

вищу завадозахищеність порівняно з TDMA, що дозволяє в стільки ж разів зменшити потужність передавача, що позитивно відображається на здоров'ї користувача мобільної станції.

1. Варакин Л.Е., Анфилофьев С.А. *Технология CDMA в современных системах радиосвязи // Труды конференции "CDMA-800 в России"*. – Кипр, ноябрь 1998. 2. Громаков Ю.А. *Стандарты и системы подвижной радиосвязи. Мобильные телесистемы* – М.: Экотрендз, 1997. 3. Горностаев Ю.М., Невдяев Л. М. *Новые стандарты широкополосной радиосвязи на базе технологий WCDMA*. – М.: МЦНТИ, 1999. 4. *Материалы ITU* – <http://www.itu.ch>. 5. *Материалы Комитета по разработке стандартов T1P1 (США)* – <http://www.t1.org/t1p1>.

УДК 621.382.33:681

Орест Костів, Маркіян Павликевич, Ольга Шаталова
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра телекомунікації

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКА ІНТЕРНЕТ-ВУЗЛІВ

© Костів Орест, Павликевич Маркіян, Шаталова Ольга, 2003

Проведено огляд популярних методів прогнозування трафіка телекомунікаційних мереж, показано їх позитивні якості та недоліки. Запропоновано методику прогнозування трафіка Web-вузлів за допомогою нейромережевих технологій.

Popular approaches of telecommunications nets traffic prediction had been described in this work with discussing their advantages and disadvantages. New approaches for WEB-sites traffic prediction based on using neural networks had been proposed.

В умовах стрімкого росту інтенсивності інформаційного обміну у сучасних мережах часто виникає потреба у застосуванні науково обґрунтованих методів передбачення наслідків змін у мережі в результаті змін топології мережі, інтенсивності трафіка, додавання нових користувачів тощо. Наслідки можуть оцінюватись з точки зору впливу на продуктивність, час відповіді мережі, доступність тих чи інших сервісів та інше.

Існують й інші випадки, в яких достатньо складно швидко отримати відповідь на питання про те, наскільки зросте навантаження на мережу при тих чи інших змінах та чи витримає це мережа. З точки зору проектування мережі це означає, що не існує чіткого однозначного методу, який дозволяє на основі існуючих вимог до мережі визначити параметри та конфігурацію майбутньої системи. Отже, питання дослідження трафіка мереж та його залежності від кількості звернень, об'ємів файлів, що передаються, та протоколів, за якими здійснюється обмін інформацією в мережах, є *об'єктом наукових досліджень* на сучасному етапі.

Доволі часто виникає необхідність у проведенні оцінки продуктивності на основі наявних даних про завантаження діючої мережі або прогнозування навантаження мережі, що проектується. Для проведення таких оцінок існують різні підходи:

1. Проведення аналізу продуктивності мережі після її впровадження, базуючись на значеннях показників, які актуальні у даному конкретному випадку;

2. Виконання простої оцінки працездатності майбутнього середовища, що базується на існуючому досвіді розробки та побудови подібних мереж;

3. Розробка та застосування аналітичної моделі, що базується на теорії черг;

4. Розробка та застосування програми, що моделює поведінку мережі.

Перший варіант передбачає пасивну позицію розробника мережі. Розробник просто очікує результатів своєї діяльності. Природно, такий метод може давати непередбачувані наслідки. Отриманим результатом, як правило, виявляються незадоволені і користувачі, і керівники організації. Їх можна зрозуміти – вони понесли невиправдані витрати, але, у підсумку, так і не отримали мережу з очікуваними параметрами.

