УДК 004.942

В. ПАСІЧНИК, Н. ІВАНУЩАК
Національний університет «Львівська політехніка»
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОСТУ ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

У роботі приведені основні характеристики, на основі яких вивчаються топологія та еволюція в часі мереж, що виникли в результаті життєдіяльності людини. Розглянуто правила генерації та моделі структуризації складних мереж. Досліджено топологію локальної комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net в місті Чернівці. Означені основні фактори впливу на ріст та генерацію вузлів мережі. Здійснено імітаційне моделювання росту локальної комп'ютерної мережі.

In this work given the main characteristics of studying the topology and evolution of networks in time, which are the result of human activity. There were considered rules of generation and models of structuring of complex networks. Investigated the topology of the LAN BW-Star & Fox Net in Chernivtsi. The main factors that influencing growth and generation of nodes were considered. Simulation of growth of the LAN implemented.

Ключові слова: характеристики складних мереж, моделі мереж, правила генерації.

1. Вступ

Предметом огляду та дослідження статті є теорія складних мереж. Форма мережі притаманна багатьом системам, зокрема, – це Інтернет, WWW, нейронні, телекомунікаційні, транспортні, соціальні мережі, мережі цитування тощо.

Складні мережі являються об'єктом як теоретичних, так і емпіричних досліджень [1], в яких топологія розглядуваних мереж відіграє провідну роль. Як природні мережі, так і мережі, що виникають внаслідок людської життєдіяльності, зазвичай не являються статичними, а динамічно розвиваються, тому для розуміння їхньої структури необхідно дослідити принципи їх еволюції.

У роботі розглянуті моделі генерації, сформульовані правила структуризації та фактори впливу на динаміку росту складних мереж. На їх основі запропонована імітаційна теоретико-ймовірнісна модель росту локальних комп'ютерних мереж.

2. Основні характеристики природних та штучних мереж

В роботі авторів [2,3] означені основні характеристики, які використовуються при дослідженні та моделюванні мереж.

«Лінійний розмір» мережі характеризується поняттями середнього $\langle l \rangle$ і максимального $l_{\max}$ найкоротших шляхів. Шляхом між вузлами l_{ij} назвемо найкоротшу відстань між ними.

Для зв'язаної мережі з N вузлів середній найкоротший шлях означається як:

$$\langle l \rangle = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i>j} l_{ij} \,, \tag{1}$$

l_{ij} – довжина найкоротшого шляху між вузлами *i* та *j*, $l_{\max}$ - найбільше значення з усіх l_{ij}, заданих для цієї мережі.

Глобальною характеристикою мережі є середня довжина найкоротшого шляху, а окремий вузол *m* характеризує локальна величина – коефіцієнт кластерності C_m [1,4], який відповідає рівню зв'язаності вузла у мережі і характеризує тенденцію до утворення груп взаємозв'язаних вузлів,

$$C_m = \frac{2E_m}{k_m(k_m - 1)} \,. \tag{2}$$

C_m визначається як відношення реальної кількості ребер E_m, які з'єднують найближчих сусідів даного вузла, до максимально можливої (такої, при якій всі найближчі сусіди даного вузла були б з'єднані безпосередньо один з одним).

Головною характеристикою мережі, яка задає розподіл ребер вершини, тобто ступінь вершини, є розподіл ступенів вузлів *P (k)*, що визначає імовірність того, що вузол *i* має ступінь k_i=*k*, іншими словами, що випадково вибрана вершина буде мати рівно *k* ребер. Мережі, які характеризуються різними *P (k)*, демонструють дуже різноманітну поведінку. До найчастіше спостережуваних прикладів розподілу ступенів вузлів відносяться:

a)розподіл Пуассона $$P(k) = e^{-\langle k \rangle} \frac{\langle k \rangle^k}{k!} \,, \tag{3}$$

b) експоненційний розподіл $$P(k) \sim e^{-k/\langle k \rangle} \,, \tag{4}$$

c) степеневий розподіл $P(k) \sim 1/k^{\gamma}$, $k \neq 0$, $\gamma > 0$. (5)

Залежно від виду розподілу ступенів вершин (3)- (5) мережі поділяються на три різних типи – класичні випадкові графи, які є варіантом моделі Ердоша-Рені, моделі тісного світу [4] та мережі без масштабування, які мають місце для більшості реальних складних мереж.

В роботі [2] нами були проаналізовані характеристики, динамічні та кореляційні властивості основних типів природних та штучних мереж, таких як соціальні, інформаційні та технологічні, та продемонстровано, що вони являються безмасштабними і підпорядковуються одному і тому ж степеневому закону росту. Зокрема, до таких мереж відносяться мережі співавторства у різних галузях науки, електронних повідомлень, WWW, мережі цитування, мережі громадського транспорту, Інтернет та ін.

