

ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Прогнозування мережевого трафіку є однією з перших задач, що необхідно вирішити в таких областях як відслідковування перевантажень мережі, контроль потоку даних і мережеве керування. Ретельно підібрана модель трафіку дозволяє виявити і передбачити важливі характеристики мережевого трафіку, такі як короткотривалі і довготривалі залежні процеси, самоподібність на великих часових інтервалах. В статті розглянуто симулятори та програмні комплекси, що дозволяють проводити моделювання, аналіз та збір статистичних даних роботи комп'ютерної мережі, та трафіку який через неї буде проходити. Для виконання імітаційного моделювання розглянуто три засоби. Сформовано вимоги які необхідні для подальшого моделювання поведінки мережі в залежності від налаштувань її складових частин.

Ключові слова: імітаційне моделювання мережі, модель трафіку, ARIMA

Вступ. Підвищення складності сучасних телекомунікаційних технологій створює проблему у використанні аналітичних методів для оцінки характеристик проєктованих систем і мереж, і дає поштовх для широкого використання імітаційного моделювання.

Із зростанням кількості користувачів в мережі збільшуються об'єми інформації, яка передається, що приводить до загострення проблеми пікових навантажень. Вона ускладнюється тим, що, як правило, піки навантажень спостерігаються в короткий час, притому, що в цілому завантаження серверів провайдера може не досягнути і 70% [1], і нарощувати кількість серверів явно недоцільно. Не є рішенням і розширення серверних майданчиків унаслідок збільшення експлуатаційних витрат.

Тому при аналізі і оптимізації мереж у багатьох випадках переважним виявляється використання математичного моделювання. Особливим класом математичних моделей є імітаційні моделі. Такі моделі є комп'ютерною програмою, яка крок за кроком відтворює події, що відбуваються в реальній системі.

При імітаційному моделюванні мережі не потрібно купувати дорогого устаткування, оскільки його робота імітується програмами, що досить точно відтворюють всі основні особливості і параметри такого устаткування.

Результатом роботи імітаційної моделі є зібрані в ході прогону моделі статистичні дані про найбільш важливі характеристики мережі: час реакції і затримка, коефіцієнт використання ресурсів мережі, вірогідності втрат пакетів і тому подібне. Все це дозволяє розглядати комп'ютерну мережу не як «чорний ящик», а з точки зору інформаційних процесів, що протікають в них.

Останнім часом широкий розвиток отримали спеціалізовані системи імітаційного моделювання телекомунікаційних мереж, такі як NS, GTNeS, OPNET, NISTNET, DummyNet, ModelNet, Ohio Network Emulator, ENDE, Emulab, EMPOWER, NSE, Vint/NS, NETWARS. Використання мови програмування дозволяє описати заголовки пакетів і особливості взаємодії компонентів з максимальною мірою деталізації відповідно до стандартів, що підвищує реалістичність моделей.

Альтернативним є підхід, заснований на використанні мови розфарбованих мереж Петрі для представлення моделей [2], успішно застосований для дослідження мереж MPLS [3], Ethernet TCP/IP.

Постановка задачі: рішення задачі управління можуть сприяти додаткові відомості, які можна отримати з даних прогнозу про пропускну спроможність лінії зв'язку на основі прогнозу моделі. Ретельно підібрана модель трафіку здатна виявити і передбачити найважливіші характеристики мережевого трафіку, такі як короткочасно і довготривало залежні процеси, самоподібність на великих тимчасових масштабах.

Огляд системи NS. Система NS розроблена в університеті Берклі в співпраці з компанією Хегох. Вона реалізована на мові C++ і використовує мову OTcl [4] як командний і конфігураційний інтерфейс. Для опису моделей створена текстова мова, що є розширенням мови OTcl. Модель є файлом з розширенням *.tcl, який потім подається на вхід симулятора ns. Для наочного представлення процесів моделювання використовується аніматор nam (Network Animator), крім того, графічне представлення характеристик моделей може бути отримане в програмі xgraph.

