

УДК 004.7

В. Ю. Зубок

ТОВ «Інформаційний центр «Електронні вісті»
вул. Максима Кривоноса, 2-А, 03037 Київ, Україна

Аналіз характеристик нових мереж обміну інтернет-трафіком

Проведено дослідження характеристик трьох українських мереж обміну інтернет-трафіком. Порівняння таких характеристик як розподіл ступеню, середній коротший шлях, коефіцієнт кластеризації дозволило знайти в топології цих мереж як спільні риси, так і суттєві відмінності, які можуть бути використані в процесі пошуку оптимальних вузлів з точки зору приєднання до мережі Інтернет чи розміщенні в ній інформаційних ресурсів.

***Ключові слова:** мережі обміну трафіком, топологічна відстань, транзитивність.*

Вступ

Оскільки у складних мережах топологічна відстань (мінімальна кількість ретрансляції повідомлення між транзитними вузлами) є інтегральним критерієм швидкості передачі, то кращим для приєднання, з технологічної точки зору, є вузол з найменшим значенням середнього коротшого шляху в даному сегменті мережі.

Перші мережі обміну трафіком — «network access points» — з'явилися в ARPANET ще до того, як термін Інтернет набув популярності. Ідея їхнього заснування — додержуватися чітко визначених процедур підключення та правил взаємодії між мережами учасників. Сьогодні в Європі функціонує багато мереж обміну трафіком. Вони мають різну кількість учасників та обсяги трафіка, різні процедури підключення, а головне — різну політику маршрутизації та взаємодії між учасниками. Але кожна з них має свій вплив на топологію зв'язків між автономними системами в Інтернеті.

У топології сучасного Інтернету мережі обміну трафіком чи біржі трафіка (Internet Exchange Points, IXPs) відіграють дуже важливу роль. Однією з «класичних» мереж обміну трафіком є Українська мережа обміну трафіком (UA-IX), заснована в 2001 році. Але протягом двох останніх років у UA-IX спостерігається від'ємна динаміка трафіка (рис. 1). Це пов'язано з тим, що на український сегмент Інтернет значно впливають нові мережі.

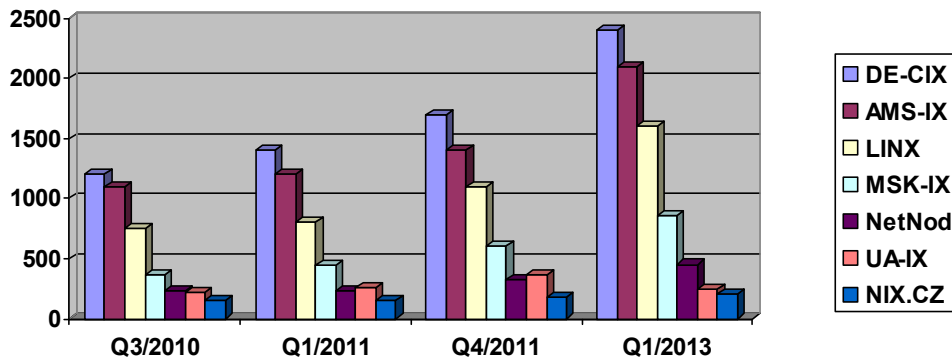


Рис. 1. Обсяги транзитного трафіка (пікове навантаження в Гбіт) європейських IXP протягом 2010-2013 років

У попередніх роботах [1, 2] мережа UA-IX досліджувалась як складна мережа. Вивчався розподіл ступеню вузлів, діаметр мережі, середній найкоротший шлях, показник кластеризації мережі та інші параметри. Ця робота присвячена дослідженню відносно нових мереж обміну — DTEL-IX та Giganet.

Мета роботи

Роботу виконано за результатами дисертаційного дослідження з розробки методики застосування математичного апарату складних мереж для аналізу комп'ютерних мереж, які під'єднані до Інтернету. Метою роботи є апробація методики аналізу властивостей окремих вузлів та їхнього впливу на властивості мережі в цілому, а також виділення критеріїв пошуку оптимальних вузлів з точки зору приєднання до мережі.

