

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ SDN МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ КЕРУЮЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності SDN мережі за допомогою керуючого програмного забезпечення. Запропоновано методіку розробки програмного забезпечення, яке спростить можливість керування процесами обслуговування комп'ютерної, а саме мобільної, мережі та покращить її технічні показники, характеристики та надійність фізичної і програмної інфраструктури. За допомогою первинних математичних моделей в роботі була розроблена математична модель розрахунку вартості мережі, на базі якої можливо розрахувати ефективність витрат на постачання послуг. В статті розроблено математичну модель розрахунку та запропоновано метод покращення її основних надійнісних характеристик за допомогою математичної моделі керування транспортним рівнем програмно-орієнтованої мережі. Визначено що децентралізовані системи, які мають програмний рівень, можуть підтримувати характеристики надійності та можливості планування і керування процесами на мікрорівні.

Ключові слова: програмне забезпечення, програмно-керована мережа, централізована та децентралізована система керування, мобільна та стаціонарна мережа, мобільні стандарти, відмова, вартість об'єкту, показники надійності, мережева інфраструктура, перше-образні моделі, математичні моделі.

SERHII DAKOV

Taras Shevchenko National University of Kyiv

METHOD OF EFFICIENCY ADVANCEMENT OF THE SDN NETWORK BY SOFTWARE

The purpose of the work is to increase the efficiency of SDN network with the help of control software. A software development methodology is proposed that simplifies the ability to manage computer maintenance processes, namely the mobile network, and will improve its technical characteristics, characteristics and reliability of the physical and software infrastructure with the help of primary mathematical models. One of the main shortcomings of the software-oriented network is the high cost of equipment, due to the novelty of hardware infrastructure, which is only introduced in the industrial standard and does not have any industry standard. Therefore, the cost of the controller and switches is much more evident than the cost of the classical network. In this paper a mathematical model for calculating the cost of a network was developed, on the basis of which it is possible to calculate the efficiency of costs for the supply of services. The second disadvantage is the problem of centralized control systems that is lower than the classical network types. In this work, a mathematical model of calculation was developed and a method for improving its basic reliability characteristics was proposed with the help of a mathematical model for managing the transport levels of a software-oriented network. It has been determined that decentralized systems that have a program level can support the characteristics of reliability and the ability to plan and manage processes at the "micro" level.

Keywords: software, software-managed network, centralized and decentralized control system, mobile and fixed network, mobile standards, failure, object cost, reliability indicators, network infrastructure, first-model models, mathematical models.

Вступ

Мережі 3GPP мають складну структуру. Мережі 3GPP складаються з мікро- та макрорівнів, що вже ускладнює контроль роботи з трафіком, так як принцип роботи цих рівнів відрізняється обладнанням та програмними засобами. До того ж технічні засоби додають ускладнення в роботі, ці ускладнення перетворюються на помилки або затримки в мережі, що призводить до погіршення і впливає на якість послуг.

Інструмент керування мережею – це автоматизовані чи програмні засоби керування, тому для роботи зі швидкісними мережами з такими типами трафіку вже необхідні програмні засоби керування процесами. А саме програмне забезпечення, що буде за допомогою моделі процесу аналізувати показники та враховувати негативні критерії, які необхідно розробити, перевірити за допомогою впровадження програмно-керованих мереж, в яких все програмне забезпечення встановлене на гіпервізорі.

Стандарти 3GPP розвиваються в напрямку 5G, де дуже велику роль матиме надійність та можливість легкого керування значними об'ємами трафіку. Тому саме централізоване керування середовищем є актуальним в майбутньому та на даний час, яке позиціонує себе саме як інструмент для великих масивів інформації. Така технологія має значно більші характеристики ніж 3 та 4G. Виходячи з цього, актуально використовувати саме software-defined networking (SDN). Але не меншу актуальність для мережі 5G має надійність. Тому програмне забезпечення (ПЗ) допоможе автоматизувати дуже велику кількість процесів та зробить показники мережі кращими, дасть можливість відповідати вимогам вище згаданого стандарту.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В статті [1] автор акцентує увагу на системі керування інфраструктурою мережі, яка є багатоінструментальною складовою програмно-керованої мережі, та не виділяє низьку надійність мережі SDN. В літературі [2] статті описано надійність системи SDN. Запропоновано низьку надійність перемиканням з мережі OpenFlow на класичну мережу, що саме допоможе підтримати працездатність мережі та підняти її надійність. Але треба сказати, що показники мережі значно зменшаться, тому що IP-мережа за своїми характеристиками поступається, що можливо побачити в роботі [3] та при переході до

більш сучасної мережі можливо отримати на деяких ділянках перевантаження та зниження якості послуги. Треба підкреслити, що надійність OpenFlow дійсно вище ніж у мережі Overlay.

