

УДК 004.9; 681.5

Гученко М.І., д.т.н.,
Костенко П.П., к.т.н.,
Славко О.Г., к.т.н.,
Сохін Н.Л.

ФОРМАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОТОКІВ ДАНИХ НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНОЇ МОДЕЛІ КЕРОВАНОГО ПРОЦЕСУ

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

mykolaguchenko@gmail.com

ppkostenko@gmail.com

slavko.elena@gmail.com

work_2301@mail.ru

Здійснено постановку задачі та розроблено формальну модель інформаційної технології поліпшення якості обслуговування потоків даних на основі локальної моделі керованого процесу

Ключові слова: трафік; поліпшення якості обслуговування; інформаційна технологія; формальна модель; локальна модель керованого процесу

Вступ

З невідомим збільшенням кількості клієнтів комп'ютерних мереж зростають об'єми трафіка, яким вони обмінюються, в тому числі чутливого до затримок.

Тому задачі управління трафіком, серед яких і поліпшення якості обслуговування потоків даних, є безперечно актуальними.

Найпоширенішою і універсальною мережевою архітектурою є архітектура *TCP/IP*. Транспортним протоколом в архітектурі *TCP/IP* є *TCP* (*Transmission Control Protocol*), який забезпечує надійний двосторонній зв'язок з контролем швидкості передачі.

Однак відомий і ряд істотних недоліків алгоритму управління потоком протоколу *TCP* [1-2]:

1. Для оцінки доступної пропускної здатності алгоритм керування потоком *TCP* постійно збільшує швидкість відправки сегментів, штучно викликаючи перевантаження мережі.

Це призводить до частих втрат пакетів і, при стійкому перепоповненні буферів, до збільшення затримок сегментів в мережі.

2. *TCP* інтерпретує втрату сегмента як ознаку перевантаження мережі і реагує

на будь-яку втрату даних зниженням швидкості передачі, що веде до суттєвих обмежень ефективності *TCP* в мережах, де ймовірність втрати сегментів через виникнення помилок відмінна від нуля. Це відноситься, зокрема, до всіх бездротових мереж.

3. Локальні нерівномірності у відправці сегментів *TCP* призводять до підвищення ймовірності втрати сегментів при максимальному заповненні буферів.

Усунення наведених вище недоліків *TCP* є темою великої кількості досліджень [3-5].

У роботах на цю тему пропонуються різні варіанти удосконалення транспортного протоколу, але всі вони передбачають наявність формальної моделі процесу передачі даних для ідентифікації його параметрів.

Натомість пропонується використати підхід до вирішення задач керування на основі локальної моделі керованого процесу (ЛМКП). Базовий алгоритм синтезу ЛМКП викладено в [6-7].

Даний підхід дозволяє для лінійних об'єктів керування звести задачу ідентифікації параметрів моделі (динамічного об'єкта керування) з невідомим зовнішнім збуренням до задачі ідентифікації при відомому вході та виході об'єкта.

Це можливо за рахунок того, що в процесі побудови ЛМКП шляхом активного експерименту на короткому часовому інтервалі створюється сигнал керування, еквівалентний дії зовнішніх впливів, завдяки чому можна вважати, що об'єкт знаходиться під дією лише сигналу керування, а на виході об'єкта отримується половина реального виходу.

Для мережевого трафіку *TCP/IP*-мереж характерна така особливість, як невідповідність між об'ємом даних, який передається, і можливостями його передачі.

Якщо мережеві ресурси недостатні або не відповідають поточному навантаженню, а також має місце неефективний розподіл потоків даних по наявних ресурсах, у мережі виникає перевантаження, що значно знижує рівень *QoS*.

Найчастіше у *TCP/IP*-мережах для уникнення перевантажень використовують алгоритм випадкового раннього виявлення (*Random Early Detection, RED*).

