

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОСТІ РОБОТИ ПРОТОКОЛІВ ГАНТОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, БАЗОВАНИХ НА UDP У МІЖКОНТИНЕНТАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

У роботі проведено результати практичного порівняння роботи протоколів гарантованої передачі даних, базованих на UDP (UTP,  $\mu$ TP) у міжконтинентальній мережі та проаналізовано ефективність їх роботи залежно від зміни вхідного та вихідного буферів. Показано, що для ефективної роботи за заданих умов оптимальнішим є UDT з великим вхідним та вихідним буфером.

Ключові слова: протокол передачі даних, міжконтинентальна мережа, гарантована доставка даних.

R.P. STRUBYTSKY

Lviv Polytechnic National University

### COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SPEED OF PROTOCOLS' WORK OF DATA TRANSFER BASED ON UDP IN INTERCONTINENTAL NETWORK

The practical comparison of data transfer protocols based on UDP (UTP,  $\mu$ TP) in intercontinental network and analyses of the effectiveness of their work depending on changes in the input and output buffers. For effectively data transfer under given conditions are UDT-protocol with large input and output buffer. As a result of the conducted research it was found that for efficient transfer of data through the Intercontinental communication channel, we must use the data transfer Protocol UDT with a fairly large clipboards (from 2MB to 8MB for 1Gb of bandwidth). The research results allow to conclude on the feasibility of practical use of the UDT Protocol with a sufficiently large transmission buffers for implementing data transmission between servers cloud storage.

Keywords: data transfer protocol, intercontinental network, guaranteed data delivery.

#### Постановка проблеми

Найпопулярнішими протоколами передачі даних в мережі Internet є TCP та UDP. Протокол TCP є найбільш поширеним протоколом та забезпечує гарантовану доставку даних. Дані представлені у вигляді потоків байтів зі встановленням з'єднання і застосовується у випадках, коли потрібна гарантована доставка повідомлень[4]. Натомість протокол UDP забезпечує доставку дейтограм, але не вимагає підтвердження їх отримання. Протокол UDP не вимагає з'єднання з віддаленим модулем UDP. До заголовку IP-пакета UDP додає поля порт відправника і порт одержувача, які забезпечують мультиплексування інформації між різними прикладними процесами, а також поля довжини UDP-дейтограми і контрольної сума, що дозволяють підтримувати цілісність даних. Таким чином, якщо на рівні IP для визначення місця доставки пакета використовується адреса, на рівні UDP – номер порта.

#### Актуальність теми

У зв'язку із швидким розвитком індустрії послуг базованих на мережі Internet, виникає потреба у швидких протоколах передачі даних. Альтернативним напрямком розвитку таких протоколів є надбудови над протоколом UDP для забезпечення гарантованої доставки даних. Використання UDP-базованих протоколів у порівнянні з TCP є більш ефективним на великих відстанях, тобто при великих затримках [2].

Найпопулярнішими представниками таких надбудов над протоколом UDP є UTP [1] та  $\mu$ TP [3]. Проте використання цих протоколів також викликають труднощі при їх налаштуваннях до реального стану мережі. Однією з найбільш актуальних проблем дослідження ефективності протоколів передачі даних є правильно вибрана конфігурація протоколів (вхідних даних) при передачі даних на великі і дуже великі відстані. Метою роботи є розгляд двох найпопулярніших протоколів, дослідження ефективності їх та аналіз найбільш перспективного протоколу та оптимальних його параметрів.

#### Постановка задачі

При передачі даних на незначних відстанях з малими часами затримки, в основному, використовувався лише протокол TCP, який показав себе, як недостатньо ефективний для великих відстаней передачі даних.

Для використання модифікованих протоколів передачі даних на великих відстанях потрібно дослідити вплив параметрів цих протоколів на сумарну швидкість передачі. На прикладі реального хмарного сховища даних протестовано протоколи передачі даних при різних буферах цих протоколів та отримано показники швидкості передачі даних на часових зрізах, що дає змогу проаналізувати перепади швидкості передачі даних та загальну швидкість. Ці параметри дозволяють визначити ефективний протокол та вхідні параметри цього протоколу для найбільш ефективної передачі даних.