Методика дослідження

Досліджувані сегменти мережі Інтернет є за своєю суттю складними мережами [3, 4]. У складних мережах досліджуються наступні параметри:

- 1) розподіл ступеню $P(k)$:

$$P(k) = \frac{\langle N(k) \rangle}{N},$$

де N — кількість вузлів у мережі; $\langle N(k) \rangle$ — середня кількість вузлів ступеню k ;

- 2) середній геодезичний шлях l у мережі з n вузлів:

$$l = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i>j} d_{ij},$$

де n — кількість вузлів у мережі; d_{ij} — найкоротший шлях між вузлами i та j ;

3) коефіцієнт кластеризації для вузла C_i :

$$C_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)},$$

де e_i — фактична кількість зв'язків між сусідами вузла i ; k_i — максимально можлива кількість таких зв'язків;

4) транзитивність — середній показник кластеризації мережі C :

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i,$$

де N — кількість вузлів у мережі;

5) глобальна ефективність E :

$$E = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i>j} \frac{1}{d_{ij}},$$

де n — кількість вузлів в мережі; d_{ij} — найкоротший шлях між вузлами i та j ;

6) вразливість V до вилучення вузла i :

$$V_i = \frac{E - E_i}{E},$$

де E_i — глобальна ефективність після вилучення вузла i .

Отримані дані використовуються для дослідження відносин між вузлами (зокрема, комерційних і геополітичних), моделювання нових алгоритмів маршрутизації тощо. Також є можливість використання отриманих знань для вирішення практичних задач при проектуванні та подальшій оптимізації взаємозв'язку підмереж і вузлів Інтернету.

Вхідними даними для дослідження є таблиці маршрутизації, які отримані з серверів маршрутизації учасників відповідних мереж обміну трафіком. Вузлами мережі є автономні системи (AS), що ідентифікуються за унікальними номерами. Ребрами мережі є зв'язки між автономними системами, встановлені за допомогою безпосередньої взаємодії за протоколом глобальної маршрутизації BGP-4.

Стислий опис досліджуваних мереж

Мережа UA-IX заснована в 2001 році. Станом на квітень 2013 р. в UA-IX присутні анонси 132-х учасників, що безпосередньо підключені до цієї мережі. Вони обмінюються через UA-IX анонсами, які походять від 1984-х вузлів — автономних систем, що з'єднані 2240 безпосередніми зв'язками.

Мережа обміну трафіком *DTEL-IX* заснована в 2009 році. Станом на травень 2013 налічує 82 учасники, з них безпосередніх учасників, що надсилають анонси — 73. Кількість AS, що спостерігаються в анонсах — 2012, та між ними є видимими приблизно 2200 зв'язків.

Мережа обміну трафіком *Giganet* є наймолодшою — перші зв'язки в ній було встановлено в 2012 році. Станом на травень 2013 року вона налічує 45 учасників, які анонсують префікси, у шляхах яких можна побачити 2305 автономних систем та приблизно 2450 безпосередніх зв'язків.

Характеристики досліджуваних мереж

Розподіл ступеню досліджуваних мереж наведений на рис. 2 у подвійній логарифмічній шкалі. У всіх трьох мереж він апроксимується степеневою функцією, тобто зберігає типовий безмасштабний характер (*scale-free*). У таких мережах лічені вузли є дійсно важливими «транзитерами» анонсів, а більша частина автономних систем мають ступінь 1, тобто не є посередниками і не виконують транзитних функцій, вони є так звані «пелюстками».

Інші порівняльні характеристики мереж наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння характеристик мереж UA-IX, DTEL-IX та Giganet

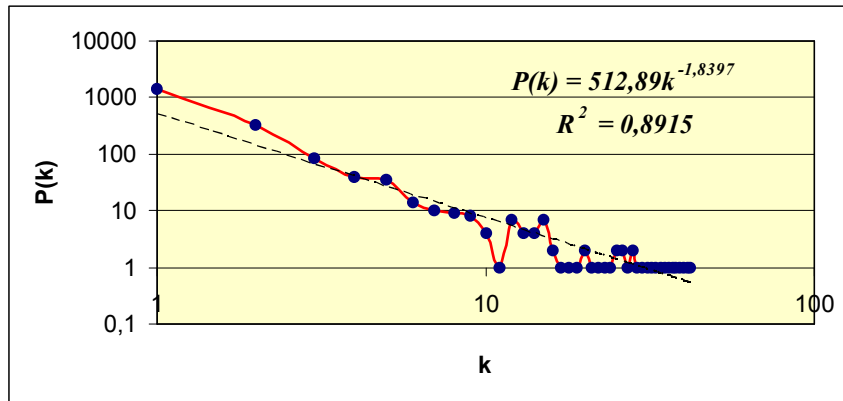
№	Назва параметра	UA-IX	DTEL-IX	Giganet
1	Кількість вузлів	1984	2012	2305
2	Кількість зв'язків	2240	2200	2450
3	Діаметр мережі	9	9	10
4	Кількість тупикових вузлів	1677	1707	2012
5	Кількість транзитних вузлів	307	305	293
6	Середній коротший шлях	4,05	4,843	4,87
7	Глобальна ефективність	0,263	0,219	0,202
8	Транзитивність	0,039	0,0098	0,0083

Досліджувані сегменти мереж є подібними за кількістю вузлів і зв'язків і, на перший погляд — за топологією: подібний розподіл ступеню, велика кількість вузлів з 1-м зв'язком, але при більш глибокому аналізі топології.

