

УДК 004.7.052:004.414.2

Торошанко Я. І. Державний університет телекомунікацій, Київ

Якимчук Н. М. Луцький національний технічний університет

СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ З ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМИ

Розглянуті моделі та методи управління конфігурацією телекомунікаційної мережі з різномірним самоподібним (фрактальним) трафіком. Встановлено, що в телекомунікаційній мережі як у складній та великій системі з випадковими параметрами мають місце затримки сигнальної та управляючої інформації. Для узгодження характеристик системи управління з телекомунікаційною мережею як об'єктом управління необхідно вирівнювати час реакції системи управління з середніми затримками інформації у мережі. Намічені подальші шляхи оптимізації характеристик телекомунікаційної мережі.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, велика система, складна система, об'єкт управління, сигнальна інформація, управляюча інформація, затримка інформації.

Toroshanko Ya. I. State University of Telecommunications, Kyiv

Yakymchuk N. M. Lutsk National Technical University

STATISTICAL MODELS OF TELECOMMUNICATION NETWORKS MANAGE AND METHODS OF CONGESTION CONTROL

The models and methods of controlling the configuration of a telecommunication network with heterogeneous Triple Play traffic (Language + Video + Data) / Quadruple Play (Language + Video + Data + Mobile clients) are considered. It is shown that such heterogeneous traffic is self-similar (or fractal). It has been established that in the telecommunication network as a complex and large system with random parameters there is a delay of signalling and control information. To reconcile the characteristics of the control system with the telecommunication network as an object of control, it is necessary to align the response time of the control system with average latency of information in the network. It is rotined that a positive result can be attained by variation of values of time-outs and changing of politics of the repeated transmission of packets. Further ways of optimising telecommunication network characteristics are outlined.

Keywords: telecommunication network, large system, complex system, object of control, signal information, control information, information delay.

Торошанко Я. И. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

Якимчук Н. Н. Луцкий национальный технический университет

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ПЕРЕГРУЗКАМИ

Рассмотрены модели и методы управления конфигурацией телекоммуникационной сети с разнородным самоподобным (фрактальным) трафиком. Установлено, что в телекоммуникационной сети как в сложной и большой системе со случайными параметрами имеют место задержки сигнальной и управляющей информации. Для согласования характеристик системы управления с телекоммуникационной сетью как объектом управления необходимо выравнивать время реакции системы управления со средними задержками информации в сети. Намечены дальнейшие пути оптимизации характеристик телекоммуникационной сети.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, большая система, сложная система, объект управления, сигнальная информация, управляюча информация, задержка информации.

Вступ. Сучасні інформаційно-комунікаційні системи характеризуються великою складністю і високою вартістю. Внаслідок цього евристичні підходи до формування архітектури, вибору основних конструктивних і експлуатаційних характеристик, оцінки їх параметрів поступово замінюються регулярними методами аналізу і синтезу.

Якщо раніше при розгортанні телекомунікаційних мереж досить було користуватися інтуїтивними міркуваннями і здоровим глуздом, то тепер стає необхідним володіти математичним апаратом, що дозволяє розрахувати оптимальну структуру окремих сегментів і пристроїв, а часом і вигляд всієї мережі в цілому [1-4]. У складних сучасних задачах за допомогою інтуїції і "фізичного сенсу" вдається сконструювати лише досить посередні структури, які, як правило, можуть бути замінені на більш досконалі, якщо звернутися до систематичної теорії. Необхідно застосовувати, перш за все, математичні методи синтезу, розрахунку та проектування з урахуванням специфіки телекомунікаційних мереж. З плином часу вони набувають все більшого значення.

З теорій, які допомагають в цих розрахунках, слід згадати в першу чергу теорію масового обслуговування, теорію оптимального і адаптивного управління, лінійної і нелінійної фільтрації, а також інші розділи математичної статистики, теорію графів, мереж, теорію інформації і ін. [5-8].

