

Дмитренко В.В., Брезіцький С.М.

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

ПРОБЛЕМИ СИНТЕЗУ МОДЕЛЕЙ МЕРЕЖНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Анотація: У дослідженні розглянуті проблеми розвитку програмно-конфігурованих мереж (ПКМ) та акцентовано на гібридному програмно-конфігурованому обладнанні (ПКО). Актуальність дослідження підкреслена в контексті сучасних вимог до мережевих технологій та визначених труднощів у моделюванні таких пристроїв. Проведено порівняльний аналіз інструментів імітаційного моделювання комп'ютерних мереж, визначено переваги та недоліки різних рішень. Обрано використання OMNeT++ для реалізації імітаційно-аналітичної моделі гібридного програмно-конфігурованого обладнання через його відкритий код, модульну архітектуру та доступну документацію. В роботі описані та визначені проблеми синтезу моделей мережевого обладнання, враховуючи відмінності в архітектурі та конфігурації гібридних програмно-конфігурованих пристроїв. Зазначено, що багато існуючих систем моделювання не мають готових моделей, що адекватно відображають імовірісно-часові характеристики внутрішніх процесів цих пристроїв. Наведено мету дослідження, яка полягає в розробці методів та алгоритмів автоматизованого синтезу імітаційно-аналітичної моделі гібридного програмно-конфігурованого обладнання для дослідження затримки пакетів у телекомунікаційних мережах. Поставлено п'ять завдань, включаючи розробку моделі, методики та алгоритмів автоматизованого експериментального дослідження та синтезу моделі. Вибір OMNeT++ обумовлений його характеристиками, а сам процес синтезу моделі визначено як комплексне завдання, що враховує конфігураційні різноманітності обладнання. Проведено огляд основних публікацій, що висвітлюють проблеми розвитку програмно-конфігурованого обладнання, та вказано про доцільність застосування імітаційного моделювання для вивчення гібридних програмно-конфігурованого обладнання, а також викликами та перспективами подальших досліджень.

Ключові слова: гібридне програмно-конфігуроване обладнання, імітаційно-аналітична модель, імовірісно-часові характеристики, програмно-апаратний комплекс.

Dmytrenko V.V., Brezitskyi S.M

State university information and communication technologies, Kyiv

PROBLEMS OF THE SYNTHESIS OF NETWORK EQUIPMENT MODELS AND METHODS OF THEIR SOLUTION

Abstract: The research examines the problems of the development of software-configured networks (SDN) and focuses on hybrid software-configured equipment (SCE). The relevance of the research is emphasized in the context of modern requirements for network technologies and certain difficulties in modeling such devices. A comparative analysis of simulation modeling tools of computer networks was carried out, the advantages and disadvantages of various solutions were determined. We chose to use OMNeT++ to implement a simulation-analytical model of hybrid software-configurable hardware due to its open source, modular architecture, and available documentation. The work describes and defines the problems of synthesis of network equipment

models, taking into account differences in the architecture and configuration of hybrid software-configured devices. It is noted that many existing modeling systems do not have ready-made models that adequately reflect the probabilistic-temporal characteristics of the internal processes of these devices. The purpose of the research is given, which consists in the development of methods and algorithms for the automated synthesis of a simulation-analytical model of hybrid software-configured equipment for the study of packet delay in telecommunication networks. Five tasks are set, including the development of a model, methods and algorithms for automated experimental research and model synthesis. The choice of OMNeT++ is determined by its characteristics, and the model synthesis process itself is defined as a complex task that takes into account the configurational diversity of the equipment. A review of the main publications highlighting the problems of the development of software-configured equipment is carried out, and the feasibility of using simulation modeling for the study of hybrid software-configured equipment is indicated, as well as challenges and prospects for further research.

Key words: *hybrid software-configured equipment, simulation-analytical model, probabilistic-time characteristics, software-hardware complex.*

1. Актуальність дослідження.