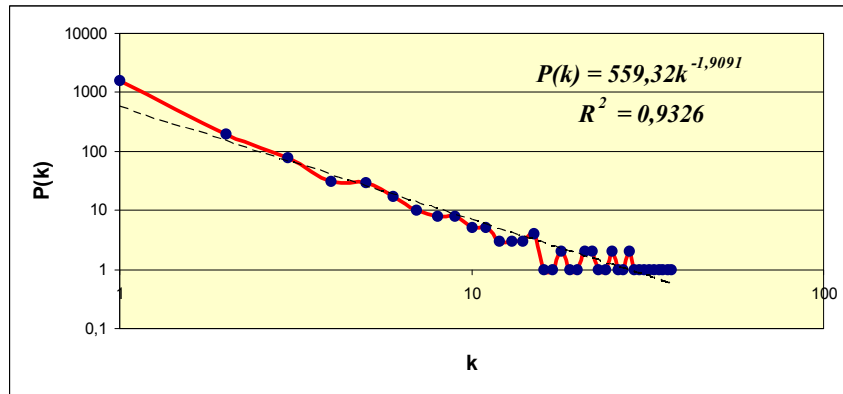
У табл. 2 наведено характеристики «бекбону» (фрагменту найбільш тісно пов'язаних вузлів) кожної мережі, яке було виділено із загальної кількості вузлів шляхом «видалення пелюсток» [5].

Таблиця 2. Порівняння характеристик «бекбонів» мереж

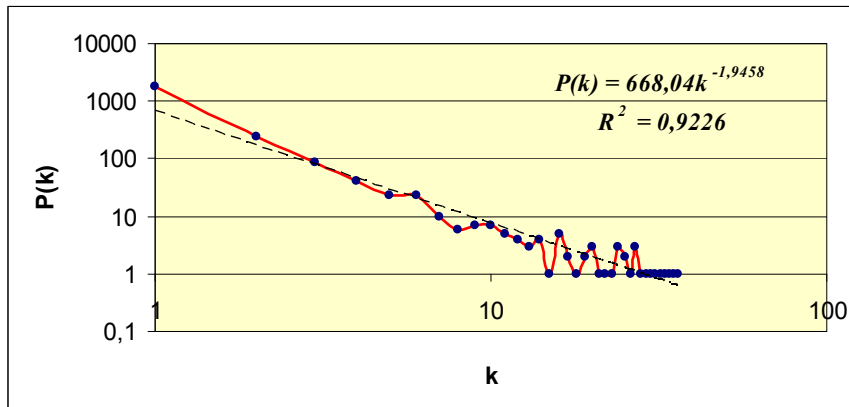
№	Назва параметра	UA-IX	DTEL-IX	Giganet
1	Кількість вузлів	435	305	54
2	Кількість зв'язків	889	357	64
3	Діаметр мережі	7	8	7
4	Середній коротший шлях	3,03	3,927	3,434
5	Глобальна ефективність	0,354	0,279	0,389
6	Транзитивність	0,259	0,05	0,2



а)



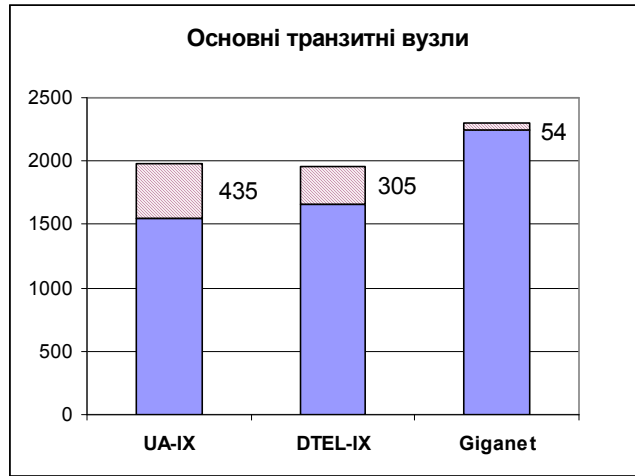
б)



