



УДК 004.94

Кондратьев Михаил Александрович

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНЕ: МНОГОАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГРИППА

Аннотация

В статье представлен агентный подход к имитационному моделированию как новый способ моделирования эпидемических процессов. Такой подход позволяет решить разнообразные задачи как в медицине, так и в других нетехнических областях знаний. С его помощью в среде AnyLogic 6 реализована компьютерная имитационная модель, позволяющая выполнить оперативный прогноз заболеваемости гриппом на основе текущих статистических данных.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентный подход, моделирование эпидемий, распространение заболевания, AnyLogic.

Современное общество стоит перед проблемой управления системами, сложность которых постоянно растет. Все отмеченное выше требует изыскания альтернативных методов и средств, позволяющих осуществлять качественное оперативное управление сложными системами.

Таким альтернативным путем служит имитационное моделирование [1], которое становится основополагающим средством поддержки принятия решений, касающихся сложных систем.

Имитационная модель (далее ИМ), в отличие от классических моделей, может включать в себя не только систему уравнений, но и некоторые правила (алгоритмы, которые могут быть представлены в различной форме – например, карт состояний), определяющие поведение исследуемой системы во времени (в какое состояние система перейдет в будущем из заданного текущего

состояния). Такие правила могут дополнять систему уравнений или, в крайнем случае, могут ее полностью заменять. Как правило, ИМ – это компьютерная программа, которая описывает структуру и воспроизводит поведение реальной системы во времени [1]. ИМ позволяет получать подробную статистику о различных аспектах функционирования системы в зависимости от входных данных.

Анализ имитационной модели сводится к оценке статистических результатов, полученных с помощью постановки экспериментов на ней – исполнению («прогону») модели во времени, как правило, многократному (обычно с использованием специального программного обеспечения) с целью определения зависимости поведения системы от входных данных (получения статистических оценок искомых характеристик).

Сегодня имитационное моделирование используется не только в технических областях. Наиболее широко применимым мож-

© Кондратьев М.А., 2011

но считать агентное (многоагентное, мультиагентное) моделирование – последнее достижение в области компьютерного имитационного моделирования [2]. Существует множество определений понятия агента и агентного подхода к моделированию. Общим во всех этих определениях является то, что агент – это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами. Агентные модели используются для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами, а наоборот, эти глобальные правила и законы являются интегральным результатом индивидуальной активности множества агентов.

Применим агентный подход к решению классической медицинской задачи – прогнозированию развития эпидемии. Прогнозирование динамики распространения заболевания позволяет разработать и применить адекватные меры противодействия, обеспечить рациональное использование материальных и людских ресурсов. Качественный прогноз распространения заболевания достижим только на основе адекватных математических моделей. Рассмотрим сущность агентного подхода к имитационному моделированию на примере модели развития эпидемии гриппа А.

Грипп выбран в качестве исследуемого заболевания по двум причинам. Во-первых, грипп – главная составляющая инфекционной заболеваемости и смертности по всему миру. В условиях постоянной опасности возникновения новой пандемии гриппа изучение эпидемий гриппа и способов борьбы с ними чрезвычайно актуально. Во-вторых, грипп А является хорошо изученным заболеванием, известны возможные формы его протекания, способы передачи вируса. Помимо этого, существует подробная статистика заболеваемости гриппом в случае различных его эпидемий, которая может быть использована для калибровки и проверки корректности модели.

Построим многоагентную модель распространения гриппа А на территории одного города (или района), которая будет отражать только ординарные («сезонные») эпидемии гриппа. Модель должна отображать число больных гриппом А в каждый момент модельного времени – в любой выбранный день определенного года. Для этого исходные данные модели должны учитывать эпидемическую обстановку в городе в начальный момент модельного времени.

Цель построения модели – получение оперативного (на несколько недель вперед) прогноза развития эпидемии в городе на основе текущих статистических данных заболеваемости. Кроме того, такая модель должна позволять проводить анализ распространения заболевания в условиях различных административных воздействий на развитие эпидемии.

В рамках агентного подхода введем в модель активные объекты – так называемые «агенты», которые будут характеризовать поведение одного человека, принадлежащего к одной из групп. Основным параметром человека, определяющим его поведение, является возраст. Выделим 7 возрастных групп: 0–2 года, 3–6 лет, 7–14 лет, 15–24 лет, 25–39 лет, 40–64 лет, 65 лет и старше. Число агентов каждой возрастной группы в модели определяется демографическими данными по моделируемой территории (город, район и т. д.). Возрастная группа человека характеризует такие важные факторы, определяющие вероятность заболевания, как количество контактов с другими людьми в день, а также возможные места пребывания человека (школа, работа и т. д.).