Для опису топології мережі NS пропонує дві основні концепції: вузол (node) і зв'язок (link). Вузли і зв'язки мають безліч атрибутів, що дозволяють описувати реальне устаткування. Для створення вузла використовується команда:

```
$ns node
```

Для задання атрибутів вузлів служить команда

```
$ns node-config <attribute> <value>
```

Так атрибут -addressType задає тип адресації вузлів і замість стандартної flat може бути вибрана ієрархічна структура адреси hierarchical з вказівкою кількості рівнів ієрархії і кількості біт для кожного рівня. Так, наприклад, структура стандартної IP-адреса може бути описана як

```
$ns node-config -addressType hierarchical 4 8 8 8 8
```

Зв'язки між вузлами можуть бути симплексними, дуплексними і мають такі атрибути як пропускна спроможність, затримка, тип черги та інші. Наступна команда описує дуплексний зв'язок між вузлами \$R1 і \$R2 з пропускною спроможністю 1Mbps, затримкою 10ms і чергою з втратами при переповненні:

```
$ns duplex-link $R1 $R2 1Mb 10ms DropTail
```

Для опису трафіку мережі вводиться концепція агентів (agent). Окремими агентами описуються джерела і приймачі трафіку. Агенти приєднуються до вузлів. Напрямок трафіку задається шляхом логічного з'єднання джерела із приймачем:

```
set tcp [new Agent/TCP] #створити нове джерело TCP
```

```
set sink [new Agent/TCPSink] #створити новий приймач TCP
```

```
$ns attach-agent $T1 $tcp #приєднати агент tcp до вузла T1
```

```
$ns attach-agent $T2 $sink #приєднати агент sink до вузла T2
```

```
$ns connect $tcp $sink #з'єднати джерело tcp із приймачем sink
```

Можливе моделювання випадкового трафіку з різними законами розподілу. Надаються атрибути для завдання розміру пакетів і інтенсивності трафіку:

```
$ftp set packetSize_ 1000 #задати розмір пакету в 1000 байт
```

```
$ftp set interval_ 0.02 #задати інтервал між пакетами в 0.02с
```

Робота симулятора в часі управляється командами запуску і завершення генерації трафіку:

```
$ns at 1.25 "start $ftp" #запустити генератор ftp у момент часу 1.25с
```

```
$ns at 4.67 "stop $ftp" #зупинити генератор ftp у момент часу 4.67с
```

Для дослідження характеристик моделі слід або зберегти повну трасу процесу моделювання для подальшого аналізу, або доповнити модель призначеними для користувача процедурами, що виконують збір і обробку необхідної статистичної інформації. Збереження повної траси у файлі my-tracefile.out виконується командою:

```
$ns trace-all [open my-tracefile.out w]
```

В даний час система NS містить бібліотеки класів для моделювання мереж MPLS, TCP/IP, локальних, мобільних, супутникових і радіо мереж. При необхідності моделювання нових протоколів або устаткування потрібно розробити відповідну бібліотеку класів на мові C++ і інтегрувати її в середу NS.

Алгоритм побудови моделі ARIMA(p,d,q)

А загальному модель ARIMA(p,d,q) має наступний вигляд:

$$(\Delta^d X_t) = \sum_{i=1}^p \varphi_i (\Delta^d X_{t-1}) + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j (\Delta^d \varepsilon_{t-1}), \quad \varepsilon_t \approx N(0, \sigma_t^2) \quad (1)$$

Також можна використовувати більш короткий запис

$$\varphi(B)(1-B)^d X_t = \theta(B)\varepsilon_t, \quad (2)$$

де $\varphi(\cdot)$, $\theta(\cdot)$ поліноми степені p і q , а B лаговий оператор

$(B^j X_t = X_{t-j}, B^j \varepsilon_{t-j}, j = 0, \pm 1, \dots)$, d - порядок взяття послідовної різниці

$(\Delta X_t = X_{t+1} - X_t = (1-B)X_t, \Delta^2 X_t = \Delta X_{t+1} - \Delta X_t = (1-B)^2 X_t, \dots)$.

Вперше систематичний підхід до побудови моделі ARIMA був викладений Боксом і Дженкінсом в 1976 р. Методологія побудови ARIMA-моделі для досліджуваного тимчасового ряду включає наступні основні етапи [1]:

- ідентифікацію пробної моделі;
- оцінювання параметрів моделі і діагностичну перевірку адекватності моделі;
- використання моделі для прогнозування.