В даний час спостерігається великий інтерес до методів аналізу і оптимізації телекомунікаційних і об'єднаних мереж, "інтелектуалізації", "конвергенції", створення так званих "мереж нових поколінь", до впровадження "таких, що пристосовуються", "таких, що навчаються", "самоналагоджувальних" і ін. телекомунікаційних мереж. Прикладів таких систем, розробок різних протоколів, технологій, проектів є чимало. Гірше йде справа з іншим: із систематизацією в цій області знань, з освітленням питання, яке місце математичний апарат теорії мереж займає в задачах побудови мереж, нарешті, з розробкою обґрунтованої термінології. Пробілами в зазначеному відношенні страждають роботи навіть провідних фахівців у цій галузі [9,10].

Іншою важливою проблемою є розробка основних математичних методів і рівнянь, зручних для вирішення конкретних практичних мережних задач [11,12]. Подання мережі будь-якого масштабу у вигляді детермінованої системи і опис її відповідними рівняннями з детермінованими параметрами дасть вельми грубий, практично даремний результат.

По-перше, необхідно мати повну апріорну інформацію про параметри і стан мережі в кожний момент. Таке завдання є практично нездійсненним в переважній більшості випадків.

По-друге, відмови обладнання, аномальні ситуації, порушення в роботі мережі, перевантаження через перепади мережного та обчислювального навантаження є принципово випадковими подіями, які ми не можемо контролювати і якими неможливо управляти – їх можна тільки прогнозувати з певною точністю.

По-третє, навіть в ідеальному випадку наявності повної апріорної інформації про параметри, структурі і миттєвий стані мережі ці дані будуть практично марні. Системи рівнянь, якими описується мережу, будуть мати порядок, який можна порівняти з числом мережних і термінальних вузлів. Для чисельного рішення такої системи рівнянь в реальному часі буде потрібний практично нереальний обсяг обчислювальних ресурсів [5,13]. Крім того, можна стверджувати, що помилки розрахунків будуть неприпустимо великі, і отриманий результат буде, по суті, даремний.

Тому в даний час тільки статистичні методи опису мереж, процесів обміну даними, синтезу, оцінки параметрів і управління мережами можуть давати результати задовільної точності. При цьому і потрібні обчислювальні ресурси виявляються прийнятними.

Для розробки та застосування статистичних методів мережного моніторингу та аналізу,

перш за все, необхідно побудувати математичні моделі мережного трафіку [11]. Очевидно, це є задачею математичної статистики [5,14].

Технологія моніторингу та аналізу представляє собою набір діагностичних засобів і методику їх використання, які дозволяють дати об'єктивну оцінку якості роботи прикладних програм в мережі і обґрунтувати рекомендації щодо поліпшення їх роботи.

Основний недолік більшості програм модернізації мережі – постійна заміна обладнання на більш продуктивне. При цьому значна частина проблем функціонування мережі криється зовсім не у вичерпанні ліміту пропускної здатності, а в проблемах взаємодії апаратури, конфігурації, організації мережі і роботи користувачів.

Інший недолік – використання адміністраторами мережі однієї-двох навмань вибраних частинних методик діагностики та моніторингу і, відповідно, необ'єктивне оцінювання стану мережі. Суть проведеного дослідження полягає саме в реалізації системного підходу.

Методика безперервної діагностики мережі полягає в розбитті процесу на наступні взаємопов'язані етапи: *визначення частинних параметрів, отримання узагальнених параметрів на основі частинних параметрів, визначення на основі відповідної обробки попередніх еталонів узагальнених мережних показників, вибір та обґрунтування показників якості.*

Статистика процесів виявлення аномалій. Процес виникнення аномалій унаслідок несанкціонованої мережної активності суб'єкта і процес виявлення розглядаються як Марковські процеси [9] з наступними станами:

– штатний режим s_1 без перевантажень та аномалій; (1)

– аномальний режим s_2 роботи на грані фізичної відмови або перевантаження. (2)

У свою чергу, режим s_2 підрозділяється на гілки:

