delay, round trip time.*

Антонюк Я.М., Шияк Б.А.

Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, Киев

Антонюк М.И.

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ОЦЕНКА ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ФИКСИРОВАННЫМ ПРОТОКОЛАМ В СЕКМЕНТАХ КОМПЬЮТЕРНЫХ КАМПУСНЫХ СЕТЕЙ

Рассматривается задача оценки производительности компьютерных сетей и их сегментов - один из основных вопросов формирования и функционирования современных кампусов, образовательных пространств и корпоративных облачных решений. Обобщаются измерения характеристик производительности сети, которые проведены для последовательности пакетов, поступающих на определённый интерфейс сетевого адаптера вычислительного устройства.

Суть задачи сводится к обработке результатов активных измерений, основанных на генерации специальных «измерительных» пакетов в узле источника. Эти пакеты должны проходить через сеть так же, как и пакеты, характеристики которых мы собираемся оценить. Измерения в узле назначения выполняются на последовательности «измерительных» пакетов. В свою очередь, пассивные измерения основаны на измерениях характеристик реального трафика.

Методы решения данной задачи основаны на анализе параметров, характеризующих измеряемые задержки. Таким образом, сравниваются два указанных типа существующих измерений в сети: активные измерения и пассивные измерения.

В материалах сделан вывод о следующем. При неизменном характере передачи данных различными элементами сети, общая ширина полосы пропускания любого составного пути в сети будет равна минимальной пропускной способности составляющих элементов маршрута. Чтобы увеличить пропускную способность составного пути, сначала необходимо обратить внимание на самые медленные элементы, называемые узкими местами. Список параметров и методы их анализа представляют общую оценку производительности сегментов в компьютерных сетях кампуса. На основании приведенных методов, делаются выводы о возможности измерений между любыми двумя узлами, или точками, сети на основании предварительных данных о пропускной способности

отдельных элементов сети.

Ключевые слова: кампусная сеть, скорость пульсации трафика, значение пульсации, пиковая скорость передачи информации, постоянная скорость передачи информации, диапазон изменения задержки пакета, время прохождения сигнала.

1. Вступ

Завдання оцінювання затримок передачі даних у комп'ютерних мережах та їх сегментах - одне з основних питань формування та функціонування сучасних кампусів, освітніх просторів і корпоративних хмарних рішень [1].

Для того щоб оцінити деяку характеристику продуктивності мережі, необхідно провести певні вимірювання на послідовності пакетів, що надходять на деякий інтерфейс мережевого пристрою. Будемо порівнювати два типи існуючих вимірювань в мережі: активні вимірювання і пасивні вимірювання [2].

2. Мета дослідження

Активні вимірювання засновані на генерації в вузлі-джерелі спеціальних «вимірювальних» пакетів. Ці пакети повинні пройти через мережу той же шлях, що й пакети, характеристики яких ми збираємося оцінювати. Вимірювання в вузлі призначення проводяться на послідовності «вимірювальних» пакетів.

Малюнок 1 ілюструє ідею активних вимірювань. Ставиться завдання виміряти затримки пакетів деякого додатка А, які передаються від комп'ютера-клієнта додатка А комп'ютера-сервера додатка А через мережу.

3. Результати дослідження

Для вимірювання затримки пакетів, не будемо використовувати потік, що генерується комп'ютером клієнта. Проаналізуємо два додаткових комп'ютера - сервер-генератор і сервер-вимірювач, що додатково встановлені в мережі. Сервер генератор генерує вимірювальні пакети, а сервер-вимірювач вимірює затримки цих пакетів [3].

Для того щоб вимірювані значення були близькі до значень затримки пакетів додатка А, потрібно, щоб вимірювальні пакети проходили через мережу тим самим шляхом, що й пакети додатка А, тобто, потрібно підключити сервер-генератор і сервер-вимірювач максимально близько до оригінальних вузлів. У нашому прикладі таке наближення досягнуто за рахунок підключення додаткових вузлів до портів саме тих комутаторів S1 і S2, до яких підключені оригінальні вузли. Крім того, потрібно, щоб вимірювальні пакети мали структуру оригінальних пакетів - розміри та ознаки, що містяться в заголовках пакетів. Це потрібно для того, щоб мережа обслуговувала їх так само, як оригінальні пакети.