Спочатку (у блоці 1 - 3) необхідно отримати стаціонарний ряд. На цьому етапі рекомендується проводити аналіз автокореляційної функції (АКФ) і приватної автокореляційної функції (ПАКФ). Швидке загасання значень АКФ - простий тест на стаціонарність. Також на цьому етапі використовуються статистичні тести на наявність одиничного кореня.

Якщо у відповідність із статистикою Дікі-Фуллера або оцінок АКФ ряд є нестаціонарним, то для переходу до стаціонарного ряду традиційно застосовують оператор взяття послідовних різниць, тим самим визначається значення параметра d (порядок різниці). Таким чином, значення одного параметра в моделі ARIMA(p, d, q) вже відоме.

У блоці 4 після здобуття стаціонарного ряду досліджується характер поведінки вибірових АКФ і ПАКФ і висуваються гіпотези про значення параметрів p (порядок авторегресії) і q (порядок ковзаючого середнього). На вході блоку 4 може формуватися базовий набір, що включає одну, дві або навіть більше число моделей, іншими словами, портфель моделей.

У блоці 5 після здійснення ідентифікації моделі необхідно оцінити їх параметри. Для цих цілей використовується метод максимальної правдоподібності (ММП).

У блоці 6 для перевірки кожної пробної моделі на адекватність аналізується її ряд залишків. В адекватній моделі ряд залишків має бути схожий на білий шум, тобто їх вибірові АКФ не повинні відрізнятися від нуля.

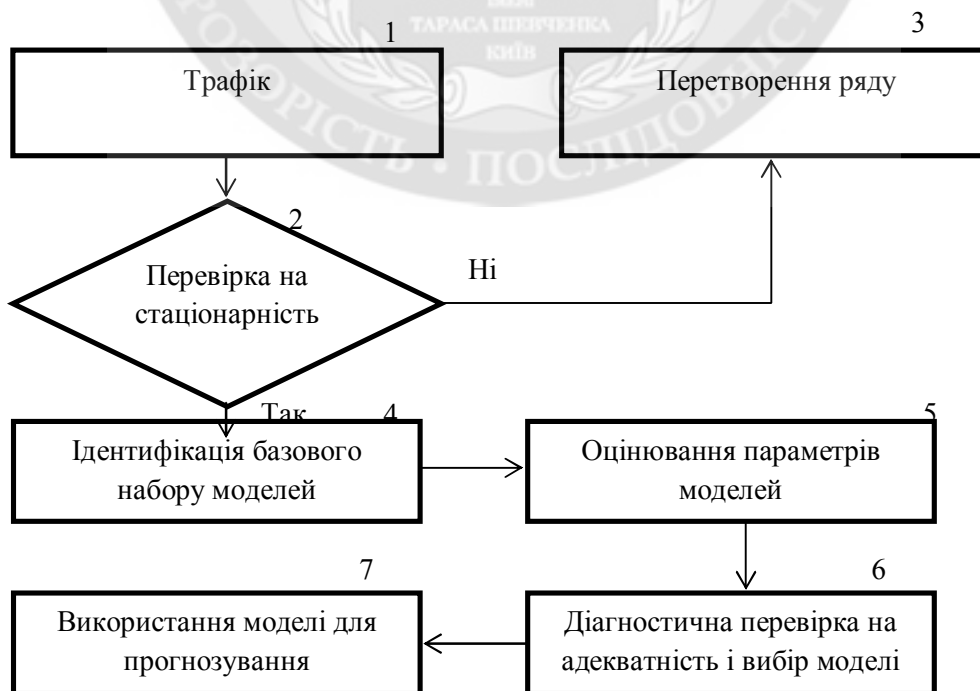


Рис. 1. Структурна схема підбору моделі ARIMA

Короткий опис функцій програми Opnet Modeler

Програма Opnet Modeler пропонує користувачам графічне середовище для створення, виконання і аналізу покрокового моделювання мереж зв'язку (рис.2). Це зручне програмне забезпечення може бути використане для вирішення багатьох завдань, наприклад, для перевірки протоколів зв'язку, аналізу взаємодій протоколів, оптимізації мережі. Також можливо здійснити за допомогою програми перевірку правильності аналітичних моделей і опис протоколів.

