

СПРОЩЕНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ РОЗІМКНЕНОЇ ЗА НАВАНТАЖЕННЯМ МЕРЕЖІ КОМУТАЦІЇ ПАКЕТІВ

Лабуткіна Т.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,

к.т.н., доцент, Україна

Анотація. *Дослідження присвячено створенню спрощених імітаційних моделей мереж комутації пакетів, які зараз активно використовуються на Землі і реалізуються в супутникових системах. Пропонується подальший розвиток спрощеної імітаційної моделі розімкненої за навантаженням мережі комутації пакетів. Основними положеннями побудови імітаційної моделі є розподілення накопичувача вузла на рівні заповнення, визначення кількості непустих рівнів накопичувача як стану вузла, моделювання стану завантаження вузла як суперпозиції двох, зв'язаних через стани вузлів, процесів розмноження і загибелі (перший процес спричинений обміном мережі навантаженням з користувачами, а інший – проходженням транзитного навантаження через вузол мережі). Запропоновано підвищити адекватність моделі, розвинувши застосований раніше для замкненої за навантаженням мережі комутації пакетів підхід, згідно якому вихід транзитного навантаження моделюється для більшості вузлів з врахуванням їх функціонування з максимальною пропускну здатністю, а для групи слабо завантажених вузлів вводиться поправка корегування.*

Ключові слова: *мережа комутації пакетів, навантаження мережі, процеси розмноження і загибелі, імітаційна модель.*

На сьогодні імітаційне моделювання складних систем стає потужним інструментом дослідження, забезпечує сучасне проектування. Розвиток таких моделей іде, на сам перед, у напрямку підвищення точності відображення ними модельованого об'єкту (підвищується адекватність моделей за якісними і кількісними показниками). Але також представляє інтерес розвиток спрощених імітаційних моделей, які дозволяють суттєво зменшити час на визначення показників функціонування системи, яка створюється, а також можуть бути використані як додаткові («фонові») складові в імітаційних моделях комбінованої точності [1]. До складних технічних систем, які зараз активно вивчаються, належать сучасні мережі комутації пакетів, які активно використовуються на Землі і реалізуються на основі супутникових систем [2]. Дослідження присвячено створенню спрощених імітаційних моделей мереж

комутації пакетів. Зокрема, запропоновано розвиток імітаційних моделей мереж комутації пакетів (у тому числі – супутникових мереж комутації пакетів), представлених у роботах [1,3,4].

Пропонується спрощена імітаційна модель розімкненої за навантаженням мережі комутації пакетів, яка згідно положенням робіт [1,3,4] може бути формально описана так. У мережі N вузлів. Обсяг накопичувача кожного j -го вузла розподілений на N_u рівнів. Для кожного j -го вузла кількість q_j непустих рівнів накопичувача вважається його станом q_j (при цьому $(q_j - 1)$ рівнів заповнені, а рівень q_j заповнюється). Стан мережі на кожний поточний момент часу t визначається станами його вузлів q_j ($j = \overline{1, N}$). Зміна стану вузла моделюється як суперпозиція двох процесів розмноження і загибелі, зв'язок між якими забезпечує стан вузла. Перший процес обумовлений обміном мережі навантаженням з її користувачами. Перехід j -го вузла зі стану q_j до сусіднього стану більшого заповнення $(q_j + 1)$ внаслідок надходження в нього навантаження користувачів (зовнішнього навантаження) відбувається з параметром λ_{ebj} , а перехід до сусіднього стану меншого заповнення $(q_j - 1)$ внаслідок виходу навантаження до користувачів (виходу навантаження зовні) відбувається з параметром λ_{esj} . Другий процес обумовлений проходженням через вузол транзитного навантаження. Виходи j -го вузла зі стану q_j до сусідніх станів $(q_j + 1)$ або $(q_j - 1)$ спричинені обміном транзитним навантаженням із сусідніми вузлами, відбуваються відповідно із параметрами λ_{tbj} і λ_{tsj} . Обидва процеси розмноження і загибелі моделюються окремо, відповідно до значень їх параметрів. Але ці процеси зв'язані через поточні стани вузлів. Поточні значення параметрів λ_{tbj} і λ_{tsj} визначаються через стани вузлів мережі [3]. Параметри λ_{ebj} і λ_{tsj} у загальному випадку є функціями часу. Підхід до завдання $\lambda_{ebj}(t)$ і $\lambda_{tsj}(t)$ може бути різним. Зокрема, в роботі [3] представлено випадок, коли вузли мережі є космічними апаратами, мережа типологічно замкнена і врівноважена за навантаженням