Це один з найбільш поширених алгоритмів керування мережевими чергами у *TCP/IP*-мережах, суть якого полягає у відкиданні пакетів у випадковому порядку при зростанні навантаження каналу за виразом:

$$p(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } q_{avg}(t) < q_{min}, \\ 1, & \text{якщо } q_{avg}(t) > q_{max}, \\ p_{max} \frac{q_{avg}(t) - q_{min}}{q_{max} - q_{min}}, & \text{інакше,} \end{cases} \quad (1)$$

$$p(t) \rightarrow \min$$

де t – час, $p(t)$ – функція ймовірності відкидання пакетів, $q(t)$ і $q_{avg}(t)$ – поточна та середня черга пакетів у каналі зв'язку відповідно, p_{max} – максимальне значення ймовірності відкидання пакетів, q_{max} і q_{min} – максимальне та мінімальне порогове значення черги пакетів відповідно.

Середня довжина черги пакетів визначається методом експоненціально-зваженого ковзного середнього (*Exponentially Weighted Moving Average, EWMA*):

$$q_{avg}(t_i) = (1-w)q_{avg}(t_{i-1}) + wq(t), \quad (2)$$

де $i > 1$, $i \in N$, t – час, $q(t)$ – поточна довжина черги пакетів, w – ваговий коефіцієнт черги, що визначається як:

$$w_q = 1 - e^{1/c}, \quad (3)$$

де c – пропускна здатність каналу зв'язку.

Мета

Метою даної роботи є створення формальної моделі інформаційної технології поліпшення якості обслуговування потоків даних на основі ЛМКП.

У загальному випадку інформаційна технологія – це система процесів, яка використовується для створення, збору, передачі, зберігання і обробки інформації у відповідній предметній області.

Інформаційна технологія обслуговування потоків даних – це сукупність методів, процесів і програмно-технічних засобів, об'єднаних у технологічний ланцюжок, що забезпечує збір, обробку, зберігання і відображення інформації з метою покращення забезпечення *QoS* на рівні стеку *TCP/IP* із використанням параметричної ідентифікації параметрів протоколу *TCP/IP* на основі ЛМКП передачі даних при уникненні заторів у комп'ютерних мережах в умовах невизначеності та нестационарності.

Постановка задачі

У загальному вигляді постановка задачі створення такої інформаційної технології формулюється наступним чином.

Вважатимемо, що інтервал керування T_{contr} складається з послідовних циклів керування T_i , $i = 0, \dots, n$.

На основі ідентифікації параметрів математичної моделі протоколу *TCP/IP* (TCP_i) в i -му циклі керування встановити такі параметри *AQM/RED* (RED_i), що дозволять мінімізувати кількість відкинутих пакетів (P):

$$P(TCP_i, RED_i) \rightarrow \min, \quad (4)$$

Для розроблюваної технології критерієм ефективності обрано функціональний критерій, що полягає у зменшенні ймовірності втрати пакетів при керуванні

мережними чергами у *TCP/IP*-мережах за алгоритмом *RED* (1).

Процес передачі даних *TCP*-протоколом може бути представлений диференціальним рівнянням 2-го порядку [8]:

$$y''(t) + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = bp(t), \quad (5)$$

де $y(t)$ – довжина черги в буфері маршрутизатора (пакети), $p(t)$ – функція ймовірності втрат пакетів за алгоритмом *RED*, a_1 , a_0 , b – параметри, що визначаються наступним чином:

$$a_1 = \frac{2cNt^* + 2N^2 + c^2t^{*2}}{t(2N^2 + c^2t^{*2})}, \quad (6)$$

$$a_0 = \frac{2cN}{t^*(2N^2 + c^2t^{*2})}, \quad (7)$$

$$b = \frac{2N^2 + c^2t^{*2}}{2t^{*2}N}, \quad (8)$$

де c – пропускна здатність каналу зв'язку (пакети/с), N – кількість *TCP*-відправників, t^* – рівноважне значення затримки передачі пакетів із кінця в кінець (с), τ – *RTT*-затримка (с).

Для прикладу розглянемо варіант моделі комп'ютерної мережі, що відображає процес передачі даних *TCP*-протоколом, який описаний рівнянням (5) у режимі уникнення заторів із алгоритмом *AQM / RED* (рис. 1) [9].