Актуальність теми полягає у вирішенні проблеми ефективного автоматизованого синтезу імітаційно-аналітичних моделей програмно-конфігурованого мережевого обладнання для точного відображення імовірно-часових характеристик мережевого обладнання.

2. Мета і завдання дослідження.

Метою статті є розробка методів і алгоритмів автоматизованого синтезу імітаційно-аналітичної моделі гібридного програмно-конфігурованого обладнання для дослідження затримки пакетів у телекомунікаційній мережі за різних навантажувальних характеристик процесів оброблення трафіку. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Розробити імітаційно-аналітичну модель гібридного програмно-конфігурованого обладнання на основі відновлення характеристик процесу проходження трафіку через пристрій за довільних поєднань параметрів на основі інтерполяційних методів обробки результатів експериментального дослідження обладнання. Модель має враховувати особливості роботи гібридного програмно-конфігурованого обладнання, давати змогу оцінити основні характеристики переданого через нього трафіку та статистично оцінити достовірність отриманих результатів.

2. Розробити методику автоматизованого експериментального дослідження гібридного програмно-конфігурованого обладнання, що дає змогу вивчити імовірно-часові та навантажувальні характеристики обладнання на довільних патернах трафіку і наборах конфігурації обладнання.

3. Розробити алгоритм автоматизованого експериментального дослідження гібридного програмно-конфігурованого обладнання, що дає змогу одержати характеристики передавання пакетів з урахуванням впливу значень параметрів вхідного трафіку та конфігурації пристрою.

4. Розробити алгоритм автоматизованого синтезу імітаційно-аналітичної моделі гібридного програмно-конфігурованого обладнання, у якому в автоматичному режимі відбувається формування імітаційно-аналітичної моделі гібридного програмно-конфігурованого обладнання аналітичної моделі конкретного гібридного програмно-конфігурованого пристрою на основі отриманих експериментальних вимірів характеристик проходження пакета через цей пристрій і його поведінки за різних поєднань параметрів.

5. Розробити програмно-апаратний комплекс для дослідження ефективності запропонованих алгоритмів автоматизованого синтезу імітаційно-аналітичної моделі

гібридного програмно-конфігурованого обладнання. Реалізація програмно-апаратного комплексу дасть змогу досліджувати пристрої на діапазонах пропускної здатності до 40 Гб/с. Реалізовані алгоритми скоротять час побудови моделі на основі експериментальних даних на кілька порядків, як порівняти з перебором поєднань.

3. Проблеми синтезу моделей мережевого обладнання та методи їх вирішення

Більшість систем моделювання не має у своєму складі готових моделей мережевого обладнання, які адекватно відображають імовірно-часові характеристики внутрішніх процесів, що відбуваються під час комутації та маршрутизації, за винятком роботи з чергами. У високошвидкісних мережах, особливо під час віртуалізації, час обробки пакетів під час використання OpenFlow може бути порівняним із часом очікування в чергах (сотні мікросекунд).

OpenFlow — протокол управління процесом обробки даних, що передаються через мережу передачі даних маршрутизаторами і комутаторами, що реалізує технологію програмно-конфігурованої мережі.

Протокол використовується для керування мережними комутаторами та маршрутизаторами з центрального пристрою - контролера мережі (наприклад, з сервера або навіть персонального комп'ютера). Це управління замінює або доповнює працюючу на комутаторі (маршрутизаторі) вбудовану програму, що здійснює побудову маршруту, створення карти комутації і т. д. Контролер використовується для управління таблицями потоків комутаторів, на підставі яких приймається рішення про передачу прийнятого пакета на конкретний порт комутатора. Таким чином, у мережі формуються прямі мережеві з'єднання з мінімальними затримками передачі даних і необхідними параметрами.

Версії мікропрограм з підтримкою Openflow розроблені для пристроїв багатьох виробників, включаючи Extreme Networks, Juniper, Cisco, HP, IBM, NEC, MikroTik.