Після закінчення моделювання користувач отримує в своє розпорядження наступні характеристики по продуктивності мережі:

- прогнозовані затримки між кінцевими і проміжними вузлами мережі, пропускні спроможності каналів, коефіцієнти використання сегментів, буферів і процесорів;
- піки і спади трафіку як функцію часу, а не як усереднені значення;
- джерела затримок і вузьких місць мережі.

Система Opnet Modeler оперує вузлами трьох типів

- процесорними вузлами, вузлами-маршрутизаторами і комутаторами. Вузли можуть приєднуватися за допомогою портів до комунікаційних каналів будь-якого типу, від каналів локальних мереж до супутникових ліній зв'язку. Вузли і канали можуть характеризуватися середнім часом напрацювання на відмову і середнім часом відновлення для моделювання надійності мережі.

Моделюється не лише взаємодія комп'ютерів в мережі, але і процес поділу процесора кожного комп'ютера між його додатками. Робота додатка моделюється за допомогою команд декількох типів, у тому числі команд обробки даних, відправки і читання повідомлень, читання і запису даних у файл, встановлення сесій і призупинення програми до здобуття повідомлень. Для кожного додатка задається так званий репертуар команд.

Канали зв'язку моделюються шляхом завдання їх типу, а також двох параметрів - пропускної спроможності і затримки поширення. Одиницею даних, що передаються по каналу, є кадр. Пакети при передачі по каналах сегментуються на кадри. Кожен канал характеризується: мінімальним і максимальним розміром кадру, накладними витратами на кадр і інтенсивністю помилок в кадрах. Зв'язок з глобальною мережею імітується за допомогою каналу доступу, який має визначені затримку поширення і пропускну спроможність.

Робоче навантаження створюється джерелами трафіку. Кожен вузол може бути сполучений з декількома джерелами трафіку різного типу.

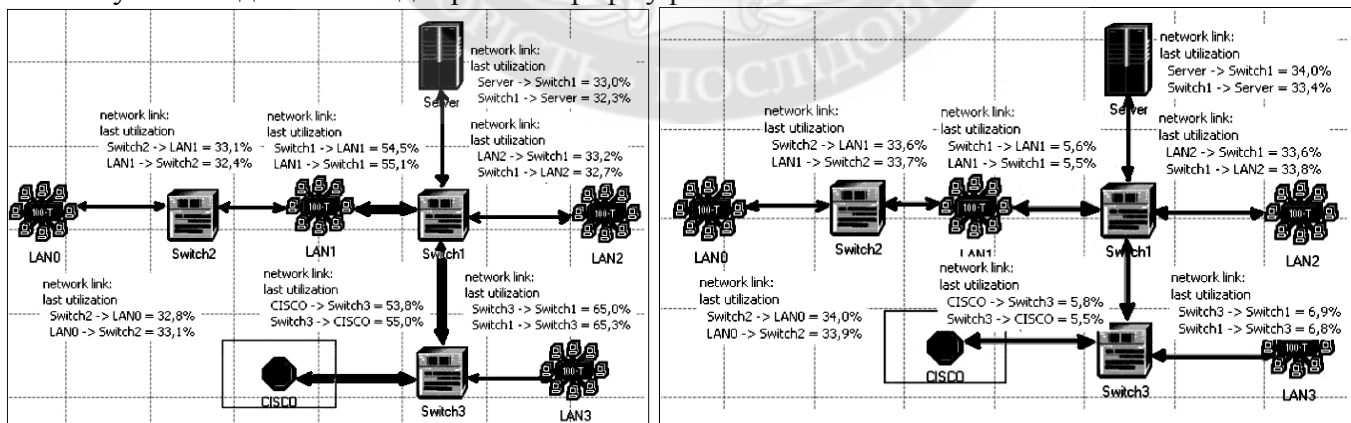


Рис. 2. Результати моделювання мережі програмі Opnet Modeler

Джерела-додатки генерують додатки, які виконуються вузлами типу процесорів або маршрутизаторів. Вузол виконує команду за командою, імітуючи роботу в мережі. Джерела можуть генерувати складні нестандартні додатки, а також прості, такі, що займаються в основному відправкою і здобуттям повідомлень в мережі.

Джерела викликів генерують запити на встановлення з'єднань в мережах з комутацією каналів (мережі з комутуваними віртуальними з'єднаннями, ISDN, POTS).

