Опубликовано: Климентьев К.Е., Помянский Р.А. Три подхода к моделированию сетевых эпидемий // В сб. Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении (ПИТ 2012): труды научн-техн. конф. с межд. участием. – Самара: изд-во СНЦ РАН, 2012. – С. 31-34.

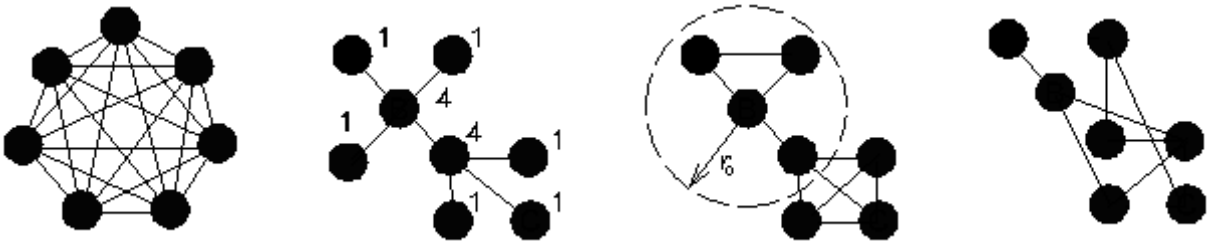
К.Е. Климентьев
Р.А. Помянский

ТРИ ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЕТЕВЫХ ЭПИДЕМИЙ

(Самарский государственный аэрокосмический университет)

1. Общая характеристика задачи. Задача моделирования распространения мобильных агентов в сетях известна давно /2/, но вызвала к себе повышенный интерес после массовых эпидемий червя CodeRed II в 2001-2002 гг /4/. В настоящее время под «мобильными агентами» понимаются не только болезнетворные микроорганизмы, но и вредоносные программы в адресном пространстве Интернета, информационные сообщения в социальных сетях и т.п. Целью моделирования является:

- выявление факторов, влияющих на динамику распространения;
- изучение возможности управления динамикой путем изменения действующих факторов и внесения новых.



а) Гомогенный б) Безмасштабный в) Геометрический г) граф Радо

Рис. 1. Примеры графов, применяемых для моделирования технических сетей

В качестве моделей сетей принимаются графы с маркированными вершинами и дугами (см. рис. 1). При этом /1,4/:

- узлы отождествляются с отдельными объектами, на множестве которых возможно «эпидемическое» распространение мобильных агентов (настольные и планшетные компьютеры, смартфоны и т.п.);
- пометка узла - с состоянием, приписанным объекту (например, I – «здоровый»; S – «зараженный»; R – «здоровый», но не подверженный заражению; E – «зараженный», но не подверженный «лечению» и т.п.);
- наличие дуги и ее ориентация - с возможным направлением перемещения или копирования «метки» от одного узла к другому;
- числовые значения, приписанные узлам, - с техническими факторами, влияющими на динамику распространения агентов (например, с пропускной способностью линий связи).

2. Аналитические методы решения. Модели размножения мобильных агентов на «гомогенных» сетях (см. рис. 1,а) восходят к прототипам,

разрабатываемым с конца XIX века для изучения эпидемий и эпизоотий среди людей и животных /2/. В общем случае, они описываются системами дифференциальных уравнений вида:

$$\left\{\begin{array}{l}\partial I/\partial T = F(I,S,R)\\ \partial S/\partial T = G(I,S,R)\\ \partial R/\partial T = H(I,S,R)\end{array}\right\}, \qquad (1)$$

где T – время; I – множество инфицированных, S – множество здоровых, R – множество «вылеченных» узлов; F, G и H – некоторые функции. Наиболее простые модели на «гомогенных» графах (например, с уравнениями Мальтуса и Фергюльста) решаются аналитически, однако уже модели типа Кермака-МакКендрика - только численно. Чаще всего объектом изучения на аналитических моделях является асимптотическое поведение мобильных агентов – т.е. на интервале времени, стремящемся к бесконечности, и в сетях с однородной структурой. При этом игнорируются, например, неоднородность сети, непостоянство условий во времени и т.п.

3. Имитационные модели. Наиболее общие методы исследования эпидемий мобильных агентов основаны на имитационных моделях /4/. Такой подход позволяет избавиться от недостатков, присущих аналитическим моделям, учесть большинство факторов и исследовать степень их влияния на развитие эпидемий. Однако, он требует повышенного внимания к соблюдению требований по адекватности результатов моделирования и, как следствие, наличия как априорной, так и апостериорной информации о параметрах реальных сетей и характеристиках реальных эпидемий.

4. Натурное моделирование эпидемий. Проблема получения исходных данных для имитационных моделей и оценки достоверности результатов моделирования может быть решена либо мониторингом сети /4/, либо применением натурных моделей – ограниченных сегментов реальных сетей, в которых распространяются реальные мобильные агенты /3/. Силами преподавателей и студентов факультета информатики СГАУ реализована среда для натурного моделирования распространения мобильных агентов в компьютерных сетях. В отличие от аналога, описанного в /3/, она:

- легко масштабируема, позволяет сужать и расширять масштабы сети;
- использует не реальные вредоносные программы, а их «имитаторы» в виде программ на скриптовом языке;
- легко конфигурируема, позволяет варьировать параметрами эксперимента (топологией сети, средней скоростью размножения и удаления, алгоритмом поиска адресов для перемещения и пр.).

5. Пример применения. Требуется исследовать распространение вредоносных программ в «гомогенной» (см. рис. 1, а) вычислительной сети из $N = 34$ компьютеров с номинальной пропускной способностью 100 Мбит/с. Количество экземпляров вредоносной программы в начальный момент времени $I_0 = 1$, средняя скорость размножения $\beta = 0.07$ ед./сек., поиск адреса для заражения – случайный, «исцеление» зараженных узлов невозможно. Такие

условия соответствуют SI-модели эпидемии с ресурсными ограничениями, описываемой дифференциальным уравнением Фергюльста, имеющим решение

$$I(t) = 1/\left[\frac{1}{N} + \frac{1}{\beta}\exp(-\beta \times (t + C))\right], \quad (2)$$

где $C = -\ln(\beta / I_0 - \beta / N)/\beta$. Всего было проведено по 10 натурных и имитационных экспериментов, результаты усреднены по множеству реализаций. Кроме того, по (2) был произведен расчет логистической S-кривой с заданными параметрами. Кривые эпидемий, полученные в результате применения трех различных моделей, приведены на рис 2.

Рис. 2. Результаты применения трех разных моделей

Максимум относительной погрешности приближения составил $\varepsilon = 0.09$. Анализ результатов позволяет сделать вывод о практической возможности получения априорных данных об условиях протекания эпидемий путем натурного эксперимента и использования их в моделях других видов.

Литература

1. Kephart J.O. How topology affects population dynamics // Artificial Life III. Redwood City, Addison-Wesley, 1994.

2. Братусь А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. Динамические системы и модели биологии. - М.: Физматлит, 2010.

3. Монахов Ю.М., Мигачева И.А. Экспериментальное исследование распространения вредоносной программы по компьютерной сети / В сб.: Комплексная защита объектов информатизации: Комитет по информатизации, связи и телекоммуникациям Администрации Владимирской области, 2008.

4. Zou C.C., Gong W., Towsley D. Code Red worm propagation modeling and analysis // 9th ACM Symposium on Computer and Communication Security, Washington DC, 2002. - pp 138-147.