В статті [4] розглянуто метод роботи мережі в перевантаженому режимі, що в комплексі вирішує проблему переключення з SDN на NAT, але низька надійність мережі Overlay залишається, що робить у використанні мережу практично неможливою для мобільного оператора або великих об'єктів стаціонарної мережі. А для стандартів 4G та 5G надійність має певну характеристику, яка дорівнює більше ніж можуть забезпечити контролер SDN та обладнання інших рівнів [6, 7].

Треба зазначити, що робота над надійністю мережі має дуже важливий характер і для централізованих мереж – це життєво важливий цикл. Тому необхідне застосування додаткових інструментів. Але вартість централізованих мереж також дуже значна, що можливо побачити в статті [8], де врахована не лише первинна вартість об'єкта, а й його модернізація та розширення.

Багато проблем можна вирішити за допомогою програмного забезпечення, яке можливо встановити на прикладному рівні програмно-керованої мережі або ПКМ [9], за допомогою якого ми матимемо можливість керувати процесами та автоматизувати багато процесів мережі, в тому числі об'єднати існуючі моделі та функції. В комплексі ці моделі зможуть зменшити вартість та підняти показники мережі. Автор виявив саме ті недоліки, які не згадані в роботах на тему централізованих ПКМ.

Метою роботи є визначення негативних критеріїв, які можуть виникнути внаслідок експлуатації мобільної або стаціонарної мереж, можливості керувати процесом та наслідків, які покращать можливість керування за допомогою програмного забезпечення, що буде аналізувати процеси та надавати змогу тримати явища в межах, що будуть встановлені за допомогою програмного забезпечення на прикладному рівні.

Виклад основного матеріалу

Програмно-керована система має недоліки, такі як велика вартість та низька надійність, що виходить з самої архітектури клієнт-сервер або з її централізованого вигляду. До того ж треба врахувати, що основний тип промислових мереж має вигляд гетерогенної мережі, але за допомогою SDN можливо поліпшити керування цієї мережі та підвищити динаміку впровадження нового обладнання, яке може відрізнятися не лише такими критеріями, як пропускна здатність, затримка та повторне використання ресурсу, але різновидом інтерфейсу та адаптивними можливостями обладнання, що дуже ускладнює роботу персоналу та робить можливість обслуговування мережі дуже важкою та затратною.

На рис. 4–6 зображена архітектура транспортних сегментів мобільної мережі LTE

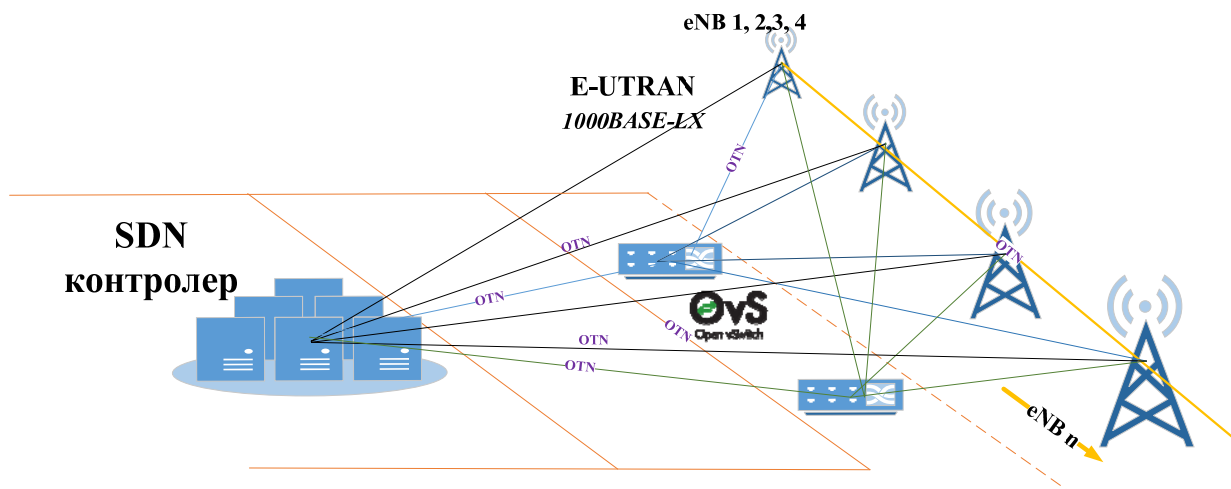


Рис. 1. Архітектура software-defined networking

Архітектура програмно-орієнтованої мережі має ієрархічно залежну, складну, багатопідрівневу систему передавання потоків трафіку за допомогою процесів керування контролером SDN, який керує OvS свічами, де знаходиться таблиця переадресації. Недоліки такої архітектури в тому, що працездатність кожного рівня залежить від іншого і тому з'єднання таких смуг не надійне, але ця мережа має більш ефективні показники, тому основна задача – підняти надійність та розробити модель розподілу, резервування та рознесення слабких частин системи.