Архітектура

Шлях проходження даних складається з таблиці потоків (flow table) та дій, призначених для кожного запису в таблиці. Самі таблиці можуть стосуватися як Ethernet (чи інших протоколів канального рівня), і протоколів вищих рівнів (IP, TCP). Точний список дій може змінюватися, але основні це: форвардинг (пересилання фрагмента даних - пакета, кадру - у заданий порт), пересилання фрагмента даних на контролер через безпечний канал для подальшого дослідження, відкидання фрагмента даних (drop). Для пристроїв, що поєднують openflow та звичайну обробку пакетів засобами мікропрограми пристрою, додається четвертий тип дії: обробка фрагмента даних звичайними засобами. Устаткування, що підтримує ці чотири дії, є Type0-пристроями.

Пристрій OpenFlow складається, як мінімум, із трьох компонентів:

таблиці потоків (англ. flow table);

безпечного каналу (англ. secure channel), що використовується для управління комутатором зовнішнім інтелектуальним пристроєм (контролером);

підтримки протоколу OpenFlow protocol, що використовується для керування. Використання цього протоколу дозволяє уникнути необхідності писати програму для керованого пристрою;

Кожен запис у таблиці потоків має три поля: заголовок PDU (фрагменту даних), який дозволяє визначити відповідність PDU потоку, дію та поле зі статистикою (число байтів та PDU, що відповідає потоку, час проходження останнього відповідного потоку PDU).

Заголовок може складатися з безлічі полів різного рівня (наприклад, MAC-адрес відправника та одержувача, полів із заголовка IP-пакету, полів із заголовка TCP-сегменту). Слід зазначити, що у поточної версії протоколу не підтримується перевірка, наприклад, прапора SYN у заголовку TCP-сегмента. Кожне поле може мати особливе значення (зірочка), що означає відповідність будь-якому значенню відповідного поля PDU.

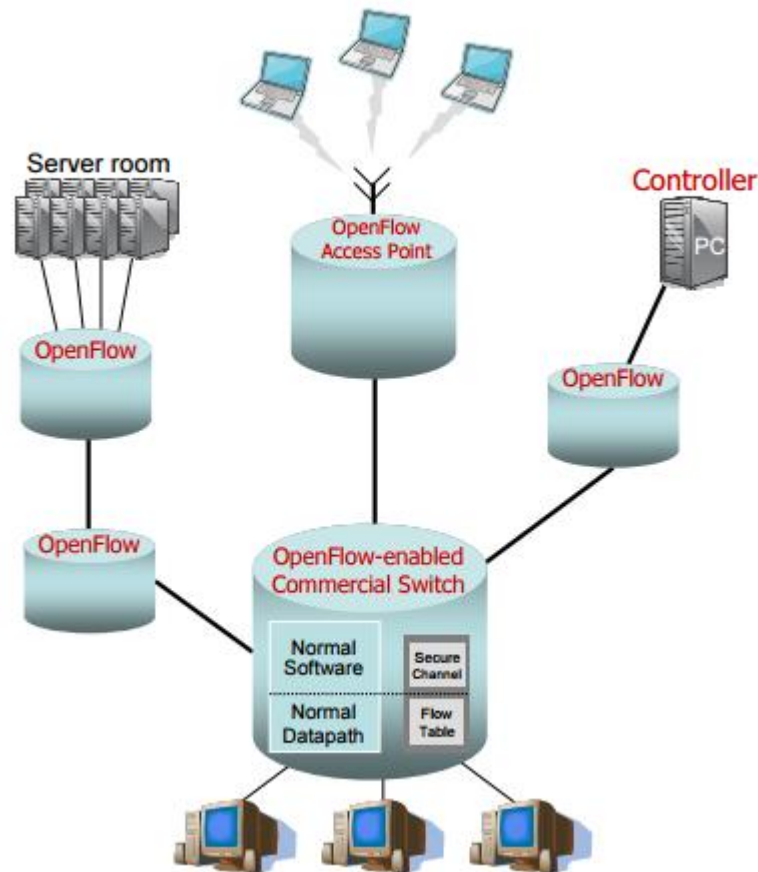


Рис. 1. Архітектура OpenFlow протокола

Пристрої type1, які забезпечуватимуть трансляцію мережних адрес, підтримку класів та пріоритетів, заплановані, але їх специфікація поки що не визначена.

