10. Bolshakova, I. Magnetic Measuring Instrumentation with Radiation-Resistant Hall Sensors for Fusion Reactors: Experience of Testing at JET [Text] / I. Bolshakova, A. Quercia, V. Coccorese, A. Murari, R. Holyaka, I. Duran, L. Viererbl, R. Konopleva, V. Yerashok // JET Preprints and Reports. – 2012. – EFDA–JET–PR(11)54. Available at: \www/ URL: http://www.iop.org/Jet/fulltext/EFDP11054.pdf.
11. Bolshakova, I. Ways of providing radiation resistance of magnetic field semiconductor sensors [Text] / I. Bolshakova, S. Krukovskii, R. Holyaka, A. Matkovskii, A. Moroz // Radiation Physics and Chemistry. – 2001. – Vol.61. – P. 743-745.
12. Ghahramani Saeed. Fundamentals of Probability[Text] / Ghahramani Saeed. – 2nd Edition. – Prentice Hall: New Jersey, 2000. – 438 p.

УДК 004.42; 004.942

СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕЯКИХ ЗОН ІНТЕРНЕТУ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

О. Л. Кириченко
Завідувач лабораторією
Кафедра математичних проблем управління і кібернетики*
E-mail: kirall@rambler.ru
С. Е. Остапов
Доктор фізико-математичних наук, професор
Кафедра програмного забезпечення комп'ютерних систем*
E-mail: sergey.ostapov@gmail.com
*Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012
І. Я. Кановський
Кандидат фізико-математичних наук, професор
Академічний коледж ім. Макса Штерна
Ємек Єзреель, Ізраїль
E-mail: igorkan@gmail.com

Роботу присвячено дослідженню статистичних характеристик складних мереж на прикладі WWW-простору. Описано методику дослідження за допомогою написаного програмного забезпечення для збирання статистичної інформації веб-сторінок. Досліджено сегменти net.ua, edu.ua українського та сегмент ac.il – ізраїльського web-простору. Доведено адекватність методики та отриманих результатів. Зроблено порівняння отриманих результатів з літературними даними

Ключові слова: статистичні характеристики, ступінь вузла, коефіцієнт кластерності, вхідні зв'язки, вихідні зв'язки

Работа посвящена исследованию статистических характеристик сложных (комплексных) сетей, на примере WWW-пространства. Описана методика исследования сетей с помощью разработанного программного обеспечения для сбора статистической информации вебстраниц. Исследованы сегменты net.ua, edu.ua украинского и сегмент ac.il – израильского web-пространства. Доказана адекватность методики и полученных результатов. Проведено сравнение полученных результатов с литературными источниками

Ключевые слова: статистические характеристики, степень узла, коэффициент кластерности, входящие связи, исходящие связи

1. Вступ

Всесвітня мережа Інтернет вже давно стала не тільки сховищем інформації, способом комунікації, але й об'єктом досліджень. Дослідники з усього світу вивчають статистичні властивості Інтернет загалом, його найбільших доменів та зон. Вивчаються статистичні характеристики зв'язків між людьми в соціальних структурах; розподіл посилань в наукових публікаціях; статистика розповсюдження інфекційних захворювань; зв'язок між словами в літературних творах, зв'язки між абонентами в телекомунікаційних мережах; розподіл посилань на веб-сторінках всесвітньої мережі Інтернет тощо [1 – 5]. WWW-простір описують у вигляді графа, вузлами якого є web-сторінки, а ребрами – зв'язки між ними. Всесвітня мережа підкоряється статистичним законам комплексних мереж, причому встановлено, що розподіл вузлів графу, який відображає всесвітню павутину, підкоряється степеневому закону з показником, близьким до (-2,1) для вхідних зв'язків та (-2,7) – для вихідних [3 – 9]. Це свідчить про безмасштабність такої мережі, тобто про високий ступінь розвиненості мережі в цілому [1, 3].

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Дослідження статистичних характеристик вебпростору в цілому проведені в статті A. Broder [10], де показано, що WWW-простір являє собою безмас-

© О. Л. Кириченко, С. Е. Остапов, І. Я. Кановський, 2013

штабну мережу, яка підкоряється степеневому закону розподілу з показниками степеня -2,1 за вхідними зв'язками та -2,7 – за вихідними.