Для порівняння ефективності протоколів необхідно дослідити спільні конфігураційні параметри цих протоколів.

UDT протокол має наступні конфігураційні параметри:

- MSS – максимальний розмір пакету UDP;
- SND SYN – режим синхронізації даних при відправці;
- RCV SYN – режим синхронізації даних при отриманні;
- CC – алгоритм користувача управління перевантаженням;
- FC – максимальний розмір вікна;
- UDT\_SNDBUF – розмір буфера UDT-каналу при відправці;

- UDT\_RCVBUF – розмір буфера UDT-каналу при отриманні;
- UDP\_SNDBUF – розмір буфера UDP-каналу при відправці;
- UDP\_RCVBUF – розмір буфера UDP-каналу при отриманні;
- LINGER – час затримки при закритті каналу;
- RENDEZVOUS - включення режиму "рандеву" для обходу брандмауера;
- SNDTIMEO – таймаут відправки повідомлення;
- RCVTIMEO – таймаут отримання повідомлення;
- REUSEADDR – повторне використання адреси;
- MAXBW – максимальна пропускна здатність каналу (швидкість передачі даних).

Натомість протокол  $\mu$ TP має дещо менший список конфігураційних параметрів протоколу:

- SO\_SNDBUF – розмір буфера  $\mu$ TP -каналу при відправці;
- SO\_RCVBUF – розмір буфера  $\mu$ TP -каналу при отриманні;
- SO\_UTPVERSION – версія протоколу (0 або 1), що встановлює визначені розробником розміри

буферів при відправці та отриманні в каналі  $\mu$ TP.

Для чистоти дослідження, в роботі змінювалися лише спільні (аналогічні) для двох протоколів параметри – це величина буферу при відправці та отриманні даних. Для нехтування похибками часу передачі даних було прийняте рішення використовувати параметри для буферів кратні 512 байт (розміру буферу читання/запису файлової системи на серверах).

Метою роботи було визначення ефективності протоколів передачі даних при різних розмірах буферів у міжконтинентальній мережі хмаркового сховища даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити швидкість передачі даних при різних величинах буфера;
- проаналізувати зміни швидкості передачі даних під час передачі одного блоку даних;
- встановити залежність швидкості передачі даних від величини буфера;
- зробити висновок про ефективність протоколів, які досліджуються.

#### Розв'язок задачі

Для дослідження було вибрано сервери хмаркового сховища даних, які територіально розміщені в США та Нідерландах. Канал зв'язку між серверами сховища – 1Gb. "Чорною скринькою" в даному дослідженні є зв'язок, а саме його стабільність та всі можливі брандмауери на даному каналі зв'язку. Експерименти проводилися на файлах великих розмірів, адже як раз при їх передачі виникають проблеми швидкості передачі. Для експерименту було вибрано файл розміром 200MB. Усі заміри проводились для кожного тесту не менше трьох разів і брались для аналізу усереднені показники. Оскільки експерименти проводилися на одних і тих же даних трафік для всіх експериментів з певною імовірністю є подібним. Передача даних проводилась як в одну, так і в іншу сторону, що дозволило ввести симетричність в отримані результати.

У результаті проведених тестових випробувань було отримано залежності часу передачі файлу від розміру буфера (табл. 1).