На рис.5 зображена архітектура мобільної мережі, побудована на базі протоколу класичної IP-технології адресації вузлів. Тут кожний елемент системи працює автономно, структура такої мережі вважається децентралізованою, тому надійність більша.

Але треба зазначити, що IP-мережа менш ефективна та має менш динамічну структуру керування, що обмежує її в використання до мережі майбутнього FN. Треба зазначити, що будувати програмно-керовану мережу з нуля дуже дорого і зупинити роботу вже працюючої інфраструктури неможливо. Тому третьою за популярністю вважається мережа OpenFlow, де поверх вже існуючої інфраструктури можливо розташувати мережу SDN і згодом розвивати вже Overlay мережу. Архітектура мережі OpenFlow зображена на рис. 6.

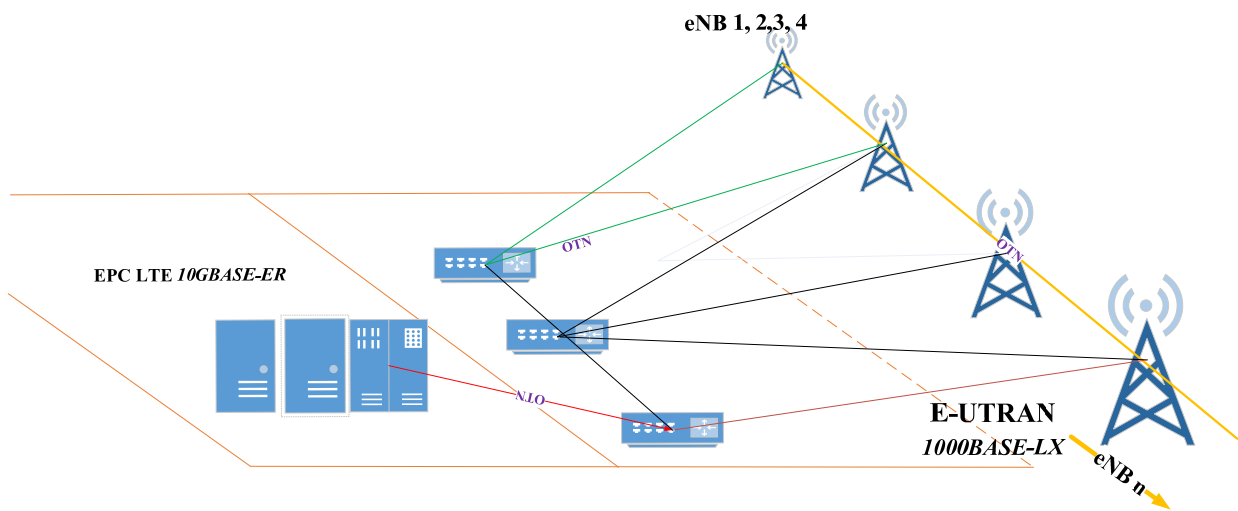


Рис. 2. Архітектура System Architecture Evolution

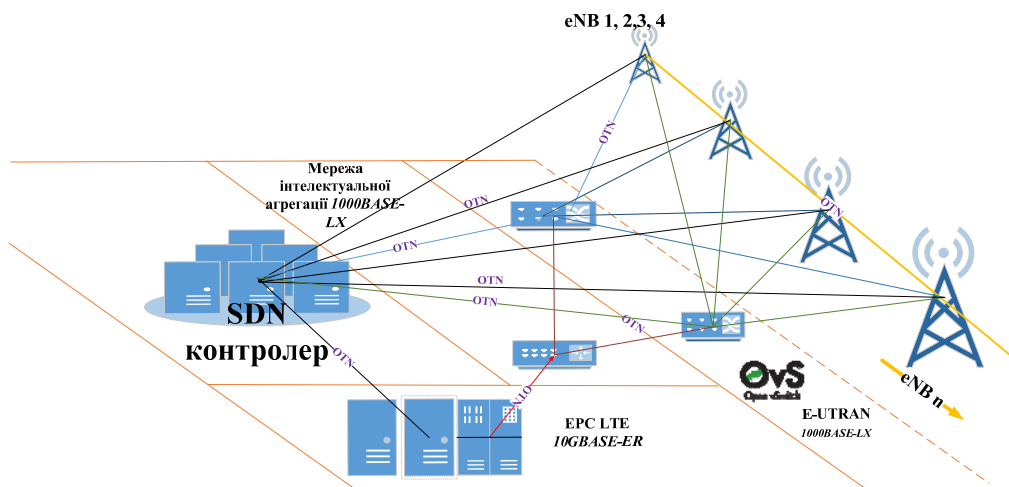


Рис. 3. Гібридна архітектура SDN OpenFlow

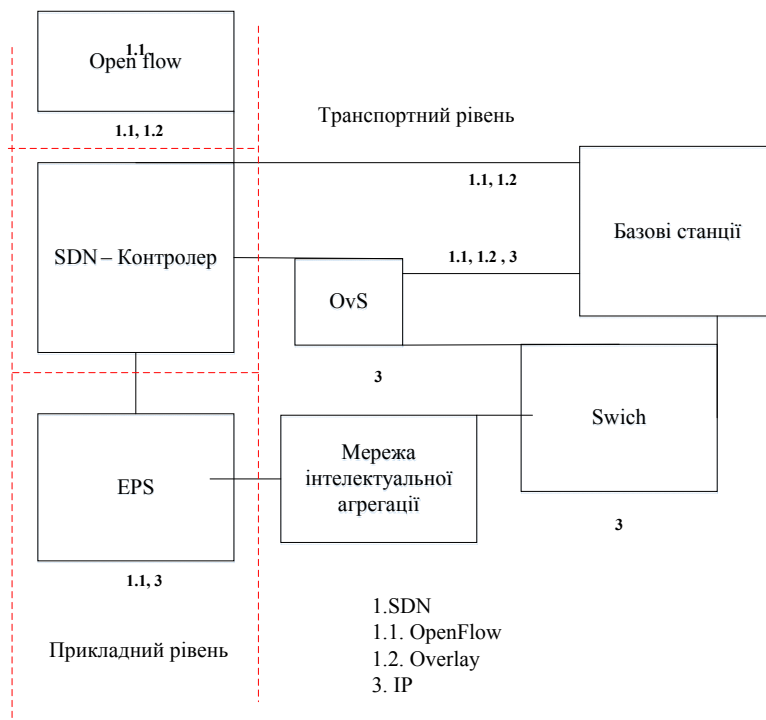


Рис. 4. Схема розподілу потоків трафіку

Інформаційні процеси фізичної інфраструктури сучасної 3GPP мережі. Процеси передавання даних в централізованих мережах відрізняються від процесів передавання трафіку в децентралізованих мережах, а саме основна взаємодія централізованих процесів проходить за допомогою сервера або групи серверів, відповідаючи кожен за свої задачі.