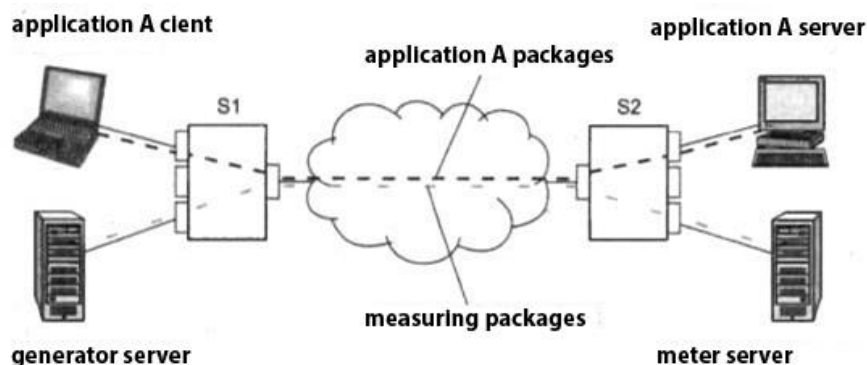


Рис. 1. Схема активних вимірювань

Пакети, з якими проводяться вимірювання, не повинні генеруватися занадто часто, інакше навантаження мережі може істотно змінитися, та результати вимірів будуть відрізнятися від

тих, які були б отримані за відсутності вимірювальних пакетів. Іншими словами, вимірювання не повинні міняти умов роботи мережі. Зазвичай інтенсивність генерації пакетів, з якими проводяться вимірювання, не перевищує 20-50 пакетів в секунду. Існує спеціальне програмне забезпечення, яке генерує такі пакети й вимірює їх характеристики за прибуттям на сервер-вимірювач.

Відзначимо, що розміщення додаткового обладнання, створення умов для вимірювальних пакетів, що наближені до умов обробки оригінальних пакетів без змін навантаження мережі, спрощує процес проведення вимірювань і дозволяє домогтися їх високої точності. Оскільки сервер-генератор створює пакети для вимірювань, то він може використовувати спеціальний формат пакетів для того, щоб помістити в них необхідну для вимірювання інформацію, наприклад, тимчасову позначку (time-stamp) відправки пакета. Потім, сервер-вимірювач використовує цю тимчасову позначку для обчислення часів затримки. Вочевидь, що для точності вимірювань затримки, потрібно мати точну синхронізацію сервера-генератора та сервера-вимірювача. Оскільки, в схемі активних вимірювань вони являють собою виділені вузли, такої синхронізації домогтися простіше, ніж в разі синхронізації клієнта і сервера додатку А. Крім того, іноді у інженерів, які проводять вимірювання, немає доступу до комп'ютерів, на яких працюють додатки, щоб встановити там програмне забезпечення для необхідних вимірювань пакетів, надходять. А якщо такий доступ існує, то операційні системи клієнта і сервера і апаратна платформа, не оптимізовані для точних вимірювань тимчасові інтервалів, а значить, вносять великі спотворення в результати. Однак переваги активної схеми вимірів не є абсолютними. У деяких ситуаціях більш кращою є схема пасивних вимірювань [4].

Пасивні вимірювання засновані на вимірах характеристик реального трафіку. Цю схему ілюструє рис. 2.

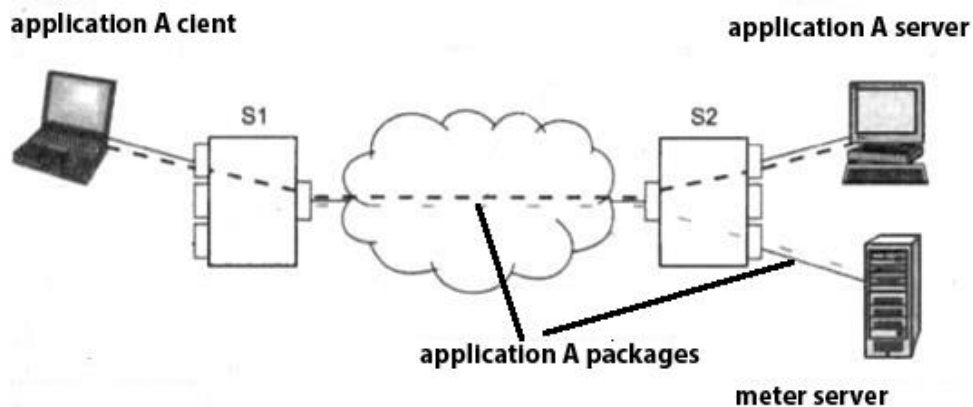


Рис. 2. Схема пасивних вимірювань.