Другий варіант може дати, як правило, кращі результати. При аналізі майбутньої мережі на базі існуючого досвіду можна побачити, що при наявних можливостях (в тому числі фінансових) та обмеженнях нема сенсу очікувати, що мережа буде задовольняти ті чи інші вимоги. Тобто, цей метод дозволяє достатньо впевнено передбачити, що *не може* робити проєктована мережа. З точки зору виконання пропонованих вимог метод, що базується на досвіді, може дати тільки достатньо розпливчасті пропозиції, що мають якісний характер. Абсолютно немає сенсу намагатись дати на основі цього методу деяку більш або менш точну кількісну оцінку необхідних параметрів. Інша проблема, пов'язана з цим підходом, полягає у тому, що поведінка більшості систем при зміні завантаженості буде не такою, як інтуїтивно очікувалось. Якщо існує середовище, у якому є розділені канали зв'язку, то продуктивність такої системи, як правило, експоненційно зменшується при збільшенні навантаження. У результаті спостерігається розходження очікуваних значень та тих, що спостерігаються (рис. 1).

На рис. 1 верхня крива показує зміну реального часу відповіді мережі при збільшенні навантаження. Нижня крива описує значення, що очікуються розробником. Дві криві збігаються тільки у межах того навантаження, з яким реально мав справу наш гіпотетичний розробник. При подальшому рості навантаження продуктивність мережі може різко знижуватись.

Третій варіант. Для оцінки поведінки системи практично на усьому діапазоні завантаженості може бути використаний аналітичний метод. При його практичному застосуванні доводиться розв'язувати набір рівнянь, після чого вдається отримати параметри, необхідні для оцінки системи (час відповіді, пропускну здатність тощо).

Очевидно, що у таких випадках при проектуванні мережі необхідно мати аналітичні інструменти, що дозволяють передбачити продуктивність мережі. Одним з таких інструментів, призначених для розробки мереж та комунікаційних структур, може бути аналітична модель, що базується на теорії черг. Велика кількість проблемних питань знаходить своє рішення при використанні математичного методу аналізу черг.

Використання теорії черг дає достатньо точну оцінку, яка у більшості випадків добре відповідає дійсності. Недоліком теорії черг є те, що при виведенні формул, на яких вона



Рис. 1. Очікуваний та реальний час відповіді системи

базується і які використовуються для розрахунку параметрів мережі, необхідно прийняти **певні припущення**. Перевагою теорії черг порівняно з моделюванням є те, що аналіз черг може бути виконаний за порівняно короткий строк (для більшості реальних ситуацій), тоді як моделювання може зайняти дні або навіть тижні – створити програмну модель, що описує необхідну ситуацію з достатньою точністю та докладністю є досить складно [1].

Для проведення розрахунку систем з чергами необхідно визначити, що, власне, входить до складу цієї системи і те, які параметри підлягають оцінці. Простіша система з організацією черг до сервера показана на рис. 2.

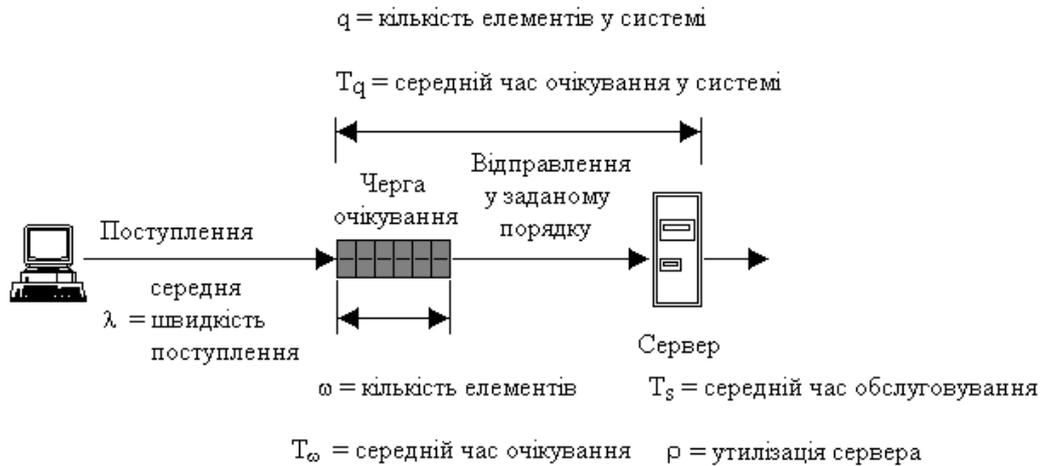


Рис. 2. Базова схема системи з чергою до сервера

Тобто теоретична максимальна швидкість надходження елементів даних, при якій вони можуть бути оброблені сервером, обчислюється за відомою формулою:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{T_s}. \quad (1)$$

