

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ NGN МЕРЕЖ

У статті проведено аналіз сучасних програмних засобів, що використовуються для імітаційного моделювання мереж наступного покоління. Визначено які стимулятори варто використовувати під час розробки імітаційних моделей проведення експериментальних досліджень Soft-Defined Networks.

Ключові слова: *Soft-Defined Networks, імітаційна модель, протокол OpenFlow, Mininet, Estinet.*

Вступ

Розвиток сучасної Глобальної інформаційної інфраструктури передбачає ускладнення процесів, що відбуваються під час передачі інформації телекомунікаційними мережами. Збільшення кількості послуг, що надаються користувачам та технологій функціонування комп'ютерних мереж призводить до ускладнення процесу забезпечення параметрів якості обслуговування. Перш ніж впроваджувати нову концепцію організації, технологію чи протокол в існуючу Глобальну інформаційну інфраструктуру необхідно провести планування та дослідження запропонованого рішення.

Однією з перспективних концепцій удосконалення мережної інфраструктури є впровадження програмно-конфігурованих мереж. Даний підхід побудови мереж забезпечує спрощення і, відповідно, здешевлення апаратної частини, що обслуговує мережу. Програмно-керовані мережі є однією з перспективних технологій побудови мереж наступного покоління,

впровадження яких уже проводяться такими компаніями як Hewlett-Packard, Google, Amazon, Backspase, AT&T, eBay. Перш ніж впроваджувати обладнання Soft-Defined Network в діючі мережі необхідно провести планування та моделювання.

Аналіз літератури показав, що існує значна кількість програмних засобів, що використовуються для імітаційного моделювання комп'ютерних мереж. Однак, більшість з них не дозволяють здійснювати дослідження Soft-Defined Networks. Тому актуальним є аналіз програмного забезпечення, яке може бути використано для планування та експериментального тестування програмно-конфігурованих мереж.

Основна частина

Soft-Defined Networks – це мережі передачі даних, в якій рівень управління мережею відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмно. Всі функції управління, розрахунку маршрутів, забезпечення QoS параметрів виконує окремий пристрій – контролер, в ролі якого може виступати сервер чи персональний комп'ютер. SDN-комутатори є підлеглими пристроями з обмеженою функціональністю.

Контролер має відомості про повну топологію мережі, пропускну здатність, а також інформацію про кращі шляхи проходження пакетів та може бути програмований для виконання різних завдань. Контролер має повноцінну операційну систему, а комутатори – її спрощену версію, так як вони виконують передачу трафіку за алгоритмами, отриманими від контролера. Всі комутатори зв'язуються з контролером за допомогою протоколу OpenFlow. Протокол OpenFlow використовується для управління мережним обладнанням шляхом заміни чи доповнення працюючої на комутаторі чи маршрутизаторі вбудованої програми, що виконує побудову маршруту.

З метою досліджень Soft-Defined Networks можуть використовуватись різні способи модулювання. Найчастіше використовується аналітичне, чисельне, імітаційне, натурне та напівнатурне моделювання. Метод натурального та напівнатурного моделювання передбачає використання реальних пристроїв, які

працюють в режимі дійсних операційних систем та додатків і може надавати більш точні та правдиві результати. Однак, вартість будівництва експериментальної мережі або використання існуючої пов'язані із значними матеріальними витратами, що в багатьох випадках є невиправданим.

Аналітичні та чисельні методи відносяться до «чисто» математичних засобів дослідження моделей, їх застосування значно ускладнюється у випадках, коли необхідно відтворити в моделі динаміку складних просторово-часових взаємозв'язків між компонентами системи, законів керування, адаптивних властивостей тощо. Дослідження таких систем доцільніше та ефективніше проводити за допомогою методу імітаційного моделювання. Цей метод використовується, коли моделі являють собою змістовний опис об'єктів дослідження у формі алгоритмів. Вони адекватно відображають як структуру системи, що досягається ототожнюванням елементів системи з відповідними елементами алгоритмів, так і процеси функціонування системи, зображені в логіко-математичній формі. Особливістю цього підходу до моделювання є те, що для опису моделі використовуються спеціальні алгоритмічні мови, які є більш гнучким засобом опису складних систем, ніж мова математичних функціональних відносин. Завдяки цьому в імітаційних моделях часто знаходять відображення багато деталей структури та функцій складних систем, які вимушено втрачаються або нехтуються в математично строгих моделях, саме тому цей метод використовується для імітації мереж в більшості програмних засобах.