(сума параметрів вхідного навантаження дорівнює сумі вихідного навантаження), але потоки навантаження прив'язані до ділянок безперервно покритої супутниковою системою території, і значення $\lambda_{ej}(t)$ і $\lambda_{tsj}(t)$ залежать від того, над якою територією знаходиться космічний апарат.

При моделюванні спрощено враховано керування доступом до ресурсів мережі. По-перше, враховується блокування доступу вхідного навантаження до вузла мережі: доступ вхідного навантаження до вузла можливий тільки якщо кількість заповнених рівнів накопичувача менше заданого критичного значення N_{um} , яке складає частку k_{mb} від максимальної кількості рівнів N_u , на які розподілений накопичувач

$$N_{um} = k_{mb} N_u.$$

По-друге, за визначеними правилами комплексно обмежується доступ за сумарною адресацією до j -го вузла. Згідно роботам [1,3,4] параметри потоків визначаються у кількості змін рівнів заповнення накопичувача в одиницю часу.

Моделювання навантаження в мережі засновано на тому, що все наявне у вузлі навантаження не залишається у вузлі, а виходить з нього (або зовні, або як транзитне). У роботах [1,3] підхід до моделювання передбачав функціонування вузла з максимальною пропускною здатністю. Таке припущення прийнятно при режимах високої завантаженості мережі. Але чим частіше випадки появи станів малої завантаженості вузлів або пустих вузлів, тим меншою є адекватність (і коректність) описаної моделі. Основною метою цього дослідження є покращити якісну і кількісну адекватність моделювання на основі представленого вище спрощеного підходу. Вирішення такої задачі запропоновано в роботі [4] для випадку замкненої за навантаженням мережі комутації пакетів. В даній роботі вирішення задачі представлено для розімкненої за навантаженням мережі комутації пакетів.

Нехай навантаження виходить з j -го вузла зовні (до користувачів) з параметром λ_{esj} , а λ_{tb} - параметр потоку, який відповідає максимальній пропускній здатності кожного вузла на вихід транзитного завантаження. В такому випадку, які і в роботі [4], сумарний потік R «надлишкового» в

імітаційній моделі транзитного навантаження, яке спричинено моделюванням з максимальним параметром λ_{tb} потоків вихідного транзитного навантаження з недовантажених вузлів, можна визначити формулою

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

Перший доданок формули (1) визначає параметр сумарного потоку транзитного навантаження, яке входить до вузлів мережі, а другий доданок – параметр сумарного потоку, який виходить з вузлів за прийнятою ідеалізацією. Тут значення R є від’ємною величиною. Як було запропоновано в роботі [4], для замкненої за навантаженням мережі значення R розкладається на поправки корегування, які додаються до N_e не повністю завантажених вузлів. Але у випадку замкненої за навантаженням мережі умова, яка визначає приналежність k -о вузла до цієї групи N_e вузлів, є іншою. Із врахуванням того, що параметри потоків виражені у кількості змін рівнів навантаження накопичувача у одиницю часу, умова для розімкненої за навантаженням мережі має вид

$$q_j \leq (\lambda_{tb} + \lambda_{esj}).$$

Таким чином, вузол є недовантаженим за транзитним навантаженням, коли поточна кількість q_j його не пустих рівнів менша за суму максимального значення параметра потоку λ_{tb} виходу транзитного навантаження і параметра потоку навантаження λ_{esj} , що виходить з вузла до користувачів. За аналогією з правилом, запропонованим для замкненої за навантаженням мережі в роботі [4], параметр транзитного навантаження, яке виходить з j -го вузла розімкненої за навантаженням мережі, визначається так

$$\lambda_{tsj} = \begin{cases} \lambda_{tb}, & \text{якщо } q_j > (\lambda_{tb} + \lambda_{esj}) \\ \lambda_{tb} + R / N_e, & \text{якщо } q_j \leq (\lambda_{tb} + \lambda_{esj}) \end{cases}.$$

