

Штіммерман А.М. Державний університет телекомунікацій, Київ
Якимчук Н.М. Луцький національний технічний університет, Луцьк
Сорокін Д. Державний університет телекомунікацій, Київ
Торошанко А.І. Сумський державний університет, Суми

УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖНИМ ТРАФІКОМ НА ОСНОВІ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ І ІНТЕГРОВАНИХ ПОСЛУГ

Анотація: Розглянута задача контролю і управління трафіку з метою прогнозування і запобігання перевантаження телекомунікаційної мережі. Дано визначення поняття політики трафіку. Вирішення задач контролю трафіку ґрунтується на застосуванні політики, що дозволяє гармонійно розподілити інформаційний потік. Перспективним шляхом боротьби з перевантаженнями є управління параметрами трафіку – формування та регулювання трафіку, тобто управління статистичними характеристиками трафіку. Обґрунтована необхідність використання імовірнісних і статистичних методів контролю трафіка на основі кореляційного і регресійного аналізу. Розглянута концепція наскрізної діагностики мережі. Наскрізне управління включає в себе управління мережею в цілому, управління перевантаженнями і управління параметрами трафіку.

Подальшим розвитком політики трафіку є застосування диференційованих і інтегрованих послуг. Спосіб передбачає динамічний розподіл смуги пропускання каналів передачі між користувачами з урахуванням їх пріоритетів. При такому підході вдається уникати періодичних місцевих перевантажень маршрутів, які були визначені як оптимальні на поточному етапі. Алгоритм передбачає вибір маршрутів по критерію рівномірного завантаження ліній передачі. Для реалізації політики трафіку з диференційованими послугами необхідно вирішувати задачу розподілу потоків між локально-оптимальними або квазіоптимальними маршрутами в реальному часі.

Розглянута модель процесу формування сумарного потоку внаслідок накладення окремих потоків від різних джерел. Показано, що, за умов зберігання балансу потоків, що пропускаються мережею, інтенсивності потоків у вузлі з обмеженою буферною пам'яттю перевершують відповідну інтенсивність мережі з необмеженою пам'яттю. Це дає можливість економити ресурс запам'ятовуючих пристроїв і зменшувати затримки пакетів із-за очікування у буферах комутаційних пристроїв.

Ключові слова: політика трафіку, контроль перевантаження, диференційовані і інтегровані послуги, наскрізне управління, розподіл потоків, пакетний буфер, баланс потоків, маршрутизація.

Shtimmerman A. M. State University of Telecommunications, Kyiv
Yakymchuk N. M. Lutsk National Technical University, Lutsk
Sorokin D. V. State University of Telecommunications, Kyiv
Toroshanko A. I. Sumy State University, Sumy

NETWORK TRAFFIC MANAGEMENT BASED ON DIFFERENTIATED AND INTEGRATED SERVICES

Abstract: The problem of traffic control and management for the purpose of forecasting and prevention of congestion of a telecommunication network is considered. The definition of the concept of traffic policy is given. The solution of traffic control problems is based on the application of a policy that allows the harmonious distribution of information flow. A promising way to prevent congestion is the management of traffic parameters – policing and shaping, i.e the management of statistical characteristics of traffic. The necessity of using probabilistic and statistical methods of traffic control, based on correlation and regression

analysis, is substantiated. The concept of end-to-end network diagnostics is considered. End-to-end management includes network management as a whole, congestion management and traffic parameters management.

Further development of traffic policy is the use of differentiated and integrated services. The method involves the dynamic allocation of bandwidth of transmission channels between users based on their priorities. This approach avoids periodic local congestion of routes that have been identified as optimal at the current stage. The algorithm involves the selection of routes according to the criterion of equable loading of transmission lines. To implement a policy of traffic with differentiated services, it is necessary to solve the problem of flow distribution between locally optimal or quasi-optimal routes in real time.

The process model of the total flow formation due to the imposition of separate flows from different sources is considered. It is shown that, under the conditions of maintaining the balance of network flows the intensities of flows to nodes with limited buffer memory exceed the corresponding intensity of the network with unlimited memory. This saves storage and reduces packet delays due to latency in switching buffers.

