



Амплитудно-частотный анализ, полученной модели

Из дифференциального уравнения получаем передаточную функцию в операторной форме:

$$W(p) = \frac{139}{(1 + 0,055p)(1 + 0,018p)} \text{ мВ/мкТл}$$

Для оценки динамической характеристики на вход системы подается синусоидальный сигнал, и оцениваются параметры [1]. Произведя расчеты, установили, что выходная зависимость будет иметь вид:

$$Y(t) = \frac{139}{\sqrt{(1 - 0,00099\omega^2)^2 + (0,073\omega)^2}} \cdot 300 \cdot \sin \left[\omega t - \arctg \frac{0,073\omega}{(1 - 0,00099\omega^2)} \right] \text{ мВ,}$$

Зная выходную зависимость, построим АЧХ (рис.3) и годограф (рис.4).

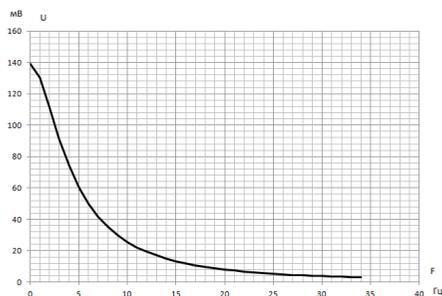


Рис. 3. АЧХ АМР-датчика

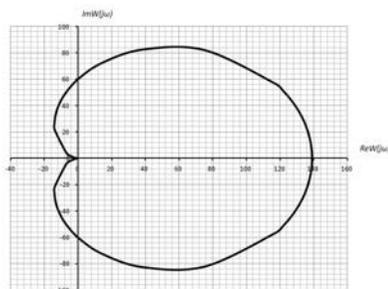


Рис. 4. Годограф АМР-датчик

Проанализировав выходную зависимость получаем максимальную частоту входного сигнала равную 20Гц.

Вывод

Таким образом, разработанный датчик с примененным в нем способом повышения чувствительности [5] имеет характеристики, рассмотренные в статье. Это позволяет использовать его для измерения изменяющихся во времени магнитных молей в таких системах, как измерение угла поворота, распознавание образа ферромагнитных объектов. Полученные зависимости позволяют прогнозировать отклик датчика на основе АМР-эффекта при изменяющихся входных воздействий.

Полученные экспериментальные данные по сравнению с аналитическими имеют 3% расхождения, что подтверждает их достоверность.



Литература

1. Балакирев В.С. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. -М.: «Энергия», 1967. -230 с.
2. Теория систем. Стохастические модели: Учеб. пособие А. И. Заико. - М.: Изд-во МАИ, 2005.-196 с.
3. Котенко Г. И. Магниторезисторы. М.: Энергия, 1972. -80 с.
4. Воробьев А.В. Иванова Г.А. Кильметов Э.А. Исследование, моделирование и расчет мостовых сенсорных модулей, построенных на базе АМР-эффекта. Вестник УГАТУ. - № 4(57), Т. 17, - Уфа: УГАТУ, 2013. С. 144-151.
5. Патент на способ РФ №2553740. Способ повышения показателя чувствительности магниторезистивных датчиков Воробьев А. В. (RU), Заико А. И. (RU), Кильметов Э. А. (RU). - 2014111530/28; заявлено 25.03.2014; опубл. 20.06.2015, Бюл. 17.

К.Е. Климентьев

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ СЛУЧАЙНЫХ ГРАФОВ «ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО» ВИДА НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭПИДЕМИЙ

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва)

Введение. На кафедре ИСТ СГАУ силами преподавателей и студентов продолжается разработка инструментальной среды, предназначенной для моделирования распространения саморазмножающихся агентов, таких как компьютерных черви, биологические инфекции, лесные пожары и т.п. На текущем этапе интерес представляет множество графовых моделей среды распространения «эпидемий», которые могут быть реализованы в системе.

