

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»

irene.lohvinova@gmail.com

janepavlenkova@gmail.com

У статті розглянуто вирішення кластеризації у мобільних Ad hoc мережах. З метою зменшення часової складності алгоритмів маршрутизації та врахування всіх необхідних параметрів вузлів, які спричинені їх динамічністю, було запропоновано алгоритм кластеризації, що базується на раніше побудованих моделях нечіткої логіки

Ключові слова: Ad hoc мережа, кластер, кластеризація, модель нечіткої логіки, TTL, алгоритм кластеризації, надлишкова енергія вузла

Вступ

Мобільна Ad hoc мережа (WANET) - це з'єднання вузлів, що не вимагають задалегідь створеної інфраструктури. Коли є велика кількість вузлів, кожен вузол повинен підтримувати велику кількість інформації про маршрутизацію, що ускладнює масштабування. Тому мережу доцільно розділити на кілька кластерів, кожен кластер складається з голови кластера і кількох звичайних вузлів. Кожен вузол в ієрархічній мережі може бути обраний як вузол-голова кластера, що відповідає за пересилання даних між групами через міжмережвий вузол (вузол-шлюз одночасно належить до двох різних кластерів). Члени кластера не можуть обмінюватися даними безпосередньо з членами іншого кластера, вони повинні взаємодіяти з головами або шлюзами. Ієрархічна структура може знизити вартість виявлення маршруту, має гарну масштабованість і сильну живучість. Такий тип мереж застосовується при відновленні комунікацій під час воєн, технологічних чи військових катастроф, тому питання ефективної маршрутизації у мережах цього типу є важливим.

Огляд останніх досліджень і публікацій

У роботах [1, 2] розглядається спосіб розбиття мережі на домени маршрутизації, що забезпечує мінімальний об'єм трафіку за рахунок

самоорганізації структури мережі та визначення кількості і розташування інтелектуальних агентів керування трафіком. Для неоднорідної мережі, розбиваючи її на домени, необхідно враховувати степінь зв'язності вузлів, так як у випадку рівних радіусів доменів маршрутизації від цього показника залежить об'єм службової інформації. Отримана інформація про структуру мережі включається у таблиці маршрутизації. Потім на їх основі можна зробити вибір маршрутів передачі інформації з урахуванням надійності каналів. Маршрутизація між вершинами складається з маршрутизації всередині домена та маршрутизації між доменами.

У роботі [3] доведено, що інтелектуальним агентом необхідно вибрати вершину не лише з максимальним ступенем зв'язності, а також вершину з найбільшою щільністю мережевого оточення першого і другого порядків.

Більшість алгоритмів розраховані на стаціонарну структуру мережі, а для динамічної вони застосовуються ітеративно, тобто існує ризик, що час однієї ітерації перевищить час, за який змінюється структура мережі. З метою усунення їх недоліків, було запропоновано ряд покращених алгоритмів: алгоритм найменшої зміни кластеру (LCC) [4], алгоритм, заснований на мобільності вузла [4], алгоритм кластеризації на основі доступу до каналу [5], і т.д.

Алгоритм найменшої зміни кластеру LCC (Least Cluster Change) використовує ініціалізацію мережі засновану на алгоритмі найнижчого ID або алгоритму найвищого ступеня. LCC дає кластеризацію із хорошою стабільністю. Проте, факторів, що використовуються в цьому алгоритмі, занадто мало. У той же час це алгоритм пасивної кластеризації – алгоритм буде активний тільки тоді, коли вузол включається в кластер або виходить з кластера.

Алгоритм, заснований на рухливості вузлів: оскільки рухливість вузла безпосередньо впливає на зміни топології мережі, було запропоновано алгоритм кластеризації на основі енергії мобільності вузла. Ми можемо отримати відносну рухливість між поточним вузлом і його сусідніми вузлами за допомогою прийому пакетів, що посилають сусідні вузли. Кожен вузол періодично передає свою міру мобільності, сусідній вузол буде зберігати їх в своїй локальній таблиці сусідів і порівнювати зі своєю власною мобільною мірою. Таким чином алгоритм буде обирати головами та шлюзами кластерів найбільш стійкі вузли, що забезпечить зменшення частоти зміни складу доменів.

Алгоритм кластеризації на основі доступу до каналу: алгоритм пасивної кластеризації на основі каналу не вимагає доступу до кластера для відправки явного повідомлення, але буде надавати відповідну інформацію про стан пакету даних, тим самим знижуючи навантаження управління, і має більш стійку структуру кластера. Під час процесу формування кластера, кожен вузол намагається отримати доступ до каналу управління. Щоб підтвердити, що він є головою кластера, вузол повинен успішно відправити повідомлення управління до сусідніх вузлів, і він залишається головою до кінця роботи алгоритму або до першої помилки. Недоліки алгоритму: розподіл голів кластерів є випадковим, значна рухливість вузлів призводить до

постійних помилок при передачі повідомлень.