Keywords: traffic policy, congestion control, differentiated and integrated services, end-to-end management, flow distribution, packet buffer, flow balance, routing.

Штиммерман А.Н. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

Якимчук Н.Н. Луцкий национальный технический университет, Луцк

Сорокин Д.В. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

Торошанко А.И. Сумской государственный университет, Сумы

УПРАВЛЕНИЕ СЕТЕВЫМ ТРАФИКОМ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ И ИНТЕГРИРОВАННЫХ УСЛУГ

Аннотация: Рассмотрена задача контроля и управления трафика с целью прогнозирования и предотвращения перегрузки телекоммуникационной сети. Дано определение понятия политики трафика. Решение задач контроля трафика основывается на применении политики, позволяет гармонично распределить информационный поток. Перспективным путем борьбы с перегрузками является управление параметрами трафика - формирование и регулирование трафика, то есть управление статистическими характеристиками трафика. Обоснована необходимость использования вероятностных и статистических методов контроля трафика на основе корреляционного и регрессионного анализа. Рассмотрена концепция сквозной диагностики сети. Сквозное управление включает в себя управление сетью в целом, управление перегрузками и управления параметрами трафика.

Дальнейшим развитием политики трафика является применение дифференцированных и интегрированных услуг. Способ предусматривает динамическое распределение полосы пропускания каналов передачи между пользователями с учетом их приоритетов. При таком подходе удастся избежать периодических местных перегрузок маршрутов, которые были определены как оптимальные на текущем этапе. Алгоритм предусматривает выбор маршрутов по критерию равномерной загрузки линий передачи. Для реализации политики трафика с дифференцированными услугами необходимо решать задачу распределения потоков между локально-оптимальными или квазиоптимальными маршрутам в реальном времени.

Рассмотрена модель процесса формирования суммарного потока вследствие наложения отдельных потоков от разных источников. Показано, что в условиях сохранения баланса потоков, пропускаемых сетью, интенсивности потоков в узлы с ограниченной буферной памятью превосходят соответствующую интенсивность сети с неограниченной памятью. Это дает возможность экономить ресурс запоминающих устройств и уменьшать задержки пакетов из-за ожидания в буферах коммутационных устройств.

Ключевые слова: политика трафика, контроль перегрузки, дифференцированные и интегрированные услуги, сквозное управление, распределение потоков, пакетный буфер, баланс потоков, маршрутизация.

Вступ. Найважливішою функціональною областю управління системи є здійснення контролю функціонування мережі, усунення перевантажень та можливих несправностей, що є невід'ємною частиною в забезпеченні необхідного рівня надійності мережі. Контроль та усунення перевантажень здійснюється на основі управління параметрами мережного трафіку, тобто управління статистичними характеристиками трафіку [1, 2].

Спостереження за потоком трафіку називається політикою трафіку (*policing and shaping* – формування та регулювання трафіку) [1]. Методи вирішення проблеми контролю трафіку ґрунтуються на застосуванні політики, що дозволяє гармонійно розподілити інформаційний потік.

Огляд існуючих рішень. Контроль трафіку потребує аналізу великої кількості різномірних даних, для чого необхідне використання методів імовірнісного (кореляційного і регресійного) аналізу [3, 4].

Взагалі кореляційний аналіз – поверхнево-візуальний (порівняння поведінки тих або інших вузлів і пошук закономірностей), автоматизований (обчислення коефіцієнтів кореляції і їх аналіз) або автоматичний (обчислення коефіцієнтів кореляції і побудова рівнянь регресії різних процесів функціонування мережі) – центральна ідея комплексної наскрізної діагностики систем [4, 5]. Концепція наскрізної діагностики мережі передбачає уміння ефективно оцінити, як працюють всі компоненти мережі з врахуванням їх взаємозв'язків [6]. При цьому зовсім не є необхідною вічна гонка за потужнішим устаткуванням, при тому що значна частина проблем мережі криється зовсім не у вичерпанні свого ліміту, що існує, а проблемами взаємодії апаратури, неефективної конфігурації, неправильної організації мережі і роботи користувачів [7]. Проблема номер два – обмеження вживанням лише деяких методик діагностики і моніторингу і ігнорування інших. Тут необхідні системний підхід і методика наскрізної діагностики та управління. Наскрізна діагностика – поетапна діагностика мережі і оптимальний інструментарій для використання на кожному етапі.