В централізованій мережі або, якщо мова йде про мережу SDN, взаємодія керується сервером. Простий приклад даної системи – клієнт-серверна архітектура мережі. На рис. 4 зображена схема розподілу потоків трафіку в мобільних мережах. Треба зауважити, що SDN відокремлює сервісний трафік від трафіку користувачів, тому обчислювальної потужності треба набагато менше ніж для роботи з величезними масивами, в яких капсульовано користувацький і сервісний трафік.

Варто зауважити, що смуга передавання для кожного користувача в системі SDN на одного клієнта рівна тому, скільки цьому користувачеві потрібно, що цим самим робить роботу мережі більш оптимальною (рис. 4).

Моделі для створення програмного забезпечення. За кожним рівнем структура взаємодій збільшується та набагато ускладнюється (рис. 5, 6). Також можливо побачити семантику зростання та розподіл цифрових потоків цієї мережі, яка зростає з кожним рівнем, що зображено на рис. 5.

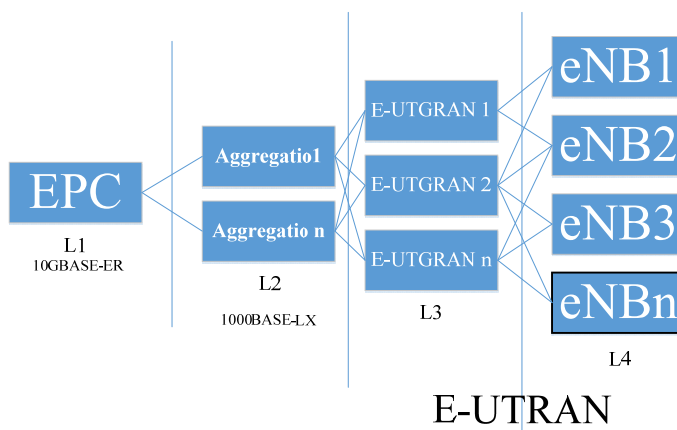


Рис. 5. Побудова семантичної моделі NAT мережі

На моделі SDN (рис. 6) можна побачити, що взаємодія структурована таким чином, що контролер, з'єднаний з кожним блоком, може керувати кожним блоком окремо та безпосередньо отримувати показники напружув.