В модели определим два основных типа объектов – агенты и локация. Локация – это объект, моделирующий возможное местонахождение агента. Каждый агент ежедневно, согласно своему внутреннему расписанию событий, проводит определенное время в различных локациях. Например, агент от 7 до 14 лет может посещать такие локации как «дом», «школа» и «транспорт». Выделим 8 типов локаций: дом, детские ясли, детский сад, школа, внешкольные занятия, вуз (а также средние профессиональные учебные за-

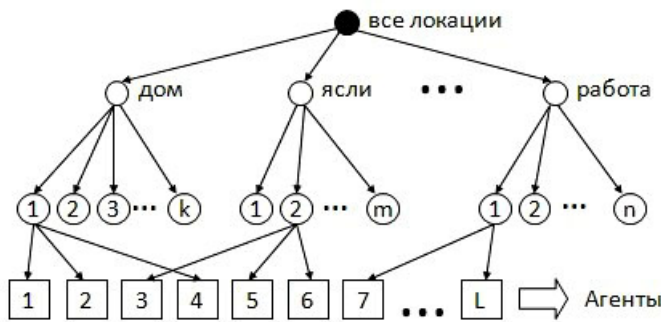


Рис. 1. Структура окружающей среды модели

ведения и проч.), работа, общественный транспорт. При необходимости этот список может быть пополнен. Количество различных мест пребывания каждого типа в модели определяется на основе общего количества агентов в модели и средней численности группы агентов, обычно посещающей данную локацию. Например, средний размер класса в школе – около 25 человек. Тогда, если в модели 100 агентов от 7 до 14 лет, они будут посещать 4 класса. Следует отметить, что распределение агентов по всем локациям (кроме общественного транспорта) фиксировано (то есть школьник каждый день ходит в один и тот же класс, студент – в один и тот же вуз и т. д.). Все множество локаций образует окружающую среду для агентов (см. рис. 1).

Опишем основные этапы протекания заболевания у агента. Для представления этого процесса в модели использован стейтchart (см. рис. 2). Стейтчарты (UML Statecharts, ведущие свое происхождение от карт состояния Харелла) являются распространенным

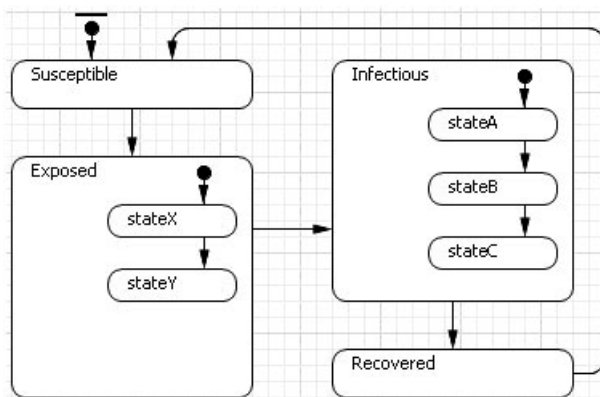


Рис. 2. Протекание заболевания у агента

формализмом, используемым в средах дискретно-событийного моделирования для задания последовательности событий.

В каждый момент времени любой агент находится в одном из следующих состояний:

- «Susceptible» – агент здоров и восприимчив к заболеванию;
- «Exposed» – заболевание у агента находится в инкубационном периоде;
- «Infectious» – агент болен и может заразить других агентов;
- «Recovered» – агент переболел моделируемым заболеванием и более не восприимчив к нему.

Состояния «stateX» и «stateY» введены, чтобы промоделировать стадии инкубационного периода, пока больной не заразен («stateX»), и то время, когда он уже может заражать других агентов («stateY»). Состояния «stateA», «stateB» и «stateC» моделируют постепенное снижение способности к распространению заболевания по мере выздоровления агента.

Переходы между всеми состояниями, кроме перехода из «Susceptible» в «Exposed», осуществляются по таймауту. Все таймауты параметрически настраиваемы под моделируемый вид заболевания. Так как рассматриваемая модель ориентирована на грипп А, агент проводит в состоянии «Exposed» в среднем от 1 до 3 дней, в состоянии «Infectious» от 6 до 8 дней, в состоянии «Recovered» около 4 недель.

Переход из состояния «Susceptible» в «Exposed» происходит в случае передачи заболевания от одного агента к другому, которая может произойти в результате события «контакт». Это событие вызывается с определенной интенсивностью больными агентами (находящимися в состояниях «stateY» или «Infectious»). При «контакте» заболевание может быть передано с определенной вероятностью только здоровому агенту (в состоянии «Susceptible»), находящемуся в той же самой локации, что и больной агент. Вероятность передачи заболевания зависит

от многих факторов, в том числе от стадии заболевания больного агента, времени года в модели (погодных условий) и проч.

Общая структура описанной модели изображена на рис. 3. Множество объектов типа «агент» и «локации» взаимодействуют друг с другом с помощью корневого объекта, несущего преимущественно вспомогательные функции. В модели можно выделить четыре основных вида событий (динамики). Большая их часть порождается агентами, это:

- 1) события перемещения агента между локациями;
- 2) события, связанные с протеканием заболевания у агента;
- 3) событие «контакт», порождаемое больным агентом.

Кроме того, ряд событий, связанный со сменой времени года и соответствующими сезонными изменениями в параметрах модели, порождается корневым объектом. В нотации UML корневой объект модели и агенты являются активными объектами.