Провідні розробники мережного устаткування намагаються утілити ідею використання політики контролю трафіку в технічні рішення. Як правило, реалізуються методи *QoS (Quality of Service)* і *CoS (Class of Service)*, які досить тісно зв'язані між собою [8, 9].

Розробники пропонують схеми, що дозволяють ефективно застосувати політикові *QoS/CoS* в мережі.

В результаті застосування політики пріоритетів створюються марковані потоки трафіку. Алгоритм політики, наприклад, може визначити, що пакети, які згенеровані чутливими до затримок додатками, мають перевагу по доставці перед пакетами інших типів – обміну файлів або електронної пошти. Якщо ж виникне ситуація, коли частина пакетів внаслідок перевантаження буде відкинута, то насамперед це трапиться з пакетами з низьким пріоритетом. Разом із забезпеченням достатньої смуги пропускання схема пріоритетів дозволяє здійснити доставку необхідного трафіку в пункт призначення.

Ефективними алгоритмами управління статистичними характеристиками трафіку є так звані алгоритми дірявого та маркерного відра [10, 11]. Алгоритм дірявого відра формує строгий вихідний потік зі швидкістю, що не залежить від нерівномірності вхідного потоку. Для мережних додатків було б краще під час надходження великих пакетів даних обмежувати вихідну швидкість. Таким чином можна було б отримати більш гнучкий алгоритм, такий, що, бажано, не втрачає дані. Одним з таких алгоритмів є алгоритм маркерного відра.

На відміну від алгоритму дірявого відра [9], алгоритм маркерного відра дозволяє обмежити смугу пропускання каналу і в той же час гарантувати деяку швидкість передачі даних (кадрів або пакетів). Оскільки швидкість передачі пакета по каналу завжди дорівнює швидкості передачі бітового потоку по середовищі передачі (або швидкості модуляції), то для обмеження, або іншими словами, зменшення середньої швидкості передачі потрібно збільшити часові інтервали між пакетами. Однак обмеження швидкості зазвичай досягається

простим відкиданням деяких пакетів, передача яких веде до перевищення узгодженої швидкості. Для вдосконалення алгоритму маркерного відра можна декілька ускладнити його шляхом адаптації до змін статистичних характеристик трафіку. Перш за все треба побудувати статистичні математичні моделі мережного трафіку. Це завдання розглядається далі.

Постановка задачі дослідження. Наявність перевантаження означає, що навантаження тимчасово перевищило можливості ресурсів даної частини системи. Є два рішення даної проблеми: збільшити ресурси системи або зменшити навантаження [12, 13]. Наприклад, підмережа може використовувати телефонні лінії з модемами, щоб збільшити пропускну спроможність між певними її точками. У супутникових системах велику пропускну спроможність часто дає збільшення потужності передавача. Розподіл трафіку по декількох маршрутах замість постійного використання одного і того ж, нехай навіть оптимального шляху, також може дозволити ліквідувати місцеве перевантаження. Нарешті, для збільшення пропускну спроможності мережі у разі серйозних заторів можуть бути задіяні запасні маршрутизатори, які зазвичай застосовуються для підвищення стійкості системи у разі збою.

Проте, інколи збільшити пропускну спроможність буває неможливо, або вона вже збільшена до межі. В цьому випадку єдиний спосіб боротьби з перевантаженням полягає в зменшенні навантаження. Для цього існує декілька методів, включаючи відмову в обслуговуванні або зниженні рівня обслуговування деяких або всіх користувачів, а також складання чіткішого розкладу потреб користувачів в обслуговуванні.

На стадії проектування мережі передачі даних і в процесі її розвитку важливою є задача вибору алгоритму маршрутизації. Для цієї мети можуть бути використані різні способи:

- вимірювання і статистичний аналіз параметрів реальної мережі (в тому випадку, якщо мережа передачі даних вже побудована і знаходиться в процесі розвитку);
- натурне моделювання;
- імітаційне моделювання;
- математичні оптимізаційні моделі.