3. Моделі структуризації та правила генерації складних мереж

Явища, що відбуваються у складних мережах, пояснюються багатьма різними моделями. Основними з них, які в основному спричинили сьогоднішнє розуміння складних мереж, є класичний випадковий граф Ердоша-Рені, мережа тісного світу Ваттса-Строгаца та безмасштабна мережа Барабаші-Альберта, що є прикладом зростаючої мережі. Моделі, що описують зростаючі мережі, приводять до степеневих розподілів ступенів вузлів $P(k)$.

Граф Ердоша-Рені є рівноважним ансамблем графів зі сталою кількістю вершин N [5]. Розподіл ступенів вузлів k для цього графа визначається формулою Пуассона (3). Побудова графа здійснюється генеруванням, де до N відокремлених вершин послідовно додаються ребра, що з'єднують випадковим чином довільні пари вершин. Початково граф складатиметься із сукупності малих вершин, які в процесі генерування з часом розростаються до гігантського кластера зв'язаних вершин, кількість яких є скінченною частиною загальної кількості N . При генерації постійно зростає ймовірність зв'язування вершин, яка досягає з часом деякого критичного значення. В результаті такого процесу, який має характер фазового переходу, граф спонтанно розростається до гігантського кластера вершин, пов'язаних між собою, що нагадує конденсацію краплі води в перенасиченій парі.

Модель Ваттса-Строґаца [6] є комп'ютерною моделлю тісного світу. Її побудова зводиться до наступного: розглядається одновимірний із N вершин періодичний ланцюг, замкнутий у кільце. Спочатку кожну вершину з'єднуємо з іншими сусідніми, які знаходяться на відстані не більшій за k , а потім кожне ребро з певною ймовірністю m перез'єднується з довільною вершиною, що приводить до трансформації регулярного ланцюга у граф тісного світу (рис. 1).

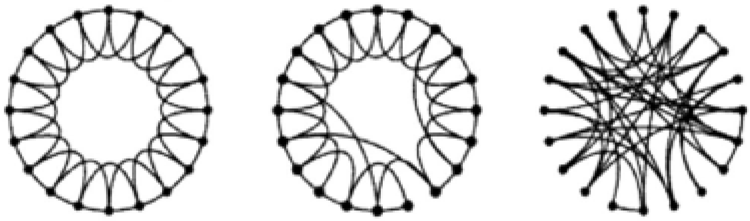


Рис. 1. Трансформація регулярного ланцюга у граф тісного світу та у випадковий граф.

Оскільки в цій моделі кількість ребер є сталою, а ймовірності реалізації графів – різні, то вона зводиться до *канонічного* ансамблю графів і описує реально існуючі мережі, топологія яких не є ані цілком регулярною, ані цілком випадковою.

Більшість реальних графів підпорядковуються степеневому закону розподілу (5). Ці графи описуються ***моделлю переважного приєднання побудови мереж Барабаші-Альберта*** [7,8] і являються *безмасштабними*, так як, завдяки далекосяжним взаємодіям система не має масштабу зміни характерних величин. Зростання та переважне приєднання є основними механізмами побудови безмасштабних мереж. Ця побудова здійснюється за такими принципами: 1) до невеликої кількості вузлів (n_0) на кожному часовому кроці додається новий вузол з $n \leq n_0$ зв'язками, які з'єднують його з наявними вузлами; 2) суть переважного приєднання в тому, що ймовірність приєднання W нового вузла до вузла i залежить від ступеня k_i вузла i :

$$W(k_i) = \frac{k_i}{\sum_j k_j}. \tag{6}$$

Існують два основних методи побудови графів зі степеневим законом розподілу $P(k)$ – це метод *рандомізації* (розкиду) *ребер* та метод *рандомізації вершин* (рис. 2).

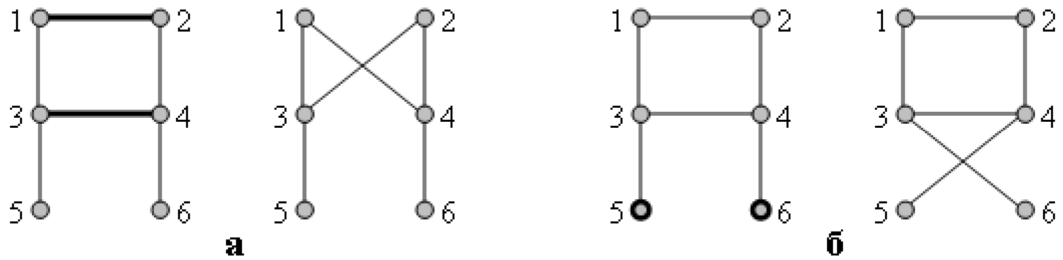


Рис. 2. Схема генерування графів методами рандомізації: а) рандомізація ребер; б) рандомізація вершин.

