

УДК 621.396

Лісовий І. П., д.т.н.; Врублевський А. Р., аспірант; Пилипенко Г. В., аспірант

МАРШРУТИЗАЦІЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ЗА ПРОТОКОЛОМ RIP

Lisovyy I. P., Vrublevs'kyu A. R., Pylypenko H. V. Routing of fuzzy logic for RIP protocol.

This work is devoted to the synthesis of routers that are in the process develop a control action based on fuzzy logic. With the development of telecommunication networks, there are more and more additional factors that must be considered in routing algorithm, which points to the need to improve routing protocols through analysis and evaluation performance networks. In this paper, a routing algorithm based on fuzzy logic for RIP protocol with two metrics parameters: loading buffers and number hops. On the basis of the knowledge base of rules conducted simulation application package Matlab. Application of control system based on fuzzy logic for routing flow management provides new opportunities based on simple heuristic rules and adaptation to extreme stress and unsteady.

Keywords: telecommunication network, routing, RIP protocol, metric, fuzzy logic, belonging function, knowledge base

Лісовий І. П., Врублевський А. Р., Пилипенко Г. В. Маршрутизація на основі нечіткої логіки за протоколом RIP. Дана робота присвячена синтезу маршрутизаторів, які здійснюють процес вироблення керуючого впливу на основі нечіткої логіки. Розроблено алгоритм маршрутизації на основі нечіткої логіки для протоколу RIP з розширеними параметрами метрики: протяжності маршруту, завантаження, швидкості і прискорення зміни коефіцієнта завантаження вихідного буфера маршрутизатора.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, маршрутизація, протокол RIP, метрика, нечітка логіка, функція належності, база знань

Лесовой И. П., Врублевский А. Р., Пилипенко Г. В. Маршрутизация на основе нечеткой логики по протоколу RIP. Данная работа посвящена синтезу маршрутизаторов, которые осуществляют процесс выработки управляющего воздействия на основе нечеткой логики. Разработан алгоритм маршрутизации на основе нечеткой логики для протокола RIP с расширенными параметрами метрики: протяженности маршрута, загрузки, скорости и ускорения изменения коэффициента загрузки выходного буфера маршрутизатора.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, маршрутизация, протокол RIP, метрика, нечеткая логика, функция принадлежности, база знаний

Вступ. Проведений аналіз існуючих протоколів маршрутизації показав, що такий параметр як завантаженість буферного накопичувача стиків при обчисленні метрики зазвичай не враховується. Маршрутизація пакету, виходячи тільки з параметрів, які враховуються в протоколі маршрутизації RIP, в гетерогенних мережах породжує ряд проблем, що ставлять доцільність використання протоколу RIP під велике питання. Пропонується збільшити кількість параметрів для обчислення метрики протоколу RIP, а саме урахуванням динаміки завантаження буферів маршрутизатора.

Модифікація протоколу RIP. Протокол RIP дуже простий і досі продовжує застосовуватись. У великих мережах, що використовують протокол RIP, спостерігаються занадто тривалі затримки поширення інформації про новий маршрут. Такі затримки (більше 5 хв) є неприпустимими для багатьох комерційних застосувань, що здійснюють доступ до баз даних або фінансові транзакції.

Протокол маршрутизації RIP використовує найлегшу для подання метрику, кількість маршрутизаторів, які пакет повинен перетнути, щоб досягти цільової мережі. Проте використання даного критерію в цілому ряді випадків не може забезпечити оптимальний вибір маршруту.

Маршрутизатор володіє тільки маршрутною інформацією, отриману від його сусідів. Пакети, що надходять у вузол, залишаються в черзі до тих пір, поки не будуть відправлені далі. Якщо пакети надходять зі швидкістю, яка наближається до пропускної спроможності вузла, то пакети будуть накопичуватися в буфері, і середня затримка збільшиться до нескінченності. На практиці буфер має скінчену довжину, і пакети будуть губитися або змінюватиметься їх маршрут. Перевантаження буфера може стати результатом рішень,

пов'язаних з маршрутизацією, або просто наслідком непомірного навантаження на канал. При великій кількості вимог на встановлення віртуального каналу, можливість встановлення каналу не гарантує, що не виникне перевантаження.