Одним з раціональних шляхів управління трафіком (що вимагає значно менших витрат, ніж реалізація політики *QoS*) може служити динамічне управління ресурсами мережі – розділення смуги пропускання на декілька частин для конкретних потреб [6, 14]. У разі, коли зростає навантаження, пакети починають розміщуватися в буферній пам'яті мережних вузлів, що приводить до затримок. Якщо буфер маршрутизатора (комутатора) переповнюється, деякі пакети взагалі можуть бути втрачені. Проте очевидне, на перший погляд, рішення збільшення об'єму буферної пам'яті – не приводить до поліпшення ситуації з перевантаженнями, а іноді може навіть погіршити її. По-перше, “нетерплячі” пакети з малим часом тайм-ауту просто покидають чергу. По-друге, “терплячі” пакети можуть вийти з черги із затримкою, що також перевищила час тайм-ауту. І в тому, в іншому випадку відбудуться повторні передачі пакетів, що дасть додаткове навантаження на мережу.

Наскрізне управління (*end-to-end* управління) – управління мережею в цілому, управління перевантаженнями, управління параметрами трафіку. Дуже перспективним шляхом боротьби з перевантаженнями є саме управління параметрами трафіку (*policing and shaping* – формування та регулювання трафіку), тобто управління статистичними характеристиками трафіку [1, 2].

Управління трафіком на основі диференційованих і інтегрованих послуг. Подальшим розвитком політики трафіку є застосування диференційованих і інтегрованих послуг [1] – динамічний розподіл смуги пропускання каналів передачі між користувачами з урахуванням їх пріоритетів замість направлення всіх потоків поодиночці або декількома локально-оптимальними маршрутами. При такому підході вдається уникати періодичних місцевих перевантажень маршрутів, які були визначені як оптимальні на поточному етапі, і по

яких всі користувачі спрямували свій трафік. З урахуванням цієї обставини алгоритм вибору маршрутів по критерію рівномірного або зваженого завантаження ліній передачі може давати глобальний оптимум на тривалішому етапі функціонування мережі або її сегменту.

Таким чином, для реалізації політики трафіку з диференційованими послугами необхідно вирішувати задачу розподілу потоків між локально-оптимальними або квазіоптимальними маршрутами в реальному часі. Проте раніше доцільно проаналізувати процес формування сумарних потоків в парціальних каналах передачі даних. загальної мережі

Розглянемо модель процесу формування сумарного потоку внаслідок накладення окремих потоків від різних джерел. Тут необхідно чітко розмежовувати поняття «потік трафіку» і «процес в мережі». Потоки трафіку в сучасних цифрових мережах з пакетною комутацією найчастіше мають самоподібний характер, що доведено численними експериментальними дослідженнями. Процеси в мережах – пошук оптимальних маршрутів, формування і регулювання потоків трафіку, встановлення і розрив з'єднання, організація обміну даними всередині автономного сегменту мережі, організація обміну даними між сегментами, процес хакерської атаки на мережу, процес захисту від атаки і ін. – можна розглядати як певні потоки заявок на обслуговування у відповідному вузлі, мережному або термінальному [11].

У свою чергу, сучасні прилади маршрутизації, будь-то програмні маршрутизатори чи апаратні, мають можливість тільки статичного розмежування ресурсів каналу.

Розглянемо модель мережі пакетної комутації, у якій квітування пакетів здійснюється тільки між сусідніми вузлами. Невдало переданий пакет повторюється з вузла відправника. Це вимагає збереження копії пакета в буферній пам'яті передавального вузла до моменту одержання від сусіднього вузла позитивної квитанції про прийом пакета. Відсутність відгуку протягом тайм-ауту класифікується як втрата пакета, і передавальний вузол повторює пакет по тому ж самому або новому маршруту [1].