Основна задача при проведенні аналізу черг полягає в отриманні інформації про:

- швидкості надходження елементів даних у чергу;
- час обслуговування цих елементів на сервері на вході у систему;
- загальну кількість елементів, що очікують;
- час очікування елементів у системі.

При цьому важливо знати середнє значення цих параметрів та діапазон їх змін. Тобто велике значення при аналізі черг має знання стандартних (середньоквадратичних) відхилень кожного з перелічених параметрів. Для відповіді на ці питання, в основному, необхідно знати закон зміни швидкості надходження елементів даних у систему та закон розподілу часу обслуговування елементів даних сервером. Слід зазначити, що навіть маючи ці дані, дуже нелегко отримати результат елементарними методами, оскільки вихідні формули для обчислень достатньо складні. Для того, щоб спростити процес обчислень, необхідно зробити деякі природні припущення. Найбільш важливе з цих припущень полягає у тому, що зміна швидкості надходження елементів даних підпорядковується **закону Пуассона** (див. формулу 2)

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!}, \quad (2)$$

де e – основа натуральних логарифмів; λ – швидкість надходження елементів даних; n – кількість елементів, що надійшли за час t .

Для застосування закону Пуассона необхідно враховувати такі гіпотези:

- надходження одного елемента даних не залежить від надходження іншого елемента, тобто події відбуваються незалежно;
- ніколи не надходить одразу два або більше елементів даних;
- середня кількість надходжень не змінюється з часом (тобто розподіл є статичним).

У результаті ж даного дослідження було виявлено, що розподіл середньої кількості надходжень не є статичним. Так, на рис. 3 зображено гістограму розподілу вхідних повідомлень, що надходять на сервер НУ “Львівська політехніка” за добу.

Як видно з даного рисунка, розподіл не є статичним. Крім цього, слід врахувати, що з розвитком Інтернету спостерігається тенденція до збільшення об’ємів переданої інформації та кількості користувачів, отже, і до кількості звернень.