У роботі [11] досліджувалися статистичні характеристики національних веб-доменів Бразилії, Чилі, Греції, Кореї та Іспанії (по вхідних та вихідних зв'язках).

Виконані у цих та цілому ряді інших робіт дослідження дозволяють зобразити структуру веб-простору у вигляді, поданому на рис. 1 [11 – 15].

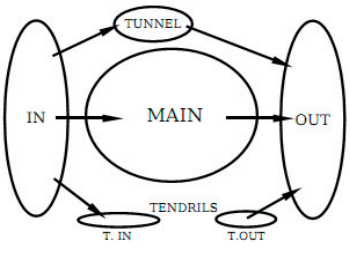

Рис. 1. Графічна структура веб-простору

Отже, веб-простір складається з деякого ядра (MAIN) або, як його називають в роботі [14], опорної мережі (сукупності веб-сторінок зі степенем не менше двох), та периферійних сторінок, які посилаються на сторінки ядра (IN) або на які є посилання з нього (OUT). Периферійні сторінки пов'язані між собою так званими тунелями (TUNNEL) та мають «вуса» (TENDRILS) зі сторінок, що не входять до структури ядра.

Дослідження українського домену Інтернет (.ua) виконувалися авторами [14, 15]. Доведено, що розподіл вузлів за ступенями цього домену також підкоряється степеневому закону (правда, досліджувався неорієнтований граф) з показником (-2,22).

Отриманий у цих роботах коефіцієнт кластерності показав, що український сегмент, як весь Інтернет, до речі, за своїми властивостями є малим світом [14].

Залишається, однак відкритим питання: яким чином поводять себе сегменти мережі, наприклад зони деякого домену? Таких досліджень, особливо для українського Інтернету, не проводилося.

3. Мета та задачі дослідження

У даній статті зроблено спробу дослідження статистичних характеристик деяких зон українського домену Інтернет (edu.ua та net.ua) та сегменту ac.il ізраїльського домену Інтернет. Розглядалися графи вхідних, вихідних зв'язків та повний неорієнтований граф.

Основні статистичні характеристики складних мереж

Ми будемо використовувати стандартну модель складної мережі [1, 3, 16].

Кожна вершина графа, який описує складну мережу, має певну кількість ребер. Однією з основних його характеристик є розподіл ймовірності вузлів по кількості ребер $P(k)$. Він визначає ймовірність того, що випадковим чином обраний вузол мережі буде мати рівно k ребер. У такому разі говорять про ступінь k вершини. Мережі, які характеризуються різними $P(k)$, демонструють різну поведінку [1, 9]. Найчастіше зустрічаються такі розподіли ступенів вузлів:

• розподіл Пуассона

$$P(k) = e^{-<k>} \frac{<k>^k}{k!}; \quad (1)$$

• експоненціальний розподіл

$$P(k) \approx e^{-k/<k>}; \quad (2)$$

• степеневий розподіл

$$P(k) \approx 1/k^{\gamma}, \text{ де } k \neq 0;\ \gamma > 0. \quad (3)$$

Якщо досліджуваний граф випадковий, то розподіл ступенів вузлів буде описуватися розподілом Пуассона. Існують також мережі, розподіл вузлів по степенях яких підкоряється експоненціальному закону. Для них можна увести деяку величину $\langle k \rangle$, середній степінь вузла, який деякою мірою характеризує масштаб мережі. Однак, як ми бачили вище, Інтернет, та й багато інших складних мереж, описується степеневим розподілом, і такі мережі називаються безмасштабними. Для них існує лише формальне поняття масштабу.

Іншою важливою характеристикою складних мереж є коефіцієнт кластерності. Він характеризує рівень зв'язності вузлів у мережі й тенденцію до утворення груп взаємопов'язаних вузлів.

