

ДО ВИМІРЮВАННЯ СИСТЕМНИХ РИЗИКІВ МЕРЕЖ

Горбачук В.М., Морозов О.О.

Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, Україна

E-mail: GorbachukVasyl@netscape.net

Розглядаються мережі як складні системи (від транспортних і логістичних мереж у формі ланцюгів постачання до фінансових мереж та Інтернет). Розробляються концепції, визначення, структури математично строгих і комп'ютеризованих засобів оцінювання роботи й ефективності мереж. Пропонуються методи аналізу робастності та вразливості.

To measuring network systemic risks

Networks are considered as complex systems (from transportation and logistics networks in a supply chain form to financial networks and Internet). The concepts, definitions, structures of mathematically strict and computerized tools for network performance and efficiency estimation are developed. The techniques of robustness and vulnerability analysis are suggested.

Нові теорії безмасштабних мереж малого світу значно поліпшили розуміння поведінки і вразливості багатьох мереж реального світу [1–3]. Однак більшість досліджень вразливості мереж зосереджувалася на таких топологічних характеристиках мереж, як зв'язність або довжина найкоротшого шляху мережі [4]. Хоча топологічна структура мережі дає критичну інформацію стосовно вразливості мережі, потік по мережі є таким же важливим індикатором, як економічні показники (індуковані потоком витрати, зміна поведінки користувачів після розривів тощо): «щоб досягти розуміння складності, слід вийти за межі структури і топології та починати зосереджуватися на динаміці, яка має місце вздовж зв'язків; мережі є лише каркасом складності, великими дорогами для різних процесів, які оживляють наш світ» [5].

Запропонована міра ефективності мережі, яка має переваги порівняно з кількома іншими існуючими мірами [6–9]. Ця міра була застосована до вивчення мережі метро м. Бостон (МВТА) та Інтернет. Оскільки ця міра розглядає лише геодезичну інформацію, то не охоплює такі важливі фактори, як потоки мережі, пов'язані витрати, поведінку користувачів за принципів централізованого чи децентралізованого прийняття рішень.

Тому потрібні теоретичні і практичні основи нової міри результативності чи ефективності мережі, що узагальнюють міри [6–9] та враховують такі суттєві характеристики мережі, як потоки, індуковані прийняттям рішень, і вартості оцінювання важливості компонентів мережі серед розмаїття мережевих систем. Можна запропонувати нову міру ефективності мережі, що має значні переваги порівняно з рядом існуючих мір і враховує особливості мереж реального світу, явно розглядаючи перенавантаження. Більше того, ця міра може застосовуватися до мережевих задач як з фіксованим, так і з еластичним попитом, а також до залежних у часі динамічних мереж (якими є

Інтернет, мережі генерації і розподілу електроенергії). Ця міра дозволяє ранжувати компоненти мережі (вузли і ланки) чи їхні комбінації у термінах їхньої важливості з погляду економічних результатів. Ця міра корисна не лише для планування й експлуатації, але й для національної безпеки.

Крім того, замість обчислення й оцінювання впливу від повного розриву чи видалення компоненту мережі формалізуємо інший важливий аспект, пов'язаний з вразливістю мережі, – поняття робастності мережі. Робастність мережі стосується зменшення таких мережевих ресурсів, як місткість ланки. Інститут інженерів електрики й електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) у 1990р. визначає робастність як «ступінь, до якого система чи компонент може правильно функціонувати у присутності невірних входів або стресових умов» [10]. Тема робастності особливо доречна і своєчасна для США через постійні повідомлення про те, що колись краща у світі інфраструктура США зазнає помітного старіння й занепаду, збільшуючи вразливість мереж і населення. Наприклад, понад чверть 590750 мостів США оцінюються як структурно недосконалі чи функціонально застарілі. Деградація транспортних мереж внаслідок поганої експлуатації, природних лих, старіння, непередбачуваних нападів на початку 21-го сторіччя завдала збитків США на 94 млрд.дол. лише у частині потреби ремонту доріг. Погані умови доріг США коштують автомобілістам 54 млрд.дол. щороку на ремонт і експлуатаційні витрати. З іншого боку, за 1960–2004 рр. у США число автомобілістів зросло на 157 млн. (або на понад 212%), а кількість ліцензованих водіїв зросла на 109 млн. (або на понад 125%) [11], збільшуючи тиск на вже крихкі транспортні мережі США. Внаслідок розладів транспортних мереж США і зростаючої кількості транспортних засобів пасажирів США щороку витрачають 3.5 млрд.год. на стояння у трафіку, що еквівалентно втратам 63.2 млрд.дол. для економіки [12]. Водночас США зазнає кризи вантажної місткості, яка загрожує потужності і продуктивності всієї економіки [13]. За даними Асоціації дорожніх і транспортних будівельників США, близько 70% вантажів перевозиться на швидкісних дорогах, де корки щороку спричиняють затримки дальнобійників на 243 млн.год., еквівалентні втратам 8 млрд.дол. для економіки [14]. Уряд США зіштовхнувся з дефіцитом 1.6 трлн.дол. на ремонт і реконструкцію інфраструктури у 2008–2012 рр. [15].