Висновки. Запропонований підхід до підвищення точності моделювання забезпечує коректність моделі з точки зору уникнення «модельної втрати навантаження» («модельного утікання навантаження»). Але додавання рівних поправок також є не коректним прийомом, який значно повільніше (на декілька порядків), але буде призводити до якісного «спотворення»

результатів. При цьому на більш глобальному рівні коректність моделі забезпечена. Подальший розвиток запропонованого підходу спирається на застосування нерівномірного (адаптивного до стану системи) розподілу поправок корегування між групою вузлів, що недовантажені.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ran Zhang, Jiang Liu, Tao Huang, Jiu Shao, Man Ouyang, Hua Lu Analysis on Requirements of Software-Defined Satellite Networking with FlowWise Real-Time Control. 3rd International Conference on Hot Information-Centric Networking 2020. DOI: 10.1109/HotICN50779.2020.9350815
2. Лабуткина Т.В., Тихонова А.А., Борщёва А.В., Косий Р.С., Лукашевич А.И. Имитационные модели спутниковой сети коммутации пакетов на основе комбинирования моделей разной точности. Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2015. Том XIX 2015. С. 98-113.
3. Лабуткина Т.В., Ларин В.А., Беликов В.В., Борщева А.В., Тихонова А.А., Деревяшкин Д.И. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов с разновысотными орбитальными сегментам. Научно-технический журнал «Радиоэлектронні і комп'ютерні системи». – 2016. № 1 (75). С. 66-83.
4. Лабуткіна Т.В. Спрощена імітаційна модель навантаження в замкненій мережікомутації пакетів. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2024. № 4(153). С. 58 – 78. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-153-2024-07>

SIMPLIFIED SIMULATION MODEL OF A LOAD-OPEN PACKET

SWITCHING NETWORK

Tetiana Labutkina

Abstract. *The study is devoted to the creation of simplified simulation models of packet switching networks, which are currently actively used on Earth and implemented in satellite systems. Further development of a simplified simulation model of a load-open packet switching network is proposed. The main provisions of building a simulation model are the distribution of the node storage at the filling level, determining the number of non-empty storage levels as a node state, modeling the node load state as a superposition of two, connected through the node states, propagation and death processes (the first process is caused by the network exchange of load with users, and the other - by the passage of transit load through the network node). It is proposed to increase the adequacy of the model by developing the approach previously used for a load-closed packet switching network, according to which the transit load output is simulated for most nodes taking into account their operation with maximum throughput, and an adjustment correction is introduced for a group of lightly loaded nodes.*

Keywords: *packet switching network, network load, propagation and death processes, simulation model.*

REFERENCES

1. Labutkina T.V., Tihonova A.A., BorschYova A.V., Kosiy R.S., Lukashevich A.I. Imitatsionnyie modeli sputnikovoy seti kommutatsii paketov na osnove kombinirovaniya modeley raznoy tochnosti. Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniki. – 2015. Tom XIX. S. 98-113.
2. Ran Zhang, Jiang Liu, Tao Huang, Jiu Shao, Man Ouyang, Hua Lu Analysis on Requirements of Software-Defined Satellite Networking with FlowWise Real-Time Control. 3rd International Conference on Hot Information-Centric Networking 2020. DOI: 10.1109/HotICN50779.2020.9350815
3. Labutkina T.V., Larin V.A, Belikov V.V., Borscheva A.V., Tihonova A.A, Derevyashkin D.I. Imitatsionnaya model sputnikovoy seti kommutatsii paketov s raznovyisotnyimi orbitalnyimi segmentami. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Radioelektronni i kompiuterni systemy». - 2016. S. 66-83.
4. Labutkina T.V. Sproshchena imitatsiina model navantazhennia v zamknenii merezhikomutatsii paketiv. Systemni tekhnolohii. Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats. – 2024. № 4(153). S. 58 – 78. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-153-2024-07>