

УСТОЙЧИВОСТЬ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ К СТРУКТУРНЫМ АТАКАМ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРШИННЫХ СЕЧЕНИЙ

А. В. Потеня

Кафедра компьютерной инженерии, Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко
Киев, Украина

E-mail: admin@artem.bz.ua

В статье предлагается классификация структурных атак на графовые модели сложных систем и сформирован набор параметров для оценки их эффективности. Выполнено экспериментальное исследование фрагмента наукометрической базы IEEE Xplore.

ВВЕДЕНИЕ

С использованием структурного подхода сложные системы могут быть представлены в виде графов $G = (V, E)$, где V – множество узлов системы, а E – совокупность связей между ними [1]. В зависимости от характера повреждений, нанесенных структуре таких графовых моделей, представляется возможным выделение основных типов атак на основе:

1. формирования вершинных сечений графа;
2. образования разрезов графа;
3. модификации множества связей графа, приводящей к нарушению режима функционирования системы (например, путем добавления несвойственных ей ребер);
4. комбинированные атаки, объединяющие несколько различных типов повреждений.

Наиболее простыми для анализа являются атаки первых двух типов, рассмотрение которых требует введения следующих определений:

Определение 1 Вершинное сечение графа $G = (V, E)$ представлено таким подмножеством его узлов $C_V \subseteq V$, при котором разность $G \setminus C_V$ имеет более одного компонента связности.

Определение 2 Разрезом графа $G = (V, E)$ является набор ребер $C_E = \{(v, w) | v \in S, w \in V/S\}$ при $S \subset V$, изъятие которых приводит к распаду исходного графа на два или более изолированных подграфа.

1. СТРУКТУРНЫЕ АТАКИ И ИХ ПАРАМЕТРЫ

В данной работе мощность структурных атак определяется количеством элементов в соответствующих множествах C_V и C_E . В простейшем случае вершинное сечение C_V может состоять лишь из одного узла, который является точкой сочленения в исходном графе G . Разрез графа C_E также может содержать только одно ребро, выполняющее роль мостового соединения. При этом максимальная мощность сечений C_V и разрезов C_E ограничена значением $|V| - 2$ и количеством ребер в графе соответственно.

Важно, что любой связный граф G может быть подвержен структурной атаке второго ти-

па. Напротив, атаки первого типа не могут осуществляться на полносвязные графы K_n , поскольку при любом сечении C_V разность $K_n \setminus C_V$ остается полносвязным графом.

Вместе с тем атаке второго типа, при которой разрез C_E не содержит ребра между парой вершин $s \in S$ и $t \in V/S$ можно поставить в соответствие атаку первого типа, представленную сечением $C_V = C_{V1} \cup C_{V2}$. Здесь $C_{V1} \subset V/S$ состоит из узлов, инцидентных вершине s , а $C_{V2} \subseteq S \setminus \{s\}$ содержит вершины, имеющие связи с узлами множества V/S . При этом $|C_V| \leq |C_E|$, поскольку каждая вершина $v \in C_V$ инцидентна по крайней мере одному ребру $e \in C_E$. Таким образом, в случае неполносвязных графов атаки на основе формирования вершинных сечений оказываются более разрушительными.

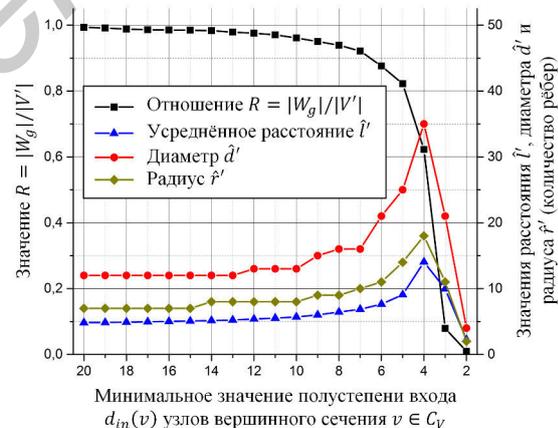


Рис. 1 – Зависимости параметров, описывающих степень повреждения графа, от мощности атак

Далее в этой статье рассматриваются только атаки первого типа. Для определения степени повреждения структуры графа G' , полученного из G путём осуществления атаки, введём ряд специальных параметров, к которым выдвигаются требования достаточной описательной силы, простоты расчёта и наглядности использования:

1. отношение R мощности гигантской компоненты слабой связности $|W_g|$ к количеству вершин $|V'|$, оставшихся в графе после атаки;
2. усреднённое геодезическое расстояние \hat{l} в графе \hat{G}' , полученном из G' путём заме-

- ны ориентированных рёбер на неориентированные;
3. диаметр \hat{d}' и радиус \hat{r}' графа \hat{G}' .