Розглянемо мережу, що складається з W вузлів комутації пакетів, пам'ять яких являє собою множину однорідних буферів. Канали зв'язку для простоти передбачаються абсолютно надійними, так що повторення передачі пакетів між сусідніми вузлами визначається лише зайнятістю буферної пам'яті вузла.

Припустимо, що в мережі передаються пакети R класів, маршрути яких задаються матрицями $\|P_{Ri}(r)\|$, де $P_{Ri}(r)$ ($R = \overline{1, W}$; $i = \overline{1, W} + 1$; $r = \overline{1, R}$) – імовірність передачі пакета класу r з вузла R у вузол i ($P_{Ri}(r) + \dots + P_{RW+1}(r) = 1$).

Пакет класу r завершує обслуговування в мережі, залишаючи її з R -го вузла по каналу ($R, W + 1$). Пакети надходять у мережу з R зовнішніх джерел з інтенсивністю $\Lambda_r = (r = \overline{1, R})$. Нехай $\lambda_{0i}(r) = \Lambda_r P_{0i}(r)$, тоді очевидно, що загальний потік, що надходить у мережу,

$$\Lambda = \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^W \lambda_{0i}(r). \quad (1)$$

Зауважимо, що в (1) розглядаються вхідні потоки $\lambda_i(r)$, які мають пуассонівський розподіл.

Рівняння балансу потоків для вузлів розглянутої мережі має вигляд

$$\lambda_i(r) = \lambda_{0i}(r) + \sum_{R=1}^W \lambda_R(r) \pi_R(\lambda_R) P_{Ri} + \lambda_i(r) (1 - \pi_i(\lambda_i)), \quad i = \overline{1, W}; \quad r = \overline{1, R}, \quad (2)$$

де $\lambda_R = \sum_{r=1}^W \lambda_r(r)$; $\pi_R(\lambda_R)$ – стаціонарна імовірність наявності вільного буфера в R -му вузлі мережі.

Система (2) може бути записана у виді

$$\lambda_i(r) = \frac{1}{\pi_i(r)} (\lambda_{0i}(r) + \sum \lambda_R(r) \pi_R(\lambda_R(r) P_{Ri}(r))). \quad (3)$$

Вводячи позначення $\gamma_i(r) = \lambda_i(r) \pi_i(\lambda_i)$, $i = \overline{1, W}$; $r = \overline{1, R}$, і підставляючи $\gamma_i(r)$ в (2), одержуємо систему рівнянь балансу потоків для мережі з необмеженою пам'яттю у вузлах

$$\gamma_i(r) = \lambda_{0i}(r) + \sum_{R=1}^W \gamma_R P_{Ri}(r). \quad (4)$$

Останній вираз показує, що, зберігаючи баланс потоків, що пропускаються мережею, інтенсивності потоків у вузли з обмеженою буферною пам'яттю перевершують відповідну інтенсивність мережі з необмеженою пам'яттю в $1/\pi_i(\lambda_i)$ разів. При цьому число повторень передачі по каналах мережі (R, i) $R \neq i$; $R, i = \overline{1, W}$ можна вважати розподіленим по геометричному закону із середнім $1/\pi(\lambda_i)$. Останнє еквівалентно збільшенню відносної частоти відвідування центрів обслуговування моделі замкнутої мережі масового обслуговування при $F_i = 1 - \pi_i(\lambda_i)$. Таким чином, взаємовплив при міжвузловому квітванні виявляється у функціональній залежності $\pi_i(\lambda_i) = \Phi_i(\pi_1(\lambda_1), \dots, \pi_W(\lambda_W))$.

Зазначена мережа досліджувалася за допомогою еквівалентної системи нелінійних рівнянь щодо імовірностей зайнятості буферної пам'яті вузла

$$B_i = 1 - \pi_i(\lambda_i), \quad i = \overline{1, W}; \quad B_i = f_i(B_1, B_2, \dots, B_W) \dots \quad (5)$$

Система рівнянь (4) розв'язується чисельними методами, наприклад, методом Ньютона, збіжність якого істотно залежить від вибору початкового наближення [11, 15]. Середній час затримки пакетів для розглянутої мережі визначається виразом (5), де

$$P_{0i} = \sum_{r=1}^R P_{0i}(r); \quad \alpha_i = \lambda_i / \lambda_0.$$

Розглянемо модель мережного сегменту (рис. 1):