– виявлення аномалії s_{21} ; (3)

– розпізнавання аномалії s_{22} ; (4)

– прогноз аномалії s_{23} ; (5)

– управління аномалією s_{24} . (6)

У всіх випадках процеси мають дискретний характер, переходи з довільного стану j в будь-який інший стан k , $j, k = \overline{1,6}$, відбуваються стрибком, а імовірність станів міняється залежно від наявності апріорної інформації і інформації, що знов поступає (апостеріорної). Відзначимо, що завдання в такій постановці перекликається із завданнями послідовного аналізу [16] або із завданнями розпізнавання образів [5].

Таким чином, процеси виду (1-6), по суті, є дискретними напівмарківськими процесами з довільним розподілом часу переходу в новий стан. Перевага моделей дискретних напівмарковських процесів (або вкладених ланцюгів Маркова, по термінології Кендалла) полягає саме в тому, що можна не цікавитися розподілами t_i . При заданому початковому стані $\{s_{0i}\}$, $i = \overline{1,6}$ розвиток процесу повністю визначається матрицею імовірності переходу $\{p_{jk}\}$, $j, k = \overline{1,6}$, і матрицею функцій розподілів $\{F_{jk}(t_i)\}$.

Як показано у роботах [6,9], в ряді випадків самі вихідні припущення, що послужили визначенням найпростішого потоку і вивчені в безлічі статей та монографій, не впливають з розгляду фізичної картини явища. І дійсно, в деяких практичних завданнях спостерігаються відхилення дійсних потоків від потоків найпростішого типу. Здавалося б, у

телекомунікаційній мережі з різнорідним трафіком Triple Play/Quadruple Play статистика трафіку відхиляється від найпростішої, оскільки реальний трафік є різнорідним (фрактальним) [11]. В силу величезного розмаїття умов протікання реальних явищ такі відхилення повинні бути правилом, а не винятком. Однак виявляється, що великі розбіжності спостерігаються значно рідше, ніж це можна було б очікувати, виходячи з апіорних міркувань.

Таким чином, поряд із завданням з'ясування причин, в силу яких можуть з'являтися потоки, відмінні від найпростіших, виникає і прямо протилежне завдання: пояснити, чому так часто найпростіший потік добре узгоджується з плином реальних потоків. Вихідною ідеєю зазначених досліджень було припущення, що спостережені потоки представляють собою суми великого числа незалежних потоків малої інтенсивності, кожен з яких передбачається ординарним і стаціонарним. Щодо відсутності післядії ніяких гіпотез не робилося [6]. Потік пакетів (повідомлень, кадрів) в мережі передачі даних є сумою елементарних потоків від різних відправників. Потік пакетів від відправника до одного одержувача, що розділяється (з міркувань прискорення доставки) на кілька парціальних потоків, які проходять за різними маршрутами, на вході приймального обладнання одержувача також є сумою (парціальних) потоків.

Можна припускати, що при досить широких умовах щодо вихідних потоків сумарні потоки будуть близькі до Пуассонівських, в тому числі і найпростіших. Викладене відповідає ідеї, близької до тієї, яка майже двісті років є керівною в багатьох застосуваннях теорії ймовірностей: в теорії похибок спостережень, молекулярній фізиці, теорії стрільби та багатьох інших. А саме, вплив, що спостерігається, розглядається як сума елементарних впливів, кожний з яких є випадковою величиною, незалежною від інших; при цьому кожний з доданків надає в деякому сенсі малий вплив на суму.

Однак для теоретичної або хоча б експериментальної перевірки та обґрунтування цих припущень необхідно побудувати більш менш коректні моделі еволюції параметрів і стану процесів виявлення аномалій, прогнозу та управління навантаженням на мережу, надійністю її елементів тощо. Не вдаючись у докладні дискусії щодо порівняльного аналізу придатності до застосування тих чи інших математичних моделей, розглянемо, на нашу думку, найбільш популярні та такі моделі, за допомогою яких можна отримати асимптотичні результати у замкненій формі.