Контролери забезпечують заповнення таблиці потоків, отримання пакетів через безпечний канал від пристрою. Можуть бути реалізовані як найпростіший алгоритм, що нагадує поведінку комутатора, що розділяє пакети по логічних мережах (VLAN), а можуть реалізовувати складну динамічну логіку, що впливає на проходження пакетів, виходячи із зовнішніх причин (права доступу, завантаження серверів, пріоритети з обслуговування та інше).

Усі гібридні програмно-конфігуровані пристрої можуть мати суттєві відмінності в архітектурі та процесах оброблення пакетів на апаратному та програмному рівнях, що кардинальним чином позначається на імовірно-тимчасових характеристиках внутрішніх процесів оброблення пакетів (різниця в часі проходження пакета від входу до виходу від 50 до 350 мкс). Це ніяк не відображається в більшості систем моделювання, крім деяких комерційних з великою базою даних обладнання (OPNET Modeler, NetSim), але стрімка поява нового обладнання ставить під сумнів актуальність цієї бази даних.

Зняття часових навантажувальних характеристик доволно взятого гібридного програмно-конфігурованого обладнання істотно ускладнюється тим, що на всі внутрішні процеси, які відбуваються не в апаратному режимі (без використання ASIC/FPGA), а з використанням програмних засобів, сильно впливає перелік задіяних елементів конфігурації для кожної доступної в пристрої технології, протоколу та характеристики. Наприклад, для обладнання Microtik час опрацювання пакета під час комутації без увімкненого фільтра брандмауера та зі ста рядками фільтрації відрізняється у два та більше разів, додаткове увімкнення кешу може знизити цей час до півтора разів, увімкнення маркування пакетів

збільшує цей час на 20%. При цьому поєднання різних варіантів і кількісних параметрів цих налаштувань не є тривіальним по відношенню до часу обробки пакетів і змінюється нелінійно. Для максимального покриття поєднань усіх можливих параметрів налаштувань та їхніх кількісних характеристик необхідно розв'язувати NP-повну задачу зі складання плану експериментального дослідження пристроїв. Дослідження мережевого пристрою як чорної скриньки з великою кількістю вхідних параметрів і малою кількістю вихідних параметрів може не дати результату, який дасть змогу інтерполювати результати точкових вимірів вихідних параметрів за певних сполучень вхідних параметрів на безперервну багатовимірну множину вихідних параметрів. Основна проблема - створення плану експерименту, який міститиме в собі мінімальну кількість поєднань вхідних параметрів для можливості відображення вхідної множини на вихідну із заданою точністю. При цьому має бути забезпечено максимальне покриття діапазонів вхідних параметрів, наприклад, повний діапазон інтенсивності вхідних пакетів (для заданого типу мережевого інтерфейсу), діапазон від 0 до максимальної кількості елементів списків контролю доступу, умовних обробників, класифікаторів, діапазон від 0 до максимального розміру таблиць адрес, таблиць OpenFlow, кількості цих таблиць.

4. Висновки

Проведено огляд і порівняльний аналіз інструментів імітаційного моделювання комп'ютерних мереж. Існує безліч рішень, що дають змогу реалізувати модель телекомунікаційного устаткування, однак використання їх як готового рішення не є доцільним. Це пов'язано з високою вартістю систем моделювання, відсутністю реалізації протоколу OpenFlow, а також використанням елементарних алгоритмів руху трафіку всередині моделі пристрою. Інструмент пакетного моделювання OMNeT++ обрано для реалізації імітаційно-аналітичної моделі гібридного програмно-конфігурованого обладнання, головним чином через його структуру з відкритим вихідним кодом, добре організовану модульну архітектуру, наявну доступну документацію та наданого інтегрованого середовища розробки (IDE, Integrated Development Environment).