Довільним чином вибираються два ребра і переставляються кінці кожного з них, при цьому незмінними залишаються ступені всіх вершин. Згенерований у результаті такої процедури канонічний ансамбль матиме однакові ступені вершин та різні питомі ваги *P (k)* графів.

Безмасштабні графи можуть бути згенеровані в результаті нерівноважних процесів зростання різних ансамблів мереж. При цьому вони виникають як перехідні ансамблі, що представляють мережі, утворені при переході від вихідного до кінцевого набору графів. Так, в ансамблях, енергія яких змінюється за законом $E = -\sum_i k_i \ln(k_i)$, перетворення класичного випадкового графа в повністю зв'язаний кластер відбувається через проміжну безмасштабну зіркоподібну фазу [9].

Нехай початково є ансамбль ребер, що приєднані до вершин із малими ступенями, і невелика кількість вершин, що є центрами конденсації. Зміна енергії, пов'язана з еволюцією ребер у ансамблі, є незначною, тоді як центри конденсації поглинають ребра з великою швидкістю, яка монотонно зростає зі збільшенням ступенів вершин, у яких вони сходяться. Приєднання ребра до вершини приводить до зміни енергії $\Delta E = \partial E / \partial k = -\ln k - 1$, тому швидкість конденсації визначається множником: $v(k) \sim e^{\Delta E / T} \propto k^{1/T}$, де *T* – дисперсія ансамблю графів, що відіграє роль температури.

Оскільки ймовірність *P (k)* знайти вершину із заданим ступенем обернено пропорційна до швидкості конденсації, то зі знайденої оцінки відразу випливає степеневий розподіл $P(k) \propto 1/v(k) \propto k^{-\gamma}$ з показником $\gamma = 1/T$. Оскільки центри конденсації ребер утворюються при температурах $T < 1$ [8], то знайдений показник обмежений значеннями $\gamma > 1$.

4. Дослідження топології та основних характеристик локальної комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net

Нами досліджена топологія та розраховані типові характеристики комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net, що знаходиться в місті Чернівці (конфігурація мережі зображена на рис. 3).

Із цією метою для кожного типу вершин, якими є сервери, світчі та користувачі (5, 51, та 213 відповідно), підраховуємо їхні кількості та ступені, а потім знаходимо кількості $N(k)$ вершин із заданими ступенями k.

Тоді ймовірність реалізації цього ступеня k визначається діленням $N(k)$ на загальну кількість вершин $N = 269$: $P_0(k) = N(k)/N$. У результаті отримуємо розподіл, який наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net в м. Чернівцях

k	*N (k)*	P_0 *(k)*	*P (k)*	C_k
1	213	0,792	0	0
2	3	0,011	0,053	1
3	5	0,019	0,089	0.333
4	10	0,037	0,178	0.167
5	14	0,052	0,25	0.100
6	3	0,011	0,053	0.067
7	6	0,022	0,107	0.048
8	8	0,029	0,143	0.036
9	2	0,007	0,036	0.028
10	2	0,007	0,036	0.022
11	2	0,007	0,036	0.018
12	0	0	0	0.015
13	0	0	0	0.013
14	1	0,004	0,018	0.011