Таблиця 1

| Залежність часу передачі файлу від розміру буфера |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|
| Розмір буфера                                     | Час передачі UTP (с) | Час передачі UDT (с) |
| 16384   | 2439.09              | 2151.4               |
| 32768   | 1114.08              | 1811.28              |
| 65536   | 527.74               | 1655.22              |
| 131072  | 269.1                | 649.27               |
| 262144  | 136.58               | 337.64               |
| 524288  | 77.58                | 169.57               |
| 1048576   | 67.15                | 67.54                |
| 2097152   | 66.77                | 29.51                |
| 4194304   | 67.12                | 13.05                |
| 8388608   | 86.92                | 6.5                  |
| 16777216  | 78.6                 | 6.0                  |
| 33554432  | 97.22                | 6.0                  |
| 67108864  | 97.24                | 6.51                 |
| 134217728   | 67.43                | 5.03                 |
| 268435456   | 67.21                | 6.38                 |
| 536870912   | 67.44                | 5.5                  |

Як видно з графіка залежності часу передачі від розміру буфера (рис. 1), швидкість для обох протоколів спадає за експоненціальним законом, що й повинно бути з чисто теоретичних міркувань. Так як міжконтинентальна розподілена мережа є мережею з комутації пакетів, математична модель її представляється Марківським процесом. Робота цього процесу моделюється розподілом Пуассона:

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

і відповідно функція розподілу для моделювання часу в процесі Пуассона є експоненціальною функцією:

$$P(x) = \lambda e^{-\lambda}$$

Відповідно до цієї моделі, лінія тренду для протоколу UDT –  $P(x) = 2777e^{-0.000001x}$  при  $R^2 = 0,89$ , а для UTP –  $P(x) = 1778e^{-1.822x}$  при  $R^2 = 0,86$ .

Хоча при розмірах буфера до 1048576 час передачі за протоколом UTP менший за час передачі за протоколом UDT, після подальшого збільшення розміру буфера протокол UDT далі зберігає тенденцію до зменшення часу передачі, а UTP - час практично не змінюється в межах деякого коридору значень (Рис. 1). Це може говорити про те, що для протоколу UTP відбувається насичення швидкості, і він не може практично збільшити швидкість передачі. Для протоколу UDT також є така точка, але на рівні розміру буфера - 8388608. При цьому час передачі тестових файлів при оптимальних параметрах обидвох протоколів у 10 разів менший для протоколу UDT, що вже говорить про доцільність його використання у порівнянні з UTP.

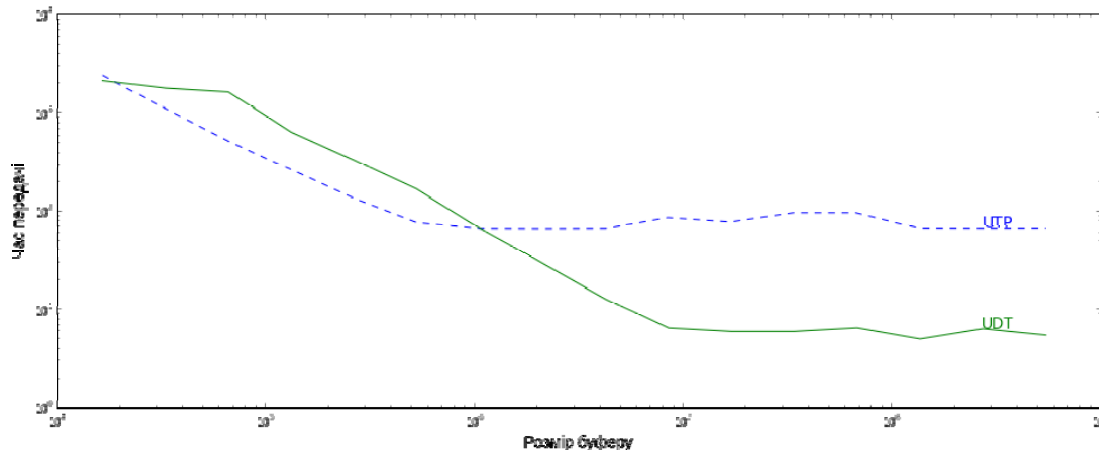


Рис. 1. Залежність часу передачі від розміру буфера

Враховуючи, що поточна швидкість змінюється в процесі передачі варто було б і її зміни проаналізувати. Для цього було отримано значення поточної швидкості в залежності від розміру буфера (Табл. 2). За даними значеннями поточної швидкості було обчислені їх середні значення для різних розмірів буфера та значення середньо-квадратичного відхилення.