Коефіцієнт кластерності визначається так: це відношення реальної кількості ребер E_m, які з'єднують найближчих сусідів деякого вузла m до максимально можливої (тобто такої, коли усі найближчі сусіди цього вузла були б з'єднані безпосередньо один з одним):

$$C_m = \frac{2E_m}{k_m(k_m - 1)}. \quad (4)$$

Для розрахунку розподілу вузлів за степенями та коефіцієнта кластерності необхідно зібрати про них статистичні дані. Для цього використовують спеціальне програмне забезпечення, кроулер (crawler). Як правило, інформації про використання кроулерів для таких досліджень досить багато, як і, власне, розроблених кроулерів [17].

4. Опис розробленого програмного забезпечення

На жаль, усі описані в літературі кроулери недоступні для використання. Тому нами було розроблено аналогічну програму, яка, рухаючись по заданим вебсторінкам, збирає структуру посилань на інші сторінки, зберігає дані в базі даних, а також виконує деякі статистичні обчислення. Ми можемо самостійно задати перелік сайтів, які хотіли б досліджувати, програма аналізує посилання, які знаходяться на веб-сторінках і зв'язки між цими сторінками [17].

Розроблене програмне забезпечення повністю керується налаштуваннями перед стартом. Користувач може задати перелік адрес – точок входу, якщо потрібно, глибину індексації тощо. Це дозволяє повністю керувати процесом пошуку та індексації сторінок, а також розрахунком основних статистичних параметрів дослідженої мережі [17].

5. Методика досліджень

Для прискорення процесу збирання даних ми використали таку методику досліджень. Для кроулінгу завантажувалася певна кількість адрес веб-сторінок, яку потрібно дослідити: їх вважатимемо точками входу.

Таких точок входження налічувалося 100 для мережі edu.ua, 265 – для net.ua та 28 – для ac.il. Програма налаштовувалася на задану кількість «стрибків» від точки входу по її зв'язках. Результати дослідження записувалися в базу даних, і кроулер переходив до наступної точки входу.

При цьому він не випускався за межі заданої зони, наприклад edu.ua або net.ua: якщо зв'язок веб-сторінки йшов за межі зони, то цей зв'язок не враховувався. Якщо в результаті «блукання» кроулер натрапляв на сторінку, яка вже є в базі даних, повторне дослідження не проводилося, лиш додавався новий зв'язок. У результаті ми отримали граф веб-сторінок, статистичні характеристики якого й досліджувались. Ми обмежувалися п'ятьма «стрибками» кроулера. Розрахунки статистичних характеристик виконувалися вже по накопичених у БД результатах.

Таким чином, ми виконували своєрідне зондування мережі [17].

Перевагою такого підходу, на наш погляд, є те, що ми можемо ефективно розпаралелити роботу кроулера по точках входу, крім того, кроулінг можна перервати в момент переходу до іншої точки входу і продовжити пізніше, що також досить зручно.

6. Результати досліджень та їх обговорення

Як вже зазначалося, ми досліджували дві зони українського домену (edu.ua та net.ua) та одну зону ізраїльського домену (ac.il).

Для кожної зони було просканировано більше 400 тисяч веб-сторінок. Встановлено ступінь кожного вузла, визначено коефіцієнт кластерності, побудовано розподіл ймовірностей вузлів за вхідними та вихідними зв'язками.

Результати статистичної обробки отриманих результатів по всіх точках вихідних зв'язків (out degree) подано на рис. 2 – 4.

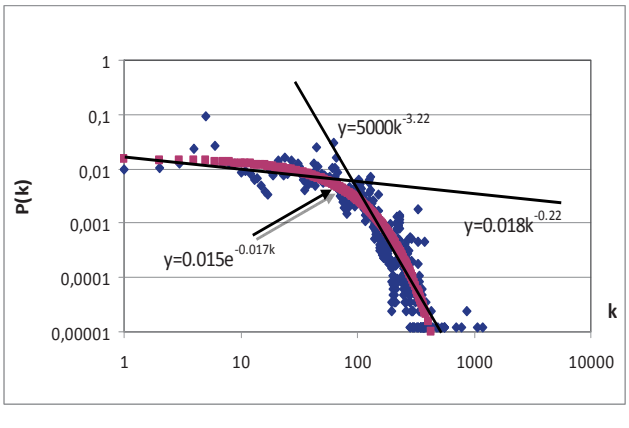

Рис. 2. Розподіл ймовірності вузлів за ступенями по вихідних зв'язках для зони edu.ua

