

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРСИТАННЯ TCP В МЕРЕЖАХ LTE

Маньківський В.Б., Педько А.Д.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: v.b.mankivskiy@gmail.com , andreypedko99@gmail.com

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF TCP USE IN LTE NETWORKS

A feature of LTE is the presence of a wide range in the range of millimeter waves, which offers the ability to achieve speeds measured in megabits per second. However, the capacity of millimeter waves can be very intermittent due to the vulnerability of signals to blockages and delays in directional search. Such highly variable references present unique challenges for adaptive controls in transport layer protocols and end-to-end applications. This article discusses the key issue of how efficient the use of TCP, the most widely used transport protocol, is to work in cellular systems in the millimeter wave range. The paper offers a practical study of TCP taking into account various factors, such as congestion control algorithm, including the recently proposed TCP BBR, edge versus remote servers, handover and multi-connection, TCP packet size. We show that the efficiency of TCP on LTE references strongly depends on different parameters combinations.

Особливістю LTE є наявність широкого спектру в діапазоні частот, що пропонує можливість досягнути швидкості, яка вимірюється в мегабітах на секунду. Однак ємність частотного діапазону може бути дуже переривчастою через вразливість сигналів до завалів та затримок при спрямованому пошуку. Такі дуже мінливі посилення представляють унікальні виклики для адаптивних механізмів управління в протоколах транспортного рівня. У цій статті розглядається основне питання про те, яка ефективність використання TCP, найбільш широко використовуваний транспортний протокол, в стільникових системах LTE. У статті пропонується практичне дослідження TCP з урахуванням різних факторів, таких як алгоритм контролю перевантажень, включаючи нещодавно запропонований TCP BBR, віддалені сервери (MEC), хэндовер та мульти-підключення, розмір пакета TCP. Ми показуємо, що ефективність TCP в LTE сильно залежить від різних комбінацій цих параметрів.

Якщо розглядати повний шлях підключення через Інтернет, то ми бачимо, що здебільшого передача покладається на транспортні протоколи, які працюють над мережевим рівнем. Найбільш широко використовуваним транспортним протоколом є Протокол управління передачею (TCP), розроблений у 1980-х роках [1], щоб запропонувати надійну доставку пакетів і контроль швидкості передачі, щоб запобігти перевантаженню мережі. Надійність досягається завдяки підтвердженням приймача (ACK), а контроль швидкості досягається динамічним регулюванням вікна перевантаження: максимальний обсяг даних, який відправник може передавати, не отримуючи ACK. Існує декілька алгоритмів контролю заторів (CC – Congestion Control) для покращення ефективності роботи та затримки TCP для різних типів мереж [2]. Однак, наступне покоління стільникових мереж представлятиме нові виклики для TCP, які демонструють нестабільну поведінку розповсюдження. Ця технологія розглядається як перспективний механізм для цілей LTE - високої швидкості передачі даних та наднизької затримки [3], але наскрізна

продуктивність, буде залежати від взаємодії з транспортними протоколами, такими як TCP. Деякі недавні дослідження [4, 5] підкреслювали, що надзвичайна мінливість якості сигналу дає погіршення пропускну здатності TCP, і дуже низьке використання ресурсів, або високу пропускну здатність за ціною високої затримки (за наявності повторних передач рівня зв'язку). Більше того, в [4] показано, що явище *bufferbloat* (тобто збільшення затримки, викликане надмірною буферизацією) виникає як наслідок присутності великих буферів у мережі. Наша мета – показати ефективність використання TCP в стільникових мережах з використанням LTE. Для досягнення цієї мети ми порівнюємо ефективність різних алгоритмів TCP CC на прикладі мережі LTE.

1. Передача даних та багатостороння підключеність: Через ненадійність окремих посилок міліметровими хвилями щільне розгортання невеликих комірок із протоколами швидкої передачі є критично важливими для підтримання стабільних зв'язків та уникнення таймаутів TCP.

2. Алгоритми CC: на віддалених серверах ми спостерігаємо більш високі варіації продуктивності різних алгоритмів CC, тоді як різниця майже незначна для граничних серверів. Загалом, вузьке місце TCP, пропускну здатність та зворотний шлях (BBR) перевершує TCP, що базується на втратах, як за швидкістю, так і за затримкою.

3. Розмір пакета TCP: Ми кількісно порівнюємо переваги передачі більших пакетів TCP у LTE та показуємо, що, враховуючи коливання швидкості передачі даних, розмір пакета забезпечує більш швидке зростання вікна перевантаження та вищу досяжну швидкість.

Сценарій дослідження

Для того, щоб оцінити, як TCP буде працювати в стільникових мережах LTE, ми розглянемо один з найбільш повторювальний сценарій - місто.