Постановка задачи. Моделями пространства, в котором развиваются эпидемии мобильных червей (т.е. вредоносных программ, распространяющихся между подвижными устройствами при помощи «близкодействующих» интерфейсов типа BlueTooth или WiFi), обычно являются случайные графы типа Эрдеша-Реньи и так называемые «геометрические» графы. В работе [2] статистические свойства этих графов исследованы с точки зрения практической реализуемости в системе моделирования. В работе [3] показано, что развитие эпидемий SIR-типа в сетях этих двух видов существенно различается (см. рис. 1), но вопрос об адекватности той или иной модели остается открытым.

Вместе с тем, и та и другая модели игнорируют один важный фактор, влияющий на распространение реальных эпидемий, а именно – непостоянство топологии графа. Действительно, в реальности носители мобильных устройств (телефонов, планшетов и т.п.) постоянно перемещаются относительно друг друга, теряя и устанавливая новые связи. Представляется, что адекватной моде-



люю пространства, в котором имеют место такие случайные блуждания, будут служить «динамические» графы [5]. Аналитические модели случайных блужданий на графах некоторых типов рассмотрены в [4], однако «геометрические» графы среди них отсутствуют.

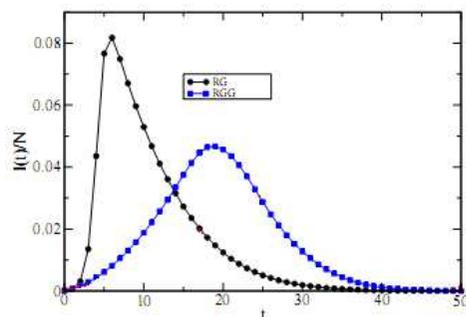


Рис. 1. Распространение SIR-эпидемий на случайных графах «геометрического» вида (RGG) и Эрдеша-Реньи (RG) (по М. Nekovee [3]).

Данная работа посвящена исследованию влияния «динамики» графов на протекание эпидемий в «геометрических» графах.

Анализ условий эксперимента. Исторически, на практике встречались, по крайней мере, три типа эпидемий компьютерных червей на мобильных устройствах [1].

1. Распространение червя на трибунах стадиона во время чемпионата мира легкой атлетики в Финляндии. В этом случае взаимное расположение узлов сети оставалось практически постоянным, топология графа не менялась.
2. Распространение червя с витрины магазина сотовых телефонов в Санта-Монике (США). В этом случае небольшая группа инфицированных узлов оставалась неподвижной, но в радиус ее действия периодически попадали другие узлы.
3. Наконец, эпидемии червей в метро Москвы, Киева и Харькова. В этих случаях инфицированные и неинфицированные узлы постоянно перемещались относительно друг друга.

Разумеется, возможны и другие виды динамики графов, лежащих в основе сетевых моделей пространства.

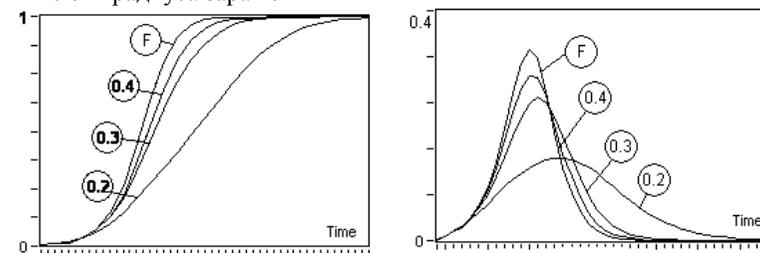
Эксперименты и результаты. Представляется, что все множество всевозможных вариантов поведения динамических графов лежит между двумя крайними сценариями.

