

СПРОЩЕНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ НАВАНТАЖЕННЯ В ЗАМКНЕНІЙ МЕРЕЖІ КОМУТАЦІЇ ПАКЕТІВ

Лабуткіна Т.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Анотація. Розроблено підхід до спрощеного імітаційного моделювання навантаження мережі пакетної комутації. В основу імітаційного представлення мережевих процесів покладено спрощену математичну модель мережі комутації пакетів, яка базується на дискретизованому описі станів завантаження вузлів мережі та відповідає представленню поточного стану мережі в задачах управління її навантаженням. Зміна стану заповнення вузла моделюється як процес розмноження та відмирання, а в моделі повного навантаження враховуються два фактори зміни: обмін вузла навантаженням з користувачами мережі та транзитний потік навантаження, що проходить через нього. Для дослідження штучно виділеної "частини процесу функціонування мережі" - запропоновано підхід до моделювання транзитного навантаження в мережі з блокуванням навантаження. Підхід дозволяє здійснити значні спрощення та забезпечує нівелювання негативного впливу спрощень на "замикання навантаження" (забезпечує виконання правила постійної величини навантаження в замкненій мережі). Розроблена імітаційна модель, по-перше, створює основу для вдосконалення повної моделі, а по-друге, є зручною для відпрацювання алгоритмів маршрутизації при аналізі їх з точки зору показників здатності "впливати" на навантаження в мережі. Отримані результати є узагальненими, але увага зосереджена на прикладі супутникових мереж пакетної комутації.

Ключові слова: навантаження мережі пакетної комутації, вузол мережі зв'язку, потоки навантаження, потік подій, імітаційне моделювання

Translated with DeepL.com (free version)Сучасний світ покривають мережі зв'язку з технікою комутації пакетів. Одна з задач забезпечення ефективного функціонування мереж комутації пакетів – керування її навантаженням. Частина цієї задачі пов'язана з керуванням проходженням навантаження через вузол. Друга частина цієї задачі пов'язана з керуванням даними, що передаються у мережі). В цій роботі зосередимо увагу на задачі маршрутизації даних. Задача маршрутизації даних у мережі вирішується вже багато десятків років, спирається на класичні методи і алгоритми маршрутизації, розвивається з врахуванням рівнів пріоритетності навантаження, забезпечує доповнення

«простих» алгоритмів (можна говорити – класичних) застосуванням алгоритмів штучного інтелекту. Але розвиток підходів, методів, алгоритмів, які лежать в основі «простого протокольного» управління мережними процесами залишається актуальним.

Керування процесами маршрутизації даних здебільшого засновано на застосуванні маршрутних таблиць і алгоритмів вибору шляху найменшої вартості, на основі яких ці таблиці побудовані. Таким чином, в реалізації задачі маршрутизації можна побачити дві складові. Перша складова – це застосування алгоритмів вибору шляху найменшої вартості, які реалізуються при визначеному за прийнятими правилами стану мережі (зокрема, при визначених вартостях елементарних ліній зв'язку, які поєднують суміжні вузли мережі). Друга складова керування маршрутизацією даних у мережі полягає у реалізації правил представлення спрощеного дискретизованого визначення стану мережі у числових значеннях, які виражають опосередковану оцінку тих факторів, які потребують зміни впливом керування (зокрема – правил призначення вартостей елементарним лініям зв'язку [1]).

На сьогоднішній день моделі, які описують навантаження мережі комутації пакетів можна розділити на два великих класи [2]. В моделях першого класу (моделях «високої точності») моделювання здійснюється «з точністю до блоку даних» (пакету): моделюється входження кожного пакету у мережу, його розмір, адресація і поточний шлях. Моделі другого класу в базовій основі мають запропоноване Л. Клейнроком спрощення про зміну розміру пакету в кожному вузлі на його шляху (за правилами, визначеними відповідною статистичною моделлю). При такому спрощенні можливий перехід до моделювання потоків навантаження (перехід до потокових моделей). Потокових моделей багато, їх також можна класифікувати, вони активно розвиваються.