В сценарії ми розглядаємо два сервера TCP, який діє як кінцева точка з'єднання. Перше - це традиційна установка, при якій сервер розміщується у віддаленому центрі обробки даних, з мінімальним часом зворотного зв'язку (RTT) близько 50 мс, враховуючи сукупну затримку: основної мережі і Інтернету. Другий - це сценарій мобільної хмарної хмари (MEC) [4], в якому сервер розташований недалеко від gNB з меншою затримкою (порядку 10 мс).

TCP congestion control algorithms

Ми вивчаємо чотири найбільш часто використовувані алгоритми CC.

TCP NewReno був алгоритмом за замовчуванням для більшості систем зв'язку. На фазі запобігання перевантаженню, потокова вікно перевантажень оновлюється після прийому кожного ACK. Оновлення базується на конструкції мультиплікативного зменшення (AIMD) з збільшенням добавки.

HighSpeed TCP призначений для мереж продукту із високою пропускну здатністю (BDP), в яких NewReno може демонструвати дуже повільний ріст потоку. HighSpeed поводить себе так само, як NewReno, коли *cwnd* малий, але коли він перевищує попередньо. Більше того, зростання вікон NewReno та HighSpeed залежить від швидкості прийому ACK; таким чином, коротший RTT збільшує частоту ACK і додатково прискорює ріст вікна.

Натомість TCP CUBIC збільшує $cwnd$, не враховуючи швидкість прийому АСК, а скоріше фіксуючи абсолютний час з моменту останньої втрати пакету та використовуючи функцію кубічного збільшення для $cwnd$. Він був розроблений для збільшення швидкості нарощування кожного з'єднання, зберігаючи при цьому справедливість з іншими користувачами.

TCP BBR, нещодавно представлений Google [11], вимірює пропускну здатність вузького місця та час поширення в обидва кінці, або BBR, для здійснення контролю заторів. BBR для контролю заторів. Він прагне узгодити швидкість відправки з розрахунковою пропускну здатністю вузького місця шляхом стимуляції пакетів і встановлення вікна перевантаження на коефіцієнт посилення потоку BDP, де коефіцієнт посилення потоку є коефіцієнтом (≤ 2), який використовується для балансування ефектів затримки, розтягування та агреговані АСК для оцінки пропускну здатності.