Раніше опубліковані алгоритми кластеризації, такі як Lowest-ID algorithm [5], Highest-Degree algorithm (HAD), Adaptive On-demand weighted algorithm (AOW), містять дослідження проблеми, але кожен бере до уваги лише певний і конкретний фактор, таким чином, є багато обмежень для їх застосування. Всі розглянуті алгоритми загалом розраховані на стаціонарну мережу, але застосовуються для динамічних, при цьому не враховуючи час, за який відбувається одна ітерація алгоритму та відбувається зміна структури мережі.

Постановка задачі

Необхідно запропонувати алгоритм, що враховує фактори, спричинені мобільністю вузлів мережі, такі як: швидкість руху вузлів, напрям руху, час життя зв'язків між вузлами (TTL), а також дозволяє розставити пріоритети важливості цих факторів, що забезпечить адаптованість застосування алгоритму для мереж, що мають різне призначення.

Розв'язання проблеми

У роботі [6] запропоновано алгоритм кластеризації на основі нечіткої логіки. Алгоритм враховує такі фактори: часті зміни у структурі мережі, що виникають в результаті переміщення вузлів, швидкість руху вузлів, а також енергію вузла. TTL зв'язків між двома вузлами залежить не лише від відстані між ними, а також від швидкості і напрямку руху цих вузлів; надлишкова енергія вузла пов'язана не тільки з його TTL, але і з часом роботи вузла в якості шлюзу, голови кластера або звичайного елемента. Цей зв'язок важко описати за допомогою звичайних математичних моделей. Нечітка логіка може дати інструменти для опису шляхом відображення простору в інший простір, використовуючи специфічне правило, таким чином, ми можемо описати TTL цього зв'язку, і надлишкову енергію вузла за допомогою нечіткої моделі управління. На основі

традиційного on-demand weighted algorithm, ми беремо до уваги TTL зв'язку, і надлишкову енергію вузла, щоб вибрати голову кластера, так щоб він міг вижити протягом тривалого часу. Нижче наведено приклад ініціалізації кластера.

Формула (1) для обчислення ваги вузла:

$$w = a_1 * d + a_2 * l + a_3 * m + a_4 * t \quad (1)$$

де d - різниця між його ступенем і його ідеальним ступенем для кожного вузла; l - TTL кожного вузла, визначений на основі нечітких правил вище; m - це мобільність вузла, визначена на основі швидкості руху; t - це надлишкова енергія, визначена на основі нечітких правил вище, a_1, a_2, a_3, a_4 - це фактори ваги, що вказують на важливість цих параметрів в мережі, відповідно до конкретних потреб у реальному середовищі, чим більший важливим є параметр, тим більший у нього ваговий коефіцієнт, але їх сума рівна одиниці (2):

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 1 \quad (2)$$

Таблиця 1. Нечітка модель TTL

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	Nea	NM	Med	MF	Far	Nea	NM	Med	MF	Far	Nea	NM	Med	MF	Far
B	Aw	Aw	Aw	Aw	Aw	St	St	St	St	St	To	To	To	To	To
Li	L	LM	M	MS	S	L	L	L	L	L	L	L	L	LM	M

У табл. 2 подано модель надлишкової енергії вузла, засновану на нечіткій логіці. А представляє час підтримки надлишкової енергії, включає в себе 5 лінгвістичних термінів, значення яких відповідають значенням L_i . В - швидкість споживання енергії вузла, включає в себе лінгвістичні терміни: СН, СГ, СМ, їх значення відповідно - швидкість споживання енергії головою кластера, швидкість споживання енергії звичайним елементом кластера.

Класичне правило нечіткої моделі Сугено:

$$\text{якщо } x \in A \text{ і } y \in B, \text{ то } T_i = f(x, y) \quad (4)$$

де T_i - тривалість підтримки надлишкової енергії вузла, набуває значень L, M, S, від-

повідно довга, середня і коротка, і всі вони є точним значенням, відповідно 1, 0,5, 0.

У таблиці 1 подано модель TTL зв'язків між вузлами на основі нечіткої логіки. А - дальність передачі, вона включає в себе 5 лінгвістичних термінів: Nea, NM, Med, MF, Їх значення відповідно близько, середньо-коротка відстань, середня, середня-довга відстань, далеко. В - мобільність вузла, що залежить від напрямку швидкості вузла, вона включає в себе 3 лінгвістичних термінів: AW, ST, To, значення яких відповідно рух у протилежному напрямі, статичне положення, рух в одному напрямі.