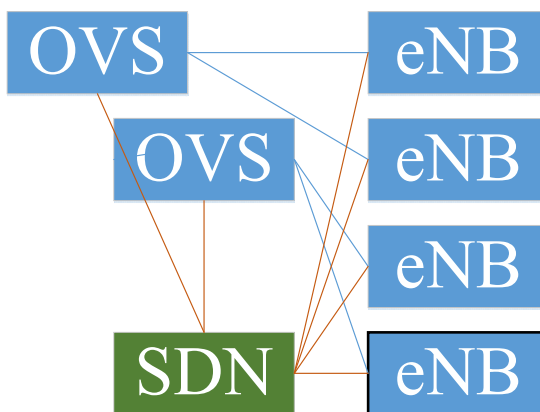


Рис. 6. Побудова семантичної моделі SDN мережі

Модель розрахунку надійності мережі, дотримання стандарту 3 GPP. Задача моделі надійності – можливість прорахувати вразливість математичними функціями та використати методіку для підвищення показників (наприклад методіку резервування або дублювання) даної системи.

$$P\left\{\sum_{i=1}^n A_i\right\} = 1 - P\left\{\prod_{i=1}^n \bar{A}_i\right\} \tag{1}$$

Для розрахунку показників надійності спочатку треба абстрагувати архітектуру до блочного рівня, як показано на рис. 7.

а. Це класична IP-мережа або децентралізована мережа.

b. Це блок-схема SDN або централізована мережа, де блок P – якийсь показник надійності.

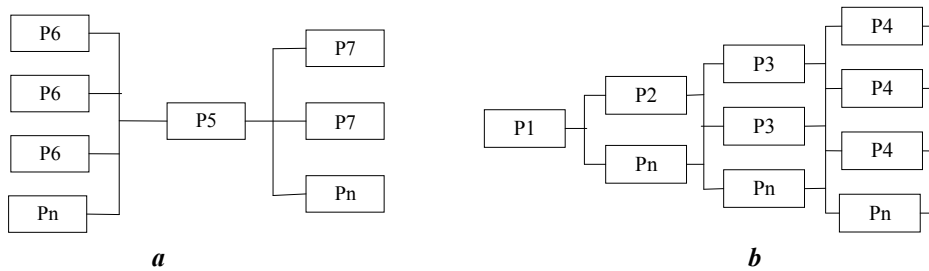


Рис. 7. Блоки фонаційної моделі для розрахунку надійності мобільної мережі: *a* – централізована мережа SDN, *b* – децентралізована мережа IP

Використання практичних показників. Ймовірність події $A - P\{A\}$ визначається частотою її появи в серії випробувань і описується формулою:

$$F_A = \frac{n_A}{N} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} P\{A\}, \tag{2}$$

де \hat{A} – деяка подія;
 N – загальне число дослідів;
 n_A – число появи події \hat{A} ;
 $P\{A\}$ – ймовірність події \hat{A} ;

$$P\{A_0\} = \frac{n_a}{N} = \frac{N}{N} = 1. \tag{3}$$

Ймовірність достовірної події

$$P\{A_i\} = \frac{i_i}{N} = \frac{0}{N} = 0 \tag{4}$$

Ймовірність неможливої події

Ймовірність випадкової події може змінюватись в межах $0 \leq P\{A\} \leq 1$, але ніколи $P\{A\} > 1$

$$P\{A\} + P\{\bar{A}\} = 1. \tag{5}$$

Для повної групи подій

Ймовірність складної події може бути представлена через суму і добуток простих подій. Добутком подій $A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_n$ називається складна подія, яка складається з того, що відбувається і подія A_1 , і A_2 , ..., і A_n , тобто відбуваються всі події. Така подія позначається так:

$$A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots \cdot A_n = \prod_{i=1}^n A_i; \tag{6}$$

$$P\left\{\prod_{i=1}^n A_i\right\} = \prod_{i=1}^n P\{A_i\}$$

Сумою подій $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$ називається складна подія, яка має на увазі те, що відбудеться, або подія A_1 , або A_2 , ..., або A_n , тобто виконується хоча б одна з подій. Сума подій позначається [13]:

$$A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \sum_{i=1}^n A_i. \tag{7}$$

Методика створення програмного забезпечення за допомогою існуючих моделей та обробка цих показників і планування вищих рівнів. Сучасні виробники, наприклад відомі бренди HP, Samsung, Xerox, Cisco, створюють обладнання, яке під'єднується до мережі та фіксує технічний стан обладнання. Це допомагає зменшити час, витрачений на обслуговування об'єкта та віддалено розуміти його налаштування, централізувати можливості обслуговування та налаштування.

Основне призначення цих програм – зробити об'єкт більш керованим, зручнішим в налаштуванні та кращим в обслуговуванні. Програма стосується конкретного обладнання, а не системи в цілому, тобто обладнання мають свої мікросистеми, що вираховують технічний стан, саме ці показники технічного стану і аналізуються програмними рішеннями [4].