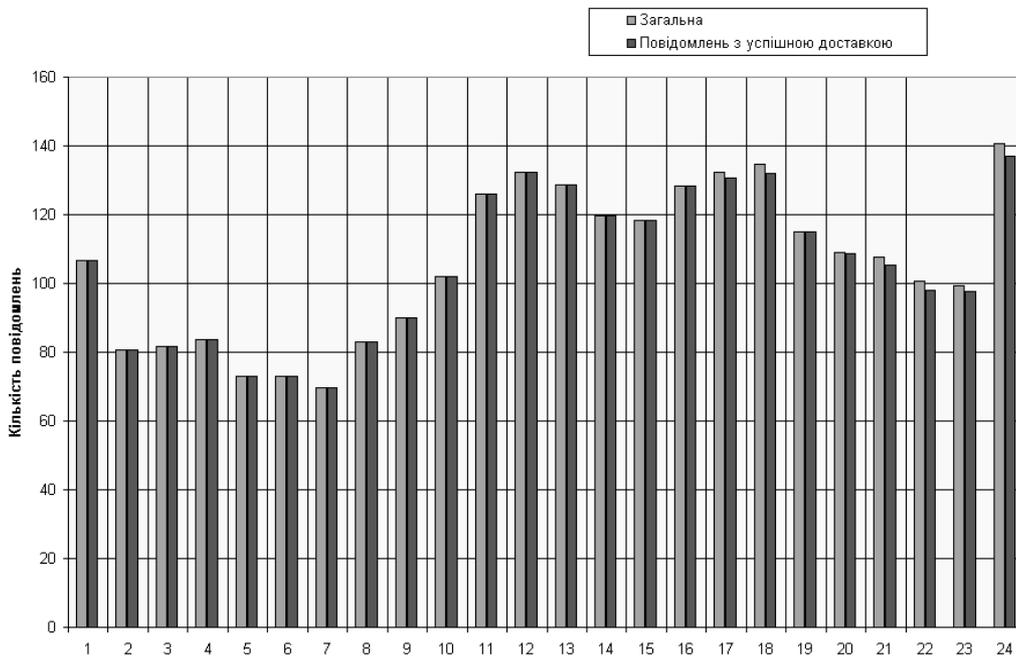


Рис. 3. Гістограма розподілу кількості вхідних повідомлень

Однак при застосуванні теорії черг одержуються досить складні аналітичні співвідношення, точних методів реалізації яких не існує, а іноді такі задачі взагалі не мають розв’язків, оскільки беруться до уваги нереальні обмеження, що приводить до неадекватності між запропонованою моделлю і реальним процесом [7, 8]. Крім того, для складних топологічних структур мереж взагалі неможливо будувати адекватні математичні моделі [9].

Тому, зважаючи на те, що при виведенні формул, на яких вони базуються і які використовуються для розрахунку параметрів, які нас цікавлять, необхідно прийняти *певні припущення*, які самі вже базуються на тих чи інших припущеннях та теоретичних висновках, а також зважаючи на складність математичного апарата, доцільно питання прогнозування трафіка вирішувати інакше.

Четвертий метод. Для моделювання телекомунікаційних мереж створені спеціальні системи імітаційного моделювання, які орієнтовані на вузький клас досліджуваних систем і дозволяють проводити дослідження системи без програмування. На основі вхідних даних про топологію мережі протоколи, що використовуються, інтенсивності потоків запитів між комп’ютерами мережі, протяжності ліній зв’язку, види обладнання та прикладні програми, ці системи імітаційного моделювання генерують моделі, що дозволяють прогнозувати

результати впровадження того чи іншого обладнання та рішень щодо його організації в мережі. У таких імітаційних системах, як правило, наявний певний набір імітаційних моделей основних елементів комп'ютерних мереж: найбільш поширених типів маршрутизаторів, каналів зв'язку, методів доступу, протоколів обміну. Імітаційні моделі окремих елементів створюються на основі аналітичних закономірностей, що відображають основні залежності між параметрами досліджуваної системи. Ці аналітичні закономірності встановлюються в результаті проведення тестових випробовувань реальних пристроїв, аналізу принципів їх роботи. Така сукупність аналітичних закономірностей являє собою математичний апарат імітаційної моделі. В таблиці наводяться характеристики кількох популярних систем імітаційного моделювання різного класу складності – від простих програм, призначених для оцінки продуктивності існуючої мережі до потужних систем, що містять бібліотеки більшості існуючих на ринку комутаційних пристроїв і призначені для проектування і дослідження складних телекомунікаційних мереж [6].

Системи імітаційного моделювання комп'ютерних мереж

Компанія і продукт	Приблизна вартість (дол. США)	Типи мереж	Необхідні обчислювальні ресурси	Напрямки дослідження мережі
American NYTech, <i>Prophesy</i>	1495	локальні	8Мб(ОП), 6Мб(диск), Windows, OS/2	Оцінюється продуктивність мережі при роботі з мультимедійними застосуваннями
Make System, NetMaker XA	6995 – 14995	локальні та глобальні	128Мб(ОП), 2Гб(диск), UNIX Solaris	Перевірка даних про топологію мережі, імпорт інформації про трафік
NetMagic System, <i>StressMagic</i>	2995	локальні	8Мб(ОП), 6Мб(диск), Windows	Підтримка стандартних тестів вимірювання продуктивності, імітація пікового навантаження на файл-сервер
System & Networks, <i>BONES</i>	20000 – 40000	локальні та глобальні	32Мб(ОП), 80Мб(диск), Sum OS, Solaris, HP-UX	Аналіз впливу прикладних клієнт-серверних застосувань на роботу мережі

Незважаючи на наявність на ринку таких потужних засобів для оптимізації мереж, не завжди виправданим є придбання того чи іншого програмного продукту, тим більше, враховуючи їх закордонне походження. Часто для проведення оптимізації мережі достатньо володіти відповідним математичним апаратом та набором доступних мережних аналізаторів. Загалом по країні такий підхід дасть суттєву економію коштів.