К сожалению, многоплановость и объемность проделанной работы не позволяют рассмотреть всю модель достаточно подробно в рамках одной статьи. Описанная многоагентная модель распространения гриппа была реализована в среде моделирования AnyLogic 6. Была проведена ее успешная калибровка и проверка корректности. Для этого были использованы статистика заболеваемости гриппом и ОРВИ в Санкт-Петербурге за последние несколько лет, полученная от НИИ гриппа из лаборатории эпидемиологии гриппа. Разработанная модель позволяет выполнить достаточно точный краткосрочный прогноз развития сезонной эпидемии гриппа А. На рис. 4 представлен внешний вид получаемого прогноза (широкая серая линия – результат численного эксперимента, тонкая черная линия – реально полученная статистика заболеваемости за соответствующий период времени).

Модель распространения гриппа – стохастическая модель, что позволяет наилучшим образом учесть вероятностную природу эпидемических процессов. На динамику

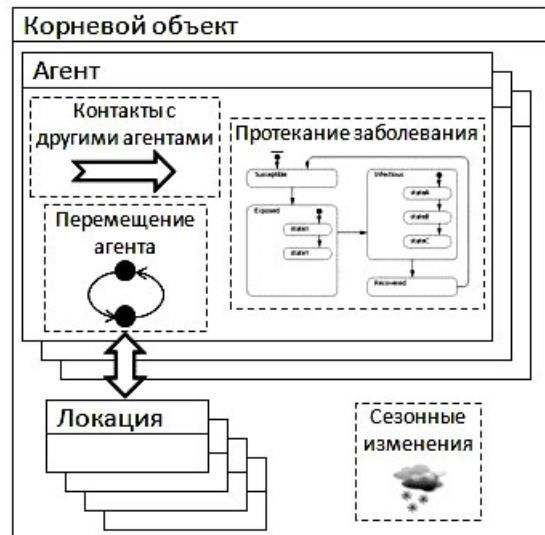


Рис. 3. Структура агентной модели распространения гриппа

развития этих процессов влияет множество случайных факторов, приводящих к тому, что в общем случае мы наблюдаем случайный процесс распространения заболевания. Пренебрегая этим, можно получить грубые или ошибочные оценки ресурсов, необходимых для проведения противоэпидемических мероприятий [4]. Стохастические имитаци-

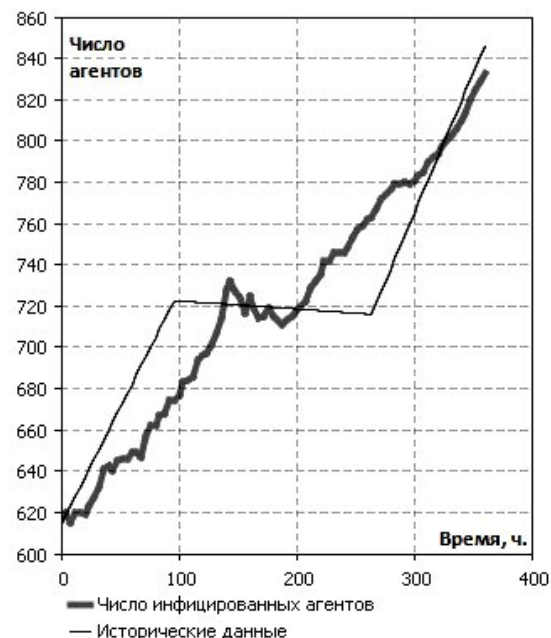


Рис. 4. Пример прогноза, полученного с помощью агентной модели распространения гриппа

онные модели не только учитывают все необходимые случайные факторы, но и позволяют оценить риски возникновения определенной ситуации на основе многократного прогона модели. Так, описанная модель позволяет рассчитать риск получения определенного экономического ущерба от развития эпидемии.

Приведенная выше модель – один из примеров возможного применения агентного

имитационного моделирования в медицине. Такая модель может быть легко скорректирована для моделирования распространения не только гриппа, но и других инфекционных заболеваний. Активное развитие программных сред разработки моделей и имитационного моделирования в целом позволяет использовать его практически в любой сфере, требующей принятия обоснованных решений.

Литература

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
2. Борцев А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta Pro. Математика в приложениях, 2004. № 3–4. С. 38–47.
3. Паринов С.И. Новые возможности имитационного моделирования социально-экономических систем // Искусственные сообщества, 2007. Т. 2, № 3–4. С. 26–61.
4. Бородулин А.И., Десятков Б.М., Шабанов А.Н., Ярыгин А.А. Статистическая модель эпидемического процесса // Сибирский журнал индустриальной математики, 2007. Т. 10, № 2. С. 23–30.

Abstract

The paper represents an application of agent-based approach for simulation modeling as the new way to create epidemic models. Such approach can be used to solve various problems in healthcare and other nontechnical fields of knowledge. The AnyLogic 6 agent-based computer simulation model of the influenza spreading was created. The model allows making a short-range sickness rate forecast based on current morbidity statistics.

Keywords: simulation modeling, agent-based simulation, epidemic models, disease spreading, AnyLogic.



Наши авторы, 2011.
Our authors, 2011.

Кондратьев Михаил Александрович,
аспирант кафедры распределенных
вычислений и компьютерных сетей
СПбГПУ,
mikhail.a.kondratyev@gmail.com