Джерела планованого навантаження генерують дані, використовуючи залежний від часу розклад. При цьому джерело генерує дані періодично, використовуючи певний закон розподілу інтервалу часу між порціями даних. Можна моделювати залежність інтенсивності генерації даних від часу дня.

Висновок: Будь-яку мережеву ситуацію, розширення або перетворення мережі можна спочатку змоделювати і оцінити наслідки і тільки потім починати монтажні роботи. Будь-який недолік в деталях може привести до втрати пропускної спроможності каналів в кілька разів. Порівняння різних сценаріїв розвитку мережі дозволить уникнути помилок ще на етапі проектування та знизити витрати на переробку проекту до мінімуму. Програми та засоби моделювання дозволяють аналізувати як існуючі так і мережі що знаходяться в стадії проектування. В статі розглянуто три способи для проведення моделювання, система NS, модель ARIMA(p,d,q) та програма Opnet Modeler. ARIMA(p,d,q) використовується в комплексі програми MatLab і вимагає математичної моделі для здійснення моделювання. Програми NS, та Opnet Modeler є більш простішими у використанні, оскільки для проведення моделювання достатньо описати структуру мережі в командному файлі як для NS, або зобразити її графічно як для програми Opnet Modeler. До сильних сторін OPNET Modeler відноситься графічні засоби побудови моделі обчислювальних мереж, система дозволяє вирішувати наступні завдання: планування та оптимізація мережі; створення і перевірка аналітичних моделей мережі; створення і перевірка протоколу зв'язку. До недоліків відносяться відсутність трасування моделей і недостатня гнучкість: використовується власна бібліотека пристроїв, які неможливо розширити і обмежений набір звітів. NS (Network Simulator) - безкоштовний пакет, характерною властивістю програмного забезпечення NS є можливість модифікації ядра програми і гнучке налаштування у відповідності до вимог конкретного користувача, а також кросплатформовість.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гребенников А.В. Моделирование сетевого трафика и прогнозирование с помощью модели ARIMA /А. Гребенников, Ю.Крюков // Электронный журнал «Системный анализ в науке и образовании». – 2011. - №1.
2. Jensen K. Colored Petri Nets - Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. – Springer-Verlag, 1997. – Vol. 1-3. – 673 p.
3. Зайцев Д.А., Сакун А.Л. Исследование эффективности технологии MPLS с помощью раскрашенных сетей Петри // Зв'язок. – 2006. – Т. 65, №5. – С. 49-55.
4. The ns Manual / Ed.: Kevin Fall, Kannan Varadhan. – The VINT Project, 2010. – 414 p.

Без рецензії.

д.т.н., проф. Мясичев А.А., Голдис А.В., Ленков О.С.

СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Прогнозирование сетевого трафика является одной из первых задач, что необходимо решить в таких областях как отслеживания перегрузок сети, контроль потока данных и сетевое управление. Тщательно подобранная модель трафика позволяет выявить и предсказать важные характеристики сетевого трафика, такие как краткосрочные и долговременные зависимые процессы, самоподобность на больших временных интервалах. В статье рассмотрены симуляторы и программные комплексы, позволяющие проводить моделирование, анализ и сбор статистических данных работы компьютерной сети, и трафика который в ней будет проходить. Для выполнения имитационного моделирования рассмотрены три средства. Сформированы требования необходимые для дальнейшего моделирования поведения сети в зависимости от настроек ее составных частей.

Ключевые слова: имитационное моделирование сети, модель трафика, ARIMA

Prof. Myasishev A.A., Holdys A.V., Lenkov O.S.

TOOLS FOR MODELING TELECOMMUNICATION NETWORKS

Prognostication of network traffic is to one of the first tasks, which must be decided in such areas as congestion control, admission control and network management. The carefully neat model of traffic allows to expose and predict important descriptions of network traffic, such as long-range dependence and self-similarity on large temporal intervals. Simulators and programmatic complexes, allowing to conduct a design, analysis and capture of statistical data of work of computer network, are considered in this paper, and traffic which will pass in it. For implementation of imitation design three means are considered. Requirements are formed necessary for the further design of conduct networks depending on tuning of its component parts.

Keywords: imitation design of network, model of traffic, ARIMA