Аргументи на користь схеми активних вимірювань описують проблеми, які доводиться вирішувати при використанні схеми пасивних вимірювань:

- складність синхронізації клієнта і сервера,
- додаткові та невизначені затримки, що вносяться універсальними мультипрограмними операційними системами комп'ютерів,
- відсутність в заголовку використовуваних додатком пакетів поля для перенесення через мережу тимчасової позначки.

Деякі з цих проблем вирішуються за рахунок використання окремого сервера-вимірювача. Цей сервер приймає той самий вхідний потік пакетів, що й один з вузлів, з тих, які беруть участь в обміні пакетами, характеристики яких потрібно виміряти (на малюнку показаний випадок, коли сервер-вимірювач ставиться паралельно сервера додатку А). Для того що б

сервер-вимірювач отримував той самий вхідний потік пакетів, що і оригінальний вузол, зазвичай вдаються до дублювання вимірюваного трафіку на порт, до якого підключений сервер-вимірювач. Таку функцію, звану зеркалацією портів, підтримують багато комутаторів локальних мереж. Сервер-вимірювач може працювати під управлінням спеціалізованої операційної системи, яка оптимізована для виконання точних вимірювань часових інтервалів.

Складніше вирішити проблему синхронізації.

Деякі протоколи переносять тимчасові позначки в своїх службових полях, так що якщо, наприклад, додаток А використовує такий протокол, то частина проблеми вирішується. Однак, в цьому випадку залишається відкритим питання про точність системного часу в комп'ютері клієнта додатка А. Тому в пасивному режимі вимірюють ті характеристики, які не вимагають синхронізації передавача та приймача, наприклад, оцінюють частку пакетів, що втрачено.

Можливим варіантом реалізації пасивної схеми вимірювань є відсутність виділеного сервера-вимірювача. Деякі додатки самі виконують вимірювання затримок вступників пакетів, наприклад, такими функціями володіють багато додатків IP-телефонії та відеоконференцій, тому що інформація про затримки пакетів допомагає визначити можливу причину незадовільної якості роботи програми.

Характеристики затримок пакетів.

Середнє арифметичне значення цієї метрики описується як час передачі пакета певного типу між деякими двома вузлами мережі. Під певним типом розуміється пакет, який має певний набір задалегідь заданих ознак; стандарт жорстко не обумовлює ці ознаки, але вказує, що ними можуть бути, наприклад, розмір пакета, тип програми, що згенерував пакет, тип протоколу транспортного рівня, який доставив пакет, а також деякі інші. СENSE використовуваного набору ознак полягає в тому, щоб виділити із загального потоку пакетів, що приходять у вузол призначення, ті пакети, характеристики яких цікавлять фахівця, що проводить вимірювання.

Так як в цьому визначенні враховується час буферизації пакета вузлом-одержувачем, то затримка залежить від розміру пакета. Для отримання порівнянних результатів бажано в визначенні типу пакетів задавати певний розмір пакета. RFC 2679 не пояснює, чому було обрано визначення затримки, залежне від розміру пакета, але можна припускати, що це пов'язано із зручністю вимірювання часу приходу пакету, оскільки програмно його можна виміряти тільки після завершення запису всього пакета в буфер операційної системи. На практиці зрозуміти, чи відноситься пакет до потрібного типу, при отриманні лише його першого біта також неможливо [5].

У тому випадку, якщо пакет не прибув в вузол призначення за деякий досить великий час, то пакет вважається загубленим, а його затримка невизначеною (її можна вважати рівною нескінченності).

Послідовність вимірів рекомендується виконувати в випадкові моменти часу, що підкоряються розподілу Пуассона. Такий порядок вибору часу вимірів дозволяє уникнути можливої синхронізації вимірювань з будь-якими періодичними флуктуаціями в поведінці мережі, так як така синхронізація може істотно спотворити спостережувану картину.

RFC 2679 рекомендує використовувати такі статистичні оцінки для одностороннього часу затримки:

- квантиль для деякого відсотка, при цьому саме значення відсотка не обговорюється;
- середнє значення затримки;
- мінімальне значення затримки (у вибірці).

Для оцінки затримок зручно використовувати Квантилі в тих випадках, коли відсоток

втрат пакетів досить високий, оскільки обчислення середнього значення затримки викликає певні труднощі (можна ігнорувати втрати пакетів, але тоді ми отримаємо дуже занижену оцінку). Для обчислення квантиля втрачені пакети можна розглядати як пакети, що прийшли з нескінченно великою затримкою, яка, природно, більше значення квантиля.