До алгоритму маршрутизації по протоколу RIP не включений механізм управління перевантаженням. Всі запити будуть направлятися за найкоротшим маршрутом. Надмірно спрощена система обліку "відстаней", прийнята в протоколі RIP, створює неоптимальні таблиці маршрутів, і в результаті пакети пересилаються через повільні або занадто дорогі лінії зв'язку, в той час як доступні більш ефективні маршрути. Інші протоколи маршрутизації використовують більш складні метрики, що враховують величину затримки, пропускну спроможність, надійність маршруту і навантаження на нього

Перевантаження телекомунікаційної мережі відбувається коли ресурси мережі використовуються нерівномірно або виникає блокування, або коли кількість пакетів, що надійшли в мережу для транспортування між користувачами, перевищує деякий поріг. Пороговим значенням завантаження буфера часто приймають 0,8 ємності. При застосуванні системи керування завантаженням буфера на жорсткій логіці надмірне збільшення вимог до обмежених ресурсів телекомунікаційної мережі з боку одного або декількох користувачів може погіршити якість обслуговування інших користувачів мережі.

Пошук оптимального маршруту здійснюється в мережі з нечітко заданими параметрами, оскільки параметри вузлів комутації і трактів передачі, що використовуються для визначення метрики в протоколах маршрутизації можуть змінюватися внаслідок того що: *передана* інформація піддається впливу перешкод випадкового характеру; *надійність* ліній та обладнання транспортної мережі обмежена; *обсяг* буферної пам'яті маршрутизаторів обмежений; для обробки пакету маршрутизатором необхідно якийсь час; довжини всіх повідомлень незалежні.

Вирішити проблему конструювання метрики на новій основі дозволяє теорія нечітких множин та заснована на ній нечітка логіка [1...3].

Навантаження телекомунікаційної мережі не є рівномірним і з бігом часу воно змінюється. В окремих випадках при визначенні нерівномірного навантаження користуються середнім значенням та дисперсією навантаження. Середня швидкість зміни навантаження мережі показує чому дорівнює зміна навантаження в середньому за одиницю часу. Проте зрозуміло, що якусь частину часу навантаження мережі не змінювалось, зростало на деяких проміжках часу, чи зменшувалось. Усе це при обчисленні середнього навантаження не береться до уваги і вважається, що протягом кожного проміжку часу змінюється рівномірно. Але знання середньої швидкості навантаження не дозволяє визначити зміну навантаження телекомунікаційної мережі.

У роботі використовується термін швидкість в широкому сенсі, як швидкість зміни інтенсивності потоку навантаження, яка математично характеризується похідною функції. Слід зазначити, що результат є правильним тільки для відрізка часу для якого визначено середнє навантаження. Якщо користуватись середнім значенням швидкості зміни навантаження за проміжок часу менший відрізка часу для якого вона визначена, то отримаємо невірний результат. У кожний момент часу навантаження мережі може мати нове значення. Таким чином за допомогою поняття середнього навантаження не можливо визначити навантаження мережі в будь-який момент часу. Швидкість зміни навантаження мережі в даний момент часу називатимемо миттєвою швидкістю зміни навантаження. Миттєва швидкість зміни навантаження в даний момент часу дорівнює відношенню досить малої зміни навантаження за малий час, що передує даному моменту, до малого проміжку часу протягом якого здійснюється ця зміна. Значення миттєвої швидкості зміни навантаження збігається з напрямом зміни навантаження в даний момент часу. Миттєве навантаження телекомунікаційної мережі (маршрутизатора) безперервно змінюється, від одного моменту часу до іншого. Для визначення навантаження маршрутизатора у будь-який момент часу необхідно знати, як швидко змінюється навантаження, або як воно змінюється за одиницю часу. Якщо потоки навантаження за однакові проміжки часу змінюються

неоднаково, то на одних відрізках часу навантаження може зростати швидко, а на інших – повільно. Тоді й прискорення на різних інтервалах часу будуть різні. В кожний момент часу навантаження яке змінюється нерівномірно, має певне прискорення, величина якого змінюється, від моменту до моменту.

