

Черкасов Д. І.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРАВИЛ ТА БАЗОВОГО НАБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Комунікаційні мережі є складними інформаційними системами, на функціонування яких впливає значна кількість факторів. Прогнозування поведінки мережі, зокрема визначення можливих шляхів передавання даних, є критично важливим завданням з огляду на оцінку дотримання вимог до мережі, безпеки, рішень щодо подальшого розвитку мережевої інфраструктури. Моделювання дає можливість дослідження процесів перед створенням мережі, або вивчення процесів у наявній мережі – її верифікації, без впливу на її продуктивність та працездатність. Також аналіз моделі дає змогу оцінити вплив можливих інфраструктурних змін до того, як вони будуть здійснені практично. Важливою умовою ефективного побудови моделі є застосування формального відображення реальної мережі на її опис, в якому зберігається вся інформація, що визначає процеси передавання даних, та водночас немає аспектів із несуттєвим значенням. Визначення правил моделювання, базового набору функціональних елементів дає змогу автоматизувати процес побудови моделі, а також застосувати обраний підхід до моделювання мереж різного рівня складності.

Ключові слова: мережа, комунікація, модель, функціональні вузли, канали зв'язку, конфігурація, поточний стан, відображення, структура.

Поняття моделі комунікаційної мережі та мета її використання

Моделлю інформаційної системи, якою є комунікаційна мережа, є її формальний опис, який дає змогу здійснювати аналіз архітектури, функціонування, впливу внесених змін, порівняння різних систем.

Метою використання моделі даних комунікаційної мережі є вивчення процесів, які відбуваються у реальній мережі без використання самої мережі. Функціонування мережі має багато аспектів, наприклад:

- маршрути передавання даних;
- пропускна здатність;
- затримки передавання даних;
- оброблення черг відповідно до політик Quality-of-Service (QoS);
- динамічні реконфігурації внаслідок факторів як внутрішніх (відмови компонентів), так і зовнішніх (зміна рівня навантаженості);
- вплив на передавання даних характеристик і фізичних процесів у каналах передавання даних (наприклад, електромагнітних завад);
- особливості функціонування мережі в реальному часі.

Повне моделювання мережі є складним завданням. Спростити моделювання можливо за

рахунок обмеження аспектів, які беруться до уваги. У цій роботі розглянуто моделювання мережі з метою визначення маршрутів передавання даних у ній. Зокрема, використання моделі має дати відповідь, яким маршрутом буде передано певні дані, які надійшли до мережі, і де виявиться їх фінальне призначення.

Концепції для створення моделі

Базовими припущеннями для моделювання є такі:

- Дані, що передаються, розглядаються як протокольні одиниці даних (Protocol Data Units) другого рівня моделі OSI -- L2-PDU.
- Прив'язки до часового виміру немає.
- Конфігурації мережевих компонентів є незмінними (статичними).
- Мережеві компоненти не зазнають відмов і завжди функціонують відповідно до своєї конфігурації.
- Топологія фізичних зв'язків є незмінною. Моделювання базується на певних принципах. Зокрема, модель використовує такі елементи:
- функціональні вузли;
- канали зв'язку;
- елементи пам'яті конфігурації;
- елементи пам'яті поточного стану.

Функціональні вузли з'єднані між собою за допомогою каналів зв'язку і здійснюють оброблення вхідних даних, які надходять до них по каналах зв'язку від інших функціональних вузлів або зовні мережі, результати оброблення – вихідні дані передаються каналами зв'язку до інших функціональних вузлів або назовні з мережі.

Елементи пам'яті конфігурацій зберігають незмінну (статичну) інформацію щодо налаштувань реальних мережевих компонентів. Елементи пам'яті поточного стану містять інформацію, яка динамічно створюється і модифікується протягом функціонування мережі.

Функціональність будь-якого реального мережевого компонента моделюється за допомогою одного чи декількох з'єднаних між собою функціональних вузлів. Так само можливо моделювати функціональність декількох пов'язаних між собою реальних мережевих компонентів у вигляді одного функціонального вузла (наприклад, у випадку декількох L2-комутаторів, увімкннутих каскадно).

Конфігурації реальних мережевих компонентів моделюються за допомогою елементів пам'яті конфігурації. Конфігурація одного реального мережевого компонента може моделюватися одним чи декількома елементами пам'яті конфігурації.

Стани реальних мережевих компонентів моделюються за допомогою елементів пам'яті поточного стану. Поточний стан реального мережевого компонента може моделюватися одним чи декількома елементами пам'яті поточного стану.

