

Гнатюк А.Б. Моделирование диффузионных процессов при решении задач пространственной экономики с помощью клеточных автоматов [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2014. – № 6(22). Режим доступа http://iea.gostinfo.ru/files/2014_06/2014_06_04.pdf

УДК 681.3.06

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЭКОНОМИКИ С ПОМОЩЬЮ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Гнатюк А.Б. ФГБОУВПО «Ивановский филиал Владимирского юридического института ФСИН России», Иваново, Россия.

***Аннотация.** Проведенные исследования показали, что для моделирования диффузионных процессов при решении задач пространственной экономики необходимо учитывать переменные свойства территории, по которой происходит распространение влияния объектов. Наиболее технологично это можно осуществить путем использования клеточных автоматов, так как это позволяет единообразно представлять как сами источники влияния, так и переменные свойства среды распространения. Разработанный метод перспективен для исследования динамики пространственного распространения разнородных процессов, что позволяет решать задачи территориального размещения отдельных предприятий и производственных комплексов.*

Ключевые слова: пространственная экономика, диффузионные процессы, метод клеточных автоматов, растровый формат представления данных.

MODELING OF DIFFUSION PROCESSES IN SOLVING THE TASKS OF SPATIAL ECONOMY BY MEANS OF CELLULAR AUTOMATA

Gnatyuk A.B.: Ivanovo Branch of Vladimir Juridical Institute, Ivanovo, Russian Federation

***Abstract.** The research showed that, for modeling diffusion processes in solving the tasks of spatial economy it is necessary to take into account the variable properties of the territory, on which is the spread of the influence of objects. The most technically this can be done by use of cellular automata, since it allows represent consistently both the sources of influence and the variable properties of the propagation environment. The developed method is promising to study the dynamics of the spatial distribution of heterogeneous processes, which*

allows solve problems of territorial arrangement of individual enterprises and industrial complexes.

Key words: spatial economics, diffusion processes, the method of cellular automata, raster data format.

В пространственной экономике и, в частности, теории размещения самостоятельное значение имеют исследования процессов распространения по территории различных экономических инноваций (новых видов продукции, технологий, организационного опыта и т.п.). Наиболее часто эти исследования базируются на теории пространственной диффузии инноваций, начало которой в 50-е годы прошлого века положила теория «географии времени» (timegeography), описывающая процесс, как рожденная в центре инновация двигается в пространстве [1].

Известны два основных типа диффузии инноваций. Первый – диффузия через распространение (expansion). В этом случае число носителей инновации и площадь инновационной территории постепенно растут. Второй тип носит название диффузии через перемещение (relocation). В этом случае носители инновации перемещаются из одного места в другое и создают новые центры инновационной активности [2, 6]. Такие диффузионные процессы имеют много общего с пространственным распространением различного рода физических процессов, например, распространением загрязнения воздушной и водной сред, распространением пожара и т.п. Общим является также то, что при моделировании пространственного распространения следует учитывать не только свойство самого явления или процесса, но, очевидно, и свойства или контекст территории, на которую оказывают физическое или виртуальное влияния определенные объекты. Например, при моделировании распространения пожара, такие объекты как болота, водоемы, пустыри или лесистая местность, будут по-разному реагировать на источник пожара. [2] Какие-то части территории будут нести в себе функцию определенной прозрачности для источника влияния, а некоторые будут иметь характеристику стопроцентного препятствия.

Аналогично, при изучении диффузии социально-экономических инноваций скорость распространения инноваций зависит от вязкости среды, ее восприимчивости к инновациям. Существуют барьеры диффузии, которые не пропускают инновации. [2, 6]

При решении задач рационального размещения предприятий и производственных комплексов, особенно на микроуровне, необходимо учитывать одновременно большое количество социально-экономических, природно-экологических и технических факторов, в том числе их пространственное распространение как от внешних по отношению к предприятию объектов, так и влияние самого предприятия на окружающую экологическую и экономическую среды. Учитывая общность характеристик распространения и необходимость при принятии решения по размещению производственных комплексов одновременного рассмотрения различных факторов, необходимо создание достаточно универсальной технологии моделирования процессов диффузии. Пространственный характер процессов диктует применение для моделирования геоинформационных технологий.