На даний час існує ряд програмних продуктів, що можуть бути використані для проектування мереж наступного покоління. Серед них найбільш перспективними та застосовуваними є: Cisco Packet Tracer, GNS3, EstiNet та Mininet. Зазначене програмне забезпечення відрізняється функціональністю та можливістю працювати з новітніми технологічними рішеннями в концепції мереж наступного покоління. Розглянемо особливості цих пакетів для імітаційного моделювання.

Cisco Packet Tracer – це крос-платформна програма-симулятор створена компанією Cisco Systems для проектування мережевих топологій, імітації роботи сучасних комп'ютерних мереж та експериментування над їхньою поведінкою. Це дозволяє створювати мережеві топології, а потім налаштувати відповідні пристрої. Крім того, можна провести симуляцію проходження пакету в створеній мережі і спостерігати результати його проходження через вузли [1].

Cisco Packet Tracer може бути розгорнуто на стандартному персональному комп'ютері, а потім використане в будь-якому місці. Packet Tracer дозволяє проектувати мережі не лише на основі різних типів пристроїв, таких як маршрутизатори і комутатори, але і на конкретних моделях. Даний програмний засіб дозволяє користувачам створювати конфігурацію для маршрутизаторів та комутаторів компанії Cisco за допомогою симуляції їх робочого CLI (command line interface) інтерфейсу. Packet Tracer використовує простий в освоєнні користувальницький інтерфейс, що дозволяє додавати та видаляти симульоване обладнання так як потрібно користувачу. Програмне забезпечення в основному орієнтоване на студентів мережевої академії Cisco, як навчальний засіб для допомоги у вивченні основних понять CCNA, отримання навичок у конфігуруванні апаратури даної компанії та перенесення її на реальну апаратуру [1, 2].

Переваги:

- зрозумілий графічний інтерфейс;
- можливість моделювання фізичної і логічної топології;
- наявність режиму симуляції, в якому наглядно зображені всі процеси що проходять в мережі;
- можливість додавання/видалення коментарів.

Недоліки:

- підтримуються не всі команди реального Cisco IOS;
- можливість створення імітаційної моделі лише для обладнання компанії Cisco Systems;

- Cisco Packet Tracer доступний для скачування лише для інструкторів, студентів, випускників та адміністраторів Мережевої академії Cisco.

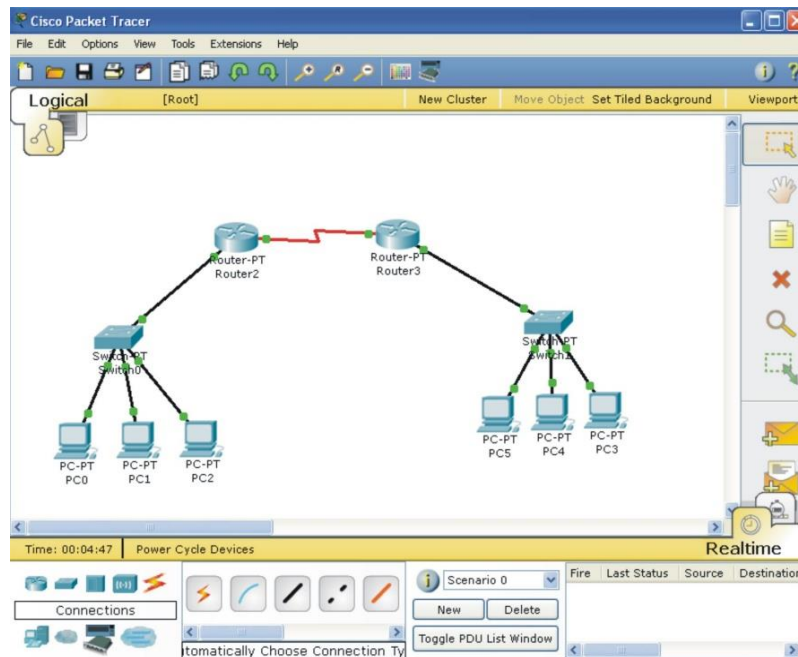


Рис. 1. Інтерфейс програми Cisco Packet Tracer

GNS3 (Graphical Network Simulator-3) – програмний симулятор мережі створений компанією Cisco на базі існуючого емулятора операційної системи Cisco IOS – Dynamips. Даний програмний засіб дозволяє створювати та тестувати віртуальні мережі на персональному комп'ютері використовуючи симуляцію роботи обладнання таких компаній як Cisco, Juniper, MikroTik, Arista та Vyatta [2].