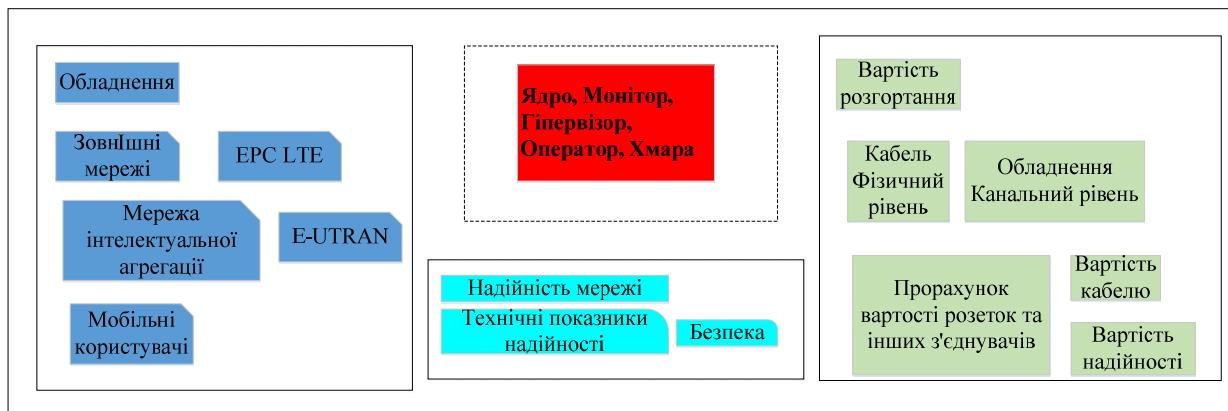


Рис. 8. Семантична модель (мережі) блоків програмного забезпечення

Показники, які можливо вилучити з датчиків або з первинних моделей, можна використати для більш детального аналізу, алгоритм якого і буде працювати в програмі на прикладному рівні. Якщо налаштувати взаємодію за допомогою програмних засобів, які будуть працювати з першеобразними моделями, це дасть можливість аналізувати додаткові стани, наприклад розрахунок вартості розширення або вартості ремонту, або вартості ТО в певний час. Тобто програмно-керована мережа стає набагато інтелектуальнішою та придатною до автоматизованого, оптимального керування, де розподіл ресурсів буде керуватися на нижчому мікрорівні.

Дана модель може моніторити стан мережі на підставі технічних даних, або якщо оператор взяв на себе відповідальність продовжити термін експлуатації на підставі технічного огляду або введення додаткових заходів чи модернізації.

При отриманні практичних даних система може контролювати стан мережі і тримати показники в межах, встановлених користувачем або стандартом. Комплексне програмне забезпечення допоможе зменшити годину граничного стану мережі, зменшити терміни реконфігурації мережі, розрахувати затрати, необхідні на ремонт або обслуговування обладнання.

Використовуючи першеобразні моделі (моделі, про які йде мова, а саме модель надійності та вартості комп'ютерних мереж),—можемо вивести додаткові функції, які будуть розраховувати вартість ремонту та період подовження експлуатації після ремонту або технічного обслуговування.

На рис. 9 зображена типова пряма – це модель, яка з'явилась експериментальним шляхом багатьох запусків обладнання або системи та зведена до загального типу [14].

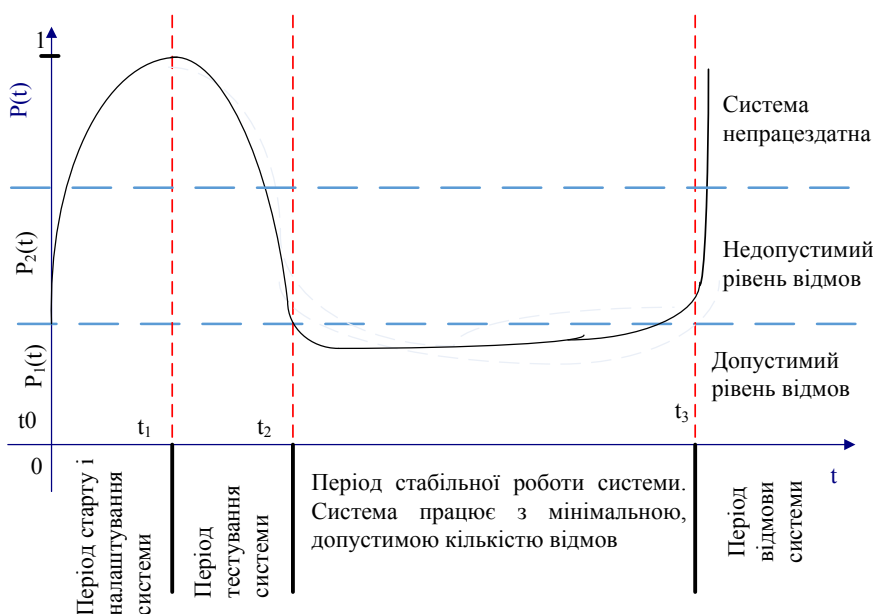


Рис. 9. Типова пряма запуску SDN контролера

Типова пряма показує 1) етапи запуску інфраструктури мобільної мережі, яка включає період налаштування системи; період тестування системи; період стабільної роботи системи; період відмови

системи; 2) стан об'єкта: стан непрацездатності системи; недопустимий рівень відмов; допустимий рівень відмов.