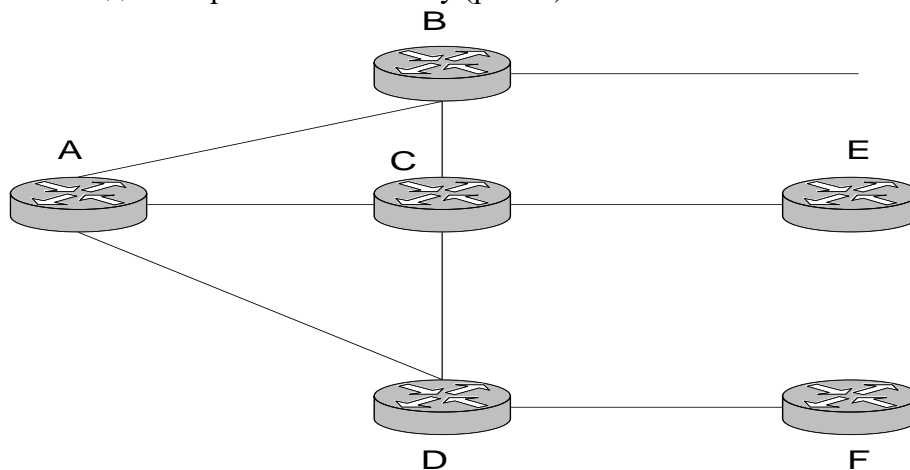


Рис. 1. Умовна схема мережного сегменту. А,В,С,Д,Е,Ф,Г – програмні чи апаратні маршрутизатори

Кожен з маршрутизаторів має буфер певного розміру. Якщо маршрутизатор не завантажений, то кількість отриманих пакетів дорівнює кількості відправлених пакетів. Однак, при великій кількості запитів, виникають затримки у проходженні пакету через маршрутизатор.

Так як час очікування пакету може бути більшим ніж тайм-аут, то можуть виникати дублікати пакетів. Це ж може призвести до втрати пакета. Другою причиною є затримки пакетів в буферах маршрутизаторів. Як наслідок – перевищення часу очікування пакету більше, ніж тайм-аут і виникнення дублікатів пакетів.

В сучасних мережах пропускна здатність каналу є досить сталою величиною. Тому не враховуємо вплив пропускної здатності каналу на відносний час передачі пакетів. Параметром, за яким можна судити про завантаженість мережі є: час затримки пакету в буфері маршрутизатора.

Для розуміння процесу розглянемо роботу буфера маршрутизатора. Маршрутизуючи пакети, система повинна мати деякий простір пам'яті для тимчасового збереження пакетів [16]. Звичайно, для цього створюються буфери пам'яті, у яких зберігаються пакети, що надходять, поки система вирішує, куди їх переправити. Оскільки вся ідея операційної системи полягає в маршрутизації пакетів, для роботи з буфером пакетів існує спеціальний менеджер пакетного буфера (*packet buffer manager*). Він використовується системою для створення і наступного керування набором множин буферів. Буфери в таких множинах пам'яті мають загальну назву – системні буфери.

Менеджер буферного набору надає зручний спосіб маніпуляції набором (чи множиною) буферів визначеного розміру. Незважаючи на те, що менеджер буферного набору може використовуватися для керування будь-яким видом буферних наборів, переважно він застосовується для маніпуляції з буфером пакетів.

Ресурси пам'яті для буферизації пакетів створюються шляхом виділення пам'яті з набору (наприклад, процесорного чи пам'яті пристроїв введення-виводу). Для того, щоб створити набір, менеджер пакетного буфера вимагає в менеджера буферної пам'яті виділити блок пам'яті і потім розділяє його на буфери. Менеджер пакетного буфера створює список усіх вільних буферів для їхнього наступного заповнення й звільнення.