Марковські моделі розвитку навантаження на мережу. Розглянемо мережні комутаційні вузли, що потерпають від перевантажень або фізичних відмов. Припустимо, що інтервали між послідовними подіями взаємно незалежні і однаково розподілені з деякою загальною щільністю ймовірності $w(t)$. Якщо після виявлення перевантаження маршрут перевантаженого вузла негайно замінюється резервним (вузол, що відмовив, замінюється справним), отримуємо послідовність подій, яку логічно назвати процесом відновлення [6].

Нехай в початковий момент часу ($t_0 = 0$) система знаходиться в стані s_{jk} . У момент часу t_i система переходить в стан s_{mn} з імовірністю p_{mn} . Тоді із застосуванням теорем множення і складання імовірності знаходимо безумовну функцію розподілу повного часу знаходження системи в стані ϕ_j :

$$F_j(t) = P\{t_j < t\} = \sum_{k=1}^5 p_{jk} F_{jk}(t), \quad j, k = \overline{1, 5}. \quad (7)$$

Імовірність станів обчислюється таким чином. Нехай $\Xi_{ij}(t)$ є умовна (інтервально-

перехідна) імовірність того, що у момент часу t система знаходиться в стані ϕ_j , якщо у момент часу $t_0 = 0$ вона була в стані ϕ_i . Система, що знаходиться в початковому стані ϕ_i , може попасти в стан ϕ_j у момент часу t різними шляхами [6]. Якщо $\phi_i = \phi_j$, вона може залишатися в стані ϕ_i протягом всього проміжку часу або, вийшовши із стану ϕ_i , щонайменше, одного разу, вона повернеться в стан $\phi_j = \phi_i$ до моменту часу t . Ці події є несумісними, імовірність цих подій буде складатися. Таким чином, приходимо до рівняння

$$\Xi_{ij}(t) = \delta_{ij} G_i(t) + \sum_{k=1}^5 \rho_{ik} \int_0^t w_{ik}(t-\tau) \Xi_{kj}(t-\tau) d\tau, \quad 1 \leq i, j \leq 5, \quad (8)$$

де δ_{ij} – символ Кронекера; $G_i(t)$ – імовірність того, що система не покине стан ϕ_i до моменту часу t . Отже, першим доданком враховується імовірність події $\phi_i = \phi_j$.

Другим доданком описується послідовність переходів з ϕ_i в ϕ_k (включаючи і перехід з ϕ_i в ϕ_i , тобто в себе) до моменту τ і переходів після цього із стану ϕ_k в стан ϕ_j за час $t - \tau$, що залишився. Імовірність проміжних переходів підсумовується по всіх відповідних проміжних станах ϕ_k , в які можливі переходи з початкового стану ϕ_i , і інтегрується по всіляких моментах часу переходу τ , $0 < \tau \leq t$.

Для спрощення вирішення рівнянь вигляду (7) використаємо метод перетворення Лапласа і отримаємо зображення функції $\Xi_{ij}(t)$ у вигляді

$$\Xi_{ij}^*(s) = \delta_{ij} G_i^*(s) + \sum_{k=1}^5 \rho_{ik} w_{ik}^*(s) \Xi_{kj}^*(s), \quad 1 \leq i, j \leq 5 \quad s = \alpha + j\omega, \quad (9)$$

де
$$G_i^*(s) = \frac{1}{s} [1 - w_i^*(s)]. \quad (10)$$

Отримана система алгебраїчних рівнянь зв'язує перетворення Лапласа від інтервально-перехідної імовірності з основними характеристиками процесу, які задаються априорі і коректуються в процесі спостереження. Спостережуваний напівмарковський процес характеризується фінальними (при $t \rightarrow \infty$) імовірностями станів p_j , які не залежать від початкового стану і тому є безумовними. (Відповідно, і спостережуваний процес є ергодичним.)

