

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ АКТИВНОГО ЗАХИСТУ СКЛАДНИХ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ

Олександр Поліщук

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, м. Львів,
od_polishchuk@ukr.net

Одним із дієвих способів захисту реальних мережесистем (МС) від цілеспрямованих атак є застосування так званих активних засобів захисту або контратака на нападника [1]. У випадку російської агресії проти України таким способом є фінансово-економічні санкції, контрнаступи для звільнення захоплених агресором територій країни, знищення його бойових підрозділів, логістичних вузлів та центрів управління військами тощо. Зрозуміло, що організатори таких контратак також несуть чималі втрати. Тобто, постає проблема оптимізації сценаріїв активного захисту, а саме, як знищивши або заблокувавши роботу мінімальної кількості вузлів атакуючої системи, заподіяти їй якнайбільшої шкоди. Очевидно, що при цьому доцільно враховувати не лише масштабність безпосереднього негативного впливу, але й масштабність опосередкованих наслідків ураження.

Покажемо, що використання потокових λ -серцевин порівняно зі структурними k -серцевинами мережесистем є значно ефективнішим під час побудови сценаріїв активного захисту як з погляду можливого ураження функціонально найважливіших елементів МС, так і з метою оптимізації цих сценаріїв за кількістю об'єктів атаки. Тут під k -серцевиною МС ми розуміємо найбільшу підмережу вихідної мережі, центральність за структурним ступенем вузлів якої є не меншою значення $k > 1$ [3], а під її потоковою λ -серцевиною – найбільшу підсистему вихідної системи, елементи потокової матриці суміжності якої мають значення не менші ніж $\lambda \in [0, 1]$ [2]. Розглянемо у якості прикладу залізничну транспортну систему (ЗТС) західного регіону України. На рис. 1а відображено структуру цієї системи, а на рис. 1б – цю ж структуру, але у вигляді зваженої мережі, яка схематично відображає об'єми руху вантажних потоків, які пройшли її ребрами протягом 2021 року (товщина ліній є пропорційною об'ємам потоків). Зазначимо, що загалом ця мережа містить 354 вузли, однак на рис. 1а-б відображено лише 29 вузлів та 62 ребра (транзитні вузли зі структурним ступенем 2 не відображаються, а ребром вважаємо лінію, яка поєднує два вузли зі ступенем, більшим ніж 2). На рис. 1в міститься структурна 4-серцевина ЗТС, до складу якої входить 12 вузлів та 35 ребер, а на рис. 1г – її потокова $0,8$ -серцевина, яка містить 4 вузла та 12 ребер. Одним із основних недоліків k -серцевин порівняно із потоковими серцевинами є можливість виключення функціонально важливих складових мережесистеми (шлях А–В на рис. 1г).

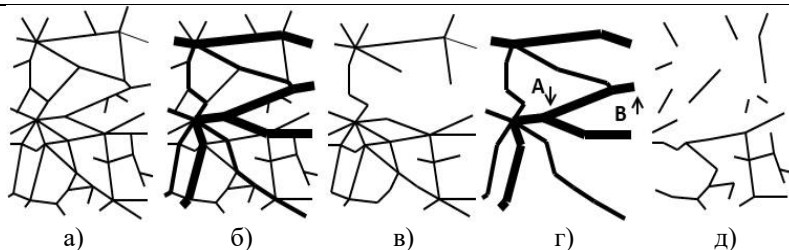


Рис. 1. Приклади структури (а), процесу функціонування (б), структурної 4-серцевини (в), потокової 0,8-серцевини (г) та доповнення до потокової 0,8-серцевини у вихідній структурі (д) залізничної транспортної системи західного регіону України

Очевидно, що потокова 0,8-серцевина відображає функціонально важливішу підсистему ЗТС і ціллю групової атаки на неї є значно менша кількість вузлів, ніж 4-серцевини відповідної структури. Легко переконатись, що в обидвох випадках успішна атака на виділені за допомогою k - та λ -серцевин вузли МС призведе до фактичного припинення процесу її функціонування, оскільки поділяє мережу на незв'язні складові (рис. 1д), але у другому випадку мета атаки досягається значно меншими (у три рази з погляду кількості вузлів та ребер) зусиллями. Таким чином, потоковий підхід дає змогу будувати значно оптимальніші з погляду зусиль атакуючої сторони сценарії активного захисту, ніж структурний. Зазначимо, що запропоновані способи можна успішно використовувати для протидії поширенню нецільових уражень різних типів, наприклад, епідемій небезпечних інфекційних захворювань тощо [2].

1. *Поліщук О.* Стратегії захисту складних мережевих та багатопарових мережевих систем від цілеспрямованих атак та нецільових уражень // Зб. праць 1-ї Міжн. наук.-практ. конф. «Інформаційні системи та технології: результати і перспективи» (IST 2024). – Київ, Україна. – 6 березня 2024 р. – С. 218-221.
2. *Поліщук О., Яджак М.* Моделі та методи комплексного дослідження складних мережевих систем та міжсистемних взаємодій. – Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, 2023. – 385 с.
3. *Dorogovtsev S.N., Goltsev A.V., Mendes J.F.F.* K-core organization of complex networks // Physical review letters. – 2006. – 96, № 4. – 040601.

OPTIMIZATION OF ACTIVE PROTECTION STRATEGIES FOR COMPLEX NETWORK SYSTEMS

Methods for optimizing scenarios of active protection of complex network systems against targeted attacks and non-target lesions of various types are proposed. A real example shows that the use of flow cores of the system is much more effective than the use of its structural cores.