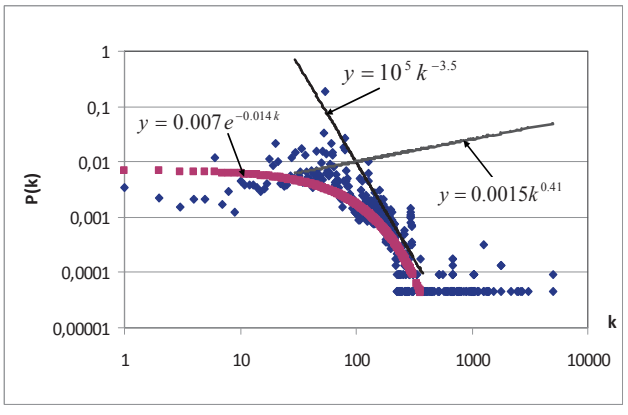

Рис. 3. Розподіл ймовірності вузлів за ступенями по вихідних зв'язках для зони net.ua

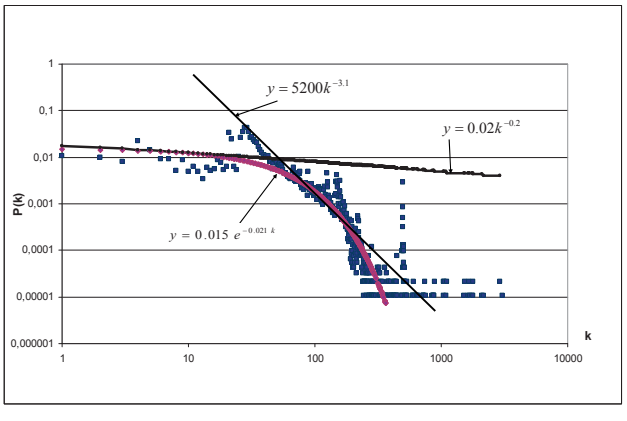

Рис. 4. Розподіл ймовірності вузлів за ступенями по вихідних зв'язках для зони ac.il

Як видно з рис. 2 – 4, ці мережі не можна описати одним степеневим законом. У крайньому разі, можна підібрати апроксимуючі прямі окремо для малих значень ступеня веб-сторінок та великих його значень. На трьох рисунках подано такі прямі, причому, якщо прямі для ділянок з великими значеннями k мають практично однаковий показник (-3,1 та -3,5), то для ділянок з малими значеннями k вони демонструють різний якісний хід (-0,20 проти +0,41). Такий підхід (апроксимацію різних ділянок різними степеневими законами) був продемонстрований у роботі [11], і ми вважаємо його дещо штучним.

Більш природно, на наш погляд, виглядає апроксимація даних експоненціальною залежністю.

Як бачимо, розподіл імовірності вузлів за їх ступенями в трьох зонах підпорядковується експоненціальному закону $P(k) \approx A \cdot e^{(-\alpha k)}$, причому з досить близькими параметрами (табл. 1).

Таблиця 1

Значення параметрів розподілів імовірності вузлів

Назва зони	Коефіцієнт A	Коефіцієнт α
edu.ua	0,015	0,017
net.ua	0,007	0,014
ac.il	0,015	0,021

Як видно з рис. 2 – 4, досліджені мережі складаються, в основному, з вузлів, які мають значну кількість

вихідних зв'язків, тобто середній ступінь вузла зміщений в бік великих значень. Оцінка середніх ступенів для цих мереж дає результати в діапазоні $\langle k \rangle = 55 \div 120$, що й підтверджує наш висновок. Ці значення корелюють із ділянкою зміни апроксимуючих прямих, що відбувається при $k \approx 100$.

7. Залежність статистичних характеристик від глибини зондування

Оскільки ми застосовували метод зондування мережі, нами було досліджено, як змінюється статистика мереж від глибини зондування, тобто від кількості «стрибків» кроулера відносно точок входження в мережу.