На відміну від більшості методів, що базуються на тих чи інших *припущеннях і теоретичних висновках*, нейромережевий підхід не пов'язаний з такими припущеннями, він однаково надається як для лінійних залежностей, так і для складних нелінійних і особливо ефективний в розвідковому аналізі даних, коли треба з'ясувати, чи є зв'язок між змінними. Нейронні мережі можна з успіхом використовувати у задачах *прогнозування, класифікації та управління*, оскільки вони можуть застосовуватись практично в будь-якій ситуації, коли можливої зв'язок між змінними-предикторами і змінними, які потрібно спрогнозувати у будь-якій ситуації, навіть якщо цей зв'язок має складну природу і його важко виразити в звичайних термінах кореляцій.

Такі характеристики нейромережевих методів, як можливість нелінійного моделювання і порівняно проста реалізація роблять їх незамінними при вирішенні багатомірних задач. Особливо ефективні вони для задач, де лінійна апроксимація незадовільна і лінійні моделі дають незадовільний результат.

Але для цього мережу необхідно навчити. Загальний принцип є таким. Спочатку на вхід мережі подається *навчальна* вибірка (див. рис. 4). Навчання контролюється з допомогою контрольної вибірки, а результат перевіряється на тестовій вибірці [2].

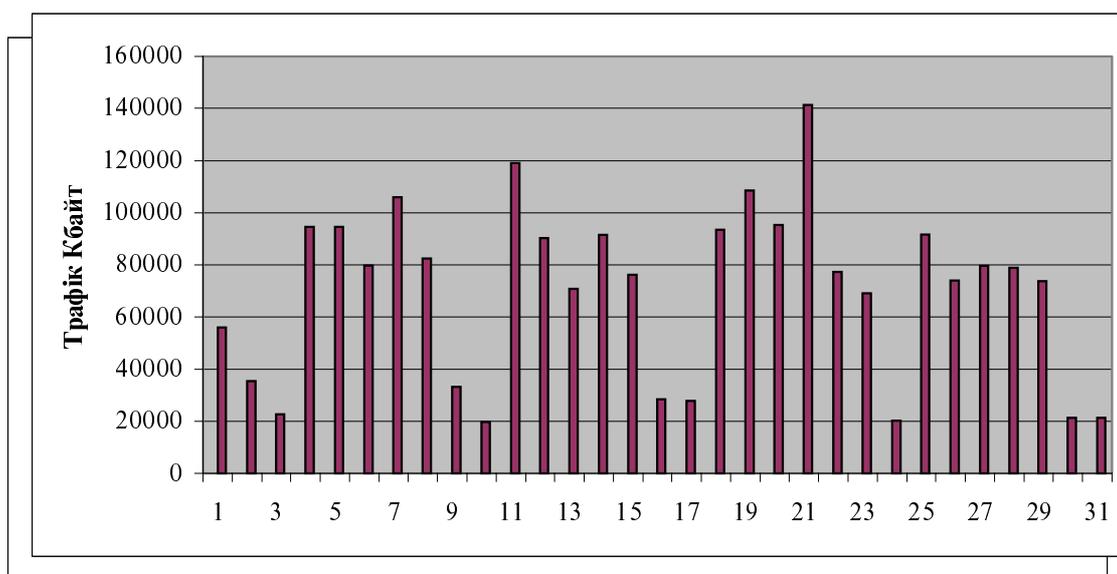


Рис. 4 Трафік вхідних поштових повідомлень за місяць

Як джерело даних для аналізу трафіка поштових протоколів реального Інтернет-вузла комп'ютерної мережі Національного університету "Львівська політехніка" використовувався файл аудиту поштових повідомлень з 18 лютого по 8 липня 2002 року, який веде *qmail* – агент передачі пошти для Unix операційних систем, що працює на даному вузлі. Слід зазначити, що у гістограмі трафіка поштових повідомлень яскраво прослідковується періодичність з періодом сім днів (тиждень).