1. Граф статичен, узлы неподвижны. Этот сценарий хорошо исследован [3], однако, рассмотрение обычно ограничивается лишь эпидемиями SIS- и SIR-типа. С целью расширения знаний о протекании эпидемий в рамках настоящей работы выполнены имитационные эксперименты для различных $0 \leq R \leq \sqrt{2}$ на «геометрических» графах с $K=200$ узлами. Ос-



новные выводы: скорость распространения агента и «острота» эпидемии прямо пропорциональны «плотности» сети, то есть средней степени узлов графа \bar{k} , которая, в свою очередь, пропорциональна «радиусу действия» R (см. рис. 2). Кроме того, чем «острее» протекает эпидемия (т.е. чем больший процент агентов оказывается инфицирован), тем быстрее эта эпидемия заканчивается.

2. Подвижность узлов графа максимальна, то есть, считается, что на каждом шаге моделирования каждый узел сети, сохраняя свое состояние (инфицированность, уязвимость, «возраст» и т.п.), перемещается в случайном направлении на случайное расстояние. Фактически, для графов «геометрического» типа это означает, что граф не подвергается последовательной трансформации, а мгновенно меняет свою «геометрию» случайным образом. Основные выводы: выяснилось, что в этом случае при любых R протекание эпидемии полностью идентично случаю статичного графа с $R = \sqrt{2}$, что соответствует «полному» графу типа «каждый с каждым» (кривые «F» на рис. 2). То есть, обширность эпидемии зависит, в первую очередь, от подвижности инфицированных агентов, а не от «радиуса заражения».



а) эпидемия SI-типа
б) эпидемия SIR-типа
Рис. 2. Зависимость развития эпидемий от «радиуса действия» R на «геометрическом графе», по вертикали – доля инфицированных узлов.

Во всех случаях предполагалась «тороидальная» метрика пространства узлов «геометрического» графа [2]. Все эксперименты выполнялись на $N=100$ прогонах с доверительной вероятностью $P_{\text{дов}}=0.95$, относительная ошибка результата не превысила $\epsilon_0=0.08$.

Промежуточные сценарии поведения эпидемий нуждаются в отдельных исследованиях.

Литература

1. Климентьев К.Е. Компьютерные вирусы и антивирусы: взгляд программиста. – М.: ДМК-Пресс, 2013. – 656 с.
2. Климентьев К.Е. Случайные графы как модель среды распространения и взаимодействия саморазмножающихся объектов // В сб.: «Известия Самарского научного центра РАН», Том 17, №2(5). – Самара, изд-во СНЦ РАН, 2015. – С. 1021-1025.



3. Nekovee M. Worm Epidemic in Wireless Ad-hoc Networks // New Journal of Physics, vol. 9, 2007. – Pp. 189-200.

4. Draief M., Ganesh A. A random walk model for infection on graphs: spread of epidemics & rumours with mobile agents, - VALUETOOLS'09: Proc. of Fourth Intl. ICST Conf. On Performance Evaluation Methodologies and Tools, Art. 34. – Brussels, Belgium, 2009.

5. Кочкаров А.А., Сенникова Л.И. Метрические характеристики динамических графов и их применение // В журнале «Новые информационные технологии в автоматизированных системах», вып. 18, 2015.

А.П. Котенко^{1,2}, Д.А. Пшенина², С.Д. Туровец²

ПОЛУЧЕНИЕ СТАНДАРТИЗОВАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДУКЦИИ ПРИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

(¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, ²Самарский государственный технический университет)

Многие производственные процессы характеризуются неустойчивыми колебаниями параметров сырья и технологических процессов. В большинстве случаев невозможно отследить такие флуктуации и отреагировать необходимым образом. Поэтому на выходе отслеживаются лишь усреднённые статистические характеристики готовой продукции. Если они попадают в допустимые стандартами пределы, считается, что технология отлажена. Кроме того, ряд таких целевых показателей меняются противоположно друг другу: улучшение одной характеристики влечёт ухудшение другой и наоборот. В этом случае управляющие воздействия требуют тонкой отладки и минимальных лагов запаздывания.