Геоинформационные системы (ГИС) могут работать с двумя существенно отличающимися типами моделей – векторными и растровыми. В векторной модели информация представляется в виде набора координат X, Y объектов. Векторная модель особенно удобна для описания положения объектов. Растровая модель территории – это набор множества элементарных участков – клеток. Каждая клетка – это, как правило, квадрат, представляющий определенную часть территории размером $l \times l$. Размер клеток l определяется спецификой задачи пространственного анализа. Он должен быть таким, чтобы отобразить все детали, необходимые для анализа данных [3]. Когда при анализе свойств территории требуется моделировать диффузионные процессы, то растровые модели выходят на первое место.

Так как территория разбивается (квантуется) на элементарные участки, то для моделирования распространения влияния целесообразно использовать технологию клеточных автоматов, понятие которых было введено в конце

сороковых годов Джоном фон Нейманом [4]. В клеточных автоматах состояние каждой клетки определяется состоянием только ее ближайших соседей. Это идея берется за основу, но для решения рассматриваемых задач требуется значительная модификация метода клеточных автоматов.

Клеточные автоматы являются стилизованными, синтетическими мирами, определяемые простыми правилами подобно правилам настольной игры. Пространство представлено равномерной сеткой, каждая клетка которой содержит несколько битов данных; время идет дискретными шагами, а законы пространственного распространения выражаются единственным набором правил, например, в виде справочной таблицы, по которой любая клетка на каждом шаге вычисляет свое новое состояние по состояниям ее близких соседей.

В общем случае клеточные автоматы обладают следующими свойствами:

- изменения значений всех клеток происходят одновременно после вычисления нового состояния каждой клетки решетки;
- решетка однородна: невозможно различить какие-либо две области решетки по ландшафту;
- взаимодействия локальны, лишь клетки окрестности (как правило, соседние) способны повлиять на данную клетку;
- множество состояний клетки конечно.

Применение клеточного автомата для моделирования диффузионных процессов заключается в присвоении ячейке определенного набора параметров, влияющих на ее дальнейшее поведение при построении модели. Любая ячейка может быть как источником влияния при моделировании пространственных распространений, так и объектом, препятствующим этому распространению. [4, 6]

В динамике, при построении модели пространственного распространения методом клеточных автоматов на состояние каждой ячейки в данный момент времени влияет лишь состояния окружающих ее ячеек.

Благодаря этому появляется возможность получить достаточно гибкую и универсальную модель пространственного анализа диффузионных процессов. Для практической реализации модели пространственного распространения наиболее удобно использовать объектно-ориентированный подход. [6]

Объектно-ориентированный подход при разработке программного алгоритма работы клеточного автомата состоит в следующем. На растровую модель территории – электронную карту, приведенную к относительным координатам, накладывается сетка определенного масштаба. Масштаб может изменяться произвольно, в зависимости от тех или иных факторов таких, как масштаб самой растровой карты, необходимая точность в детализации модели пространственного распространения и т.п. Сетка имеет мнимые границы, или другими словами, физическая толщина границ между клетками равна нулю. [6]

Программно клетка реализуется как отдельный класс, с набором полей, определяющих физические характеристики клетки как части реального географического объекта на местности, и набором методов, определяющих поведение данной клетки в зависимости от состояния ее ближайших соседей [6]. Таким образом, в качестве начальных данных для построения конечной модели пространственного распространения служит двумерный массив, каждый элемент которого – это клетка с заданными начальными параметрами. Объекты на плоскости, будь то источник влияния, или же препятствие для распространения влияния, могут иметь произвольную форму.

Для реализации алгоритма моделирования в программе описаны следующие данные: слой объектов – источников пространственного влияния, слой препятствий, размеры области расчета, шаг координатной сетки. [4 – 6]

Источники пространственного влияния описываются следующим набором параметров и характеристик:

$$M_i = \langle X_i, Y_i, S_{0i}, F_i, \varepsilon \rangle,$$

где X_i, Y_i - координаты местоположения; S_{0i} - начальное значение фактора пространственного влияния; F_i - функция пространственного распространения (влияния); ε - допустимая ошибка расчетов.