GNS3 дозволяє користувачам проектувати топологію мережі на основі конкретних моделей різних мережевих пристроїв, а також створювати конфігурацію для кожного з них за допомогою CLI інтерфейсу. Має в своєму арсеналі декілька допоміжних програм з відкритим кодом. Частіше всього використовується студентами для отримання практичного досвіду у роботі із операційною системою Cisco IOS. GNS3 дає можливість створювати мережу з обладнанням, яке використовує як технологію Cisco так і технології інших компаній. Для нормального функціонування потрібен реальний образ операційної системи для обладнання, симуляцію якого необхідно здійснити. З одного боку це дозволить отримати поведінку апаратури максимально

приближену до реальної, з іншого боку необхідна наявність відповідної прошивки потрібного обладнання, без якої можливості емулятора будуть обмежені. Має можливість підключення створеної віртуальної мережі до реального обладнання.

Переваги:

- зрозумілий графічний інтерфейс;
- робота з реальними мережними операційними системами, а не з емуляцією;
- можливість проведення моніторингу трафіку в проєктованій мережі за допомогою WireShark;
- можливість моделювання логічної і фізичної топології.

Недоліки:

- високі вимоги до ресурсів комп'ютера;
- повна завантаженість процесора;
- відсутня можливість симуляції комутаторів 2-го рівня Cisco;
- необхідність пошуку образів IOS.

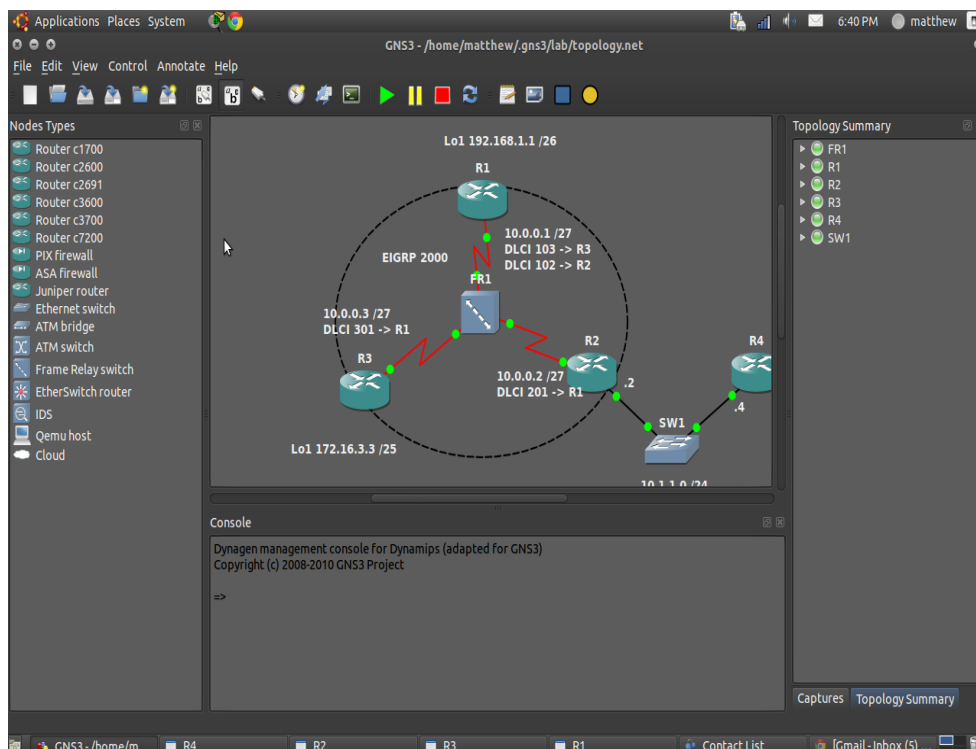


Рис. 2. Інтерфейс програми GNS3

EstiNet – симулятор та емулятор мережі, який має підтримку багатьох OpenFlow комутаторів версії 1.0.0 та 1.3.2. Основою для імітації є метод повторного введення в ядро. Він використовує тунель мережевих інтерфейсів для автоматичного перехоплення пакетів, якими обмінюються двоє реальних додатків та перенаправлення їх в процес симуляції, в якому проводиться імітація затримки, смуги пропускання, часу простою, часу проходження, коефіцієнту бітових помилок та інших ефектів проходження через ділянку реальної мережі. Так як процес заміни реального зв'язку на симульований відбувається поза межами ядра, то обидва додатки не знають що їх пакети пройшли через інше середовище [3, 4].