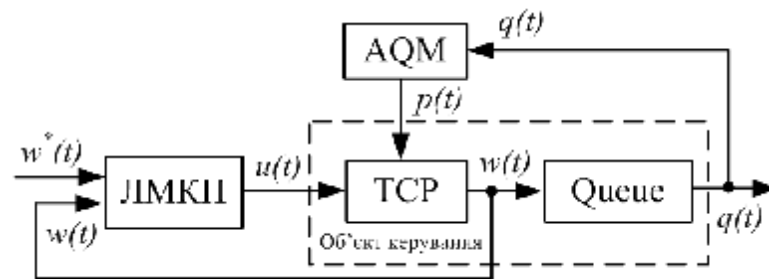


Рис. 1. Структурна схема керування передачею *TCP*-даних на основі ЛМКП

На рис. 1. *Queue* – блок динаміки черги $q(t)$ буфера маршрутизатора, *AQM* – блок алгоритму керування швидкістю передачі даних *TCP*-протоколу на основі функції втрати пакетів $p(t)$, $u(t)$ – сигнал керування, що формується за алгоритмом синтезу ЛМКП, $w(t)$ – вікно передачі даних *TCP*-протоколу, $w^*(t)$ – рівноважне значення вікна передачі даних *TCP*-протоколу (задавальний вплив).

Об'єкт керування – це *TCP*-протокол. Він визначає модель керування потоком мережеских даних (метод ковзного вікна).

Параметри моделі *TCP*-протоколу, що визначають реакцію об'єкта на вхідний сигнал, невідомі.

Для об'єкта керування вихідною змінною є розмір вікна передачі даних $w(t)$. Він визначає швидкість (інтенсивність) передачі мережеских даних по каналу зв'язку з ефектом "вузького місця" (*bottleneck*).

На об'єкт керування діє невідомий

вхідний сигнал $p(t)$ (функція ймовірності втрати пакетів), що залежить від мережевого середовища та функціонування мережеских ресурсів (зокрема завантаженості черги буфера мережевого маршрутизатора $q(t)$, що також є невідомою).

За сигналом виходу об'єкта необхідно в реальному часі:

1) сформувати сигнал керування $u(t)$, який, компенсуючи дію невідомого вхідного сигналу $p(t)$, забезпечує асимптотичну стійкість поблизу деякого положення $w^*(t) = const$ з метою стабільної передачі даних для уникнення перевантажень.

Формування $u(t)$ здійснюється за алгоритмом стабілізації на основі ЛМКП. Сигнал $u(t)$ на інтервалі синтезу ЛМКП є еквівалентом невідомого вхідного сигналу $p(t)$.

Таким чином, при компенсації $p(t)$ має забезпечуватись стабільна передача мережеских даних з метою повного використання можливої пропускної здатності

каналу.

2) виконати параметричну ідентифікацію математичної моделі об'єкта керування (процесу передачі даних *TCP*-протоколу).

Основна частина

На основі методу синтезу локальної моделі керованого процесу та методу параметричної ідентифікації математичних моделей процесів передачі мережевих даних розроблено інформаційну технологію (*IT*) забезпечення *QoS* на рівні стеку *TCP/IP* із використанням параметричної ідентифікації параметрів протоколу *TCP/IP* на основі ЛМКП передачі даних при уникненні затворів у комп'ютерних мережах в умовах невизначеності та нестационарності.

Інформаційна технологія може бути описана формальною моделлю *IT* з наступною структурою кортежу множин:

$$IT = \langle SEND, TCP, RED, REST \rangle, \quad (9)$$

де *SEND*, *REST* – відповідно відправник та отримувач даних,

$$TCP = \{tcp_i, i = \overline{1, n}\}, n \in \mathbb{N} - \text{множина}$$

TCP пакетів, *n* – кількість пакетів,

$$tcp_i = \langle Port_{send}, Port_{rest}, id, Leng, Flags,$$

$W_{avg}, CS, P_{level}, Data \rangle$ – кортеж, що описує екземпляр пакету та містить основні його характеристики за *RFC: 793*,

Port_{send} – порт відправника,

Port_{rest} – порт отримувача,

id – ідентифікатор пакету,

Leng – довжина пакету,

Flags – кортеж прапорців пакету,

W_{avg} – розмір вікна отримувача,

CS – 16-бітове доповнення суми всіх

16-бітових слів заголовку та тексту. Якщо сегмент містить непарне число октетів в заголовку або тексті, останні октети доповнюються праворуч 8-ма нулями для вирівнювання по 16-бітовій межі.