Набори пакетного буфера можуть бути або статичними, або динамічними. Статичний набір створюється з фіксованою кількістю буферів, тобто далі по ходу роботи додаткові буфери не виділяються. Динамічні набори створюються з мінімальною кількістю буферів (названі постійними буферами) з можливістю подальшого створення й видалення додаткових буферів. При необхідності розширення динамічної області буферної пам'яті менеджер пам'яті намагається негайно задовольнити запит на розширення. Якщо ж негайно розширити пам'ять не вдається, запит на розширення обробляється пізніше фоновим процесом.

Набори пакетного буфера можуть бути загальними або локальними. Загальні набори, як впливає з їхньої назви, можуть використовуватися будь-яким системним процесом. Локальні набори використовуються лише процесом, для якого ресурс пам'яті був створений.

Висновки

Найбільш загальною ознакою стану контрольованого об'єкту є показник якості його функціонування, такий як ефективність, надійність, точність та інші. Показник якості визначається параметрами об'єкту, вибір і оцінка значущості яких для забезпечення ефективності контролю здійснюється з врахуванням наступних чинників:

- поставленого завдання контролю перевантажень мережного сегменту;
- досягнення необхідного рівня достовірності за визначенням стану об'єкту;
- інформаційній значущості параметрів, використовуваних для визначення ознаки;
- виглядом функціональної залежності показника якості від параметрів;
- чутливості параметрів до змін, що відбуваються в об'єкті при появі несправності.

Використання того або іншого підходу до вибору параметрів для контролю визначається типом і структурою об'єкту, вихідними даними для здійснення процедури перевірки, вимогами по достовірності контролю, часу, що відводиться, на перевірки і т. д.

Показано, що, за умов зберігання балансу потоків, що пропускаються мережею, інтенсивності потоків у вузлі з обмеженою буферною пам'яттю перевершують відповідну інтенсивність мережі з необмеженою пам'яттю. Це дає можливість не тільки економити ресурс запам'ятовуючих пристроїв, а, що значно важливіше – зменшувати затримки пакетів із-за очікування у буферах комутаційних пристроїв.

Список використаної літератури

1. Tanenbaum A.S. Computer Networks ; 5th Ed. / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Cloth : Prentice Hall, 2011. – 960 p.
2. Shuangyin Ren. A Service Curve of Hierarchical Token Bucket Queue Discipline on Software Defined Networks Based on Deterministic Network Calculus: An Analysis and Simulation / Shuangyin Ren, Quanyou Feng, Yu Wang, Wenhua Dou // Journal of Advances in Computer Networks. – 2017. – Vol. 5, No. 1. – P. 8-12.
3. Родионов С.С. Идентификация возмущающих воздействий на входе приемного устройства. / С.С. Родионов, В.Л. Удовикин. – Киев: Знание, 1979. – 36 с.
4. Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Э. Уилсон. – Москва: Лори, 2002. – 363 с.
5. Савченко А.С. Концептуальная модель системы управления крупной корпоративной сетью / А.С. Савченко // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – Київ: НАУ, 2011. – Вип. 2(34). – С. 120-128.
6. Chang Shu. The Method of Adaptive Shaping of the Traffic Flows of Calculating Networks / Chang Shu, Nick A. Vinogradov // Proceedings the Fourth Congress “Aviation in the XXI Century”, (Safety in Aviation and Space Technologies), V.1, Kiev, National aviation university, 2010, Sept. 21-23. – P. 18.13-18.16.
7. Danyluk A. Telecommunication Network Diagnosis / A. Danyluk, F.J. Provost, B. Carr // In Handbook of Data Mining and Knowledge Discovery. – Oxford University Press, Inc. New York, 2002. – 1064 p.
8. Policing and Shaping Overview // Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide QC-222.
https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/qos/configuration/guide/fqos_c/qcfcpolsh.pdf
9. Comparing Traffic Policing and Traffic Shaping for Bandwidth Limiting.
<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-policing/19645-policevsshape.html>
10. Козелкова Е.С. Управление потоками данных в цифровых телекоммуникационных сетях с разнородным трафиком / Е.С. Козелкова, Я.И. Торошанко, Л.А. Харлай // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Радіоелектроніка та телекомунікації». – 2016. – №849. – С. 210-217.
11. Giambene G. Queuing Theory and Telecommunications: Networks and Applications / G. Giambene: 2nd edition. – Springer NY, 2014. – 512 p.
12. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud / W. Stallings. – Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. – 538 p.
13. Микитишин А.Г. Телекомунікаційні системи та мережі / А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. – 384 с.
14. Cui Y. Data Centers as Software Defined Networks: Traffic Redundancy Elimination with Wireless Cards at Routers / Y. Cui, S. Xiao, C. Liao, I. Stojmenovic, M. Li. // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2013. – V. 31, No. 12. – P. 1-15.
15. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – Москва: Наука, 1981. – 543 с.