Під час моделювання за допомогою EstiNet, кожен хост використовує загальну, реальну операційну систему Linux та дозволяє здійснити запуск будь-якого додатку з будь-якими модифікаціями. Має зручний графічний інтерфейс для побудови топології мережі, редагування властивостей обладнання і запуску емуляції.

Переваги Estinet:

- наочність;
- зручний графічний інтерфейс;
- простота встановлення та налаштування;
- можливість емуляції LTE і Wi-Fi мереж;
- робота із протоколом OpenFlow;
- повноцінна імітація роботи Soft-Defined Networks.

Недоліки:

- закритість;
- потрібно мати ліцензію для постійного використання;
- мала кількість навчального матеріалу;
- низька продуктивність роботи;
- висока складність налаштування при використанні не вбудованого контролера.

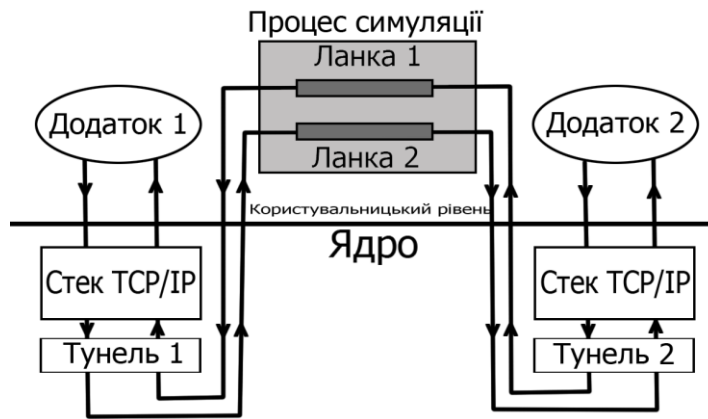


Рис.3. Метод повторного введення в ядро

Mininet – емулятор мережі, який за допомогою віртуального середовища дозволяє створювати та взаємодіяти з віртуальними хостами, комутаторами, контролерами та зв'язками між ними. Емулятор знаходиться у вільному доступі.

Мережа, емульована в Mininet повністю імітує процеси, що відбуваються в реальних мережах. В тому числі, можливим є створення кінцевих віртуальних машин, на кожній з яких за допомогою командного рядка можна запустити будь-яку стандартну Linux команду. Є можливість підключення будь-яких віртуальних комутаторів і контролерів.

В своєму арсеналі Mininet має безліч вбудованих програм для дослідження або спрощення роботи мережі, такі як: Wireshark (програма-аналізатор трафіку), Miniedit (утиліта з графічним інтерфейсом для створення та розміщення елементів мережі та зв'язків між ними), Floodlight (один із віддалених контролерів, дозволяє стежити за станом мережі та її топологією в реальному часі). Використовуючи зазначений програмний засіб можна здійснити імітаційне моделювання SDN мережі на основі контролера OpenFlow з будь-якою операційною системою.


```

mininet@mininet-vm:~$ h1 ping h2
10 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 9000ms
mininet> h1 ping h2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=93.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.530 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=1.04 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.603 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.603 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=1.22 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5011ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.530/16.236/93.422/34.519 ms
mininet> h1 ping h3
PING 10.0.0.3 (10.0.0.3) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 10.0.0.3: icmp_seq=1 ttl=64 time=80.8 ms
64 bytes from 10.0.0.3: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.70 ms
64 bytes from 10.0.0.3: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.835 ms
64 bytes from 10.0.0.3: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.584 ms
64 bytes from 10.0.0.3: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.466 ms
^C
--- 10.0.0.3 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0% packet loss, time 4006ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.466/17.292/80.878/31.815 ms
mininet> pingall
*** Ping: testing ping reachability
h1 -> h2 h3
h2 -> h1 h3
h3 -> h1 h2
*** Results: 0% dropped (6/6 received)
mininet>

```

Рис.4. Інтерфейс емулятора Mininet

Переваги Mininet:

- повністю безкоштовний для некомерційного використання;
- має велику кількість навчальних матеріалів та відкрите співтовариство;
- відкритий програмний код;
- підтримка всіх контролерів SDN і протоколів OpenFlow до версії 1.3.