Для підвищення адекватності алгоритму маршрутизації у метриці необхідно враховувати більшу кількість факторів. Пропонується модифікувати протокол RIP шляхом збільшення кількості параметрів для обчислення метрики, а саме урахуванням протяжності маршруту, завантаження, швидкості і прискорення зміни коефіцієнта завантаження вихідного буфера.

Маршрутизатор на основі нечіткої логіки. Застосування нечітких регуляторів (регуляторів, що працюють на базисі нечіткої логіки) для керування різноманітними (в саме, нестаціонарними та нелінійними) об'єктами показує їх високу ефективність та у ряді випадків значні переваги порівняно з лінійними цифровими регуляторами [1, 4]. Структурну схему маршрутизатора на основі нечіткої логіки наведено на Рис. 1

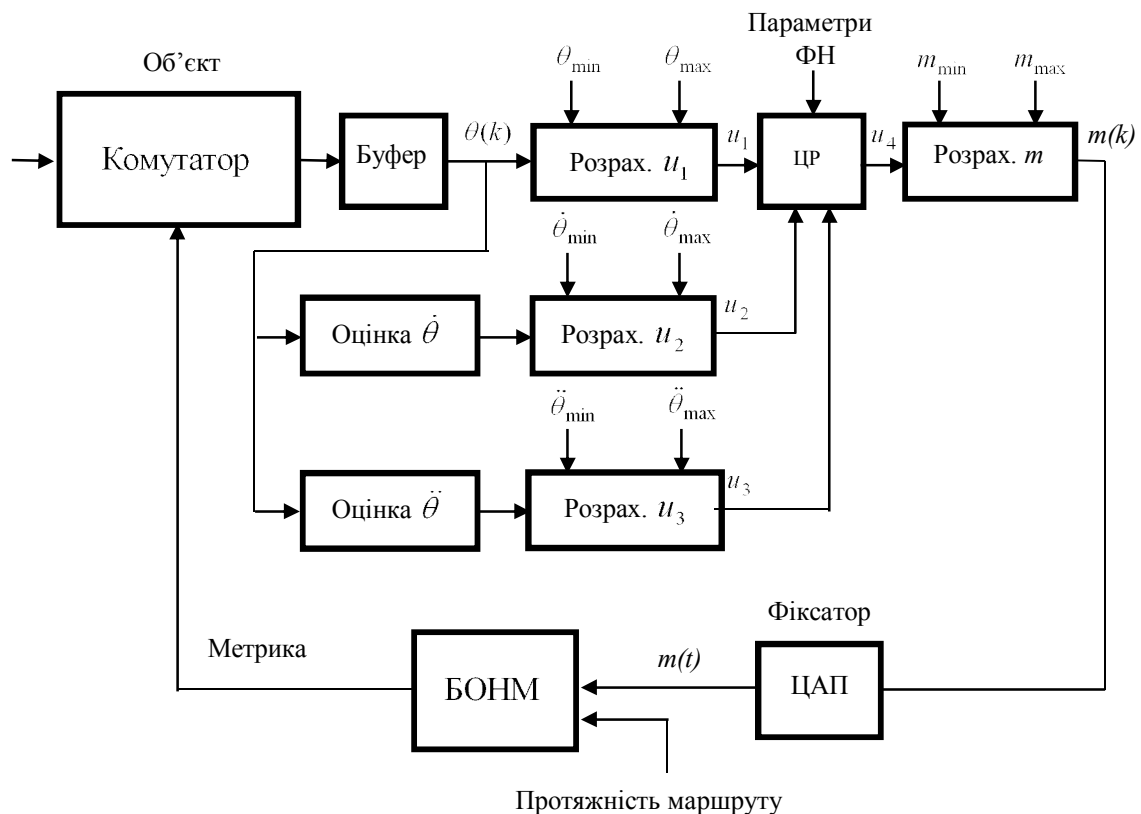


Рис. 1. Структурна схема маршрутизатора на основі нечіткої логіки:

У якості вхідних змінних пропонується використовувати значення похибки θ , швидкість зміни похибки (першу похідну) $\dot{\theta}$ та прискорення (другу похідну) похибки $\ddot{\theta}$. Вихідної змінної керуючий вплив на об'єкт керування m .