В багатьох випадках можна говорити, що в потоковій моделі реалізується «наскрізне представлення» потоків через мережу та враховуються їх суперпозиції. Але можливий підхід максимального рівня спрощення, коли у кожному j -у вузлі в простіший спосіб моделюються дві складових

навантаження: потоки обміну навантаженням з користувачами та потоки обміну транзитним навантаженням. В роботі [3] була представлена спрощена імітаційна модель мережі, яка заснована на дискретизованому опису станів навантаження вузлів мережі і відповідає представленню поточного стану мережі в задачах управління її навантаженням. Згідно запропонованому підходу до моделювання в мережі з N вузлів обсяг накопичувача кожного j -го вузла розділений на N_u рівні. Номер рівню q_j , що заповнюється в накопичувачі j -го вузла, назовемо станом вузла. Таким чином, кількісне значення q (q_j для j -го вузла) може бути в діапазоні від 0 (повністю пустий вузол), до $(N_u + 1)$ (вузол у стані блокування), таким чином $q = \overline{0, (N_u + 1)}$. Прийнято, що моделюється зміна стану вузла, яка відбувається як процес розмноження і загибелі (перехід зі стану q можливий тільки до сусідніх станів $(q - 1)$ і $(q + 1)$ в межах діапазону значень $q = \overline{0, (N_u + 1)}$; інтервал часу між переходами між сусідніми станами має експоненціальний закон розподілу з параметром λ). Таким чином, моделюється пуассоновський потік зміни стану завантаження вузла λ . Цей пуассоновський потік можна розкласти на чотири складові (чотири пуассоновських потоки подій): перші дві – це потоки змін завантаження вузла у більший і менший бік, що викликані взаємодією з користувачами (параметри цих потоків λ_{cbj} і λ_{csj} відповідно); другі два – це потоки змін завантаження вузла у більший і менший бік, спричинені рухом через вузол транзитного навантаження (параметри цих потоків λ_{tbj} і λ_{tsj} відповідно). Суттєвий момент, що згідно моделі, представленої у роботі [3], параметри потоків подій λ_{cbj} і λ_{csj} та λ_{tbj} і λ_{tsj} змін станів заповнення накопичувача у більший або менший бік (еквівалентно – параметри потоків вхідного і вихідного навантаження) виражені у кількості змін заповнення накопичувача на одиницю часу. Саме це буде застосовано для вдосконалення описаної моделі, її розвитку. При цьому будемо розглядати тільки частину моделі, зокрема – навантаження в замкненій за навантаженням мережі (навантаження є в мережі, розподілене між вузлами, рухається в мережі за прийнятими правилами, але вхід і вихід навантаження – відсутні).

В моделі [3] вважалось, що навантаження виходить з накопичувача з незмінною максимальною інтенсивністю λ_{tbj} ($\lambda_{tbj} = \lambda_b$). Це давало модельні втрати навантаження. Для уточнення моделі приймемо, що при значеннях стану завантаження вузла $q = \overline{q_m, (N_u + 1)}$ транзитне навантаження виходить з j -го вузла з незмінною максимальною інтенсивністю (параметр потоку навантаження, яке виходить з вузла, $\lambda_{tsj} = \lambda_b$, $\lambda_b = const$). Якщо стан вузла $q < q_m$ (підхід до визначення q_m буде сформульований далі), то значення параметра вихідного навантаження λ_{tsj} буде у межах $0 \leq \lambda_{tsj} < \lambda_b$. Для забезпечення збереження цілісності навантаження в мережі застосуємо найбільш простий, відомий, досить грубий прийом. Знайдемо надлишковий модельний вихід навантаження з мережі і розділимо його між всіма недовантаженими вузлами (слабко навантаженими вузлами). На момент часу t (який вважається моментом відбуття події зміну стану заповнення накопичувача вузла) знаходиться сума параметрів потоків S_{tb} , значення яких відповідали входженню навантаження у вузли мережі до моменту t (можна для визначеності записати – в момент $(t - \Delta t)$)

$$S_{tb} = \sum_{j=1}^N \lambda_{tbj} \quad (1)$$

Знаходиться сума параметрів потоків максимального виходу з заповненого вузла $S_{t_{max s}}$

$$S_{t_{max s}} = N \lambda_b \quad (2)$$

Визначається надлишковий вихід R як різниця значень S_{tb} і $S_{t_{max s}}$

$$R = S_{tb} - S_{t_{max s}} \quad (3)$$

Ця різниця має бути розділена на кількість N_e вузлів ($N_e \leq N$), з яких виходить потік навантаження з параметром, меншим за λ_b . Вузли, які належать до названої групи з N_e вузлів, легко знайти, коли параметр потоку виражений у кількості змін рівнів заповнення накопичувача. З j -го вузла буде виходити потік навантаження, менший за максимальний, якщо кількість q_j заповнених рівнів його накопичувача менша, ніж виходить з вузла у одиницю часу, тобто менша за значення λ_b ($q_j < \lambda_b$). Вираз параметрів потоків вхідного і