Прогнозування трафіка, що передається, було здійснено з допомогою інструменту нейронних мереж системи STATISTICA.

Змінюючи ваги $w(i,j)$ – де (i,j) позначає i -й нейрон у j -му шарі мережі – і значення порогу T , можна спробувати добитися заданого результату роботи мережі на навчальній вибірці, наприклад, поставити задачу, щоб мережа правильно класифікувала визначену частину спостережень, скажімо 90 %.

У загальному випадку ваги підбирають так, щоб мінімізувати деякий функціонал якості (частку правильно класифікованих спостережень у задачі класифікації). На рис. 5 показано синтезовану архітектуру нейронної мережі, що одержана за допомогою інструменту нейронних мереж системи STATISTICA.

Після того, як необхідний результат досягається на навчальній вибірці, "навчену" мережу можна застосовувати для роботи з реальними даними, як це показано на рис. 6.

В аналітичній формі дану нейронну мережу можна записати формулою:

$$Y = f \left[\sum_{i=1}^{13} \left(\sum_{j=1}^7 (x_i \cdot w_{ij}) \right) \times w_j^1 \right] \quad (3)$$

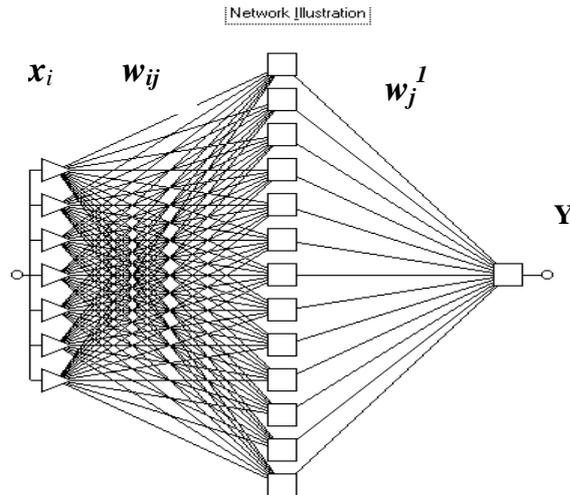


Рис. 5. Синтезована архітектура нейронної мережі

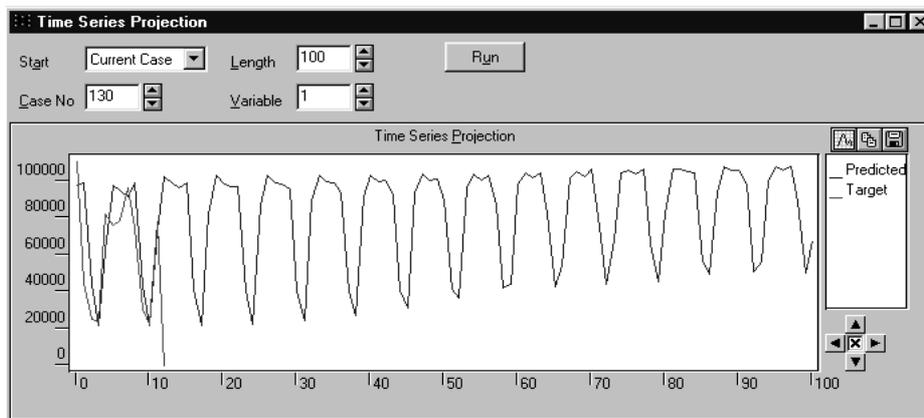


Рис. 6. Побудова прогнозу на 100 кроків

або у матричній формі:

$$Y = XW^{(1)}W^{(2)}. \quad (4)$$

Як видно з рис. 6, прогнозується поступове зростання вхідного навантаження поштового трафіка.