Подобные технологии обычны, например, для нефтепереработки, когда сырьё поступает с разных месторождений нефти и имеет значительный разброс и нестабильность характеристик [2]. Выходные (результатирующие, целевые) параметров продукции можно исследовать статистически, однако идентификация параметров соответствующих линейных либо нелинейных регрессионных уравнений не позволяет узнать, как подобрать управляющие технологические факторы для гарантированного попадания конфликтующих целевых критериев в заданную стандартами область?

В этой ситуации предложим следующую математическую модель задачи [1]. Идентифицируем параметры (структурные коэффициенты) системы $AU=BX$ линейных (линеаризованных) взаимозависимых регрессионных уравнений (структурная форма модели – СФМ):



$$\begin{cases} y_1 = a_{12}y_2 + a_{13}y_3 + a_{14}y_4 + \dots + a_{1,k-1}y_{k-1} + a_{1k}y_k + b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1n}x_n + \varepsilon_1, \\ y_2 = a_{21}y_1 + a_{23}y_3 + a_{24}y_4 + \dots + a_{2,k-1}y_{k-1} + a_{2k}y_k + b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2n}x_n + \varepsilon_2, \\ y_3 = a_{31}y_1 + a_{32}y_2 + a_{34}y_4 + \dots + a_{3,k-1}y_{k-1} + a_{3k}y_k + b_{31}x_1 + b_{32}x_2 + \dots + b_{3n}x_n + \varepsilon_3, \\ \dots \\ y_k = a_{k1}y_1 + a_{k2}y_2 + a_{k3}y_3 + \dots + a_{k,k-1}y_{k-1} + a_{kk}y_k + b_{k1}x_1 + b_{k2}x_2 + \dots + b_{kn}x_n + \varepsilon_k. \end{cases}$$

Здесь предполагается, что от исходного (натурального) масштаба показателей совершён переход к стандартизованному масштабу, что объясняет отсутствие свободных членов регрессионных уравнений.

Практически всегда применение метода наименьших квадратов (МНК) к отдельным уравнениям системы СФМ даёт несостоятельные точечные оценки структурных коэффициентов по заданной выборке. Применим поэтому косвенный МНК (КМНК): выразим структурные коэффициенты через коэффициенты приведённой формы модели (ПФМ)

$$\begin{cases} y_1 = \delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \dots + \delta_{1n}x_n + \omega_1, \\ y_2 = \delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \dots + \delta_{2n}x_n + \omega_2, \\ \dots \\ y_k = \delta_{k1}x_1 + \delta_{k2}x_2 + \dots + \delta_{kn}x_n + \omega_k. \end{cases}$$

Выборочные приведённые коэффициенты находятся с помощью МНК и при обычных предположениях дают состоятельные точечные оценки соответствующих приведённых коэффициентов генеральной совокупности.

Таким образом, задача сводится к идентификации выборочных структурных коэффициентов СФМ по приведённым.

Подстановка идентифицированных приведённых регрессий в структурные уравнения позволяет приравнять коэффициенты при независимых (экзогенных) переменных и получить необходимую систему линейных неоднородных алгебраических уравнений (СЛАУ). Данная СЛАУ имеет общий вид, так как число уравнений и число неизвестных для каждого уравнения СФМ в общем случае произвольны (а также могут меняться от одного уравнения к другому). Возможные следующие случаи [1]:

- *точная идентифицируемость* – структурные коэффициенты определяются по приведённым алгебраически однозначно,
- *неидентифицируемость* – существует бесконечное количество алгебраических решений (т.е. статистически равноценных),
- *сверхидентифицируемость* – противоречивая алгебраическая система имеет единственное наилучшее в смысле МНК решение (статистически однозначное).

Специальным подбором нулевых структурных коэффициентов можно добиться точной идентифицируемости всех уравнений СФМ.

Результатом идентификации структурных коэффициентов является система линейных уравнений $AU=BX$, связывающих вектор X управляющих (экзогенных) регрессоров с вектором Y результирующих (эндогенных) параметров продукции.