На рис. 9 бачимо три ділянки $0-t_1$ – це період запуску або «обкатки» обладнання або системи, цей період має дуже нестабільний стан, період $0-t_2$ – це виведення обладнання або системи з періоду експлуатації, так як її інтенсивність відмов не дає нам можливості використовувати це обладнання. Приклад розрахунку вартості обслуговування мережі за певний період часу.

В ході розгляду відмов мова йде лише про випадкові відмови, які знаходяться в періоді t_1-t_2 , на ділянці «нормальної» роботи, де $\lambda(t) = const$ (відкидаються ділянки припрацювання та зношення). Отже перше припущення виконується. Для нього ймовірність безвідмовної роботи системи чи елемента визначається експоненціальним законом.

Висновки

Зроблено аналіз комп'ютерних мереж. Проаналізовані централізовані SDN та децентралізовані NAT системи керування комп'ютерними мережами, які на даний час мають найбільшу популярність. Визначено, що в сучасному промисловому впровадженні більш за все прийнятні централізовані системи керування openflow та overlay, які мають більші показники ніж децентралізовані IP-мережі. Визначено, що централізовані системи мають нижчі показники надійності ніж децентралізовані та за тривалістю часу ці показники зменшуються. Тому необхідно розробляти додаткові інструменти моніторингу та керування на основі аналізу, розширені можливості моделі.

Запропоновано методику розробки, впровадження та використання програмного забезпечення для SDN мережі, що можливо використати на програмному рівні за допомогою гіпервізора, який є в цих мережах. Визначено, що обладнання ПКМ мережі має велику вартість, тому треба мати чітку схему розрахунку вартості впровадження та модернізації мережі. Проаналізовані можливості математичної моделі, вартості комп'ютерної мережі. На основі аналізу, розширені можливості моделей. Визначено, що за допомогою програмного забезпечення можливо використати математичні моделі та налаштувати взаємодію між ними. Це допоможе покращити методику керування процесами обслуговування та модернізації об'єкта. Запропонована методика розробки програмного забезпечення та показана можливість взаємодії між моделями. Також розроблена модель аналізу технічного стану мережі.

Література

1. Ndiaye M. Software Defined Networking for Improved / M. Ndiaye, G.P. Hancke, A.M. Abu-Mahfouz // Wireless Sensor Network Management, A Survey. Sensors. – 2017. – 17. – P. 1031.
2. Hegr T. Impact of Nodal Centrality Measures to Robustness in, Software-Defined Networking / Tomas Hegr, Leos Bohac // Advances in Electrical and Electronic Engineering. – 2014. – 12(4). – P. 252–259. DOI 10.15598/aeec.v12i4.1208
3. Odarchenko R. S. Modeling of SDN Overlay Networks and Their Main Characteristics Research / R. S. Odarchenko, S. Yu. Dakov, V. V. Polischuk, A. M. Tyrsenko // Knowledge-based technologies. – 2016. – № 3 (31). – P. 284.
4. Odarchenko R. Traffic offload improved method for 4G/5G mobile network operator / R. Odarchenko, A. Abakumova, O. Polihenko, S. Gnatyuk // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018. Proceedings. – 2018-April. – P. 1051–1054.
5. NAT. Retrieved from URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NAT>
6. Gagandeep G. Accurate Anomaly Detection using Adaptive / Gagandeep Garg, Roopali Garg // Monitoring and Fast Switching in SDN", IJITCS. – 2015. – Vol. 7, no.11. – P. 34–42. DOI: 10.5815/ijitcs.2015.11.05
7. Ferrag M.A. Security for 4G and 5G cellular networks / Mohamed Amine Ferrag, Leandros Maglaras, Antonios Argyriou, Dimitrios Kosmanos, Helge Janicke // A survey of existing authentication and privacy-preserving schemes, Journal of Network and Computer Applications. – 2018. –Volume 101, 1 January. – P. 55–82.
8. Odarchenko R. Operator class SDN and classical IP network costs estimation / Roman Odarchenko, Serhii Dakov, Larisa Dakova // 9th International Conference Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018. – 188 p.
9. Callegati F. Virtual Networking Performance in Open Stack / Franco Callegati, Walter Cerroni, Chiara Contoli // Platform for Network Function Virtualization, Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2016. DOI: 10.1155/2016/5249421
10. Сетевые технологии SDN – Сеть с программным обеспечением [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://habrahabr.ru/company/muk/blog/251959/>
11. Одарченко С. Моделирование сетей наложения SDN и их основные характеристики исследования / С. Одарченко, С.Ю. Даков, В. В. Полищук, А. М. Турсенко // Технологии знаний. – 2016. – № 3 (31). – С. 284.
12. OpenFlow [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenFlow>
13. Азарков В.Н. Надежность систем управления и автоматизации / Азарков В.Н., Стрельников В.П. – К. : НАУ, 2004. – 164 с.
14. Погребинский С.Б. Проектирование и надежность многопроцессорных компьютеров /

Погребинский С.Б., Стрельников В.П. – М. : «Радио и связь», 1988.