Біти заповнення (0) не передаються в сегменті і слугують лише для розрахунку контрольної суми. При розрахунку контрольної суми значення самого поля контрольної суми приймається рівним 0,

P_{level} – 16-бітове значення позитивного зсуву від порядкового номера в даному сегменті. Це поле вказує порядковий номер октету, з якого починаються важливі (*urgent*) дані.

Поле береться до уваги тільки для пакетів зі встановленим прапором *U*,

Data – блок даних пакету.

Flags = $\langle CWR, ECE, URG, ACK, PSH, RST, SYN, FIN \rangle$ – кортеж прапорців:

CWR – поле встановлюється відправником, щоб показати, що *TCP*-сегмент був отриманий з встановленим полем *ECE*,

ECE – поле показує, що відправник підтримує *ECN*,

URG – поле «Показник важливості» задіяно,

ACK – поле «Номер підтвердження» задіяно,

PSH – інструктує отримувача передати дані з прийомного буферу до програми, якій ці дані призначені,

RST – обірвати з'єднання, скинути буфер (очищення буферу),

SYN – синхронізація номерів послідовності,

FIN – прапорець, якщо встановлений, вказує на завершення з'єднання.

RED = $\langle p_{max}, min_{th}, W_{avg}, max_{th} \rangle$ – кортеж, що описує функціонування алгоритму керування чергами *RED*:

p_{max} – ймовірність відхилення пакету;

min_{th} – мінімальний розмір вікна;

max_{th} – максимальний розмір вікна;

W_{avg} – розмір прогнозованої черги;

Елементи головного кортежу *SEND*, *REST* мають однакову структуру: $\langle IP, Port \rangle$ та описують *IP*-адресу та порт відповідно відправника та отримувача.

Висновки

Таким чином, розроблено модель інформаційної технології поліпшення якості обслуговування потоків даних на основі ЛМКП, де виділено окремі її елементи та показано взаємодію між ними.

Розроблена модель дає можливість узагальнити структуру та функції даної інформаційної технології, виділити її структурні частини та фактори, на які можна впливати з метою збільшення ефективності механізмів *AQM*.

Список літератури

1. Бабенко В.Г. Дослідження принципів організації передачі даних в TCP/IP-мережах / В.Г. Бабенко, В.Ю. Шадхін, О.О. Шевченко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2010 р. – №3. – С. 3–5.

2. Воробиенко П.П., Нечипорук О.Л., Струкало М.И. Принципы организации сетей с коммутацией пакетов: Учебное пособие. – Одесса: УГАС им. А.С. Попова, 2000. – 101 с.; ил.

3. Balakrishnan H., Padmanabhan V.N., Seshan S., Katz R.H. A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links. // Proc. of ACM SIGCOMM. - 1996. - P.256-269.

4. Johnson D., Maltz D. Protocols for Adaptive Wireless and Mobile Networking. // IEEE Personal Communications. - February 1996. - P. 34-42.

5. Floyd S., Handley M., Padhye J, Widmer J. "TCP Friendly Rate Control (TFRC): Protocol Specification", RFC3448, January 2003.

6. Гученко М.І. Активно-резонансний алгоритм стабілізації // Нові технології. Науковий вісник Інституту економіки

та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка. – 2003. – № 1(2). – С. 57–61.

7. Гученко М.І., Славко О.Г., Ольхова Ю.О., Костенко П.П., Іванова М.М. Імітаційна модель системи керування на основі локальної моделі керованого процесу //17-а Міжнарод. конференція з автоматичного управління "Автоматика-2010". Тези доповідей. Т. 1. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – С. 107–109.

8. Kim K. B. Design of Feedback Controls Supporting TCP based on Modern Control Theory / K. B. Kim // INRIA Rocquencourt. – November 2003. – Report № 5014. – 37 p.

9. Славко О.Г. Інформаційна технологія керування мережним трафіком на основі локальної моделі керованого процесу в NGN-мережах // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 1/2015 (90), частина 1. – С. 41–47.

Статтю подано до редакції 03.09.2015