Класичне правило нечіткої моделі Сугено:

$$\text{якщо } x \in A \text{ і } y \in B, \text{ то } L_i = f(x, y) \quad (3)$$

де L_i представляє TTL зв'язку, набуває значень L, LM, M, MS, S, що означає довготривалий, середньо-довготривалий, середньотривалий, середньо-короткотривалий і короткотривалий, і всі вони є точними значеннями відповідно 1, 0,75, 0,5, 0,25 і 0.

На основі моделей, наданих у роботі, запропонуємо алгоритм кластеризації. Визначимо кількість кластерів. Часова складність алгоритму знаходження маршрутів $O(n^2)$ залежить від кількості вузлів n . Очевидно, що чим більша кількість кластерів, на які ми розбиваємо мережу, тим меншим є порядок складності.

Враховуючи, що маршрутизація відбуватиметься на двох рівнях - внутрішньодоменна та міждоменна - необхідно встановити верхню межу кількості кластерів. Візьмемо за правило: порядок кількості кластерів дорівнює половині порядку кількості вузлів.

Таблиця 2. Нечітка модель надлишкової енергії вузла

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	S	SM	M	ML	L	S	SM	M	ML	L	S	SM	M	ML	L
B	CH	CH	CH	CH	CH	CG	CG	CG	CG	CG	CM	CM	CM	CM	CM
Ti	S	S	M	M	M	S	S	M	M	L	M	M	L	L	L

Опис алгоритму:

1. Визначити кількість кластерів.
2. Розбити мережу на кластери з однаковою кількістю доменів.
3. Для кожного кластеру серед усіх вузлів обрати той, який має найменшу вагу B_m .
4. Оголосити вузол B_m головою кластеру.
5. Вузол B_m формує кластер $D(B_m)$ з усіх своїх сусідів, що входять до його мережевого оточення першого порядку $\Gamma_k(B_m)$.
6. Якщо до кластеру входять не всі вузли з мережевого оточення порядку k , то вузли, які увійшли оголошуємо шлюзами.

Таким чином отримали зв'язний граф максимальної незалежної множини, тобто кластеризація завершена. Але враховуючи, що структура мережі постійно змінюється, на наступних ітераціях алгоритм працює в режимі моніторингу.

Висновки

У статті було розглянуто способи кластеризації і вирішено, що найкращим є алгоритм, заснований на нечіткій логіці. Запропоновано алгоритм кластеризації мережі, що використовує розглянуті моделі нечіткої логіки. Суттєвою перевагою запропонованого алгоритму є врахування факторів, спричинених високою рухливістю вузлів, можливість надання пріоритетів важливості цим факторам, що значно розширює спектр сфер застосування мереж, що моделюються. Алгоритм орієнтований на динамічні мережі, і на відміну від інших, не розрахований на статичні мережі, що є абсолютною перевагою, адже за його застосування виключається

ризик того, що час виконання однієї ітерації алгоритму буде більшим за час зміни топології мережі. Отже, запропонований алгоритм має більшу надійність.

Список літератури

1. Давиденко І.Н., Левчук А.В. Спосіб організації динамічної структури мобільної комп'ютерної мережі великої розмірності: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 – Київ, 2008. – 120 с.
2. Лукашенко В.В., Левчук В.В. Аналіз ефективності способів розбиття мережі на зони маршрутизації// Електроніка та системи управління. – 2010. – №1(23) – С. 112-118.
3. Baa Chen Y. P., Liestman A. L. A zonal algorithm for clustering ad hoc networks // International Journal of Foundations of Computer Science. – 2003. – №14 (2) – P. 305-322.
4. V.Preetha, Dr.K.Chitra. Clustering & Cluster Head Selection Techniques in Mobile Adhoc Networks// International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. – 2014. – № 7 (2) – P. 4-7.
5. VanDung Nguyen, Oanh Tran Thi Kim, Duc Ngoc Minh Dang. Application of the lowest-ID algorithm in cluster-based TDMA system for VANETs// International Conference on Information Networking (ICOIN) – 2015. – P. 25-30.
6. Dao-quan Li, Huai-cai Wang. Fuzzy Clustering Algorithm Based on the Time and Surplus Energy Constrain for Ad Hoc Network// JOURNAL OF NETWORKS – 2010. – №10 (5) - P. 1127-1134.

Статтю подано до редакції 05.05.2017