15. Gharakheili H. H. Роль SDN в широкополосных сетях / H. Habibi Gharakheili // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2017. DOI 10.1007 / 978-981-10-3479-4_2

16. What is Network Virtualization? Retrieved from URL: <https://www.sdxcentral.com/sdn/network-virtualization/definitions/whats-network-virtualization/&usg=ALkJrhiffGeKh8PBbieLvd5SwB7ybKi2Jw>

17. Odarchenko R.S. The method of the project for the SDN version of the Operator class / R.S. Odarchenko, S. Dakov // Science and Technology. – 2017. – No. 4 (36).

References

1. Ndiaye M. Software Defined Networking for Improved / M. Ndiaye, G.P. Hancke, A.M. Abu-Mahfouz // Wireless Sensor Network Managemen, A Survey. Sensors. – 2017. – 17. – P. 1031.

2. Hegr T. Impact of Nodal Centrality Measures to Robustness in, Software-Defined Networking / Tomas Hegr, Leos Bohac // Advances in Electrical and Electronic Engineering. – 2014. – 12(4). – P. 252–259. DOI 10.15598/aeec.v12i4.1208

3. Odarchenko R. S. Modeling of SDN Overlay Networks and Their Main Characteristics Research / R. S. Odarchenko, S. Yu. Dakov, V. V. Polischuk, A. M. Tyrsenko // Knowledge-based technologies. – 2016. – № 3 (31). – P. 284.

4. Odarchenko R. Traffic offload improved method for 4G/5G mobile network operator / R. Odarchenko, A. Abakumova, O. Polihenko, S. Gnatyuk // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018. Proceedings. – 2018-April. – P. 1051–1054.

5. NAT. Retrieved from URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NAT>

6. Gagandeep G. Accurate Anomaly Detection using Adaptive / Gagandeep Garg, Roopali Garg // Monitoring and Fast Switching in SDN", IJITCS. – 2015. – Vol. 7, no.11. – P. 34–42. DOI: 10.5815/ijitcs.2015.11.05

7. Ferrag M.A. Security for 4G and 5G cellular networks / Mohamed Amine Ferrag, Leandros Maglaras, Antonios Argyriou, Dimitrios Kosmanos, Helge Janicke // A survey of existing authentication and privacy-preserving schemes, Journal of Network and Computer Applications. – 2018. – Volume 101, 1 January. – P. 55–82.

8. Odarchenko R. Operator class SDN and classical IP network costs estimation / Roman Odarchenko, Serhii Dakov, Larisa Dakova // 9th International Conference Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018. – 188 p.

9. Callegati F. Virtual Networking Performance in Open Stack / Franco Callegati, Walter Cerroni, Chiara Contoli // Platform for Network Function Virtualization, Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2016. DOI: 10.1155/2016/5249421

10. Setevye tehnologii SDN – Set' s programmym obespecheniem [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://habrahabr.ru/company/muk/blog/251959/>

11. Odarchenko S. Modelirovanie setej nalozhenija SDN i ih osnovnye harakteristiki issledovanija / S. Odarchenko, S.Ju. Dakov, V. V. Polishhuk, A. M. Tyrsenko // Tehnologii znaniy. – 2016. – № 3 (31). – S. 284.

12. OpenFlow [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenFlow>

13. Azarkov V.N. Nadezhnost' sistem upravlenija i avtomatizacii / Azarkov V.N., Strel'nikov V.P. – K. : NAU, 2004. – 164 s.

14. Pogrebinskij S.B. Proektirovanie i nadezhnost' mnogoprocessornyh komp'juterov / Pogrebinskij S.B., Strel'nikov V.P. – M. : «Radio i svjaz», 1988.

15. Gharakheili H. H. Роль SDN в широкополосных сетях / H. Habibi Gharakheili // Springer Nature Singapore Pte Ltd. – 2017. DOI 10.1007 / 978-981-10-3479-4_2

16. What is Network Virtualization? Retrieved from URL: <https://www.sdxcentral.com/sdn/network-virtualization/definitions/whats-network-virtualization/&usg=ALkJrhiffGeKh8PBbieLvd5SwB7ybKi2Jw>

17. Odarchenko R.S. The method of the project for the SDN version of the Operator class / R.S. Odarchenko, S. Dakov // Science and Technology. – 2017. – No. 4 (36).

Рецензія/Peer review : 21.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 21.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Оксіюк О.Г.