

Key words: complex networks, topological robustness, security

Evolving complex network as a model of a real system was analyzed. Contrary to a traditional approach for exploration of network evolution it was proposed to study its structural vulnerability during two network phases — formation and decline ones. Calculations have shown such a network after being attacked sometimes demonstrated a behavior in contrast to intuitive ideas. The results might be used for construction of sustainable information infrastructure.

Н. А. Кинаш, А. А. Тихомиров, А. И. Труфанов
ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ УЯЗВИМОСТЬ ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИХ СЕТЕЙ

Исследователи комплексных сетей изначально проявляли интерес к такому их свойству, как структурная уязвимость, и достигли значительных успехов в этом направлении. Главное, что подобные исследования оказываются практически значимыми при построении надежных и эффективных систем безопасности критических инфраструктур. Лишь в последнее время исследователи стали обращать внимание на то, какова в динамике возможная топологическая реакция на сетевые атаки [1]. Например, в работе [2] изучалось поведение угасающих сетей, подвергнутых случайным атакам. Казалось бы, существует ряд работ, использующих понятие возраста узла в эволюционирующих сетях [3]. Однако до сих пор отсутствуют исследования устойчивости сетевых структур в непрерывном процессе их эволюции от рождения до гибели.

Модель и инструменты исследования

В настоящей работе в отличие от традиционных подходов к изучению уязвимости эволюционирующей сети предлагается строить ее непрерывное развитие в двух последовательных фазах — формирования и угасания. В этой версии представление сети как зависящего от времени графа $G(V, E, T)$ отображается двумя безмасштабными (SF) компонентами $G_f(V, E, t)$ и $G_d(V, E, t)$, фиксируемыми на последовательных шагах $s_i (i = 1, 2, \dots, t_i)$ и $s_j (j = t_i, t_i + 1, \dots, t_i + t_d)$, так что $G_f(V_i, E_i, t_i) = G_d(V_j, E_j, t_j)$. В развиваемой модели фаза активного роста начинается с внедрения единственного узла. В фазе развития новые сетевые узлы и новые связи n и 1 добавляются в соответствии с известным правилом предпочтительного присоединения. Распределение связности в этом случае соответствует степенному закону: $Ng(k) \sim k^{-\gamma}$, что формирует SF-структуру. Как только рост сети прекращается в момент t_i , сразу же включается механизм угасания. Фаза угасания обусловлена случайным удалением определенного количества n_d сетевых узлов. Данная фаза характеризуется устойчивым «хвостом» $N^k(k)$, так как вначале сеть покидают периферийные узлы (которых большинство), концентраторы — центральные узлы — с большей вероятностью продолжают оставаться действующими. В качестве одного из главных показателей для оценки уязвимости сети использовался размер максимального связного кластера — S . Для реализации сетевых структур был разработан специализированный генератор на языке программирования Python, поддерживаемый пакетом Igraph. Дополнительно, разработанный генератор обеспечивает возможность проведения атаки в соответствии с широким спектром различных стратегий и расчета размера S на любом этапе сетевой эволюции.

Основные результаты

Обычно сетевые повреждения делятся на два класса: случайные, вызванные, в основном, внутренними сбоями в системе, и преднамеренные, то есть те, что являются следствием целенаправленных атакующих действий. Сеть, проходящую фазы формирования и угасания (с сопутствующими случайными сбоями), подвергли сериям целенаправленных атак на важнейшие узлы.

Было установлено:

1. Атаки в фазе активного роста менее эффективны, нежели в начале фазы угасания.



«Проблемы информационной безопасности в системе высшей школы»

2. На показатель уязвимости сети S в фазе угасания значимо влияет параметр γ . С его уменьшением повышается топологическая устойчивость к целенаправленным атакам, что связано с меньшей концентрацией связей у хабов.
3. Увеличение длительности фазы активного роста не влияет на эффективность атак в состоянии угасания. Это можно объяснить SF-природой генерируемой сети.
4. Варьирование числа создаваемых связей γ нового узла в каждый момент времени в состоянии активного развития не сказывается заметно на уязвимости сети.
5. В случае, если в сети высоко стремление к консолидации (высокой плотности), целенаправленные атаки в фазе формирования могут усилить топологическую стойкость структуры. Происходит это за счет того, что сеть теряет свой SF-характер, вырождаясь в случайную, при этом акторы распределяются по достаточно малым кластерам, окончательно уничтожить которые целенаправленными атаками становится затруднительно.
6. Эффективность атак в конце фазы развития выше, чем в ее начале.

Выводы

На основе степенного распределения связности сгенерирована сеть, отражающая природу развития сетей реального мира с двумя фазами — формирования и угасания. Подготовленная модель была подвергнута целенаправленным атакам. Исследование углубляет топологический анализ сетевой безопасности, необходимый для построения устойчивых сетевых систем и повышения качества их управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Majdandzic A., Podobnik B., Buldyrev S. V., Kenett D. Y., Havlin S. & Stanley H. E.* Spontaneous recovery in dynamical networks // *Nature Physics*. 2014. 10. P. 34—38.
2. *Podobnik B., Lipic T., Horvatic D., Majdandzic A., Bishop S. & Stanley H. E.* Predicting Lifetime of Dynamical Networks Experiencing Persistent Random Attacks // *arXiv:1407.0952v2*. 2014. P. 1—8.
3. *Tan L., Zhang J, Jiang L.* An evolving model of undirected networks based on microscopic biological interaction systems // *J. Biol. Phys.* 2009. 35. P. 197-207.

REFERENCES:

1. *Majdandzic A., Podobnik B., Buldyrev S. V., Kenett D. Y., Havlin S. & Stanley H. E.* Spontaneous recovery in dynamical networks // *Nature Physics*. 2014. 10. P. 34-38.
2. *Podobnik B., Lipic T., Horvatic D., Majdandzic A., Bishop S. & Stanley H. E.* Predicting Lifetime of Dynamical Networks Experiencing Persistent Random Attacks // *arXiv:1407.0952v2*. 2014. P. 1—8.
3. *Tan L., Zhang J, Jiang L.* An evolving model of undirected networks based on microscopic biological interaction systems // *J. Biol. Phys.* 2009. 35. P. 197-207.