Час реакції мережі має інтегральну характеристику продуктивності мережі з точки зору користувача. Саме цю характеристику має на увазі користувач, коли говорить: «Сьогодні мережа працює повільно».

Час реакції мережі можна представити у вигляді декількох доданків, наприклад, як на рис. 3:

- час підготовки запитів на клієнтському комп'ютері ($t_{\text{клієнт1}}$),
- час передачі запитів між клієнтом і сервером через мережу ($t_{\text{мережі}}$),
- час обробки запитів на сервері ($t_{\text{серверу}}$),
- час передачі відповідей від сервера клієнту через мережу (знову $t_{\text{мережі}}$),
- час обробки одержуваних від сервера відповідей на клієнтському комп'ютері ($t_{\text{клієнт2}}$).

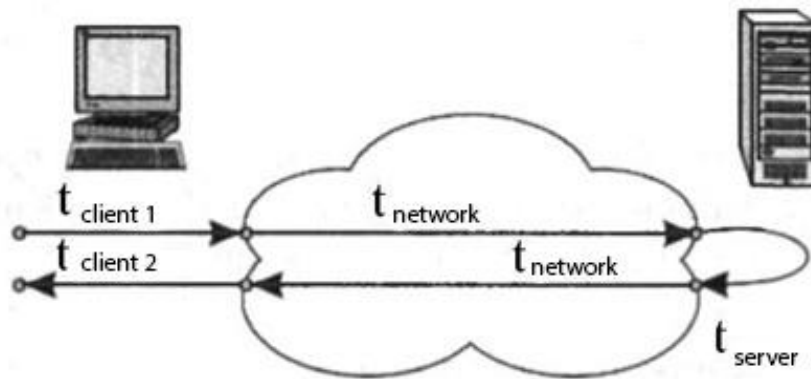


Рис. 3. Час реакції і час відповіді на запит

Час реакції мережі характеризує мережу в цілому, в тому числі якість роботи апаратного і програмного забезпечення серверів. Для того щоб окремо оцінити транспортні можливості мережі, використовують іншу характеристику - час відповіді на запит в мережі.

Час обороту пакета (Round Trip Time, RTT) надходить до числа стандартів IPPM. Час обороту є складовою часу реакції мережі - це «чистий» час транспортування даних від вузла відправника до вузла призначення та назад без урахування часу, що витрачено вузлом призначення на підготовку відповіді:

$$RTT = 2 \times t_{\text{мережі}}$$

Одиничне значення часу обороту визначається як інтервал часу між відправленням першого біта пакету певного типу вузлом-відправником вузлу-одержувачу і отриманням останнього біта цього пакета вузлом-відправником після того, як пакет був отриманий вузлом одержувачем і відправлений назад.

При цьому вузол-одержувач повинен відправити пакет вузлу-відправнику якнайшвидше щоб не вносити спотворення за рахунок часу обробки пакета. RFC 2861 рекомендує ту ж послідовність вимірів часу обороту, що і для односторонньої затримки, тобто випадкові інтервали, що підкоряються розподілу Пуассона [6].

RTT є зручною для вимірювань характеристикою, так як для її отримання не потрібно

синхронізація вузла-відправника і вузла-одержувача (вузол-відправник ставить тимчасову позначку на відправляється пакет, а потім після прибуття його від вузла-одержувача порівнює цю позначку зі своїм поточним системним часом).

Однак, інформативність часу обороту менше, ніж односторонньої затримки, тому що інформація про затримку в кожному напрямку втрачається, а це може ускладнити пошук проблемного шляху в мережі.

Варіація затримки пакетів, яку також називають джиггер (jitter), дуже важлива для деяких додатків. Так, при відтворенні відеокліпу сама по собі затримка не надто істотна, наприклад, якщо усі пакети затримуються рівно на десять секунд, то якість відтворення не постраждає, а той факт, що картинка з'являється трохи пізніше, ніж її відіслав сервер, користувач навіть не помітить (проте, в інтерактивних відеододатках, таких як відеоконференції, подібна затримка буде, звичайно, вже відчутно дратувати). А ось якщо затримки постійно змінюються в межах від нуля до 10 секунд, то якість відтворення кліпу помітно погіршиться, для компенсації таких змінних затримок потрібна попередня буферизація пакетів, що надходять протягом часу, який перевищує варіацію затримки.