Таким чином, побудова прийнятних мір робастності мереж має теоретичне і практичне значення. Для різної поведінки користувачів можна будувати такі міри, придатні для аналізу транспортних мереж. Це особливо важливо через парадокс Браесса [16], де додання нової дороги при поведінці користувачів, кожний з яких оптимізує свою ціль, може збільшити час або витрати для всіх. Крім того, слід вводити індикатори оцінки впливу на довкілля, щоб моделювати залежність навколишнього середовища від деградації мереж. Також варто кодифікувати міри впливу інвестицій у мережеву інфраструктуру на поліпшення місткості (пропускної здатності).

Сучасні суспільство й економіка залежать від такої критичної інфраструктури, як транспортні, логістичні і комунікаційні мережі, включаючи Інтернет, мережі генерації і розподілу електроенергії, фінансові мережі. Отже,

точні засоби ідентифікації вузлів і ланок, що справді є важливими у таких мережових системах і тому мають краще утримуватися, дають суттєву інформацію для осіб, які приймають рішення, – від урядових працівників і розробників політики до плановиків, інженерів, учених, керівників організацій і корпорацій [17]. Уніфікована міра ефективності мережі за децентралізованої поведінки користувачів, кожний з яких оптимізує свою ціль, основана на фундаментальних методологіях, мережових моделях різної поведінки прийняття рішень, засобах кількісного аналізу, алгоритмах пошуку розв'язків мережових задач.

Література

1. *Amaral L.A.N., Scala A., Barthelemy M., Stanley H.E.* Classes of small-world networks // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA.* – 2000. – 97. – P. 11149–11152.
2. *Chassin D.P., Posse C.* Evaluating North American electric grid reliability using the Barabasi–Albert network model // *Physica A.* – 2005. – 355. – P. 667–677.
3. *Holmgren A.J.* A framework for vulnerability assessment of electric power systems / *Reliability and vulnerability in critical infrastructure: a quantitative geographic perspective.* A. Murray, T. Grubestic (eds.) – New York: Springer, 2007. – P. 31–55.
4. *Callaway D.S., Newman M.E.J., Strogatz S.H., Watts D.J.* Network robustness and fragility: percolation on random graphs // *Physical review letters.* – 2000. – 85. – P. 5468–5471.
5. *Barabasi A.L.* *Linked: how everything is connected to everything else and what it means.* – New York: Plume, 2003.
6. *Latora V., Marchiori M.* Efficient behavior of small-world networks // *Physical review letters.* – 2001. – 87. – 198701.
7. *Latora V., Marchiori M.* Is the Boston subway a small-world network? // *Physica A.* – 2002. – 314. – P. 109–113.
8. *Latora V., Marchiori M.* Economic small-world behavior in weighted networks // *The European physical journal B.* – 2003. – 32. – P. 249–263.
9. *Latora V., Marchiori M.* How the science of complex networks can help developing strategies against terrorism // *Chaos, solitons and fractals.* – 2004. – 20. – P. 69–75.
10. *IEEE standard computer dictionary: a compilation of IEEE standard computer glossaries.* – New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 1990.
11. *Highway statistics 2004.* – Washington, DC: Federal Highway Administration; U.S. Department of Transportation. – <http://www.fhwa.dot.gov>
12. *Report card for America's infrastructure.* – American Society of Civil Engineers, 2005. – <http://www.asce.org/reportcard/2005/index.cfm>
13. *An initial assessment of freight bottlenecks on highways.* – Washington, DC: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2006. – <http://www.fhwa.dot.gov/policy/otps/bottleneck/>
14. *Jeannert M.* Federal government freight bottleneck report highlights America's growing transportation infrastructure crisis. – Road & Transportation Builders Association, 2006. – http://www.artba.net/news/press_releases/2006/02-03-06.htm
15. *Governors, mayor form coalition to rebuild ailing U.S. infrastructure* // *Environment News Service.* – 2008, January 22. – <http://www.ens-newswire.com/ens/jan2008/2008-01-22-02.asp>
16. *Braess D.* *Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung* // *Unternehmensforschung.* – 1968. – 12. – P. 258–268.
17. *Горбачук В.М.* *Методи індустріальної організації. Кейси та вправи. Економіка та організація виробництва. Економічна кібернетика. Економіка підприємства.* – К.: А.С.К., 2010. – 224 с.