Ці фінальні імовірності є розв'язком системи алгебраїчних рівнянь вигляду:

$$p_j = \sum_{i=1}^5 p_i \rho_{ij}, \quad \sum_{i=1}^5 p_i = 1, \quad j = \overline{1,5}. \quad (11)$$

З урахуванням умови нормування фінальної імовірності можна записати:

$$\Xi_{ij} = p_j \langle T_j \rangle \left[\sum_{i=1}^5 p_i \langle T_i \rangle \right]^{-1} = \Xi_j, \quad (12)$$

де $\langle T_j \rangle$ – середні безумовні інтервали чекання в кожному із станів (1-5).

Застосовуючи той же метод рішення, який був використаний для здобуття рівняння (8), можна отримати вираз для оцінки числа переходів системи із стану j в стан k на інтервалі спостереження $(0, t)$.

Таким чином, процес є марковським лише в моменти переходу. Проте в більшості практично цікавих завдань можна ігнорувати випадковий характер часу чекання і цікавитися лише моментами переходу, оскільки самі значення станів дають вичерпну інформацію про функціонування системи.

Як вказано у [15], оптимальною процедурою виявлення аномалій з врахуванням

результатів попереднього аналізу в найзагальнішому випадку є обчислення деякого функціонала ефективності

$$\Psi(\mathbf{H}_A, \mathbf{H}_V) \rightarrow \max_{A,V}, \quad (15)$$

де $\mathbf{H}_V = \mathbf{V}\mathbf{V}^T$ – матриця перехідних імовірностей; \mathbf{H}_A – матриця станів системи; \mathbf{V} – вектор статистичних показників мережного вузла (кількість вхідних та вихідних пакетів в одиницю часу, середній час отримання пакетів тощо).

Матриці \mathbf{H}_A і \mathbf{H}_V мають розмірність $K \times K$ і $N \times N$ відповідно, тому для конкретизації функціонала (15) необхідно вибрати узагальнені параметри матриць і деяку універсальну міру об'єднання множини цих параметрів. Зокрема, в якості такої міри можна вибрати нормалізовані коефіцієнти варіації кожного показника.

Інформація про стан мережі періодично знімається з датчиків системи виявлення аномалій. Якщо перевищений пороговий рівень β_{0l} , приймається рішення про виявлення аномальної поведінки – перевантаження або фізичної відмови.

Наступними етапами є розпізнавання типу аномалії, побудова прогнозу розвитку аномального стану, оцінка міри загрози, вибір адекватних заходів локалізації і захисту.

Результати дослідження, рекомендації. Ефективність використання мережі в значній мірі визначається якістю управління в умовах перевантаження. Поки мережа завантажена незначно кількість оброблюваних пакетів дорівнює числу прийнятих. Однак, коли в мережу надходить занадто великий обсяг даних, може виникнути перевантаження, і робочі характеристики погіршуються. При надмірних завантаженнях пропускна здатність каналу або мережі може стати нульовою [11]. Така ситуація призводить до колапсу мережі.

Почасти це може бути пов'язано з нестачею пам'яті для вхідних буферів, але навіть якщо маршрутизатор має нескінченну пам'ять, ефект перевантаження може виявитися ще більш важким. Це пов'язано з часом очікування обробки. Якщо воно перевищує тривалість часу очікування, з'являються повторно передані пакети, що призводить до зниження корисної пропускної здатності мережі. Причиною перевантаження може бути повільний процесор або "вузьке горло" – низька пропускна здатність окремої ділянки мережі. Просте підвищення швидкодії процесора або інтерфейсу не завжди вирішує проблему – вузьке місце, як правило, переноситься в інший фрагмент мережі.

Перевантаження породжує лавинні процеси: переповнення буфера призводить до втрати пакетів, які доведеться передавати повторно або навіть кілька разів. Процесор сторони, яка передає, отримує додаткове паразитне завантаження. Все це свідчить про те, що контроль перевантаження є вкрай важливим процесом.