Описано проблеми синтезу моделей мережевого обладнання та методи їх вирішення. Зроблено висновок про актуальність дослідження роботи гібридних програмно-конфігурованих пристроїв і доцільність застосування методів імітаційного моделювання для їх вивчення.

Список літератури

1. Технології забезпечення безпеки мережевої інфраструктури. [Підручник] / В. Л. Бурячок, А. О. Аносов, В. В. Семко, В. Ю. Соколов, П. М. Складанний. – К.: КУБГ, 2019. – 218 с.
2. Aganval S., Kodialam M, Lakshman T.V. Traffic Engineering in Software Defined Networks// 2013 Proceedings IEEE INFOCOM, paper no. 06567024, pp. 2211- 2219
3. Software Defined Networking (SDN): Anatomy of OpenFlow Volume I Paperback – March 25, 2015 by Doug Marschke (Author), Jeff Doyle (Author), Pete Moyer (Author)
4. Sdn, Openflow, And Open Vswitch: Pocket Primer Thomas F. Herbert Edited by Thomas F. Herbert
5. Cholde P., Jojszyk A. «Reliability Assessment of p-Cycles» // IEEE Global Telecommunication Conference (GlobeCom 2005), st. Lonis, November-December 2005 29. Pan P., Swallow G. and Atlas. «Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP
6. McKeown N., Anderson T., Balakrishnan H., Parulkar G., Peterson L., Rexford J., Shenker S., and Turner J., “OpenFlow: enabling innovation in campus networks,” SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 38, no. 2, pp. 69–74, 2008

7. Mytnyk O.M. Research on the effectiveness of the load-balancing methods in Software-Defined Networks based on the OpenFlow protocol for the purposes of Smart City: abstract of master's thesis on speciality 122 – computer science / O.M. Mytnyk – Ternopil Ivan Puluj National Technical University – Ternopil: TNTU, 2019. – 9 p.

8. Побудова SDN мереж [Навчальний посібник] Гніденко М.П., Вишнівський В.В., Ільїн О.О. К.: ДУТ, 2019. – 190 с.

References

1. Technologies for ensuring network infrastructure security. [Textbook] / V. L. Buryachok, A. O. Anosov, V. V. Semko, V. Yu. Sokolov, P. M. Skladanniy. - K.: KUBG, 2019. - 218 p.

2. Aganval S., Kodialam M, Lakshman T.V. Traffic Engineering in Software Defined Networks// 2013 Proceedings IEEE INFOCOM, paper no. 06567024, pp. 2211-2219

3. Software Defined Networking (SDN): Anatomy of OpenFlow Volume I Paperback – March 25, 2015 by Doug Marschke (Author), Jeff Doyle (Author), Pete Moyer (Author)

4. Sdn, Openflow, And Open Vswitch: Pocket Primer Thomas F. Herbert Edited by Thomas F. Herbert

5. Cholde P., Jojszyk A. "Reliability Assessment of p-Cycles" // IEEE Global Telecommunication Conference (GlobeCom 2005), st. Lonis, November-December 2005 29. Pan P., Swallow G. and Atlas. "Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP

6. McKeown N., Anderson T., Balakrishnan H., Parulkar G., Peterson L., Rexford J., Shenker S., and Turner J., "OpenFlow: enabling innovation in campus networks," SIGCOMM Comput. Commun. Rev., vol. 38, no. 2, pp. 69–74, 2008

7. Mytnyk O.M. Research on the effectiveness of the load-balancing methods in Software-Defined Networks based on the OpenFlow protocol for the purposes of Smart City: abstract of master's thesis on specialty 122 – computer science / O.M. Mytnyk - Ternopil Ivan Puluj National Technical University - Ternopil: TNTU, 2019. - 9 p.

8. Construction of SDN networks [Study manual] Hnidenko M.P., Vyshnivskiy V.V., Ilyin O.O. K.: DUT, 2019. – 190 p.