Середнє арифметичне значення оцінки варіації затримки визначається в RFC 3393 як різниця одnobічних затримок для пари пакетів заданого типу, що отримано на інтервалі вимірювань T [7].

Також, як і для односторонньої затримки, тип пакета може задаватися будь-якими ознаками, однак для визначеності вимірювань варіації затримки розміри обох пакетів пари повинні бути однаковими. Основне питання в цьому визначенні - яким чином вибрати пару пакетів на інтервалі вимірювання T ? Для відповіді на це питання в RFC 3393 вводиться додаткова функція - так звана, виборча функція, яка і визначає правила вибору пари пакетів. Стандарт не визначає точне значення цієї функції, він тільки говорить, що вона повинна існувати, і дає приклади можливих функцій. Наприклад, пари можуть утворюватися з усіх послідовних пакетів, отриманих на інтервалі. Іншим прикладом є вибір пакетів з певними номерами в послідовності отриманих пакетів.

Для оцінки варіації затримки відповідно до рекомендацій RFC 3393 вимагається вимірювання затримок певних пар пакетів. У той же час часто використовується інший підхід до визначення варіації затримки, що вимагає тільки знання вибірки одnobічних затримок без їх угруповання в пари, що відповідають певним умовам. Наприклад, в документі «Метрики IP-продуктивності для користувачів» в якості оцінки варіації затримки пропонується розкид затримки (delay spread). Розкид затримки визначається як різниця між 75 і 25-відсотковими квантилями односторонньої затримки. Таким чином, для того щоб оцінити варіацію затримки по цьому визначенню, досить отримати вибірку значень одnobічної затримки, а потім знайти відповідні квантілі.

Характеристики швидкості передачі. Швидкість передачі даних (information rate) вимірюється на будь-якому проміжку часу як частка від ділення обсягу переданих даних за цей період на тривалість періоду. Таким чином, дана характеристика завжди є середньою швидкістю передачі даних.

Однак, в залежності від величини інтервалу, на якому вимірюється швидкість, для цієї характеристики традиційно використовується одне з двох найменувань: середня або пікова швидкість.

Середня швидкість передачі даних (Sustained Information Rate, SIR) визначається на досить великому періоді часу. Це середньострокова характеристика, період часу повинен бути достатнім, щоб можна було говорити про стійке поведінку такої випадкової величини, якої є швидкість.

Повинен бути обговорений період контролю цієї величини, наприклад 10 секунд. Це

означає, що кожні 10 секунд обчислюється швидкість інформаційного потоку і порівнюється з вимогою до цієї величини. Якби такі контрольні виміри не проводилися, то це позбавило б користувача можливості пред'являти претензії постачальнику в деяких конфліктних ситуаціях. Наприклад, якщо постачальник у один з днів місяця взагалі не буде передавати призначений для користувача трафік, а в інші дні дозволить користувачеві перевищувати обумовлений межа, то середня швидкість за місяць виявиться в нормі. У цій ситуації тільки регулярний контроль швидкості допоможе користувачеві відстояти свої права.

Пікова швидкість передачі даних (Peak Information Rate, PIR) - це найбільша швидкість, яку дозволяється досягати призначеному для користувача потоку протягом обумовленого невеликого періоду часу T .

Цей період зазвичай називають періодом пульсації. Вочевидь, при передачі трафіку можна говорити про цю величині тільки з деяким ступенем ймовірності. Наприклад, вимога до цієї характеристики може бути сформульовано так: «Швидкість інформації не повинна перевищувати 2 Мбіт / с на періоді часу 10 мс з ймовірністю 0,95».

Часто значення ймовірності опускають, маючи на увазі близькість її до одиниці. Пікова швидкість є короткостроковою характеристикою. PIR дозволяє оцінити здатність мережі долати пікові навантаження, що характерні для пульсуючого трафіка, і приводять до перевантаження. Якщо в SLA обумовлені обидві швидкості (SIR і PIR), очевидно, що періоди пульсації повинні супроводжуватися періодами відносного «затишшя», коли швидкість падає нижче середньої. В іншому випадку показник середньої швидкості дотримуватися не буде.

Величина пульсації (зазвичай позначається V) вживається для оцінки ємності буфера комутатора, необхідного для зберігання даних під час перевантаження. Величина пульсації дорівнює загальному обсягу даних, що надходять на комутатор протягом дозволеного інтервалу T (періоду пульсації) передачі даних з піковою швидкістю (PIR):

$$V = \text{PIR} \times T$$

Ще однією характеристикою швидкості передачі є **коефіцієнт пульсації трафіку** - це відношення максимальної швидкості на будь-якому невеликому періоді часу до середньої швидкості трафіку, виміряної на тривалому періоді часу. Невизначеність тимчасових періодів робить коефіцієнт пульсації якісною характеристикою трафіку.