Функціональні вузли

Функціональні вузли (далі – вузли) поділяють на типи відповідно до рівнів L2-L7 моделі OSI:

- L2-вузли – оперують на каналному рівні моделі OSI. Прикладом L2-вузлів є мости;
- L3-вузли – оперують на мережевому рівні моделі OSI. Прикладом L3-вузлів є маршрутизатори;
- L4-вузли оперують на транспортному рівні моделі OSI. Прикладами L4-вузлів є пакетні фільтри, мережеві балансувальники навантаження, засоби запровадження QoS;
- L7-вузли оперують на сеансовому рівні та рівнях презентації і застосувань моделі OSI. Прикладами L7-вузлів є балансувальники навантаження рівня застосувань, брандмауери рівня застосувань, проксі-вузли. До

L7-вузлів належать кінцеві пристрої – робочі станції, сервери, периферійні пристрої.

Кожен вузол має один або декілька інтерфейсів. На інтерфейси вузла надходять вхідні дані, і на них формуються вихідні дані. Кожен інтерфейс розглядається як сукупність вхідного та вихідного підінтерфейсів. Вхідний підінтерфейс використовується виключно для прийому вхідних даних, вихідний інтерфейс – виключно для формування вихідних даних.

Вихідні дані визначаються функцією вузла, яка використовує вхідні дані. Функція вузла може використовувати інформацію з елементів пам'яті конфігурації та поточного стану, а також створювати або змінювати інформацію в елементах пам'яті поточного стану.

Канали зв'язку

Канали зв'язку є односпрямованими з'єднаннями «точка-точка» між інтерфейсами вузлів. Кожен канал з'єднує вихідний і вхідний підінтерфейси, які можуть належати двом різним або одному й тому самому вузлу. Вихідні дані, які сформовані на вихідному підінтерфейсі, автоматично є вхідними даними на під'єднаному до нього каналом зв'язку вхідному підінтерфейсі.

Оскільки як дані, що передаються, розглядаються L2-PDU, канали можна вважати L2-з'єднаннями.

Елементи пам'яті конфігурації

Конфігурація мережі за сутністю є сукупністю конфігурацій реальних мережевих компонентів, які її утворюють. Згідно з базовими припущеннями, для моделювання конфігурація закладається під час дизайну мережі і надалі залишається незмінною.

Конфігурація кожного реального мережевого компонента моделюється у вигляді одного чи декількох елементів пам'яті конфігурації. Типово елементи пам'яті конфігурації можуть бути задані у вигляді таблиць, наприклад, таблиця статичних маршрутів, таблиця належності портів до VLAN тощо.

Оскільки функціональності реального мережевого компонента в моделі може відповідати група функціональних вузлів, елементи пам'яті конфігурації не мають прив'язки до якогось одного вузла. Натомість, вони розглядаються як окремі компоненти моделі. Вміст елементів пам'яті конфігурації є доступним для використання функціями одного чи декількох функціональних вузлів, які сукупно моделюють певний реальний мережевий компонент.

Елементи пам'яті поточного стану

Елементи пам'яті поточного стану є подібними до елементів пам'яті конфігурації: вони так само розглядаються як окремі компоненти моделі і можуть використовуватися декількома функціональними вузлами, які відповідають певному реальному мережевому компоненту.

На відміну від елементів пам'яті конфігурації, вміст елементів пам'яті стану змінюється протягом функціонування мережі. Фактично, стан вузла визначається вмістом його оперативної пам'яті, який формується під час функціонування вузла. На початку вмісту елементів пам'яті стану немає. Надалі він поповнюється і змінюється відповідно до функцій вузлів.

Типово елементи пам'яті станів так само можуть бути задані у вигляді таблиць, наприклад, таблиця динамічних маршрутів, FIB-таблиця, ARP-таблиця тощо.

Приклад застосування моделі

Опис реальної мережі

Як приклад розглянемо модель типової мережі малого офісу (рис. 1). До мережі входять:

- маршрутизатор R1, який має інтерфейси WAN – для підключення до Інтернет, та LAN – для підключення до локальної мережі;
- L3-комутатор S1, який має L3 (routed) інтерфейс, під'єднаний до інтерфейсу LAN маршрутизатора R1, та L2 (switchport) інтерфейси, під'єднані до робочих станцій і серверів;
- робочі станції підрозділів A, B та C;
- сервери.