Таблиця 2

| Розмір буфера | UTP         |                | UDT         |                |
|---------------|-------------|----------------|-------------|----------------|
|               | $\mu_{UTP}$ | $\sigma_{UTP}$ | $\mu_{UDT}$ | $\sigma_{UDT}$ |
| 16384         | 0.08        | 0.0            | 0.09        | 0.22           |
| 32768         | 0.18        | 0.01           | 0.11        | 0.19           |
| 65536         | 0.38        | 0.03           | 0.12        | 0.32           |
| 131072        | 0.74        | 0.12           | 0.31        | 0.44           |
| 262144        | 1.46        | 0.31           | 0.59        | 0.91           |
| 524288        | 2.58        | 0.97           | 1.18        | 1.9            |
| 1048576       | 2.98        | 1.41           | 2.96        | 3.74           |
| 2097152       | 3.0         | 1.42           | 6.78        | 15.78          |
| 4194304       | 2.98        | 1.4            | 15.32       | 52.6           |
| 8388608       | 2.3         | 1.57           | 30.75       | 150.12         |
| 16777216      | 2.54        | 1.36           | 33.32       | 214.96         |
| 33554432      | 2.06        | 1.63           | 33.32       | 253.98         |
| 67108864      | 2.06        | 1.72           | 30.74       | 207.26         |
| 134217728     | 2.97        | 1.4            | 39.8        | 267.24         |
| 268435456     | 2.98        | 1.41           | 31.35       | 249.5          |
| 536870912     | 2.97        | 1.4            | 36.35       | 255.71         |

Як бачимо з результатів замірів поточних швидкостей передачі при низьких розмірах буфера (до 1048576) середня швидкість UTP і UDT є, практично, співрозмірними, хоча й UTP показує кращі результати. Для протоколу UDT спостерігається збільшення середньоквадратичного відхилення швидкості, що говорить про зміни швидкості в процесі передачі. Після переломного розміру буфера (8388608) відхилення швидкості стає досить суттєвим. Згідно практичних замірів при даних параметрах мережі середня швидкість протоколу передачі UDT в 10-15 разів вища за середню швидкість протоколом UTP.

Великі значення середньо-квадратичного відхилення вказують на значну зміну швидкості у процесі передачі, що негативно впливає на якість обслуговування клієнтів. Рис. 2 демонструє залежність поточної швидкості протоколу  $\mu$ TP на малих буферах стабільну та високу швидкість, як натомість UDT має дещо меншу швидкість і більш не стабільну, з різкими перепадами (про що й говорить більше значення середньоквадратичного відхилення). Аналогічні процеси спостерігаються при збільшенні буфера до 2097152 байт.

При розмірі буфера 524288 графік швидкості (Рис. 3 явно показує як протокол  $\mu$ TP плавно збільшує

швидкість і стабільно її тримає, натомість UDT швидко розганяється і має більшу амплітуду коливань, що вказує на його неможливість стабільно втримувати швидкість.

Більш цікавим є результати на рис. 4. Рисунок чітко демонструє коливання швидкості протоколу UDT, що символізує швидкі спроби збільшити швидкість, але це приводить до швидкого заповнення буферу. При пустому буфері передача зупиняється для отримання даних у буфер, після чого швидкість знову зростає.

Іншим прикладом є рис. 5 на якому чітко видно коливання протоколу UDT, що символізує швидкі спроби збільшити швидкість при відносно малих втратах та швидке падіння швидкості для зменшення втрат. Даний алгоритм управління перевантаженням є стандартний алгоритм UDT, який може бути замінений на користувальчий за необхідності.

Коли розмір буфера зростає більше 2097152 байт протокол UDT зміг збільшити швидкість передачі даних та заповнити до 78% каналу передачі даних. Натомість  $\mu$ TP, не зміг заповнити більше 7% каналу передачі даних. Однією з можливих причин може бути вміння сучасних маршрутизаторів та брандмауерів розрізняти протокол передачі даних торента ( $\mu$ TP) та примусово обмежувати його швидкість.

