

Мурасов Рустам Камілович (канд. техн. наук)

Кононенко Сергій Миколайович

Мельник Ярослав В'ячеславович

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ПЕРКОЛЯЦІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ КІБЕРАТАК

В сучасних умовах функціонування гетерогенних мереж, виникає необхідність в оцінюванні їх надійності та оптимізації. Оскільки на даний час зростання пропускну здатності мереж вже досягло ліміту, розглядається можливість підвищення стійкості мереж шляхом оптимізації їх структури. У роботі розглянуто застосування теорії перколяції для оцінювання стійкості гетерогенних мереж. В роботах інших авторів вже розглядається успішне застосування теорії перколяції в областях фізики, хімії. Оскільки сучасні гетерогенні мережі не структуровані та не мають однорідної структури та варіантів з'єднання то теорія перколяції дозволяє описати цю мережу. Також буде знайдений «перколяційний поріг» - мінімальну кількість з'єднань та вузлів при якій мережа зберігає здатність функціонувати. При визначенні значення «коефіцієнт надійності гетерогенної мережі» можливо буде моделювати та будувати різні варіанти мереж в залежності від його значення. Це дозволяє оцінювати стійкість мережі на етапі проектування та оптимізувати існуючі до заданого рівня. Дозволить виявити слабкі місця для потенційних DDoS атак.

***Ключові слова:** перколяція; гетерогенні мережі; кібербезпека; стійкість комп'ютерної мережі; DDoS атаки.*

Вступ

В умовах сучасної гібридної війни, бойові дії перемістились і у інформаційний простір, оскільки вже 90% інформаційного простору знаходиться у кіберпросторі. Тому частіше об'єктами атак стають сервера, сайти. На всіх рівнях від програмного до технічного постійно ведеться пошук рішення задач по підвищенню стійкості гетерогенних мереж. На даний час найпоширеним способом кібератак є DDoS атаки тому виникає завдання створення ефективної протидії та забезпечення стабільної роботи мережі в умовах кібербезпеки.

Постановка проблеми. В рамках даної статті розглядається можливість та ефективність застосування теорії перколяції для визначення стійкості гетерогенної мережі та її оптимізації

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задачі забезпечення стійкості мереж вже розглядалися у роботах [1, 2, 3], але вони мали вузькоспеціалізовані напрямки і не можуть бути застосовані як методи для більшості гетерогенних мереж.

Метою статті є дослідження які проводилося в рамках НДР шифр “Стойкість ГМ”. У ході дослідження використовувалися такі методи: теорія перколяції, теорія графів, теорія математичного аналізу, теорія складних систем, теорія інформаційних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження

Перколяція це наука про впорядковані структури об'єктів в невпорядкованих середовищах. Це

надає широкі можливості по дослідженню та створенню нових форм та методів побудови комп'ютерних мереж в структурі глобальної мережі.

Наприклад впорядкована структура – це визначені вузли та з'єднання проміж ними в мережі Інтернет які забезпечують функціонування деякої електронної системи, як варіант для проведення розподілених командно-штабних навчань з використанням засобів імітаційного моделювання.

Надійність гетерогенної мережі – це здатність мережі виконувати свої функції при деструктивній дії на неї. Ці дії можуть бути: DDoS атака, фізичне видалення вузлів мережі, велике навантаження на ділянки мережі.

Результати, наведені в [1], цілком придатні для моделювання атак на таку глобальну мережу, як Інтернет. Відомо, що вузли цієї мережі зв'язуються лініями зв'язку з різною пропускну здатністю.

Окремі сегменти Інтернет з'єднані в точки обміну трафіком, існують опорні канали. Можна констатувати, що сьогодні саме існування нашої цивілізації вже багато в чому залежить від зв'язності цієї мережі. Моделювання атак, т. е. розривів окремих зв'язків або видалення окремих, як показують розрахунки, далеко не всіх вузлів може порушити таку зв'язність і дають великі шанси терористам. Знаходження «слабких» ділянок глобальної мережі, проектування

резервних вузлів і каналів вимагають точних розрахунків на базі теорії перколяції.