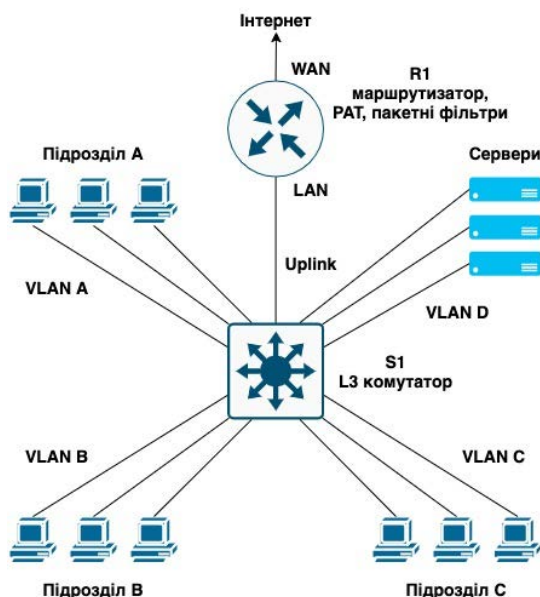


Рис. 1. Мережа малого офісу

Робочі станції підрозділів та сервери мають доступ до Інтернету за допомогою технології трансляції адрес Port Address Translation (PAT). Для серверів також налаштовано статичну трансляцію адрес для певних портів транспортних протоколів UDP та TCP – Port Forwarding.

Конфігурація маршрутизатора R1:

- IP-адреси на інтерфейсах;
- статичні маршрути та/або протоколи динамічної маршрутизації;
- PAT і Port Forwarding;
- пакетні фільтри.

Конфігурація комутатора S1:

- VLAN A, B, C, D згідно зі стандартом IEEE 802.1q для під'єднання відповідно робочих станцій підрозділів A, B, C і серверів, віртуальні L3-інтерфейси – Switch Virtual Interfaces (SVI), у кожному VLAN;
- L3-порт для з'єднання з R1;
- маршрут за замовчуванням (default route) в бік R1.

Загальний опис моделі

Модель створюється для мережі, яка містить маршрутизатор R1, комутатор S1 і пов'язані з ними з'єднання. Кінцеві пристрої – робочі станції та сервери, а також обладнання на боці Інтернет-провайдера не моделюються (рис. 2).

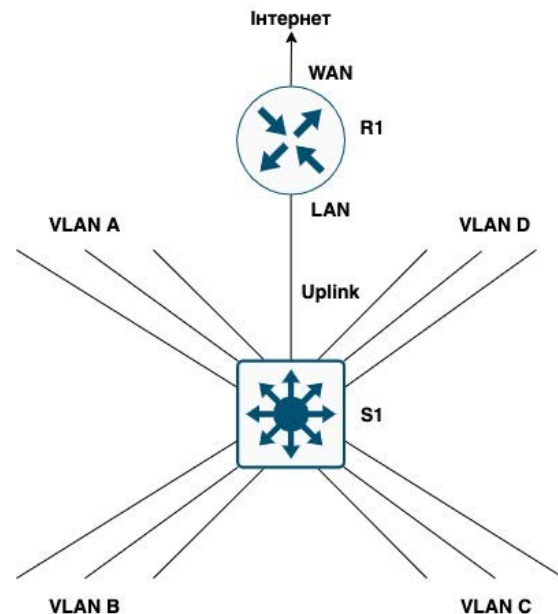


Рис. 2. Частина мережі – об'єкт моделювання

Модель містить дві функціональні групи – маршрутизатор R1 і комутатор S1. Кожна група має вузли, які моделюють окремі складові функціональності відповідного реального пристрою.