Дослідження показало, що для протоколів UDT та  $\mu$ T Р величина буферу відіграє велику роль у швидкості передачі даних.

При своїй простоті та стабільності протокол  $\mu$ TP не дає бажаних результатів по швидкості.

В свою чергу протокол UDT при своїй нестабільній (велика амплітуда коливань) швидкості передачі даних дає кращі результати за швидкодією. А той фактор, що даний протокол має більш гнучку систему налаштування дає змогу розробникам більш точно сконфігурувати даний протокол, а заданий канал передачі даних, в порівнянні з  $\mu$ TP.

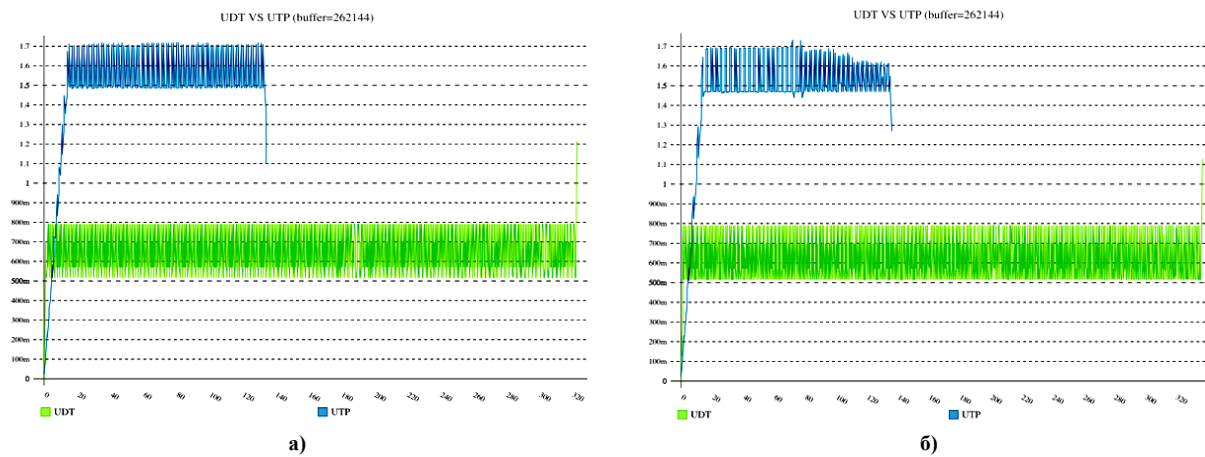


Рис. 2. Швидкість передачі даних при буферах 262144 (а) EU – US (б) US – EU

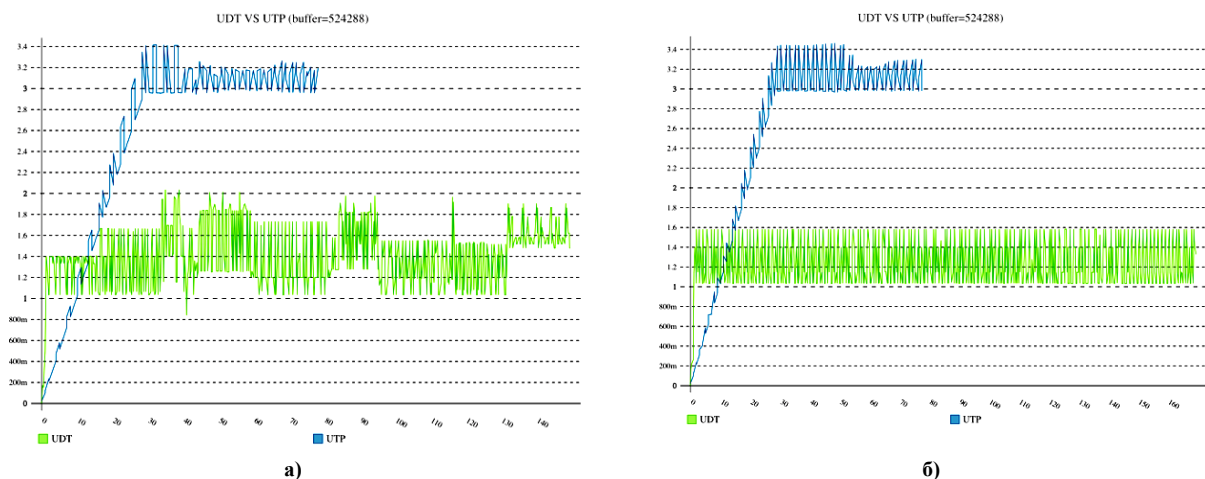


Рис. 3. Швидкість передачі даних при буферах 524288 (а) EU – US (б) US – EU

**Висновки**

У результаті проведеного дослідження було встановлено, що для ефективної передачі даних через міжконтинентальний канал зв'язку необхідно використовувати протокол передачі даних UDT з достатньо великими буферами обміну (від 2MB до 8MB для 1Gb каналу зв'язку). Буфер обміну для UDT більше 8MB суттєво не впливає на швидкість передачі, але збільшує середньоквадратичне відхилення швидкості передачі. В свою чергу буфер менше 2MB для UDT дає гірші показники за  $\mu$ TP. Протокол  $\mu$ TP є більш стабільним щодо швидкості та є солідарними до інших протоколів. При використанні в хмаркових сховищах даних, сервери якого розміщені на різних континентах і пов'язані між собою високошвидкісною мережею, досить актуальним є висока швидкість передачі даних між серверами. Коливання швидкості не

суттєво впливають на роботу системи сховища. Тому отримані в результаті дослідження результати дозволяють зробити висновок про доцільність практичного використання протоколу UDT з достатньо великими буферами передачі для реалізації передачі даних між серверами хмаркового сховища. Практичні експерименти показали, що використання протоколу UDT на високошвидкісних мережах з великим часом затримки достатньо ефективно при збільшенні буферу передачі протоколу.