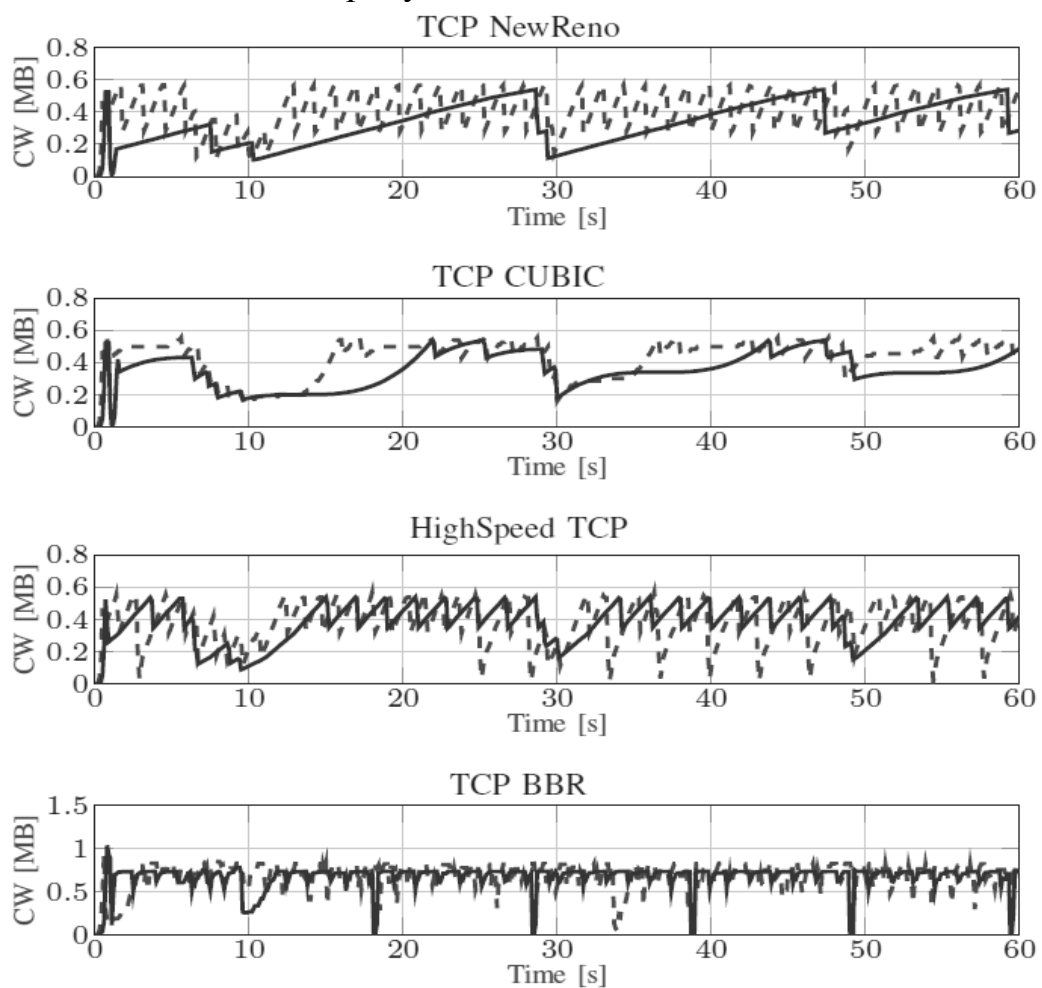


Рис. 1. Congestion Window (CW) with diff CC.

Impact of Congestion Control

Вплив алгоритму контролю заторів: алгоритм CC має сильніший вплив у сценарії віддаленого сервера. Найкращої продуктивності, з точки зору гарної продуктивності, досягає BBR з великим розміром буфера. Більше того, як зауважено в [4, 5], високі значення добротності також відповідають вищій затримці. Однак при невеликих буферах BBR виробляє найвищу ефективність (особливо в сценарії крайового сервера), із затримкою, порівнянною з TCP на

основі втрат. BBR, справді, регулює швидкість своєї передачі до розрахункової смуги пропускання і не позначається втратою пакетів, представленою на рис. 1. Однак версії TCP, що базуються на втратах, не можуть налаштувати своє вікно перевантаження настільки швидко, щоб адаптуватися до варіацій каналів і працювати гірше, ніж BBR, особливо з невеликим буфером, як показано на рис. 1. Серед них TCP HighSpeed забезпечує найвищу ефективність завдяки агресивному зростанню вікон у високій області BDP. TCP CUBIC працює краще, ніж NewReno, у випадку віддаленого сервера, але гірше у випадку крайнього сервера. Це пов'язано з тим, що зростання вікон CUBIC не впливає на швидкість АСК, а тому є надійнішим за довгих RTT-посилань.

Conclusion

Велика, але переривчаста ємність, доступна на частотах LTE, створює нові проблеми для всіх рівнів стеку протоколів, включаючи TCP, найбільш широко використовуваний транспортний протокол. Взаємодія між алгоритмами контролю заторів та коливаннями якості каналу міліметрових хвиль робить тему особливо складною і представляє ключовий елемент цієї роботи. Основні висновки та деякі відповідні питання дослідження перелічені наступним чином:

- TCP виграє від коротшого циклу управління, де сервер розміщений на межі стільникової мережі і може швидше реагувати на порушення зв'язку.
- Більше того, коли RTT високий, TCP на основі втрат недостатньо використовує пропускну здатність міліметрових хвиль, тоді як ті, що базуються на перевантаженні (BBR), демонструють покращену продуктивність. Це означає, що нові підходи, засновані на більш вишуканих абстракціях наскрізної мережі, можуть бути вивчені для дуже змінних та високошвидкісних передачах.

Література

1. K. Liu and J. Y. Lee, "On Improving TCP Performance over Mobile Data Networks," IEEE Trans. Mobile Comp., vol. 15, no. 10, Oct. 2016, pp. 2522–36.
2. S. Wang, et al., "A Survey on Mobile Edge Networks: Convergence of Computing, Caching and Communications," IEEE Access, vol. 5, 2017, pp. 6757–79.
3. Romanov O, Mankivskyi V. Optimal traffic distribution based on the sectoral model of loading network elements, IEEE Problems of Infocommunications. Science and Technology Trans. Multimedia, 2019, pp. 210–219.
4. Mankivskyi Volodymyr and Pedko Andrii Concept of edge computing in mobile operator network // Modern challenges in telecommunications, vol. 14, 2020, pp. 51–54.
5. О.І. Романов, М.М. Нестеренко, В.Б. Маньківський. Застосування регресійної моделі коефіцієнта використання каналів для формування плану розподілу навантаження в мережі. Науково-технічний журнал Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування №67, 2016 с.34-42.
6. M. Xiao et al., Millimeter Wave Communications for Future Mobile Networks // IEEE JSAC, vol. 35, no. 9, Sept. 2017, pp.1909–35.
7. Oleksandr I. Romanov, Mykola M. Nesterenko, Nadiia O. Fesokha and Volodymyr B. Mankivskyi. Evaluation of productivity virtualization technologies of switching equipment telecommunications networks. // National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2020 - pp.: 132 – 138.