Слід зазначити, що вище весь час мова йшла про вирізання (вимикання, ... руйнування) вузлів з ймовірністю P випадковим чином. У той же час можливо вирізати вузли, як в стандартній перколяційній задачі, так в інших типах складних мереж, цілеспрямованим чином, вибираючи такі вузли, під час вирізання яких мережа руйнується максимально швидко. В мережі Інтернет таке спрямоване виведення з ладу вузлів (серверів) називається «запланована атака». Під виведенням з ладу вузлів розуміється виведення сервера з його працездатного стану, наприклад шляхом DDoS-атаки або атаки на переповнення буфера. При цьому виведення з ладу близько 1% цілеспрямованих вузлів зменшує продуктивність мережі Інтернет в два рази.

На жаль не існує єдиної математичної методики розрахунку «перколяційного кластеру» - порогового значення при якому мережа стрибкоподібно змінює свій стан. В більшості випадків такі значення обчислюються шляхом моделювання.

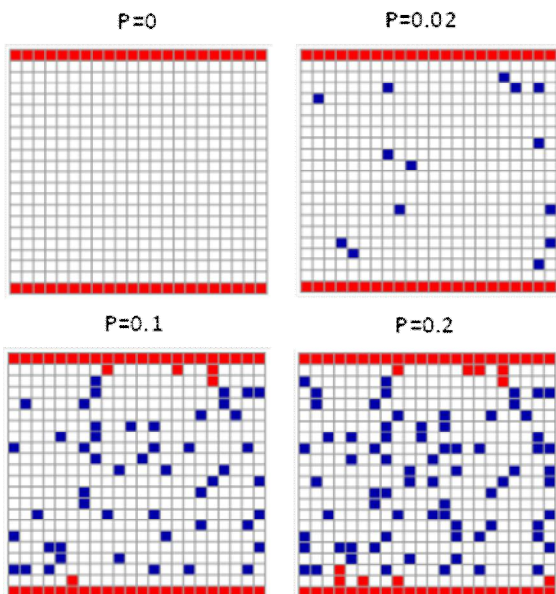


Рис.1 Моделювання створення перколяційного кластеру на прикладі квадратної решітки, при збільшенні коефіцієнтів зв'язків

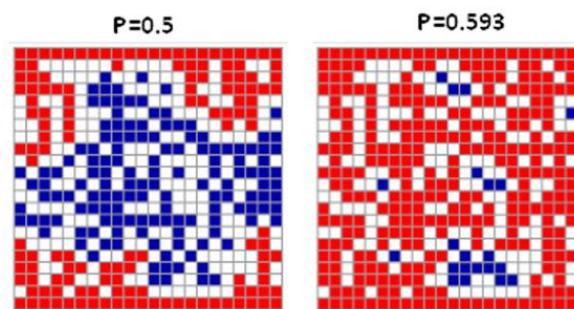
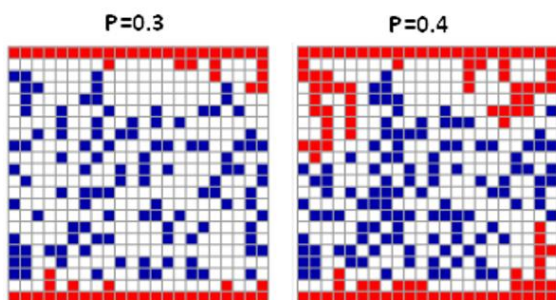


Рис.2 Моделювання створення перколяційного кластеру на прикладі квадратної решітки, при збільшенні коефіцієнтів зв'язків (4 схеми)

Як ми можемо спостерігати на Рисунок 2, при збільшенні коефіцієнтів зв'язків перколяційний кластер для однорідної квадратної решітки створюється при коефіцієнті заповнення $P=0,593$.

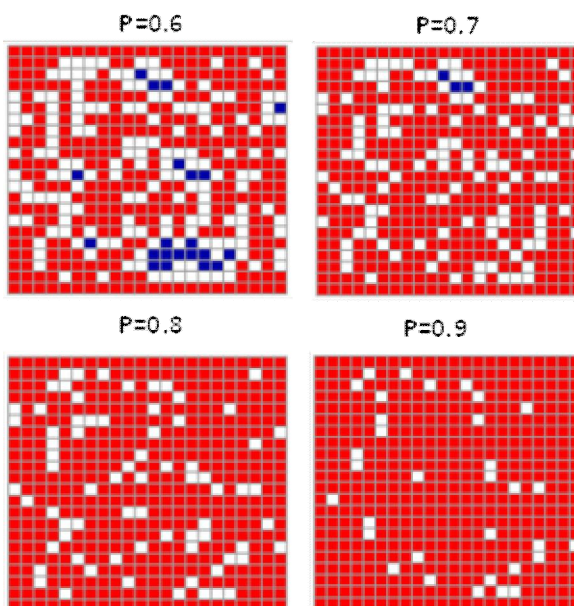


Рис.3 Моделювання створення перколяційного кластеру на прикладі квадратної решітки, при збільшенні коефіцієнтів зв'язків

Таким чином було проведено моделювання та отримано відображення процесу створення перколяційного кластеру для варіанту з'єднання - квадратна решітка.

