

## ВЕКТОРНО-РАСТРОВЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ТЕРРИТОРИИ

А.Б. ГНАТЮК, канд. техн. наук

Рассмотрены способы построения векторно-растровых моделей, используемых в пространственном моделировании свойств территории. Предложено использовать теорию клеточных автоматов для учета препятствий распространению влияний от объектов рассматриваемой территории.

*Ключевые слова:* объекты и факторы территориального влияния, модели пространственного влияния, клеточные автоматы.

## VEKTOR-RASTER MODELS OF AN ESTIMATION OF TERRITORY PROPERTIES

A.B. GNATYUK, candidates of science

Ways of construction of the vektor-raster models used in spatial modeling of properties of territory are considered. It is offered to use the theory of cellular automatic machines for the account of obstacles to distribution of influences from objects of considered territory.

*Key words:* objects and factors of territorial influence, model of spatial influence, cellular automatic machines.

Существуют различные методы пространственного анализа и моделирования, которые используются для того, чтобы учесть огромное количество факторов, определяющих свойства территории. Эти методы постоянно развиваются и совершенствуются. Общим для них является то, что свойства территории определяются в основном теми объектами, которые находятся на самой этой территории или поблизости. Этот достаточно очевидный факт позволяет рассмотреть методику определения различных свойств территории путем расчета и наглядного картографического представления интегрального влияния объектов на эту территорию.

Очевидно, что влияние объектов на прилегающую территорию в рассмотренной ниже модели может быть физическим (освещенность, задымленность, зашумленность и т.д.) и виртуальным, опосредованным социально-экономическими факторами. Это влияние можно рассчитать и представить на географически наглядном языке в виде рельефа или поверхности. Такие модели в литературе по геоинформатике называются *статистическими рельефами* или *поверхностями* [1].

В общем случае пространственно-определенная (локализованная) поверхность или рельеф – это представление свойств территории значениями высот в точках, определяемых координатами X, Y. Эти точки наиболее удобно определить как центральные или угловые точки элементарных участков, на которые разбивается исследуемая территория. Величины высот в каждой точке территории будут зависеть от вида и характера влияния объекта на прилегающую территорию. Выражение, заданное аналитически или таблично, определяющее влияние объекта на заданную территорию, называется *функцией пространственного влияния*.

Для определения свойства произвольной точки территории через функцию влияния на эту точку объектов, находящихся на данной территории, целесообразно использовать в единой технологии моделирования растровые и векторные форматы пространственных данных [2]. При этом пространственное положение объектов дается в векторном формате, а получаемые оценочные свойства территории – в растровом формате. Такое объединение достигается посредством функций влияния объектов на элементарные участки множества W, покрывающие рассматриваемую территорию. Множество W – это множество, представляющее отдельную часть территории в растровом виде.

Функция влияния может быть представлена аналитически или в виде массива чисел, задающего эту функцию в табличном виде. Для точечных и линейных объектов функция влияния определяется четырьмя переменными:

$$S_{ij} = f(S_i, R_i, r_{ij}, \alpha_{ij}), \quad (1)$$

где  $S_{ij}$  – свойство элемента множества W от влияния  $j$ -го объекта;  $S_i$  – физически измеряемая или оценочная величина (весовой фактор) свойства объекта в точке (или точках) его пространственного положения;  $R_i$  – диапазон влияния  $j$ -го объекта, т. е. расстояние, за пределами которого влиянием объекта можно пренебречь;  $r_{ij}$  и  $\alpha_{ij}$  – расстояние и направление между  $i$ -й точкой и  $j$ -м объектом.

По существу, текущее значение  $S_{ij}$  зависит от  $r_{ij}$  и  $\alpha_{ij}$ , а величины  $S_i$  и  $R_i$  являются параметрами функции  $f$ .

В случае, если объект точечный, тогда функция (1) графически представляется в виде возвышенности или впадины. Эти функции могут отражать физические процессы и явления или, например, социальные и экономические значения или экспертные предпочтения.

Задача общей оценки территории в наиболее простом случае заключается в том, чтобы просуммировать в каждой точке факторы

влияния от каждого из объектов на этой территории:

$$S_i = \sum_{j=1}^N S_{ij},$$

где  $N$  – число объектов.

Такое суммирование допустимо, когда величина  $S_{ij}$  имеет одинаковую размерность. В общем случае эта оценка имеет векторную форму. Для приведения оценки к единому показателю используем скалярную свертку

$$S_i = \sum_{j=1}^N k_j s_{ij},$$

где  $s_i$  – показатель оценки элемента  $w_i$  пространственного множества  $W$ ;  $k_j$  – размерный коэффициент значимости  $j$ -го объекта.

При переходе от векторной к растровой модели размеры элементарных участков  $w_i$  можно выбрать сколь угодно малыми, так как их свойства определяются через функции влияния объектов, которые могут не захватывать эту часть территории. Этим снимаются ограничения по точности построения пространственной модели.