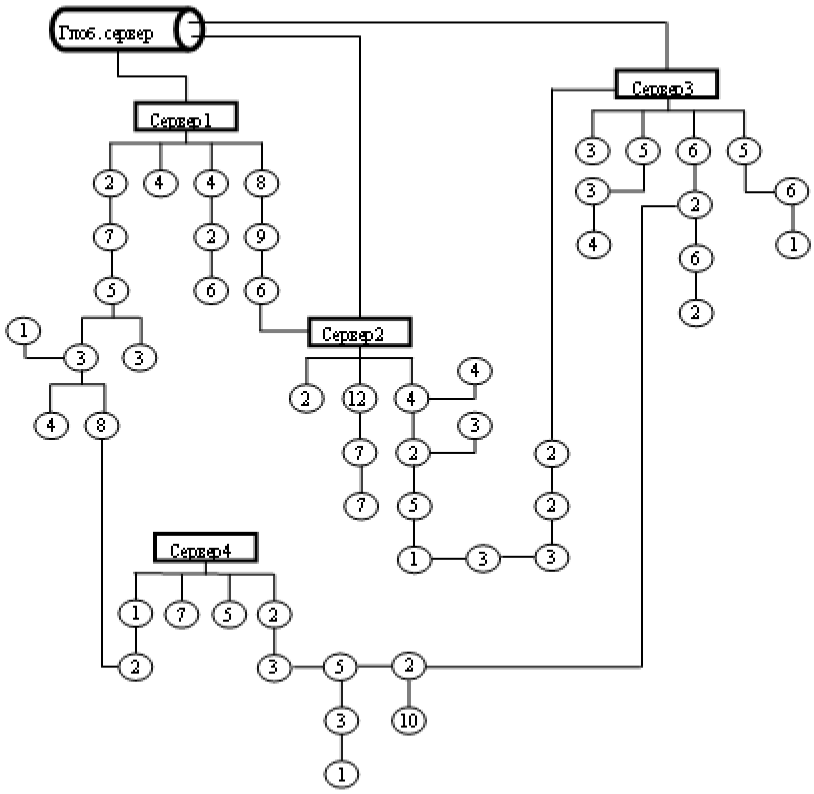


Рис. 3. Схема комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net (цифри в кружечках, які відповідають світчам, показують приєднаних до них користувачів, які для простоти не зображуються).

Завдяки тому, що основний внесок роблять користувачі, тобто вершини, які мають мінімальний ступінь $k = 1$, *середній ступінь мережі*

$$\langle k \rangle = \sum_k k \cdot P(k), \tag{7}$$

знайдений таким способом, є порівняно малою величиною $\langle k \rangle_0 = 1.997$.

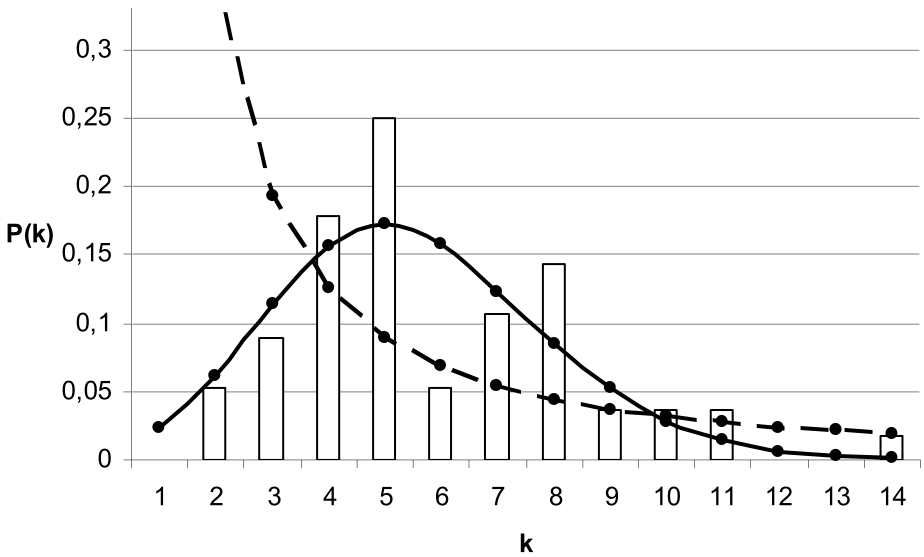


Рис. 4. Розподіл ступенів вершин мережі BW-Star & Fox Net (гістограма) в порівнянні з розподілом Пуассона (4) (суцільна лінія) і степеневим законом $P(k) = k^{-1,5}$ (штрихована лінія).

Якщо знехтувати внеском користувачів, то загальна кількість світчів і серверів становить $N = 56$ і розподіл ймовірностей задається четвертим стовпчиком таблиці 3. Нехтування елементами вершин, які відповідають користувачам, приводить до значно більшого значення $\langle k \rangle = 5.492$.

Із рис. 4 видно, що розподіл ступенів немонотонний і спадає значно повільніше, ніж розподіл

Пуассона (4), проте швидше за степеневий розподіл $P(k) = k^{-1,5}$. Це вказує на те, що досліджувана нами мережа займає проміжне місце між класичним випадковим і безмасштабним графами.

Згідно з означенням (3) для кожного вузла m досліджуваної нами мережі була визначена локальна величина коефіцієнта кластерності C_m, значення якого наведені у п'ятому стовбці таблиці 3. Середнє значення коефіцієнта кластерності було визначене згідно з виразом $\langle C \rangle = C_k \cdot N(k)/N$, числове значення якого складає $\langle C \rangle = 0.032$. Це вказує на імовірність існування зв'язку між двома випадково взятими найближчими сусідами вузла, а також містить інформацію про наявність у мережі циклів. Мале значення коефіцієнта кластерності досліджуваної мережі вказує на низьку кореляцію в ній.