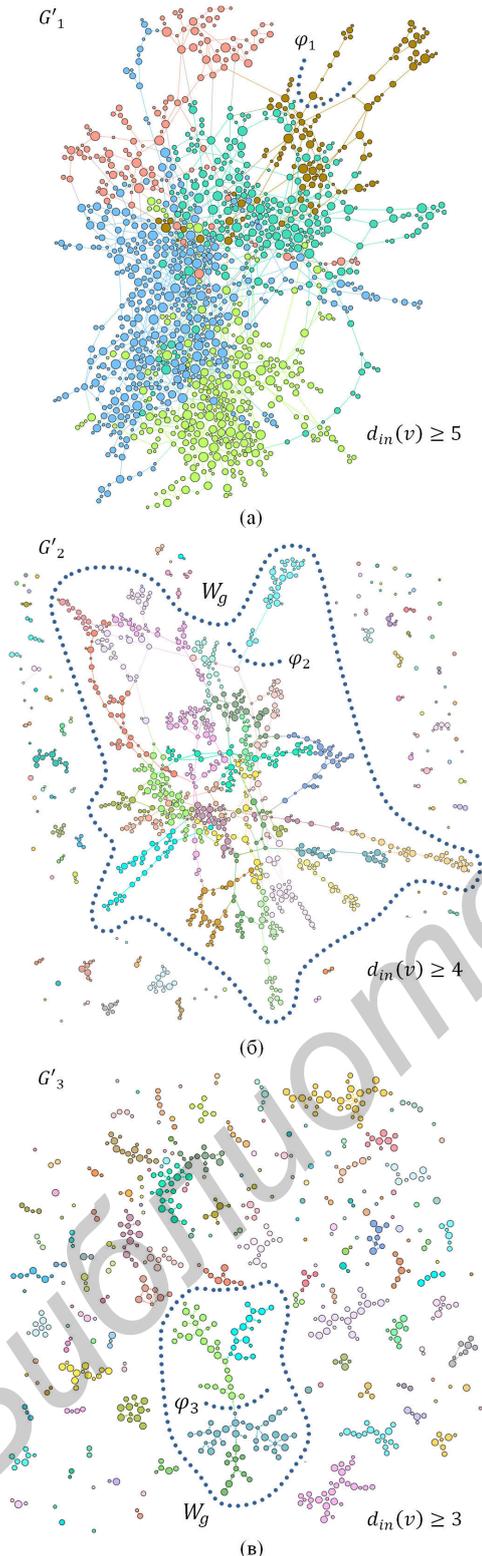


Рис. 2 – Процесс катастрофического распада гигантской компоненты слабой связанности при увеличении мощности вершинных сечений. Цветами выделены различные неявные сообщества в графе

Таким образом, устойчивость системы представляется ее способностью к поддержанию стабильных значений приведённых параметров при увеличении мощности структурных атак. В

этой работе сечения C_V содержат узлы v , полустепени входа $d_{in}(v)$ которых равны заданному пороговому значению или превышают его. При этом увеличение мощности атак осуществляется путём уменьшения данного порогового значения.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье для исследования выбран фрагмент наукометрической базы *IEEE Xplore*, который охватывает 2752 тематически близкие научные публикации в области визуализации информации, между которыми установлено 9993 цитирования [2]. На рис. 1 приведены зависимости параметров R , \hat{l}' , \hat{d}' и \hat{r}' для выбранного фрагмента от порогового значения полустепени входа узлов сечения C_V . Стабильность значений R , наблюдаемая вплоть до порогового значения полустепени входа $d_{in}(v) \geq 5$ для узлов вершинного сечения $v \in C_V$, свидетельствует о наличии значительного запаса устойчивости к структурным атакам у гигантской компоненты слабой связанности W_g .

Однако, дальнейшее уменьшение значения порога приводит к резкому провалу зависимости и катастрофическому распаду компоненты W_g . Важно отметить, что параметры \hat{l}' , \hat{d}' и \hat{r}' достигают своих максимальных значений перед окончательным разрушением компоненты W_g . Это явление свидетельствует о постепенном накоплении в графе структурных дефектов, приводящем к утрате его запаса устойчивости. На рис. 2а приведена компонента W_g , полученная для значения порога $d_{in}(v) \geq 5$. На рис. 2б и 2в продемонстрировано ее катастрофическое разрушение при увеличении мощности атак, которое сопровождается отделением множества островов. Кроме того, все отмеченные разрезы $\phi_1 - \phi_3$ содержат по одному ребру, однако каждый последующий из них включает мостовую связь с полуостровом большей мощности, что наглядно иллюстрирует процесс накопления структурных дефектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования параметров R , \hat{l}' , \hat{d}' и \hat{r}' , предложенных в данной статье, для оценки степени повреждения графа после осуществления структурной атаки. В свою очередь, широкий участок стабильности в левой части зависимостей на рис. 1 свидетельствует о наличии у фрагмента наукометрической базы значительного запаса устойчивости, который обеспечивается статьями со средним уровнем цитирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потегбня А. В., Погорелый С. Д. Анализ процессов информационного обмена в наукометрических базах данных // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы 6-й международной научно-технической конференции OSTIS-2016. – Мн: БГУИР, 2016. – С. 247 – 252.
2. Visualization Publication Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vispubdata.org>.