



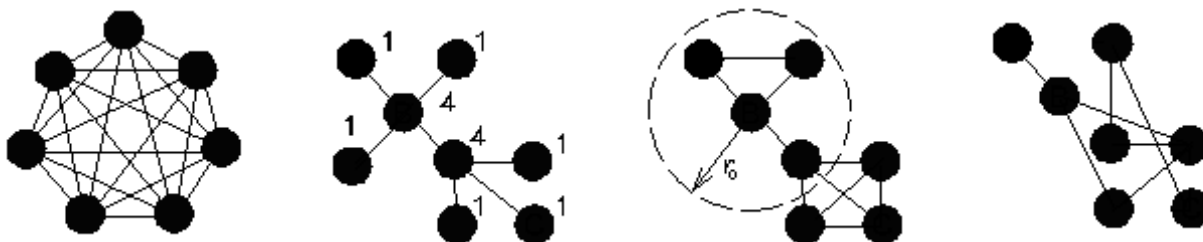
К.Е. Климентьев, Р.А. Помянский

## ТРИ ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЕТЕВЫХ ЭПИДЕМИЙ

(ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (национальный исследовательский 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:

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

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 натуральных 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 натуральных 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 натурального 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