вихідного навантаження у кількості заповнених рівнів накопичувача дає зробити таке порівняння. Задля корегування надлишкового навантаження приймемо (досить грубе) припущення, що корегування надлишкового виходу навантаження буде однаковим для всіх недовантажених вузлів. Для корегування будемо вважати, що з i -го недовантаженого вузла виходить навантаження з параметром λ_{tsi}

$$\lambda_{tsi} = \lambda_b - R / N_e \quad (4)$$

Узагальнено розрахунок параметрів вихідного навантаження можна представити так

$$\lambda_{tsj} = \begin{cases} \lambda_b, & \text{якщо } q_j > \lambda_b \\ \lambda_b - R / N_e, & \text{якщо } q_j \leq \lambda_b \end{cases} \quad (5)$$

Такий підхід забезпечує моделювання з невисокою адекватністю (моделювання тим грубіше, чим більша кількість вузлів N_e), але замкненість навантаження (коректність моделі) буде забезпечена.

ЛІТЕРАТУРА

1. Албул А.С. Обоснование модели маршрутизации для многоспутниковых LEO систем высокоскоростной передачи данных. / А.С. Албул, М.Ф. Бабаков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2016, № 6 (80). – С. 181-187.
2. Лабуткина Т.В. Имитационные модели спутниковой сети коммутации пакетов на основе комбинирования моделей разной точности. / Т.В. Лабуткина, А.А. Тихонова, А.В. Борщёва, Р.С. Косий, А.И. Лукашевич // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. Збірник наукових праць. Том XIX 2015 С. 98-113.
3. Лабуткина Т.В. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов с разновысотными орбитальными сегментами / Т.В. Лабуткина, В.А. Ларин, В.В. Беликов, А.В. Борщева, А.А. Тихонова, Д.И. Деревяшкин. // Научно-технический журнал «Радіоелектронні і комп'ютерні системи». № 1 (75), 2016. С. 66-83.

SIMPLIFIED SIMULATION MODEL OF LOAD IN A CLOSED PACKET SWITCHING NETWORK

Labutkina T.

Abstract. *An approach to simplified simulation modeling of packet switching network load has been developed. The simulated representation of network processes is based on a simplified mathematical model of the packet switching network, which is based on a discretized description of the load states of the network nodes and corresponds to the representation of the current state of the network in the tasks of managing its load. Changes in the node's filling state are modeled as a process of reproduction and death,*

and in the full load model, two factors of change are taken into account: the node's exchange of load with network users and transit load flow passing through it. To study an artificially selected "part of the network functioning process" - an approach to transit load modeling in a load-locked network is proposed. The approach allows for significant simplifications and ensures the leveling of the negative impact of simplifications on "load closure" (ensures the rule of constant amount of load in a closed network). The developed simulation model, firstly, creates the basis for the improvement of the complete model, and secondly, it is convenient for working out routing algorithms when analyzing them from the point of view of indicators of the ability to "influence" the load in the network. The obtained results are generalized, but attention is focused on the example of satellite packet switching networks.

Keywords: *packet switching network load, communication network node, load flows, event flow, simulation modeling*

REFERENCES

1. Albul A.S. Obosnovanie modeli marshrutizatsii dlya mnogosputnikovyih LEO sistem vyisokoskorostnoy peredachi dannyih. / A.C. Albul, M.F. Babakov // Radioelektronni i kompiuterni systemy. – 2016, № 6 (80). – S. 181-187.
2. Labutkina T.V. Imitatsionnaya model sputnikovoy seti kommutatsii paketov s raznovyisotnyimi orbitalnyimi segmentami / T.V. Labutkina, V.A. Larin, V.V. Belikov, A.V. Borscheva, A.A. Tihonova, D.I. Derevyashkin. //// Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Radioelektronni i kompiuterni systemy». № 1 (75), 2016. S. 66-83.
3. Labutkina T.V. Imitatsionnyie modeli sputnikovoy seti kommutatsii paketov na osnove kombinirovaniya modeley raznoy tochnosti. / T.V. Labutkina, A.A. Tihonova, A.V. BorschYova, R.S. Kosiy, A.I. Lukashevich // /Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniki. Zbirnyk naukovykh prats. Tom XIX 2015 S. 98-113.