Висновок

Отже, у даній статті проаналізовано всі популярні методи прогнозування трафіка телекомунікаційних мереж, показані їх позитивні якості та недоліки.

1. Запропоновано прогнозувати трафік Web-вузлів на основі статистичних даних їх роботи за допомогою нейронних мереж.
2. Встановлено циклічність трафіка Web-вузлів.
3. За допомогою нейромережових технологій побудовано модель прогнозування трафіка поштового серверу на основі об'ємів прийнятих повідомлень.

Надалі доцільно на основі статистичних даних встановити співвідношення між вхідним та вихідним трафіком та дольову частку популярних інтернет-протоколів у сумарному трафіку Web-вузла та побудувати на основі нейронних мереж модель для прогнозування трафіка Інтернет-вузлів на основі об'ємів переданої інформації, кількості користувачів та співвідношення між популярними Інтернет-протоколами. Моделювання очікується провес-

ти на нейронній мережі прямого розповсюдження за допомогою багат шарового персептрона з одним (максимум двома) скритими шарами.

1. Кульгін М. *Технологии корпоративных сетей: Энциклопедия.* – СПб: Питер, 2000. – 704 с.
2. Боровиков В. *STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере.* – СПб: Питер, 2001. – 656 с.
3. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. *Нейронные сети и их применение в системах управления и связи.* – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 94 с.
4. Пелецишин А.М. *Методи та алгоритми моделювання Web-систем.* – Львів.: НУ ЛП, 2001. – 17 с.
5. Демидович О.В. *Математичні моделі оптимального розподілу інформаційних ресурсів серед вузлів обчислювальних мереж та методи їх реалізації.* – Львів.: НУ ЛП, 2001. – 20 с.
6. Оліфер Н.А., Оліфер В.Г. *Средства анализа и оптимизации локальных сетей.* – М.: ЦИТ, 1998.
7. Клейрок П. *Теория массового обслуживания.* – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
8. Шварц М. *Сети ЭВМ: Анализ и проектирование: Пер. с англ.* – М.: Радио и связь, 1981. – 327 с.
9. Tadashi A., Masafumi Y., Hiroshi M. *A response time estimation of real-time networks // Proc.real-time syst.sym.* – San Jose (Calif). – Dec. 1 – 3, 1987.

УДК621.396.9:519.688

Іван Лісовий

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
кафедра ВОЛЗ

МЕТОДИКА ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ РАДІОЗВ'ЯЗКУ РАДІОЛІНІЇ

© Лісовий Іван, 2003

Запропоновано методику експертної оцінки якості радіозв'язку радіолінії на базі теорії нечітких множин.

The procedure of an expert rating of quality of a radiocommunication in a radio link is offered on the basis of the theory of fuzzy sets.

1. Вступ

Разглядається задача експертної оцінки якості радіозв'язку радіолінії, яка характеризується такими параметрами: потужність випромінювання, швидкість передачі повідомлень, співвідношення сигнал/шум. Задача вирішується на базі теорії нечітких множин.

2. Методика оцінки якості радіозв'язку в радіолінії

Для спрощення завдання вважаємо, що термів, за допомогою яких оцінюються вхідні параметри – лінгвістичні змінні *потужність випромінювання P , швидкість передачі повідомлень V , співвідношення сигнал/шум $C/Ш$* , є два і вони мають такі назви: 1 – *низьке* (-a), 2 – *високе* (-a).

Знання експерта з оцінки якості радіозв'язку в радіолінії подамо у вигляді таких виразів:

1. Якщо потужність випромінювання *велика*, швидкість передачі повідомлень *висока*, співвідношення сигнал/шум *високе*, то якість радіозв'язку *висока*.
2. Якщо потужність випромінювання *мала*, швидкість передачі повідомлень *низька*, співвідношення сигнал/шум *низьке*, то якість радіозв'язку *низька*.