Слід розрізняти контроль потоку і контроль перевантаження [2]. Під контролем потоку мається на увазі балансування потоку відправника і можливості прийому і обробки одержувача. При цьому виді контролю передбачається наявність зворотного зв'язку між одержувачем і відправником. У процесі беруть участь, як правило, тільки два партнера. Перевантаження – більш загальне явище, що відноситься до мережі в цілому або до її сегменту.

Одним з поширених методів боротьби з перевантаженнями є управління зі зворотним зв'язком. Механізм управління зі зворотним зв'язком може поліпшити продуктивність мережі, скорочуючи втрати пакетів, і запобігти поширенню перевантаження. В принципі можна послати повідомлення про перевантаження відправнику, проте при цьому перевантажений ділянку мережі навантажується ще більше. Тому завдання управління вирішується на транспортному рівні засобами протоколу TCP [16]. При виявленні перевантаження швидкість передачі знижується шляхом зменшення розміру ковзного вікна.

Висновки. У телекомунікаційних мережах із затримками сигнальної та управляючої

інформації, по суті, має місце управління з запізнілим зворотним зв'язком. При неправильному урахуванні характеристик запізнювання система може втратити стійкість і перейти в незатухаючий коливальний режим, або коригування інтенсивності потоку буде здійснюватися занадто пізно. Це призводить до погіршення продуктивності мережі, особливо для додатків реального часу. Компенсація затримки зворотного зв'язку може виконуватися методами прогнозу, наприклад, з використанням моделі авторегресії і ковзного середнього (АРКС) або шляхом усереднення параметрів вікна. Другий варіант простіший, але, природно, забезпечує значно більш низьку якість сервісу [10].

При дуже короткому періоді реакції мережного вузла система управління буде отримувати послідовність суперечливих інформаційних сигналів. Система буде перебувати в стані незатухаючих коливань і не прийде в стабільний стан. З іншого боку, якщо період реакції буде занадто довгим, механізм управління станом реагуватиме занадто повільно, щоб взагалі принести якусь справжню користь. Щоб мати відповідну якість процесу управління, потрібно застосовувати певний спосіб адаптації, але правильний вибір постійних часу – це нетривіальне питання, яке планується розглянути в майбутньому. Позитивного результату можна досягти шляхом варіації значень тайм-аутів, зміни політики повторної передачі пакетів. У деяких випадках результат може бути отриманий зміною схеми буферизації.

Управління зі зворотним зв'язком широко використовується в архітектурі інтегрованих служб (Integrated Service Architecture – ISA) для підтримки служб з різними рівнями якості сервісу (Quality of Service – QoS) в Інтернет і в інших об'єднаних мережах [10].

Список використаної літератури

1. Толубко В. Б. Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно-конфігурованих мереж / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, Є. В. Орлов // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С. 5-11.
2. Таненбаум Э. Компьютерные сети: 5-е изд. / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 960 с.
3. Толубко В. Б. Методи оптимізації / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман. – Київ : ДУТ, 2016. – 442 с
4. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации / И. Г. Бакланов ; под ред. Ю. Н. Ченьшова. – Москва: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.
5. Аффифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / А. Аффифи, С. Эйзен. – Москва: Мир, 1982. – 488 с.
6. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – Москва : Наука, 1987. – 336 с.
7. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud / W. Stallings. – Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. - 538 pp.
8. Ложковский А. Г. Теория массового обслуживания в телекоммуникациях: учебник / А. Г. Ложковский. – Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 2012. – 112 с.
9. Стратонович Р. Л. Принципы адаптивного приема / Р. Л. Стратонович. – Москва : Советское радио, 1973. – 144с
10. Стеклов В. К. Основы управления сетями та послугами телекомунікацій / В. К. Стеклов, Є. В. Кільчицький. – Київ : Техніка, 2002. – 438 с.
11. Виноградов Н. А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений /Н. А. Виноградов // Зв'язок. – 2004. – №4. – С. 10-17.
12. Лесная Н. Н. Сравнительный анализ методов оценки характеристик интеллектуальной сети // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2009. – №2(10). – С. 97-102.
13. Мостеллер Ф. Анализ данных и регрессия : вып. 1 / Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки. – Москва : Финансы и статистика, 1982. – 317 с.
14. Барабаш Ю. Л. Вопросы статистической теории распознавания / Ю. Л. Барабаш,

Б. В. Варский, В. Т. Зиновьев, В. С. Кириченко, В. Ф. Сапегин. – Москва : Советское радио, 1967. – 400 с.