16. Виноградов Н.А. Анализ и расчет характеристик прохождения трафика данных в конвергированных сетях / Н.А. Виноградов, А.С. Зембицкая // Проблемы системного підходу в економіці. – Київ: НАУ. – 2004. – Випуск 9.– С.18-26.

References

1. Tanenbaum A. S., and Wetherall D. J. (2011). Computer Networks. 5th ed. *Prentice Hall, Cloth*. 960 p.
2. Shuangyin Ren, Quanyou Feng, Yu Wang, and Wenhua Dou. (2017). A Service Curve of Hierarchical Token Bucket Queue Discipline on Soft-Ware Defined Networks Based on Deterministic Network Calculus: An Analysis and Simulation. *Journal of Advances in Computer Networks*. V.5, No.1. P. 8-12.
3. Rodionov S.S., and Udovikin. (1979). Identification of disturbing influences at the input of the receiving device. *Kiev: Znaniye*. 36 p.
4. Wilson E. (2002). Monitoring and Analysis of Networks. Troubleshooting Methods. *Moscow: Lori*. 363 p.
5. Savchenko A.S. (2011). Conceptual Model of a Large Corporate Network Management System. *Problems of Informatization and Management*. Kyiv: NAU. No. 2(34). P. 120-128.
6. Chang Shu, and Nick A. Vinogradov. (2010). The Method of Adaptive Shaping of the Traffic Flows of Calculating Networks. *Proceedings the Fourth Congress "Aviation in the XXI Century", (Safety in Aviation and Space Technologies), Kiev, National aviation university, 2010, Sept. 21-23*. V.1. – P. 18.13 – 18.16.
7. Danyluk A., Provost F.J., Carr B. (2002). Telecommunication Network Diagnosis. In *Handbook of Data Mining and Knowledge Discovery*. Oxford University Press. 1064 p.
8. Policing and Shaping Overview. Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide QC-222.
https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/qos/configuration/guide/fqos_c/qcfcpolsh.pdf
9. Comparing Traffic Policing and Traffic Shaping for Bandwidth Limiting.
<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-policing/19645-policevsshape.html>
10. Kozelkova E.S., Toroshanko Ya.I., and Kharlai L.A. (2016). Data flow control in digital telecommunication networks with heterogeneous traffic. *Bulletin of the National University "Lvivska Politehnika". Series "Radioelectronics and Telecommunications"*. No. 849. P. 210-217.
11. Giambene G. (2014). Queuing Theory and Telecommunications: Networks and Applications: 2nd edition. *Springer NY*. 512 p.
12. Stallings W. (2016). Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey. 538 p.
13. Mykytyshyn A.H., Mytnyk M.M., and P.D. Stukhliak (2017). Telecommunication Systems and Networks. *Ternopil: Ternopil National Technical University of Ivan Puliui*. 384 p.
14. Cui Y., Xiao S., Liao C., Stojmenovic I., and Li M. (2013). Data Centers as Software Defined Networks: Traffic Redundancy Elimination with Wireless Cards at Routers. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. V.31, No.12. P. 1-15.
15. Kolmogorov A.N., and S.V. Fomin S.V. (1981). Elements of the theory of functions and functional analysis. Moscow: Nauka, 1981. 543 p.
16. Vinogradov N.A., and Zembitskaya A.S. (2004). Analysis and calculation of characteristics of data traffic passing in converged networks. *Problems of the systemic approach to the economy*. Kiev: NAU. Issue 9. P.18-26.