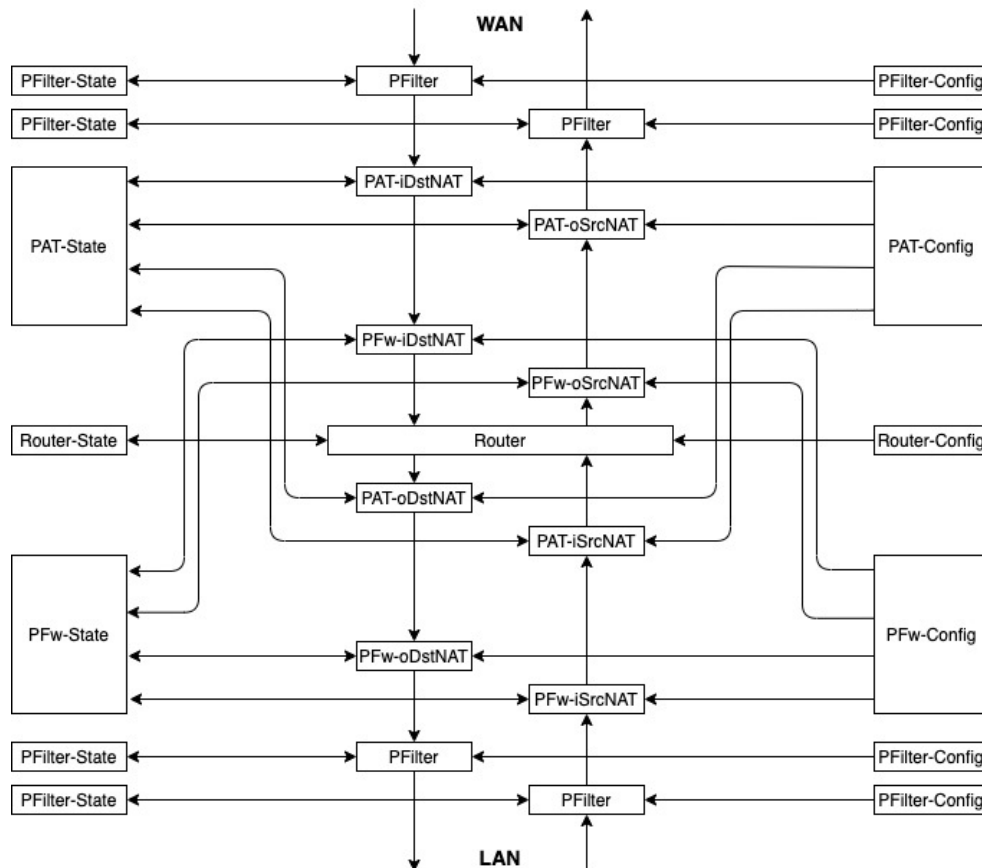


Рис. 3. Функціональна група маршрутизатора R1

Вузли пов'язані з елементами пам'яті конфігурації та поточного стану.

Функціональна група маршрутизатора R1

Функціональну групу маршрутизатора R1 подано на рис. 3.

У маршрутизаторі R1 налаштовано чотири пакетні фільтри – для вхідних і вихідних пакетів на кожному з двох інтерфейсів. У моделі пакетні фільтри представлені вузлами PFilter. Пакетні фільтри є незалежними один від одного, кожен використовує свій особистий елемент пам'яті конфігурації PFilter-Config та елемент пам'яті поточного стану PFilter-State.

Функціональність PAT моделюється вузлами:

- PAT-iDstNAT і PAT-oDstNAT – вузли, які сумісно здійснюють заміну IP-адреси призначення вхідного пакета (destination network address translation), що надійшов на інтерфейс WAN маршрутизатора R1 перед відправленням його з інтерфейсу LAN;
- PAT-iSrcNAT і PAT-oSrcNAT – вузли, які сумісно здійснюють заміну IP-адреси джерела вихідного пакета (source network address translation), що надійшов на інтерфейс LAN маршрутизатора R1 перед відправленням його з інтерфейсу WAN.

маршрутизатора R1 перед відправленням його з інтерфейсу WAN.

Оскільки всі зазначені вузли сукупно виконують одну функцію – PAT, вони використовують спільні елементи пам'яті конфігурації PAT-Config та елемент пам'яті поточного стану PAT-State.

Функціональність Port Forwarding моделюється вузлами:

- PFW-iDstNAT і PFW-oDstNAT – компоненти, які сумісно здійснюють заміну IP-адреси призначення вхідного пакета (destination network address translation), що надійшов на інтерфейс WAN маршрутизатора R1 перед відправленням його з інтерфейсу LAN;
- PFW-iSrcNAT та PFW-oSrcNAT – компоненти, які сумісно здійснюють заміну IP-адреси джерела вихідного пакета (source network address translation), що надійшов на інтерфейс LAN маршрутизатора R1 перед відправленням його з інтерфейсу WAN.

Оскільки всі зазначені вузли сукупно виконують одну функцію – Port Forwarding, вони використовують спільні елементи пам'яті конфігурації PFW-Config та елемент пам'яті поточного стану PFW-State.