Для інших варіантів з'єднання необхідно здійснювати окреме моделювання та відповідно окремий математичний розрахунок. Також слід розуміти що у цьому випадку коефіцієнт перколяції буде мати зовсім інше значення. Крім того варіанти з'єднання можуть мати ще й різну структуру що у свою чергу призведе до виникнення ще більш складеної задачі перколяції між принципово різними структурами.

Нижче наведено графік стрибкоподібного зміну стани системи при створенні або знищенні перколяційного кластеру.

% java PercolationPlot 20

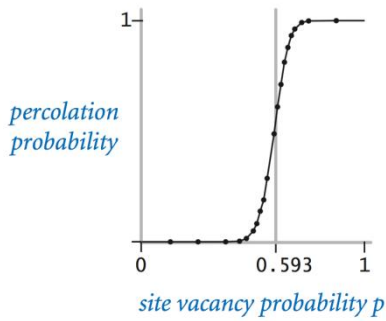


Рис.4 Графік стрибкоподібного зміну стану системи при створення або знищенні перколяційного кластеру (спрощений)

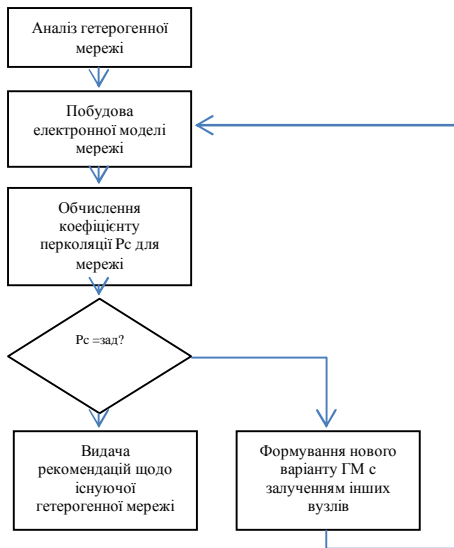


Рис.5 Алгоритм застосування теорії перколяції для оптимізації гетерогенної мережі



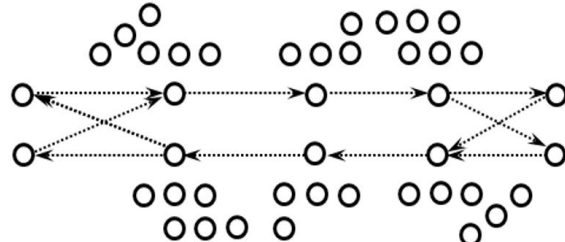
а) Приграничні (ключові) вузли ГМ

Література

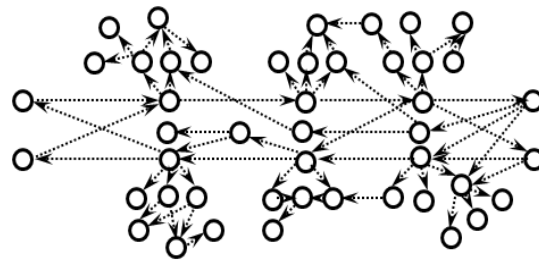
1. Тарасевич Ю.Ю. Перколяция: Теория, приложения алгоритмы. Изд.2.-М. URSS, 2012, - 112с. 2. What is Percolation? <http://www.statslab.cam.ac.uk/~grg/papers/perc/chap1.pdf> 3. Radicchio F. Percolation in real interdependent networks. Cornell University, 2015. http://homes.soic.indiana.edu/filiradi/Mypapers/percolation_



б) Маршрути з ключових вузлів одна в одну



в) Працюючі вузли підсистеми провайдера



Кінцева структура ГМ

Рис.6 Оптимізація структури ГМ

Застосовуючи теорію перколяції для аналізу та визначення стійкості гетерогенної мережі (Рис.5,6), можливо добитися оптимальної структури с заданим коефіцієнтом перколяції.