З отриманих результатів спостерігається, що глибина зондування, як це й очікувалося, дещо змінює статистику: зі збільшенням кількості «стрибків» незначно зростає коефіцієнт у показнику експоненти, а самі залежності дещо «розтягуються» по осі ординат, що призводить також до зміни коефіцієнта перед експонентою. Цікавим є той факт, що статистика вузлів з малим ступенем змінюється незначно, тоді як при збільшення глибини зондування значно збільшується кількість вузлів з великою кількістю вихідних зв'язків, що призводить також до зростання середнього ступеню вузлів.

Отже, ми можемо зробити висновок про адекватність нашого метода дослідження мереж з використанням багатьох точок входження, а експоненціальна залежність мереж, як це зрозуміло з наших досліджень, властива самим мережам, вірніше, графу з вихідних зв'язків вузлів цих мереж.

Таким чином, досліджені мережі являють собою сукупності веб-сторінок з вихідними зв'язками (out degree), які підкоряються експоненціальному закону розподілу ймовірностей вузлів. Найбільш імовірно зустріти в цих мережах сторінки, які мають кількість вихідних зв'язків в діапазоні $55 \div 120$.

8. Дослідження підмережі вхідних зв'язків (in degree) та неорієнтованого веб-графу

Статистику підмережі вхідних зв'язків досліджених мереж подано на рис. 5 – 7.

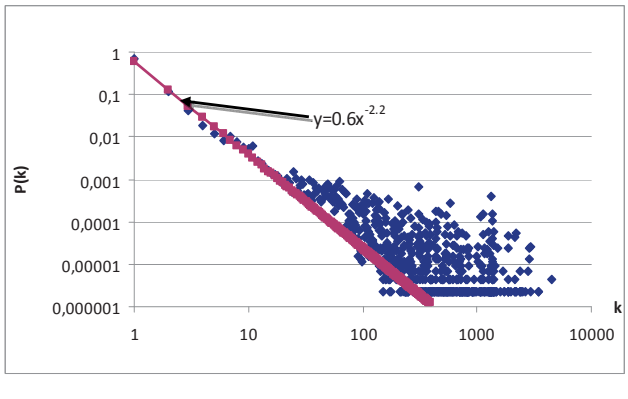

Рис. 5. Розподіл ймовірності вузлів для зони edu.ua по вхідних зв'язках (in degree) для п'яти «стрибків» кроулера

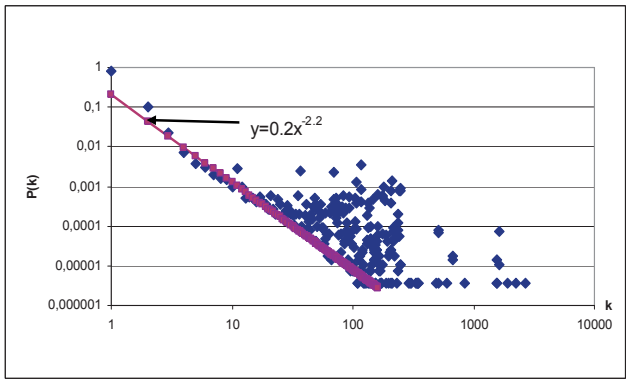

Рис. 6. Розподіл ймовірності вузлів для зони net.ua по вхідних зв'язках (in degree) для п'яти «стрибків» кроулера

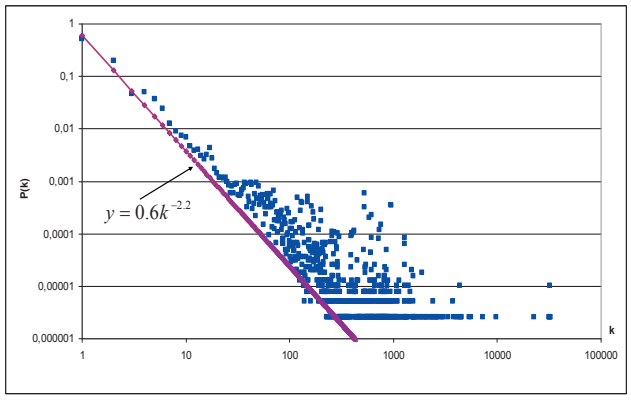

Рис. 7. Розподіл ймовірності вузлів для зони net.ua по вхідних зв'язках (in degree) для п'яти «стрибків» кроулера

Як видно з рис. 5 – 7, в усіх випадках початкова ділянка графіків добре апроксимується прямою з показником ступеня (-2,2), що говорить про безмасштабність досліджених мереж по вхідних зв'язках. Якщо формально розрахувати середнє значення ступеня вузла $\langle k \rangle$, то воно, як і слід було чекати, зсунуте в бік малих значень: для мережі edu.ua $\langle k \rangle = 9{,}6$; для net.ua – $\langle k \rangle = 5{,}8$, які в декілька разів менше за значення вихідних зв'язків для відповідних мереж.