Маршрутизація моделюється вузлом Router, який використовує елемент пам'яті конфігурації

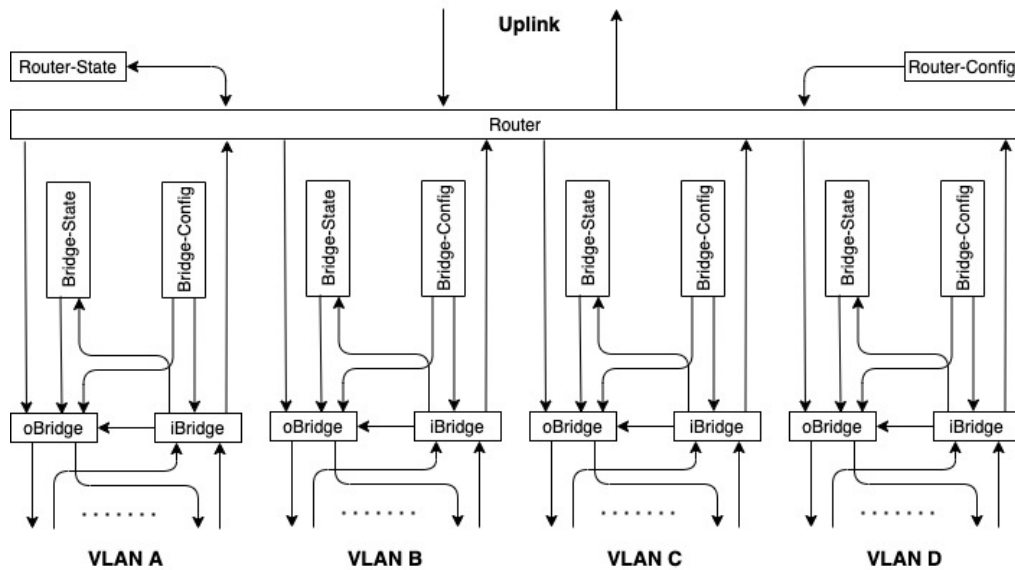


Рис. 4. Функціональна група комутатора S1

Router-Config та елемент пам'яті поточного стану Router-State.

Функціональна група комутатора S1

Функціональну групу комутатора S1 подано на рис. 4.

Маршрутизація у L3-комутаторі S1 моделюється вузлом Router, який використовує елемент пам'яті конфігурації Router-Config та елемент пам'яті поточного стану Router-State.

L2-комутація моделюється окремо для кожного VLAN за допомогою вхідних мостів iBridge та вихідних мостів oBridge. Обидва мости використовують елемент пам'яті поточного стану Bridge-State.

L2-фрейми, які надходять на порти комутатора, потрапляють на вхідний міст iBridge, який приймає рішення щодо того, чи відправити далі фрейм на маршрутизатор Router у разі, якщо MAC-адреса призначення фрейму збігається з MAC-адресою SVI-інтерфейса маршрутизатора для цього VLAN, чи відправити його на вихідний міст oBridge з подальшим надходженням на вихід з одного чи декількох портів комутатора, що належать цьому VLAN.

Рішення щодо напрямку відправлення фрейму з iBridge приймається на основі вмісту TCAM таблиці, яка міститься в елементі пам'яті поточного стану Bridge-State, а також на основі конфігурації, яка міститься в елементі пам'яті конфігурації Bridge-Config. Інформація в TCAM-таблиці формується iBridge на основі аналізу MAC-адрес джерела (source) фреймів, які надійшли на вхід портів комутатора. Конфігурація

може, зокрема, встановлювати статичну відповідність MAC-адрес портів комутатора, або визначати стан певних портів як активний чи неактивний.

Висновки

1. Комунікаційна мережа є складною інформаційною системою, і для ефективного аналізу процесів, які в ній відбуваються, доречно використовувати моделі. Процесом, який реалізує призначення мережі, є передання даних між пристроями, що до неї під'єднані. Аналіз передання даних у мережі може здійснюватися з метою отримання відповіді на такі запитання:
 - чи можливе передання даних із точки А в точку Б і за яких умов?
 - які є часові характеристики (затримка, швидкість) передання даних із точки А в точку Б?
 - яким є вплив наявності певних пристроїв та їх конфігурацій, топології з'єднань на передання даних у мережі?
2. З огляду на те, що головним призначенням мережі є передання даних, моделюванню піддаються лише її компоненти, які здійснюють транзитне передання даних, тобто проміжні пристрої. Кінцеві пристрої, які є джерелом формування даних, що передаються, та їх фінальними отримувачами, не моделюються.
3. Модель відображає всі фактори та складові компоненти, які впливають на процеси в мережі, – функціональність, конфігурацію та поточний стан, і абстрагується від деталей,