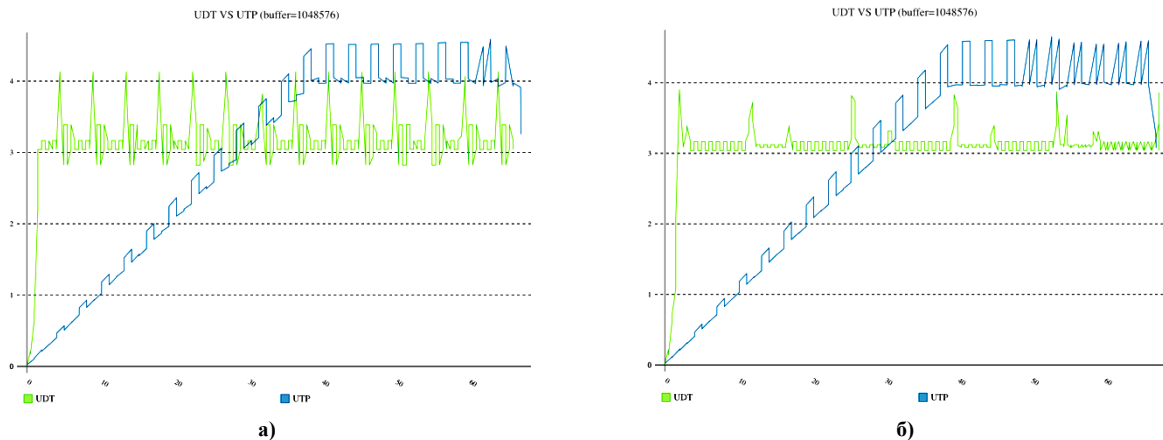


Рис. 4. Швидкість передачі даних при буферах 1048576 (а) EU – US (б) US – EU

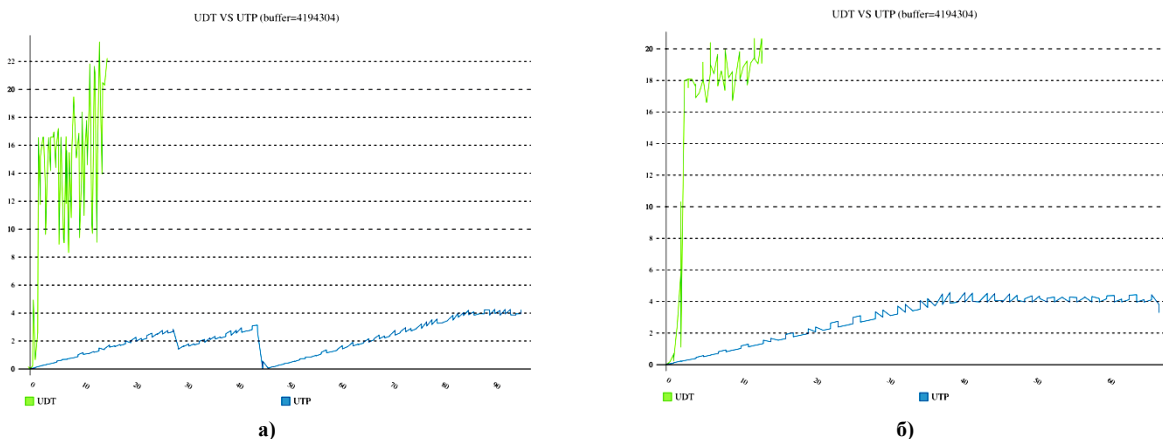


Рис. 5. Швидкість передачі даних при буферах 4194304 (а) EU – US (б) US – EU

### Література

1. Gu Yunhong, Grossman Robert L. UDT: UDP-based Data Transfer for High-Speed Wide Area Networks. Computer Networks (Elsevier). Vol. 51. May 2007.
2. Shin Sunae, Dhondge Kaustubh, Choi Baek-Young. Understanding the performance of TCP and UDP-based Data Transfer Protocols using EMULAB. First GENI Research and Educational Experiment Workshop, Jointly with the 13th GENI Engineering Conference (GEC 13), March, Los Angeles, CA. Vol. 13. 2012.
3. A survey of lower-than-best-effort transport protocols. RFC 6297, IETF. Rep. RSM - Dépt. Réseaux, Sécurité et Multimédia (Institut Mines-Télécom-Télécom Bretagne-UEB), Department of informatics (University of Oslo) ; Executor: Michael Welzl, David Ros Sanchez. 2011. june.
4. Карпучін О. Порівняльний аналіз алгоритмів роботи TCP-протоколу при самоподібному трафіку у вузькому місці мережі / О. Карпучін, Л. Кіріченко, Т. Радівілова // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2010. – № 672(57). – P. 237–243.

### References

1. Gu Yunhong, Grossman Robert L. UDT: UDP-based Data Transfer for High-Speed Wide Area Networks // Computer Networks (Elsevier). — Vol. 51. — May 2007.
2. Shin Sunae, Dhondge Kaustubh, Choi Baek-Young. Understanding the performance of TCP and UDP-based Data Transfer Protocols using EMULAB // First GENI Research and Educational Experiment Workshop, Jointly with the 13th GENI Engineering Conference (GEC 13), March, Los Angeles, CA. Vol. 13. 2012.
3. A survey of lower-than-best-effort transport protocols. RFC 6297, IETF. Rep. RSM - Dépt. Réseaux, Sécurité et Multimédia (Institut Mines-Télécom-Télécom Bretagne-UEB), Department of informatics (University of Oslo) ; Executor: Michael Welzl, David Ros Sanchez: 2011. june.
4. Karpuchin O., Kirichenko L., Radivilova T. Comparative analysis of algorithms of TCP-protocol with self-similar traffic in a narrow place network // Computer Science and Information Technology. Vol. 672(57). 2010. P. 237–243.

Рецензія/Peer review : 4.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Шаховська Н.Б.