Висновки й перспективи подальших досліджень

У результаті аналізу та тестового математичного моделювання зв'язків мережі, отримано підтвердження ефективності застосування теорії перколяції для оцінювання стійкості гетерогенної мережі.

Отримані результати доцільно використовувати для удосконалення існуючих та розробки нових методик побудови перспективних інформаційно-телекомунікаційних мереж для забезпечення інформаційних процесів із заданим рівнем стійкості в умовах кібератак.

arxiv_rev.pdf 4. Karrer, M. E. J. Newman, and L. Zdeborova, Phys. Rev. Lett. 113, 208702, 2014. 5. F. Krzakala, C. Moore, E. Mossel, J. Neeman, A. Sly, L. Zdeborova, and P. Zhang, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 110, 20935, 2013.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПЕРКОЛЯЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕТЕРОГЕННОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ КИБЕРАТАК

*Мурасов Рустам Камирович (канд. техн. наук)
Кононенко Сергей Николаевич
Мельник Ярослав Вячеславович*

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховського, Киев, Украина

В современных условиях функционирования гетерогенных сетей, возникает необходимость в оценке их надежности и оптимизации. Поскольку в настоящее время рост пропускной способности сетей уже достиг лимита, рассматривается возможность повышения устойчивости сетей путем оптимизации их структуры. В работе рассмотрено применение теории перколяции для оценки устойчивости гетерогенных сетей. В работах других авторов уже рассматривается успешное применение теории перколяции в областях физики, химии и других наук. Поскольку современные гетерогенные сети не структурированы и не имеют однородной структуры и вариантов соединения то теория перколяции позволяет описать эту сеть. Также будет найден «перколяционный порог» - минимальное количество соединений и узлов при которой сеть сохраняет способность функционировать. При определении значения «коэффициент надежности гетерогенной сети» можно будет моделировать и строить различные варианты сетей в зависимости от его значения. Это позволяет оценивать устойчивость сети на этапе проектирования и оптимизировать существующие сети до заданного уровня, а также позволит выявить слабые места для потенциальных DDoS атак.

***Ключевые слова:** перколяция; гетерогенные сети; кибербезопасность; устойчивость компьютерной сети; DDoS атаки.*

APPLICATION OF THE PERCOLATION THEORY FOR ASSESSING THE STABILITY OF HETEROGENEOUS NETWORKS UNDER CYBER ATTACK CONDITIONS

*Rustam K. Murasov (Philosophy Doctor of Technical Sciences, Chief of the Science Laboratory)
Serhii M. Kononenko (Chief of Simulation Centre)
Yaroslav V. Melnyk (Senior Researcher of Simulation Centre)*

National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

In today's heterogeneous networks, there is a need to assess their reliability and optimization. Since the growth of network capacity has already reached the limit, the possibility of increasing the stability of networks by optimizing their structure is being considered. In this paper, the application of percolation theory to the stability of heterogeneous networks is considered. In the works of other authors, the successful application of percolation theory in the fields of physics, chemistry, and other sciences is already being considered. Since modern heterogeneous networks are not structured and do not have a homogeneous structure and connection options, the percolation theory makes it possible to describe this network. Also, the "percolation threshold" will be found - the minimum number of connections and nodes at which the network remains able to function. When determining the value of the "reliability factor of a heterogeneous network", it will be possible to model and build various variants of networks, depending on its value. This allows you to assess the stability of the network at the design stage and optimize existing networks to a specified level, and also to identify weaknesses for potential DDoS attacks.

***Key words:** percolation; Heterogeneous networks; Cyber Defense; The stability of the computer network; DDoS attack.*

References

- 1. Tarasevych Y.Y.** Percolation: Theory, Applications, Algorithms. Edition 2. – M. URSS, 2012, 112 p. **2. What is Percolation?** <http://www.statslab.cam.ac.uk/~grg/papers/perc/chap1.pdf>
- 3. Radicchio F.** Percolation in real interdependent networks. <http://www.nature.com/nphys/journal/v11/n7/full/nphys3374.html>
- 4. B. Karrer,** M. E. J. Newman, and L. Zdeborova, Phys. Rev. Lett. 113, 208702, 2014.
- 5. F. Krzakala,** C. Moore, E. Mossel, J. Neeman, A. Sly, L. Zdeborova, and P. Zhang, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 110, 20935, 2013.