5. Фактори впливу на динаміку росту комп'ютерних мереж

Розуміння структури локальної комп'ютерної мережі випливає з дослідження її еволюції в часі, топології та реального розташування. Локальні мережі створюються для оперування у невеликому географічному просторі. Вони дозволяють множинний доступ до високошвидкісного середовища та керування з допомогою локального адміністрування.

Можна виділити два способи утворення складних мереж:

1. Об'єднання більш дрібних мереж в єдину корпоративну мережу;
2. Початково спроектована та реалізована за проектом мережа.

Частіше стикаємося з першим типом мереж: традиційно мережі утворюються і організовуються розрізнено і спонтанно, а потім їх об'єднують і в результаті здійснюється перехід мережі до другого типу. Змінюється обладнання, топологія, структура окремих ділянок і мережа перетворюється в струнку ієрархічну структуру.

В даний час створені і експлуатуються різні типи локальних мереж з різними розмірами, алгоритмами роботи, архітектурою і структурною організацією. Незалежно від типу мереж, до них виставляються загальні вимоги:

1. Швидкість – найважливіша характеристика локальної мережі;
2. Адаптованість до середовища;
3. Надійність – властивість мережі зберігати повну чи часткову дієздатність незалежно від виходу з ладу деяких вузлів чи кінцевого обладнання.

Комп'ютерні мережі відносяться до мереж, що постійно ростуть і розвиваються. Аналіз розвитку комп'ютерної мережі ґрунтується на встановленні *факторів впливу* на генерацію вузлів та умов утворення і приєднання в мережі нових серверів зі своєю структурою.

Серед факторів впливу на ріст мережі в першу чергу необхідно вирізнити ***розмір*** або ***протяжність*** локальної мережі, що визначається відстанню між найбільш віддаленими станціями, при якій за нормальної роботи вузлів чітко розпізнаються колізії, та кількістю об'єднаних в мережу комп'ютерів. Для Інтернет-мережі цей розмір називається діаметром мережі і складає відстань порядку 1 км, що дозволяє отримати високу швидкість зв'язку та максимально можливий рівень сервісу. При цьому кількість вузлів в мережі складає ~ 86. Кількість під'єднаних до мережі комп'ютерів сильно впливає як на її продуктивність, так і на складність в обслуговуванні і також визначає вартість необхідних програмних засобів.

При розростанні мережі зростає число колізій, і різко падає її корисна пропускна здатність та швидкодія передачі сигналу, тому може знадобитися використання дуже дорогого або рідкісного обладнання. Обмеження мережі за довжиною являється передумовою вибору структури мережі, розбиття її на окремі частини, появи додаткових серверів з новою мережею зв'язків. Міжсерверні з'єднання дозволяють забезпечити підвищену стійкість, меншу затримку, зменшення вартості доступу, а також підвищення якості зв'язку для кінцевих користувачів вцілому.

Спостерігається динаміка мережі, своєрідна ***кластеризація***, сервери виступають центрами утворених кластерів, відбувається просторове розміщення компонент мережі в чітку ієрархічну структуру.

Приєднання нових вузлів диктується ***економічною вигідністю***, тобто ресурсними затратами, які напряму залежать від географічного розміщення споживачів. Тому при проектуванні мережі не менш важливим фактором впливу на її ріст є врахування ефективності по відношенню ціна/якість.

Таким чином, на утворення нових зв'язків у мережі впливають різні фактори, кожному з яких можна присвоїти свою вагу, а вузлам мережі – певне значення енергії, яка залежить від способу об'єднання вузлів у графи.

6. Імітаційне моделювання росту локальної комп'ютерної мережі

Аналіз топології та росту локальних комп'ютерних мереж, які являються об'єктом наших досліджень, демонструє їх чітку ієрархічну структуру. Центрами росту та кластеризації мережі являються сервери, від яких географічно в різних напрямках розходяться кабелі та підключаються користувачі.

Локальні комп'ютерні мережі є об'єктами графових структур і тому для їх дослідження можуть бути застосовані методи теорії графів. Проте алгоритми і моделі, побудовані на основі цих методів, не дозволяють врахувати динамічну зміну характеристик та випадкових факторів при рості локальних мереж. Тому застосування імітаційного моделювання, розробка спеціалізованих структур та алгоритмів, що дозволяють найкращим чином вирішувати поставлені завдання, значно полегшать цей процес і забезпечать перехід на новий, якісно вищий рівень проектування та управління мережами.

Згідно з проведеними дослідженнями слід відмітити, що локальні мережі в процесі розвитку та еволюції в часі проходять етапи становлення від класичного випадкового графа до безмасштабних мереж. Тому для імітаційного моделювання вибраний принцип випадкового приєднання вузлів як для класичного випадкового графа.