Основні параметри цифрових нечітких регуляторів, при яких виконується їх синтез та розрахунок, є, *по-перше*, кількість та форма функцій належності $\mu^T(u)$ лінгвістичних величин і, *по-друге*, діапазони зміни вхідних та вихідної лінгвістичних змінних завантаженість буфера, першої похідної завантаженості буфера, другої похідної завантаженості буфера, керуючого впливу на комутатор, тобто

$$[\theta_{\min}, \theta_{\max}], [\dot{\theta}_{\min}, \dot{\theta}_{\max}], [\ddot{\theta}_{\min}, \ddot{\theta}_{\max}], [m_{\min}, m_{\max}].$$

Кількість функцій належності (ФН) – кількість термів, які описують вхідні та вихідні змінні – обмежують, по можливості, найменшим числом [2, 5]. Функції належності прийемо трикутними. Налаштування трикутних ФН до експертних даних виконано

шляхом піднесення до степеня: $[\mu^T(u)]^k$, де показник степеня визначає зміну форми ФН. На універсальній множині $U = [0,1]$ задані дві нечіткі множини, монотонні функції належності яких для кожної лінгвістичної величини (наприклад, термів *позитивна* – 1, *негативна* – 2) наведено на Рис. 2.

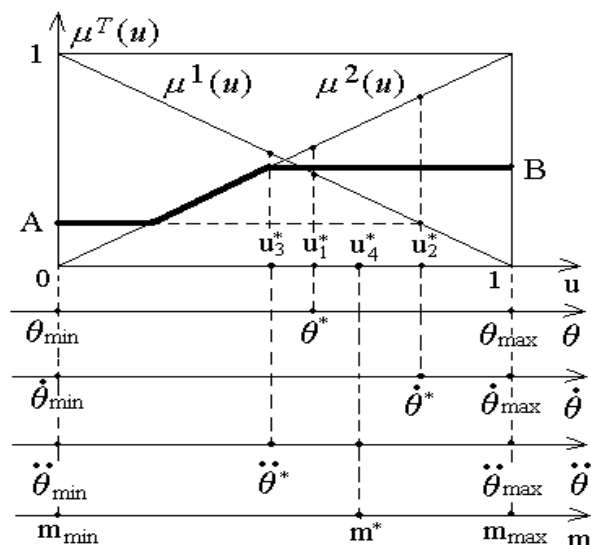


Рис. 2. Задання нечітких множин трикутними функціями належності

Якщо прийняти $\mu^1(u) = 1 - u$; $\mu^2(u) = u$, $u \in [0,1]$, то для налагоджування можна використати ФН виду

$$\mu^1(u) = (1 - u)^c; \mu^2(u) = u^c, \quad u \in [0,1] \quad (1)$$

та варіювати коефіцієнтом (показником ступеня) C .

Якщо на універсальній множині $U = [0,1]$ задано дві нечіткі підмножини, функції належності яких для кожної лінгвістичної величини записуються у вигляді $\mu^T(u) = 1 / [1 + (\frac{u-b}{c})^2]$, $u \in [0,1]$, та визначаються як

$$\mu^1(u) = 1 / [1 + (u/c)^2]; \mu^2(u) = 1 / [1 + (\frac{u-1}{c})^2], \quad u \in [0,1], \quad (2)$$

то для налагодження можна також варіювати коефіцієнтом C .