Функция пространственного распространения определяет закон распространения фактора S_i от i -той клетки к соседней j -клетке:

$$S_{ij} = S_i F_i(l_{ij}).$$

Наибольшее применение имеют 4 модели распространения: линейная -

$$F_i = 1 - l_{ij} \quad ; \quad \text{квадратичная} \quad - \quad F_i = 1 - l_{ij}^2 \quad ; \quad \text{параболическая} \quad F_i = 1 - \frac{1}{r_{ij}} \quad ;$$

нормального закона - $F_i = e^{-k^2 l_{ij}^2}$. В тех случаях, когда влияние от клетки к клетке возрастает, в функциях пространственного распространения знак минус изменяется на плюс. Функции пространственного распространения могут определяться не только аналитически, но и табличным способом.

В слое препятствий или среды распространения каждой клетке присваивают коэффициент прозрачности k_j . При $k_j > 1$, процесс диффузии усиливается, при $k_j < 1$ – ослабляется вплоть до полной «непрозрачности», когда $k_j = 0$.

Скорость распространения диффузии моделируется путем изменения времени перехода клетки в новое состояние под действием соседней клетки:

$$V_{ij} = \frac{l_{ij}}{n_{ij}T},$$

где n_{ij} – число тактов задержки передачи влияния от i -той клетки к соседней j -клетке, T – период квантования, задаваемый в зависимости от самой большой скорости диффузии, которая, очевидно будет при $n_{ij} = 1$.

Для реализации изложенного метода моделирования разработан программный модуль, расширяющий возможности инструментальной ГИС ArcView. Языком программирования выбран C++, среда разработки MS

Visual C++. Текущая версия программы обладает следующими возможностями: [6]

- задание размеров исследуемой области, размер задается в элементарных участках – клетках;
- задание размера элементарного участка (размера клетки);
- расчет областей влияния от точечных объектов;
- расстановка, удаление, и перемещение объектов в пределах исследуемой области;
- изменение свойств каждого объекта: установка начальной величины фактора влияния;
- задание вида функции влияния;
- расстановка коэффициентов прозрачности отдельных участков территории или установка препятствий;
- одновременная работа с несколькими моделями. [6]

В программе реализованы 4 модели распространения загрязнения: линейная, квадратичная, параболическая, и нормальный закон влияния [6]. Добавление новой модели влияния для точечного объекта не вызывает сложностей, необходимо только описать соответствующую функцию и перекомпилировать программу.

Практическое применение разработанного метода моделирования и расчета распространения загрязнения воздушного бассейна города от стационарных источников (отопительных котельных и ТЭЦ) показал высокое быстродействие и требуемую точность [5]. Динамика процесса моделировалась величинами временного такта передачи свойств от текущих ячеек соседним. Разработанный метод перспективен для моделирования процессов диффузии различной природы и различных масштабов и организации параллельных вычислений.

Проведенные исследования показали, что для моделирования диффузионных процессов при решении задач пространственной экономики необходимо учитывать переменные свойства территории, по которой

происходит распространение влияния объектов. Наиболее просто и технологично это можно осуществлять путем использования клеточных автоматов, так как позволяет единообразно представлять как сами источники влияния, так и переменные свойства среды распространения. Разработанный метод перспективен для исследования динамики пространственного распространения разнородных процессов в комплексе, что позволяет решать задачи территориального размещения как отдельных предприятий, так и производственных комплексов.

Список использованных источников и литературы

1. T. Hagerstrand. Diffusion of Innovation as The Arial Process. L, 1954.
2. Гуриева Л.К. Концепция диффузии инноваций // Инновации.2005. № 4.
3. Гнатюк А.Б. Частотный метод пространственного квантования моделей свойств территории Вестник ИГЭУ, - Иваново, 2004, Вып. 4.
4. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991.
5. Гнатюк А.Б. Оценка загрязнения воздушного бассейна в окрестности промышленных предприятий методами геомоделирования // Экологические системы и приборы. № 8, 2010.
6. Гнатюк А.Б., Момот Д.В., Русов В.В. Перспективы применения клеточных автоматов в геоинформационных системах для пространственного анализа – Кострома: КГТУ, 2011.

© Гнатюк А.Б. 2014