15. Виноградов Н. А. Управление псевдосервисами в защищенных информационных системах на основе теории конфликта / Н. А. Виноградов, Г. В. Данилина, Д. В. Домарев, Я. В. Милокум // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – № 6. – С. 5-12.

16. Вальд А. Последовательный анализ / А. Вальд. – Москва : Физматгиз, 1960. – 606 с.

References

1. Tolubko M. B., Berkman L. N., Komarova L. O., Orlov Ye. Vn. "Multycriterion optimization of parameters of the programm configured networks." *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii* 4 (2014): 5-11.
2. Tanenbaum E., Wuozeroll D. "Computer networks: 5th ed." *Sankt-Peterburg : Piter* (2012): 960.
3. Tolubko M. B., Berkman L. N. "Методи оптимізації." *Kyiv : DUT* (2016): 442
4. Baklanov I. H. Бакланов И. Г. "NGN: principles of construction and organization." *Moskva: E`ko-Trendz* (2008): 400.
5. Afifi A., E`jzen S. "Statistical analysis: using computer." *Moskva: Mir* (1982): 488.
6. Gnedenko B. V., Kovalenko I. N. "Introduction to the queueing theory." *Moskva: Nauka* (1987): 336.
7. Stallings W. "Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud." *Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey* (2016): 538.
8. Lozhkovskii A. G. "The queueing theory in telecommunications." *Odessa: ONAS* (2012): 112.
9. Stratanovych R. L. "Principles of adaptive reception." *Moskva: Sovetskoe Radio* (1973): 144.
10. Steklov V. K., Kilchytskyi Ye. V. "Bases of management and services of telecommunications." *Kyiv: Tekhnika* (2002): 438.
11. Vinogradov N. A. "Analysis of potential descriptions of commutation devices of and management of the new generations networks." *Zviazok* 4 (2004): 10-17.
12. Lesnaia N. N. "Comparative analysis of estimation methods of intellectual network descriptions." *Naukovi zapysky Ukrainkoho naukovo-doslidnoho instytutu zviazku* 2 (2009): 97-102.
13. Mosteller F., Tyuki J. "Data analysis and regression." *Moskva: Finansy i statistika* (1982): 317.
14. Barabash Yu. L., Varskyi B. V., Zinov`ev V. T., Kirichenko V. S., Sapegin V. F. "Questions of statistical recognition theory" *Moskva: Sovietskoe radio* (1967): 400.
15. Vinogradov N. A., Danilina G. V., Domarev D. V., Milokum Ya. V. "Control pseudo-services in protected information systems on the basis of conflict theory." *Naukovi zapysky Ukrainkoho naukovo-doslidnoho instytutu zviazku* 6 (2014): 5-12.
16. Vald A. "Sequential analysis." *Moskva: Fizmatgiz* (1960): 606.

Автори статті

Торошанко Ярослав Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Якимчук Наталія Миколаївна – асистент кафедри електроніки та телекомунікацій, Луцький національний технічний університет. Тел. +380 (99) 546 20 41. E-mail: selepyna@ukr.net

Authors of the article

Toroshanko Yaroslav Ivanovych – candidate of sciences (technical), professor of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net.

Yakymchuk Nataliia Mykolaivna – assistant of electronics and telecommunications department. Lutsk National Technical University. Tel. +380 (99) 546 20 41. E-mail: selepyna@ukr.net

Дата надходження
в редакцію: 11.06.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор К. С. Козелкова
Державний університет телекомунікацій, Київ