В нашій роботі здійснюється імітаційне моделювання процесу росту комп'ютерної мережі у вигляді дендритів. Це пов'язано зі схожістю як у структурному рості, так і в математичному ймовірнісному описі [1,3] механізмів еволюції складних мереж та росту дендритних кристалів. Розроблена модель, яка дозволяє отримати зображення локальної мережі для різних початкових умов росту, динамічно візуалізувати процес та відслідковувати його в довільний момент часу.

При моделюванні росту комп'ютерних мереж нами були використані аналогії моделювання росту дендритних дерев нейронів.

Мережа розглядається як упорядкована множина сегментів, кожен з яких закінчується точкою розгалуження чи кінцем мережі. Вона характеризується низкою числових характеристик: довжинами сегментів, кутами між сегментами та різними ступенями приєднання вузлів мережі $P(k)$.

Початковою точкою О мережі вважається сервер, якому приписується z зв'язків, які визначають напрямки $l_0^{(z)}$ зростання мережі. До складу мережі входять два типи часток – світчі, кількість яких дорівнює n, та споживачі. Кожному із n світчів випадковим чином приписується різна кількість k зв'язків, яка визначається кількістю портів світча та змінюється дискретно, набуваючи значень: 5, 8, 16, як найбільш поширених при проектуванні локальних мереж.

У модель закладаються: 1) розподіл величини кута φ між початковим напрямком першого кроку l_0 та напрямком наступного кроку моделювання; 2) імовірність розгалуження світча $P(k)$.

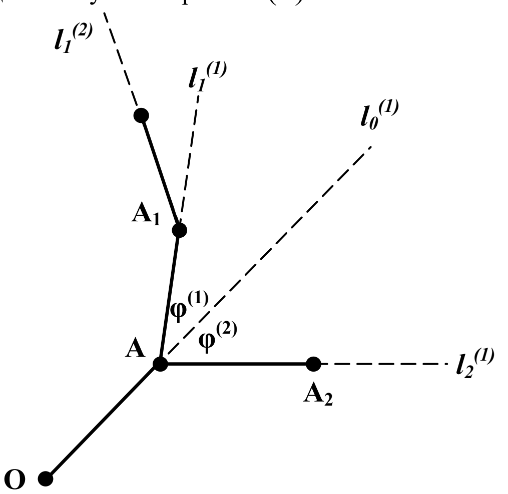


Рис. 5. Побудова моделі сегмента комп'ютерної мережі

Вздовж променя l_0 робиться корок ОА певної довжини, точка А з імовірністю $P(k)$ є початком наступного кроку (який відкладається від напрямку попереднього кроку ОА під випадковим кутом $\varphi^{(k)}$ відповідно до розподілу кута), і з імовірністю $1-P(k)$ – не є початком наступного кроку, тобто є кінцем сегмента. Ймовірності приєднання світчів вибиралися у відповідності до таблиці 1, як відповідні значення розподілів ступенів вершин мережі $P(k)$ ($k=5, P(k)=0.25$; $k=8, P(k)=0.143$; $k=16, P(k)=0.014$).

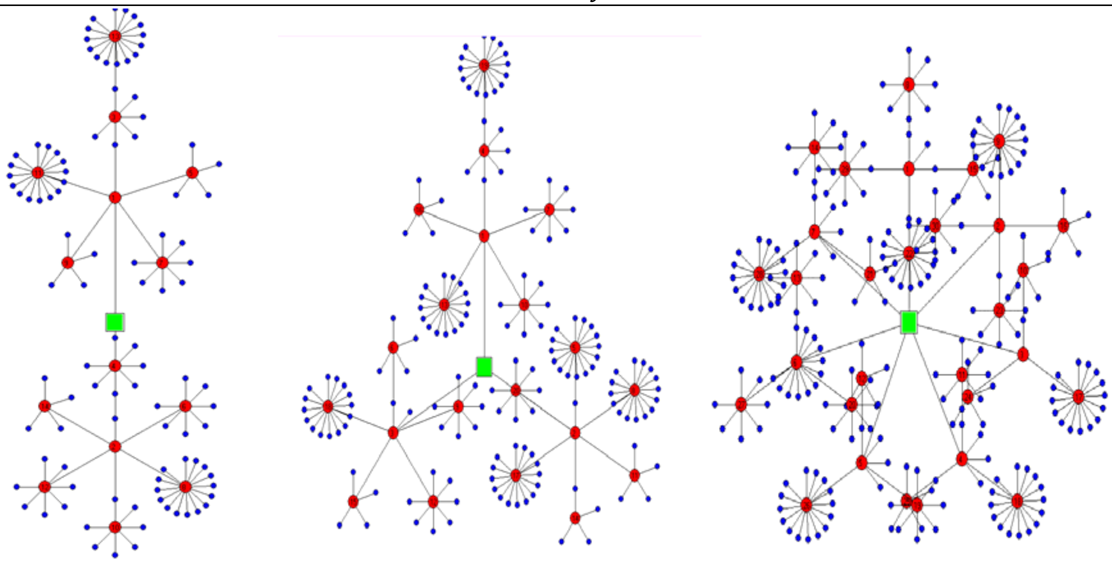
На основі розроблених алгоритмів реалізована програма, результатом роботи якої являється зображення динаміки росту локальної комп'ютерної мережі, виявлені та проаналізовані особливості роботи запропонованого алгоритму.