- які не мають безпосереднього впливу на процеси, – конкретні моделі чи виробники пристроїв, конструктивні особливості, територіальне розташування. З погляду моделі неважливо, чи певний пристрій є реальним об'єктом, чи віртуальним, значення має лише його роль у процесі передавання даних.
4. Побудова моделі базується на декомпозиції основних сутностей мережі – функцій, конфігурацій, поточних станів її компонентів, до рівня елементів із фіксованого базового набору, достатнього для моделювання мереж будь-якого рівня складності. До базового набору входять:
 - функціональні вузли рівнів L2-L7 моделі OSI;
 - елементи пам'яті конфігурації;
 - елементи пам'яті поточного стану;
 - канали зв'язку.
 5. Для моделювання доречно використовувати представлення даних у вигляді протокольних одиниць даних (PDU) 2-го рівня (L2) моделі OSI. Таке представлення дає змогу оперувати інформацією, яка впливає на передання даних, і абстрагуватися від інших факторів, таких як фізична імплементація з'єднань, їх конструктивні особливості, тощо.
 6. З'єднання та порти пристроїв, які типово забезпечують двоспрямоване передання даних, доречно моделювати сукупністю двох складових – окремо для кожного напрямку руху даних. Наприклад, порт маршрутизатора чи комутатора моделюється як сукупність вхідного та вихідного портів.
 7. Декомпозиція мережі на елементи базового набору здійснюється незалежно для кожного реального компонента мережі з подальшим об'єднанням їх у єдину структуру. Процес декомпозиції виглядає як формальне відображення, що дає змогу проводити формалізацію і автоматизацію.

Список літератури

1. Data model [Electronic resource]. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_model.
2. Rose M. Request for Comments: 1085. ISO Presentation Services on top of TCP/IP-based internets [Electronic resource] / M. Rose. – Mode of access: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1085>.
3. Wilkins Sean. Designing for Cisco Internetwork Solutions (DESGN) / Sean Wilkins. – Foundation Learning Guide, Third Edition. Cisco Press. First Printing August 2011.
4. White R., Donohue D. The Art of Network Architecture / Russ White, Donohue Denise. – Cisco Press. Second Printing: June 2015.

References

- Data model. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Data_model.
- Rose, M. (1988). Request for Comments: 1085. ISO Presentation Services on top of TCP/IP-based internets. Retrieved from <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1085>.
- Wilkins, Sean. (2011). *Designing for Cisco Internetwork Solutions (DESGN)*. Foundation Learning Guide, Third Edition. Cisco Press.
- White, Russ, Donohue, Denise. (2015). *The Art of Network Architecture*. Cisco Press.

D. Cherkasov

DEFINING THE RULES AND BASIC SET OF FUNCTIONAL ELEMENTS FOR EFFECTIVE MODELING OF COMMUNICATION NETWORKS

Communication networks are complex information systems influenced by a vast amount of factors. It is critically important to forecast the paths that data take to verify the network, check its security and plan its updates. Model allows exploring processes that take place in the network without affecting performance and availability of a real network itself. With modelling it becomes possible to investigate the results of infrastructural changes introduced to the network before actually implementing them. It is important to be able to formally convert real network description into the model definition which preserves all data that is significant for network operation and skip data which is not. Outlining the rules for such conversion and using a limited set of basic functional components provide the ground for automatic model creation for the network of different levels of complexity.

Proposed approach to modelling of communication networks is based on decomposition of the overall function of every particular real network component into a set of functions that belong to some predefined basic set. Functions of the basic set include L3 routing, L2 switching, packet filtering, NAT, etc. Model of a real network component is defined as a group of functional nodes each of which implements some function from the basic set.

Configuration and current state of network components that influence its operation are also decomposed into elements each of which relates to some particular functional node. Configuration of network components is modelled as a set of configuration storage elements and current state is modelled as a set of current state storage elements.

Links that connect real network components and links that connect functional nodes in the model are presented as single-direction channels that implement propagation of L2 frames thus simplifying the model due to excluding physical layer (L1) from the scope.

Using the proposed approach to modelling may allow to formalize conversion of a real network description to a model thus making automated modelling possible. By using a sufficient basic set of functional nodes it is possible to model the network containing components of any complexity level.

Keywords: network, communication, model, functional node, channel, configuration, current state, conversion, structure.



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Матеріал надійшов 04.06.2021