Об'єднуючи розраховані залежності для вхідних та вихідних підмереж, можна отримати статистичні характеристики неорієнтованих графів веб-сторінок досліджених зон. Побудовані залежності наведені на рис. 8 – 10.

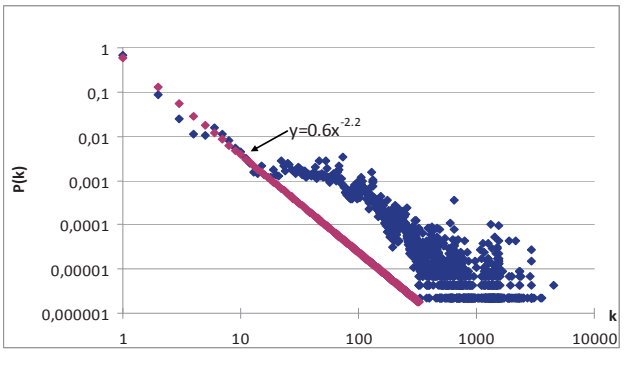

Рис. 8. Розподіл ймовірностей вузлів неорієнтованого графу для зони edu.ua для п'яти «стрибків» кроулера

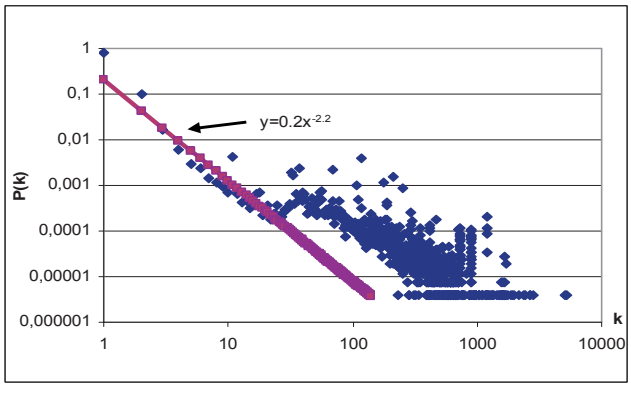

Рис. 9. Розподіл ймовірностей вузлів неорієнтованого графу для зони net.ua для п'яти «стрибків» кроулера

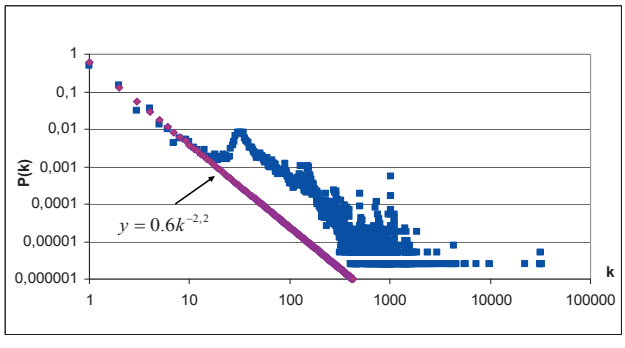

Рис. 10. Розподіл ймовірностей вузлів неорієнтованого графу для зони ac.il для п'яти «стрибків» кроулера

Аналізуючи отримані результати, можна стверджувати, що при малих значеннях k залежності мають усі властивості підмережі вхідних зв'язків (in degree), а у випадку великих значень k – домінують характеристики підмережі вихідних зв'язків (out degree), про що свідчить характерний «горб».

Очевидно, що середні значення ступенів вузлів для таких мереж набувають проміжні значення між in degree та out degree.