Програма допускає коректування форми, розміру, орієнтування у просторі мережі, а також кількості споживачів, які утворюють простір моделювання. Користувачу доступні функції запуску процесу моделювання, його зупинки в довільний момент часу. Програма автоматично генерує зображення та поновлює його після кожного кроку моделювання. Розроблений програмний продукт дозволяє спостерігати за процесом росту мережі на різних стадіях, що дає можливість відслідковувати зміни в структурі не тільки в часі, але і в просторі.

З допомогою імітаційного моделювання досліджувався вплив початкових умов – напрямків розгалуження мережі, кількості вузлів-світчів з різними ступенями приєднання споживачів на ріст локальної мережі. Для того, щоб дослідити як впливає деякий параметр на структуру графа, спочатку був змодельований ріст при деякому наборі параметрів. Пізніше параметри з цього набору змінювались окремо. Результати комп'ютерного експерименту подані на рис. 6.

Розроблена нами імітаційна модель дозволяє отримати зображення мережі для різних початкових умов, динамічно візуалізувати процес її структуризації та відслідковувати його в довільний момент часу.

На рис. 6 представлені отримані експериментальним чином (з допомогою комп'ютерної симуляції) імовірнісні моделі локальної комп'ютерної мережі для різних значень її числових характеристик (а – $z=2, n=14$; б – $z=3, n=20$; в – $z=7, n=30$).



а б в

Рис. 6. Приклади імітаційного моделювання мережі
(□ – сервер мережі, червоні кружечки – світчі, сині – споживачі)

Із наведених зображень видно, що при $z = 2$ вітки мережі спрямовуються від сервера у двох протилежних напрямках, при $z = 3$ мережа структуризується у вигляді трикутника, а при $z = 5$ і більше розростається зіркою, до світчів якої ймовірнісним чином приєднується різна кількість користувачів. При достатньо великих значеннях z та поступовому збільшенні кількості світчів n спостерігається розростання мережі у чітку ієрархічну структуру та її кластеризація (рис. 7).

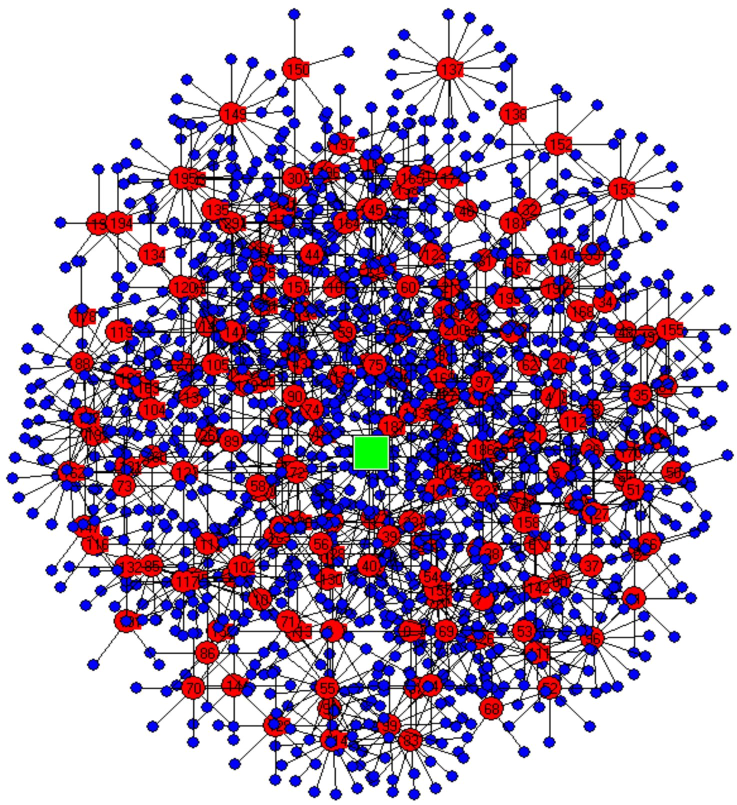


Рис. 7. Генерування кластера мережі

При досягненні граничного значення кількості споживачів, при якому зростає число колізій і падає пропускна здатність мережі, слід здійснити з допомогою чисельного моделювання перехід від моделі «частинка-кластер» до більш складної моделі «кластер-кластер».