На універсальній множині $U = [0,1]$ дві нечіткі підмножини можна описати також функціями належності

$$\mu^1(u) = e^{-cu}; \mu^2(u) = e^{-c(1-u)}, \quad u \in [0,1], \quad (3)$$

та для налагодження варіювати коефіцієнтом C .

Для кожної лінгвістичної змінної можна використовувати свої функції належності. Таким чином, існує досить велика кількість варіантів задання функцій належності при оптимізації параметрів нечіткого регулятора.

Результуючу ФН отримують звичайним способом, а розрахунок абсциси центру ваги $s_c = S(u_c, \mu_c)$ ділянки площини, яку охоплює результуюча ФН $\mu(u)$ в межах діапазону змінної u від $u = U_1$ до $u = U_2$, зручно визначати, використовуючи числове інтегрування за методом трапецій

$$u_c = \frac{\frac{U_1 \mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} u_i \mu_i + \frac{U_2 \mu_M}{2}}{\frac{\mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i + \frac{\mu_M}{2}}, \quad (3)$$

де $(U_2 - U_1) / M = u_0$ – крок дискретизації; M – кількість відліків на інтервалі $U_2 - U_1$, $i = 1, 2, 3, \dots, M-1$.

При формуванні результуючої ФН необхідно визначати абсиси точок перетину ФН нечітких підмножин (наприклад, термів *позитивний* – 1, *негативний* – 2) з горизонтальними прямими. Найбільш просто це виконати для лінійних ФН. Для ФН виду

$$\mu^1(u) = (1 - u)^c; \quad \mu^2(u) = u^c, \quad u \in [0, 1],$$

абсиси точок перетину визначаються як

$$u^* = 1 - \sqrt[c]{\mu^1(u^*)} \quad \text{та} \quad u^* = \sqrt[c]{\mu^2(u^*)}. \quad (4)$$

Для ФН виду $\mu^1(u) = 1 / [1 + (u/c)^2]$; $\mu^2(u) = 1 / [1 + ((u-1)/c)^2]$, $u \in [0, 1]$, абсиси точок перетину визначаються як

$$u^* = c \times \sqrt{\frac{1}{\mu^1(u^*)} - 1} \quad \text{та} \quad u^* = 1 + c \times \sqrt{\frac{1}{\mu^2(u^*)} - 1}. \quad (5)$$

Для ФН виду $\mu^1(u) = e^{-cu}$; $\mu^2(u) = e^{-c(1-u)}$, $u \in [0, 1]$, абсиси точок перетину визначаються як

$$u^* = -\frac{1}{c} \ln \mu^1(u^*) \quad \text{та} \quad u^* = 1 + \frac{1}{c} \ln \mu^2(u^*). \quad (6)$$

При оптимізації параметрів цифрового нечіткого регулятора у маршрутизаторі використали квадратичний критерій якості,

$$J = \frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} \theta_v^2 \Rightarrow \min, \quad (7)$$

де завантаженість буфера θ_v обчислюється з кроком h_0 , а число L визначає інтервал спостереження. Оптимальні параметри відповідають мінімальному значенню критерію якості, а мінімізація критерію якості автоматично приводить до оптимізації перехідних процесів у системі керування комутатором.

На Рис. 3 наведено поверхню метрики маршрутизації одержаної шляхом моделювання.

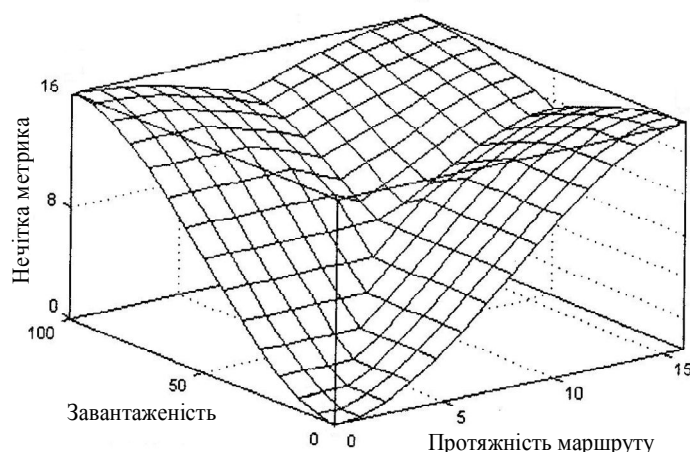


Рис. 3. Поверхня метрики маршрутизації

Результат моделювання свідчать, що нечіткий алгоритм забезпечує збільшення частки успішно доставлених пакетів у 1,4 рази.