Висновки.

Швидкість передачі даних можна вимірювати між будь-якими двома вузлами, або точками, мережі. Наприклад, між клієнтським комп'ютером і сервером, між вхідним і вихідним портами маршрутизатора. При цьому, для аналізу і настройки мережі достатньо знати дані про пропускну здатність окремих елементів мережі [8].

При послідовному характері передачі даних різними елементами мережі загальна пропускну здатність будь-якого складового шляху в мережі буде дорівнювати мінімальній з пропускну здатностей складових елементів маршруту.

Для підвищення пропускну здатності складеного шляху необхідно в першу чергу звернути увагу на самі повільні елементи, звані вузькими місцями (bottleneck).

Список наведених параметрів і методів їх аналізу надають загальну оцінку продуктивності сегментів в комп'ютерних кампусних мережах.

Список використаної літератури:

1. Манако А.Ф., Синиця Е.М. «Современные научнообразовательные пространства: технологии и подходы» Proc. 1-st Intern. Conf. ITEA-2006. 29–31 May 2006. – Kiev, IRTС. – P. 37–51.
2. Бехтерев А.А. «Качество сетей передачи данных. Программные и аппаратные

измерения» <https://habr.com/post/250821/>

3. Коннов, А.Л. «Исследование процессов функционирования ЛВС на имитационных моделях с целью ее оптимизации» Труды научно-технической конференции с международным участием. Самара, 2006. – С. 208-215

4. Антонюк Я.М. «Аналіз сучасних підходів до організації телекомунікаційної інфраструктури кампусних комп'ютерних мереж навчально-освітнього простору академічного закладу.» УСИМ.- 2012, - № 3. – С. 79 -85.

5. RFC2679 A One-way Delay Metric for IPPM: <https://tools.ietf.org/html/rfc2679>

6. RFC 2861 TCP Congestion Window Validation: <https://tools.ietf.org/html/rfc2861>

7. RFC3393 IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM): <https://tools.ietf.org/html/rfc3393>

8. Гриценко В.І., Урсатьев А.А. «Информационные технологии – тенденция, пути развития» УСИМ. – 2011. – № 5. – С. 3–20.

References

1. Manako A.F., Sinica E.M. (2006) “Sovremennye nauchnoobrazovatel'nye prostranstva: tekhnologii i podhody.” *Proc. 1-st Intern. Conf. ITEA-2006. 29–31 May 2006, Kiev, IRTC*: 37–51 Print..

2. Bekhterev A.A. “The quality of data networks. Software and hardware measurements” <https://habr.com/post/250821/>

3. Konnov, A.L. (2006) “The study of the functioning of the LAN on simulation models in order to optimize it “ *Proceedings of the scientific and technical conference with international participation. Samara*: 208-215. Print.

4. Antonyuk Y.M. (2012) “Analysis of current benefits to the organization of telecommunication and infrastructure of campus computers” *USiM*, 3:79 -85. Print.

5. RFC2679 A One-way Delay Metric for IPPM <https://tools.ietf.org/html/rfc2679>

6. RFC 2861 TCP Congestion Window Validation <https://tools.ietf.org/html/rfc2861>

7. RFC3393 IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM) <https://tools.ietf.org/html/rfc3393>

8. Gricenko V.I., Ursat'ev A.A. (2011) “Information technology - a trend, development paths” *USiM*, 5: 3–20. Print.

Автори статті (Authors of the article)

Антонюк Ярослав Михайлович - н.с., Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН і МОН України (Antonyuk Yaroslav Mikhailovich – Researcher, International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine) Phone - +38 (050) 3521760. E-mail - ant@noc.irtc.org.ua.

Шияк Богдан Антонович – м.н.с., Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН і МОН України (Shuyak Bohdan Antonovych – Junior Researcher, International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Phone - +38 (050) 3521760. E-mail - ant@noc.irtc.org.ua

Антонюк Михайло Іванович – к.т.н., доцент, доцент кафедри Телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій (Antoniuk Mikhail Ivanovych – PhD in Technics, Associate Professor of the Department of Telecommunication Systems and Networks). Phone 050-3521760, e-mail: 2miant@gmail.com