Зокрема, для зони edu.ua $\langle k\rangle = 19{,}8$, для net.ua – $\langle k\rangle = 11{,}9$. Цікавим є той факт, що якраз у цих областях спостерігається перехід від характеристик in degree до out degree, що наочно проілюстровано на рис. 8-10.

У результаті проведених досліджень знайдені коефіцієнти кластерності для підмереж: для зони edu.ua – 0,11, для зони net.ua – 0,13, для зони ac.il – 0,104. Це вказує на велику кількість перехресних посилань найближчих сусідів [18].

Таким чином, аналізуючи статистичні характеристики неорієнтованих графів для досліджених зон, робимо висновок, що вони є цілком розвиненими мережами і відповідають сучасним тенденціям розвитку глобальної мережі Інтернет.

9. Висновки

З проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Розроблено кроулер – програмне забезпечення для дослідження статистичних характеристик вебсторінок. Модульна структура та велика адаптивна спроможність розробленого ПЗ дозволяє використовувати його для дослідження аналогічних графів іншого походження.

2. Показано, що збільшення глибини зондування (кількості «стрибків» кроулера від точок входження) призводить лише до кількісних змін, а якісні показники мережі при цьому залишаються майже незмінними.

3. За допомогою розробленого ПЗ методом зондування досліджено дві зони українського домену – edu.ua, net.ua та одну ізраїльського – ac.il.

4. В розглянутих випадках для підмережі вихідних зв'язків (out degree) отримано експоненціальний розподіл ймовірності досліджених вузлів з різними коефіцієнтами. Розрахований середній ступінь вузлів знаходиться в діапазоні $\langle k\rangle = 55 \div 120$.

5. Обчислений коефіцієнт кластерності мереж: для зони edu.ua – 0,11, для зони net.ua – 0,13, для зони ac.il – 0,104. Це вказує на велику кількість перехресних посилань найближчих сусідів.

6. Результати дослідження підмережі вхідних зв'язків (in degree) демонструють степеневий розподіл ймовірності вузлів з показником ступеня початкової ділянки (-2,2), що вказує на безмасштабний характер графа.

7. Характерний вигляд графіків свідчить, що властивості неорієнтованого графа залежать від підмереж вхідних та вихідних зв'язків, причому перша домінує при малих значеннях ступеня вузла, а друга – при великих значеннях.

8. Визначено середні значення ступеня вузла для неорієнтованихграфів,якіявилисярівними $\langle k\rangle = 19{,}8$ для зони edu.ua та $\langle k\rangle = 11{,}9$ – для net.ua.

9. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що досліджені зони Інтернету також є безмасштабними графами, що підтверджує високий ступінь їх розвитку та відповідність сучасним тенденціям розвитку мережі Інтернет.

Література

1. Головач, Ю. Складні мережі [Текст] / Ю.Головач, О. Олємской, К.фон Фербер, Т. Головач, О. Мриглод, І. Олємской, В. Пальчиков // Журнал фізичних досліджень.–2006.–т.10, №4, С. 247–289.
2. Newman, M. E. J. The structure of scientific collaboration networks [Text] / M.E.J. Newman // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2001. – Vol. 98. – №2. – P. 404–409.
3. Newman, M.E.J. The Structure and Function of Complex Networks [Text] / M.E.J. Newman // SIAM Review. – 2003. – Vol. 45. – N. 2. – P. 167–256.
4. Strogatz, S. H. Exploring complex networks [Text] / S. H. Strogatz // (Invited Insight article) Nature. – 2001. – 410. – P. 268-276.