Оптимізація параметрів налагоджування регулятора в процесі проектування та упровадження маршрутизатора не потребує значного часу. Автоматизація процесу налагоджування маршрутизатора на основі нечіткої логіки, дозволить значно скоротити терміни розробки та вводу в експлуатацію.

Висновки. 1) У даний час спостерігається тенденція розвитку протоколів маршрутизації шляхом ускладнення відповідних алгоритмів вибору маршрутів. При цьому центральною проблемою стає конструювання метрики, що адекватно відображає процеси маршрутизації з урахуванням поточного навантаження мережі. Проведений авторами аналіз та систематизація протоколів маршрутизації показав, що на поточний момент системний підхід до формування метрики як основного критерію маршрутизації практично не застосовується. Використання різного роду евристичних формул для визначення метрик в різних протоколах маршрутизації не забезпечує універсальності та еволюційного розвитку, адекватного високим темпам розвитку телекомунікаційних мереж.

2) Проведений аналіз способів конструювання метрики в різних протоколах маршрутизації виявив недостатньо глибоке відображення в метриці всіх аспектів функціонування мережі. Незважаючи на ускладнення алгоритмів маршрутизації, кількість факторів які враховуються в метриці залишається невеликою (1-4 фактори). Для підвищення адекватності алгоритму маршрутизації, у метриці необхідно враховувати більшу кількість факторів. Вирішити проблему конструювання метрики на новій основі дозволяє теорія нечітких множин та заснована на ній нечітка логіка.

3) Використання системи нечіткого виводу дозволило створити легко масштабовану систему маршрутизації, логіка роботи якої дозволяє легко нарощувати і змінювати структуру метрики на систематичній основі шляхом розширення (зміни) бази правил для вибору маршруту. Проведені дослідження показує, що застосування систем з нечіткими множинами в задачах маршрутизації відкриває нові можливості управління на основі простих евристичних правил і адаптації до умов нестационарного і екстремального трафіку.

Література

1. Барабаш О. В. Математична модель інтелектуалізації процесів управління рухомим об'єктом на основі нечітких семантичних мереж / О. В. Барабаш, Д. М. Обідін, А. П. Мусієнко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – №3(31). – С. 5-9.
2. Соболевський Г. Г. Метод нечіткого виведення при забезпеченні принципів інтелектуалізації експлуатації суден в критичних умовах / Г. Г. Соболевський // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №2. – С. 80-89.
3. Ткаленко О. Н. Оценка характеристик и устойчивости нечеткого быстро адаптирующегося регулятора для AQM в сетях TCP/IP / О. Н. Ткаленко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2012. – №4(24) – С. 89-93.
4. Архангельский В. И. Опыт развития и применения систем фаззи-управления / В. И. Архангельский, И. Н. Богаенко, Г. Г. Грабовский, Н. А. Рюмшин // Автоматизация производственных процессов. – 1997. – № 2(5). – С. 1-10.
5. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Автори статті

Лісовий Іван Павлович – доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікаційних систем, Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, м. Одеса. Тел. +380 (48) 758-51-58. E-mail: ur5fo@mail.ru

Врублевський Антон Романович – аспірант, кафедра телекомунікаційних систем, Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, м. Одеса.

Пилипенко Генадій Вікторович – аспірант, кафедра телекомунікаційних систем, Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, м. Одеса.

Дата надходження в редакцію: 27.08.2015 р. Рецензент: д.т.н., проф. А. Г. Ложковський