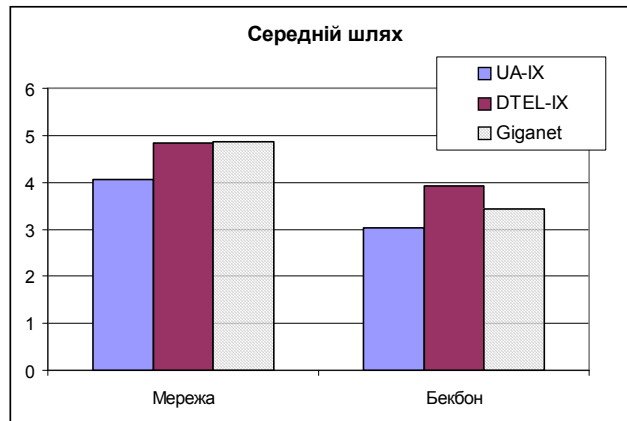
в)

Рис. 2. Розподіл ступеню $P(k)$ у мережах: а) UA-IX; б) DTEL-IX; в) Giganet (графік апроксимованої функції показаний переривчастою лінією)

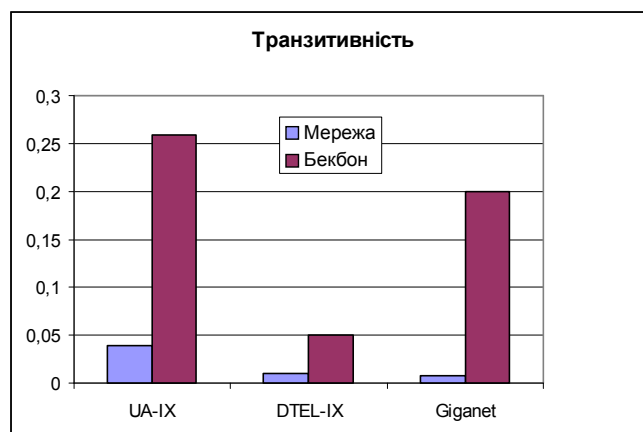
На рис. 3 наведено декілька порівняльних діаграм, що наочно демонструють динаміку змін характеристик мереж у міру відсіювання нетранзитних вузлів.



а)



б)



в)

Рис. 3. Співвідношення тупикових і транзитних вузлів (а), середнього шляху (б) та транзитивності (в) у мережах UA-IX, DTEL-IX та Giganet

Висновки

У роботі проведено дослідження характеристик трьох українських мереж обміну інтернет-трафіком. За основними і найбільш наочними характеристиками — кількістю вузлів і зв'язків — ці мережі є подібними. Але більш глибокий аналіз демонструє, що суттєві відмінності в розподілі зв'язків між вузлами. Ці відмінності між мережами обумовлені як їхнім «віком», так і різницею в політиках маршрутизації (правилах взаємодії учасників). Так, UA-IX є єдиною із трьох мереж, де є обов'язковим так званий «відкритий пірінг» — обов'язкова передача маршрутів через центральний вузол. У двох інших мережах «відкритий пірінг» є опцією, а загалом — учасники мережі мають право встановлювати приватні зв'язки на власний розсуд.

Так, мережа UA-IX має найвищий показник кластерності, що характеризує її як найкращого транзитера, і це підтверджується значенням середнього найкоротшого шляху. Найбільш молода із мереж Giganet демонструє найдовший середній шлях тому, що середовище найбільш зв'язаних між собою вузлів цієї мережі складається лише з 3 % вузлів (у UA-IX — з 23 %), а коефіцієнт кластерності цього середовища є на 20 % нижчим, ніж в UA-IX. У мережі DTEL-IX основні транзитні вузли є найменш зв'язаними між собою, через це середній шлях через ядро мережі є найдовшим, а його глобальна ефективність — найнижчою.

1. Зубок В.Ю. Исследование сетевых параметров украинского сегмента Интернет / Д.В. Ландэ, В.Ю. Зубок, В.Н. Фурашев // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. трудов. — Вып. 40. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». — 2008. — С. 235–242.

2. Зубок В.Ю. Європейські мережі обміну Інтернет-трафіком та їхній вплив на зв'язність між автономними системами / В.Ю. Зубок: зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. — К., 2011. — Вип. 56. — С. 19–28.

3. Barabasi A.-L. Scale-Free Networks / A.-L. Barabasi, E. Bonabeau // Scientific American. — 2003, May. — P. 50-59.

4. Ландэ Д.В. Интернетика. Навигация в сложных сетях: модели и алгоритмы / Ландэ Д.В., Снарский А.А., Безсуднов И.В. — М.: Книжный дом «Либроком», 2009. — 264 с.

5. Genomic Analysis Reveals a Tight Link Between Transcription Factor Dynamics and Regulatory Network Architecture / Raja Jothi, S. Balaji, Arthur Wuster [et al] // Molecular Systems Biology 5 // EMBO and Macmillan Publishers Limited. — 2009. — art. N 5.

Надійшла до редакції 27.05.2013