5. Newman, M. E. J. Models of the small world [Text] / M.E.J. Newman // J. Stat. Phys. – 2000. – 101. – P. 819–841.
6. Barrat, A. On the properties of small-world networks models [Text] / A. Barrat, M. Weigt // The European Physical Journal. – 2000. – B 13. – P. 547–560.
7. Watts D.J. Collective dynamics of “small-world” networks [Text] / D.J. Watts, S.H. Strogatz // Nature. – 1998. – Vol. 393. – P. 440–442.
8. Amaral, L. A. N. Classes of small-world networks [Text] / L. A. N. Amaral, A. Scala, M. Barthe le my, and H. E. Stanley // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2000. – Vol. 97. – №21. – P. 11149–11152.
9. Watts, D. J. Small Worlds: The Dynamics of Networks Between Order and Randomness [Text] / D. J. Watts. – Princeton University Press, 1999. – 262 pp. – ISBN: 0-691-11704-7.
10. Broder, A. Graph structure in the web [Text] / A. Broder, R. Kumar, F. Maghoul et al. // Proceedings of the 9th World Wide Web Conference, Computer networks, 2000. – 33 (1). – P. 309-320.
11. Baeza-Yates R., C. Castillo, E.N. Efthimiadis. Characterization of National Web Domains [Text] / R. Baeza-Yates, C. Castillo, E.N. Efthimiadis // Journal ACM Transactions on Internet Technology. – 2007. – Vol. 7. – №2. – Art. 9.– 33 pp.
12. Kleinberg, J. M. Navigation in a small world [Text] / J. M. Kleinberg // Nature. – 2000. – Vol 406. – №6798. – P. 845.
13. Newman, M. E. J. Random graphs with arbitrary degree distribution and their applications [Text] / M. E. J. Newman, D. J. Watts, S. H. Strogatz / Physical Review. – 2001. – E 6402. – №2. – 026118 [17 pages].
14. Ландэ, Д. В. Интернетика. Навигация в сложных сетях: модели и алгоритмы [Текст] / Д. В. Ландэ, А. А. Снарский, И. В. Безсуднов. – Москва, 2009. – 258 с.
15. Фурашев, В. Н. Параметры украинского сегмента Интернет как сложной сети [Текст] / В. Н. Фурашев, В. Ю. Зубок, Д. В. Ландэ // Открытые информационные и компьютерные технологии. – 2008. – 40. – С. 235-242.
16. Пасічник, В. В. Дослідження та моделювання складних мереж [Текст] / В. В. Пасічник, Н. М. Іванущак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010. – 2/3 (44). – С. 43-48.
17. Кириченко, О. Л. Програмне забезпечення для дослідження статистичних характеристик глобальної мережі WWW [Текст] / О. Л. Кириченко, I. Kanovsky, С. Е. Остапов // Системи обробки інформації. – 2013. – Т.2, Вип. 3. – С. 99-104.
18. Кириченко, О. Л. Складні мережі та їх статистичні характеристики: аналіз деяких сегментів web-простору [Текст]: тези доповідей / О. Л. Кириченко, I. Kanovsky, С. Е. Остапов // Всеукраїнська науково-практична конференція «Проблеми інформатики та комп’ютерної техніки». – Чернівці: Видавничий дім «Родовід», 2013. – С. 16-21.

Застосовано прикладне програмне забезпечення пакету MathLab для 3D моделювання морфологічних особливостей поверхні сенсорів УФ випромінювання на основі GaP; показано, що такий підхід можна використати для прогнозування стабільності параметрів і працездатності інформаційно-вимірювальних систем, в яких застосовуються дані сенсори

Ключові слова: 3D моделювання, сенсор УФ випромінювання, інформаційно-вимірювальна система

Применено прикладное программное обеспечение пакета MathLab для 3D моделирования морфологических особенностей поверхности сенсоров УФ излучения на основе GaP; показано, что такой подход позволяет прогнозировать стабильность параметров и работоспособность информационно-измерительных систем, в которых используются УФ сенсоры

Ключевые слова: 3D моделирование, сенсор УФ излучения, информационно-измерительная система

УДК 004.94

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ СТРУКТУР GaP-SnO_2 НА ОСНОВІ 3D МОДЕЛЕЙ ЇХ ПОВЕРХНІ

С. Л. Воропаєва
Кандидат технічних наук, асистент
Кафедра комп’ютерних систем та мереж
Чернівецький національний університет
ім. Юрія Федьковича
вул. Університетська, 28, м. Чернівці,
Україна, 58000
E-mail: spotspotted@gmail.com

1. Вступ

Надійність функціонування комп’ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем у значній мірі залежить від довготривалої стабільності параметрів первинних перетворювачів інформаційних сигналів. Особливо це стосується сенсорів, що працюють в режимах близьких до граничних умов експлуатації [1,

© С. Л. Воропаєва, 2013