Недоліки:

- складність;
- відсутність повноцінного графічного інтерфейсу;
- необхідність знання Linux і Python.

Таблиця 1

Основні поля, за якими відбувається порівняння вхідних пакетів

Програмне забезпечення	Можливість проектування мереж SDN	Ліцензійні вимоги	Складність створення моделі	Підтримка з боку виробників обладнання/SDN-спільноти
EstiNet	+	Ліцензія, тріал версія на 30 днів	Просто	-/-
GNS3	-	Безкоштовний, потрібен образ IOS	Середня складність	-/-
Mininet	+	Безкоштовний	Складно	+/+
Packet Tracer	-	Безкоштовний для учасників CCNA	Просто	+/-

Проаналізувавши доступні матеріали по програмному забезпеченню для моделювання можна сказати що GNS3 та Packet Tracer призначені для навчання та здобуття практичних навичок по роботі з існуючими мережами і, відповідно, не мають повноцінних засобів для проектування мереж наступного покоління. В свою чергу, емулятори EstiNet та Mininet були створені саме для проектування SDN мереж. Незважаючи на те, що EstiNet має зручний графічний інтерфейс та постійну підтримку зі сторони виробника, краще обрати Mininet, адже він має відкритий код, майже ідентичні можливості, є безкоштовним та має велику кількість навчальних матеріалів, на відміну від EstiNet.

Висновки

В статті проведено аналіз можливостей сучасних програмних засобів для створення імітаційних моделей телекомунікаційних мереж. Важливим фактором під час вибору мережного стимулятора є здатність реалізувати елементи мереж наступного покоління, а саме концепцію Soft-Defined Network. Більшість програм розроблено для імітацію обладнання лише однієї фірми виробника, мають закритий вихідний код та значні похибки під час досліджень.

Однак, сучасний розвиток Глобальної інформаційної інфраструктури передбачає впровадження на діючу мережу елементів Soft-Defined Networks, а саме OpenFlow контролерів та комутаторів. Аналіз показав, що тільки два програмних інструменти задовольняють цим вимогам: EstiNet та Mininet. Порівнявши особливості створення імітаційних моделей за допомогою цих стимуляторів, визначено, що застосування на етапі планування Soft-Defined Networks стимулятора Mininet є більш доцільним. Це обумовлено низькою вартістю досліджень, високою функціональністю та підтримкою з боку OpenFlow Foundation та виробників обладнання для програмно-конфігурованих мереж.

Література

1. *Jozef Janitor, Karol Kniewald, Visual Learning Tools for Teaching / Learning Computer Networks / Sixth International Conference on Networking and Services. - p.351-355, 2010.*

2. *Woratat Makasiranondh, S. Paul Maj & David Veal. Pedagogical evaluation of simulation tools usage in Network Technology Education. / World Transactions on Engineering and Technology Education. - Vol.8, No.3, p.321-326, 2010.*
3. *Shie-Yuan Wang, Chih-Liang Chou and Chun-Ming Yang. EstiNet OpenFlow. Network Simulator and Emulator. / Topics in network testing. IEEE Communications. - p.110-117, September 2013.*
4. *EstiNet 8.0 OpenFlow Network Simulator and Emulator, EstiNet Technologies Inc., <http://www.estinet.com>.*
5. *Rogério Leão Santos de Oliveira, Ailton Akira Shinoda, Ligia Rodrigues Prete. Using Mininet for emulation and prototyping Software-Defined Networks. / Conference Paper. IEEE ColComCon.2014 - p.81-88, 2014.*
6. *Mininet: An Instant Virtual Network on your Laptop (or other PC), available online: <http://mininet.org>.*
7. *Introduction to Mininet - mininet/ mininet wiki GitHub, available online: <https://github.com/mininet/mininet/wiki/Introduction-to-Mininet>.*
- 8.