Висновки

Розглянуті моделі генерації, сформульовані правила структуризації та фактори впливу на динаміку росту складних мереж.

Досліджено топологію локальної комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net в місті Чернівці. Значення характеристик даної мережі дало можливість зробити висновок, що мережа займає проміжне місце між класичним випадковим і безмасштабним графами.

В рамках проведеної роботи виділені основні фактори, які впливають на процес росту локальної комп'ютерної мережі, сформульована послідовність дій, необхідних для побудови моделі системи.

З допомогою імітаційного моделювання досліджено вплив початкових умов – напрямків розгалуження мережі, кількості вузлів з різними ступенями приєднання споживачів на ріст локальної мережі.

Література

1. Головач Ю. Складні мережі / Головач Ю., Олємской О., К. фон Фербер, Головач Т., Мриглод О., Олємской І., Пальчиков В // Журнал фізичних досліджень. – 2006. – т.10, № 4, с. 247-289.

2. Пасічник В.В. Дослідження та моделювання складних мереж / Пасічник В.В., Іванущак Н.М // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – 2/3 (44), с. 43-48.

3. Пасічник В.В. Структуризація та динамічні властивості складних комп'ютерних мереж / Пасічник В.В., Іванущак Н.М // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – 4/9 (46), с. 16-21.

4. Watts D.J., Strogatz S.H. Collective dynamics of "small-world" networks // Nature. – 1998. – Vol. 393. pp. 440-442.

5. Erdös P., Renyi A. Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci. 5, 17 (1960).

6. Watts D.J., Strogatz S.H. Nature (London) 393, 440 (1998).

7. Barabasi A. – L., Albert R. Science 286,509 (1999).

8. Barabasi A. – L., Albert R., Jeong H. Physica A 281, 69 (2000).

9. Palla G., Derenyi I., Fakras I., Vicsek T. Phys. Rev. E, 69, 046117 (2004).

Надійшла 13.11.2010 р.

УДК 621.375.024

В.І. ВОДОТОВКА
КНУТД, м. Київ
Ф.М. РЕПА
Національний технічний університет України "КПІ", м. Київ

РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПІДСИЛЕННЯ ЗА ФУНКЦІЯМИ ВІДНОСНОЇ ЧУТЛИВОСТІ

Розглянуті схемотехнічні та апаратні засоби корекції похибок вимірювального підсилення слабких сигналів постійного струму за функціями відносної чутливості для створення системних прецизійних перетворювачів сигналів у складі комп'ютеризованих систем.

Skhemotekhnichni is considered and vehicle facilities of correction of errors of the measuring strengthening of weak signals of direct-current after the functions of relative sensitiveness for creation of system preciziynikh transformers of signals in composition the computer-assisted systems.

Ключові слова: вимірювальне підсилення, функція відносної чутливості, інформаційно– вимірювальна система.

Вступ. Вимірювальні підсилювачі постійного струму складають окрему групу серійних стаціонарних радіовимірювальних приладів (шифр У7) [1]. Вони широко використовуються у наукових дослідженнях та промисловості, як автономно, а також як типовий функціональний блок нескладних систем з управлінням оператором. Найбільша відповідальність за точність покладається на них у інформаційно– вимірювальних та комунікаційних системах [2]. Саме тут до вимірювальних підсилювачів ставляться вимоги високої стабільності заданого значення коефіцієнта підсилення у всьому динамічному діапазоні вимірювання. Особливо актуальні ці вимоги в жорстких умовах експлуатації, коли діють значні дестабілізуючі фактори та електромагнітні завади.

Аналіз існуючих розробок. Найбільш досконалі вимірювальні підсилювачі слабких сигналів постійного струму побудовані за відомою схемою М– ДМ (модуляція– демодуляція). Підсилення на постійному струмі замінено підсиленням на змінному струмі фіксованої частоти з подальшим фазочутливим випрямленням та фільтрацією. У М– ДМ підсилювачі значно зменшено активну складову похибки вимірювального підсилення (до дрейфу нульового рівня вихідної напруги модулятора). Але метод М– ДМ не вирішує проблему корекції мультиплікативної похибки та похибки нелінійності, навіть застосовуючи за рахунок зменшення чутливості негативні зворотні зв'язки (НЗЗ). Справа у тому, що глибина НЗЗ обмежена втратою динамічної стійкості.

В роботі [3] запропонований метод підвищення точності вимірювального підсилення слабких сигналів постійного стуму, який ґрунтується на знайдених авторами властивостях функцій відносної