Применение ГИС-технологии сводится к функциям определения расстояний  $r_{ij}$  и принадлежности элементарных участков  $w_i$  к площадным объектам. Все остальные функции моделирования могут быть реализованы стандартными вычислительными операциями, в том числе построением линий равного уровня и выделением зон, свойства которых лежат в определенных интервалах. Это исключает такие сложные операции, как оверлей, построение переменных буферных зон и др. [1].

На последнем этапе опять необходимо применение средств ГИС-технологии для визуализации результатов моделирования путем совмещения исходной цифровой карты с растровым изображением зон, на которые разбивается рассматриваемая территория. Зоны нагляднее всего представлять цветовой палитрой. Границы зон целесообразно оцифровывать в векторном формате. В результате исходная цифровая карта дополняется тематическим слоем границ зон.

Аналитические выражения вида (1) функций влияния получаются на основе физических законов, описывающих те или иные объективные процессы (например, распространение излучения), обработки статистических закономерностей (например, распространение положительного влияния на прилегающую территорию остановки общественного транспорта) или математической интерполяции экспертных оценок. *Функция пространственного влияния объектов ФПВО* или получаемая на ее основе *модель пространственного влияния объектов МПВО* может являться результатом описания достаточно сложных процессов (например, распространение выбросов из трубы ТЭЦ с учетом розы ветров).

Задача получения МПВО разделяется на следующие этапы:

1. Определение расстояния между текущими точками рассматриваемой территории и ближайшими точками, принадлежащими непосредственно самим объектам (расстояние  $r_{ij}$ , угол направления влияния  $\alpha_{ij}$ ).

2. Расчет в текущих точках величин функций влияния  $S_{ij}$  по аналитическому выражению или определение их по таблице. При этом из-за дискретности табличных данных применяется процедура интерполяции.

3. Построение трехмерного графика  $S_{ij} = f(r_{ij}, \alpha_{ij})$  в виде поверхности или рельефа.

4. Построение двумерного представления рельефа в виде линий равного уровня для наглядного представления на карте. Выражение для линии равного уровня определяется как  $S_{ij} = S^q$ , где  $S^q$  – постоянная величина, лежащая в пределах заданного интервала.

Следуя технологии получения растрового представления пространственных данных о свойствах рассматриваемой территории, она разбивается на элементарные участки  $w_{ij} = \Delta X_i * \Delta Y_i$  для получения сетки или множества элементарных участков  $W = \{w_{ij}\}$ , в пределах которых свойство территории считается неизменным. В этом случае текущие точки, от которых определяются расстояния до каждого из объектов, находящихся на исследуемой территории, должны задаваться по оси  $X$  и по оси  $Y$  с шагом  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ .

В связи с разбиением (квантованием) территории на элементарные участки для моделирования распространения пространственного влияния территориально распределенных объектов ниже рассматриваются особенности применения технологии клеточных автоматов [3].

В клеточных автоматах состояние каждой клетки определяется состоянием только ее ближайших соседей. В данном случае метод клеточных автоматов был значительно модифицирован. Исследуемую территорию можно представить как множество элементарных участков, которые и являются ячейками клеточного автомата. Клетки имеют дополнительные свойства: величина влияния в этой ячейке, расстояние от нее до объекта влияния, градиент величины влияния.

Состояние клетки определяется по состоянию ее соседей: если вокруг нет клеток, которые бы соприкасались с объектом влияния, то состояние клетки не меняется. Если же у одного из соседей установлен признак, что он соприкасается с объектом влияния, то выбирается сосед с минимальным расстоянием до объекта. После этого производится расчет текущей ячейки и устанавливается флаг, что расчет произведен. Программа, рассчитывая ячейки сетки, ведет подсчет пересчитанных ячеек. Окончание расчета объекта влияния

прекращается сразу, как только количество пересчитанных ячеек на новом шаге достигнет нуля или какого-то максимально допустимого значения, задаваемого до расчета. Расчет областей влияния производится для всех объектов влияния сразу. При расчете приняты следующие условия: все препятствия не прозрачны; все препятствия имеют бесконечную высоту; коэффициент отражения от любого препятствия равен нулю.

Для реализации алгоритма моделирования в программе описаны следующие данные: слои объектов влияния; слои объектов препятствий; размеры области расчета ( $n, m$ ); шаг координатной сетки.

Объекты влияния имеют следующие параметры: местоположение; функция влияния.

В свою очередь, функция влияния имеет такие параметры: величина влияния источника; радиус влияния; функция затухания влияния.

Препятствия в качестве параметров имеют только местоположение.

Функция затухания влияния определяет закон, по которому убывает влияние объекта по мере удаления от него. Например, функция линейного затухания, функция затухания по нормальному закону и др.

Блок-схема расчета одного фактора влияния приведена на рис. 1.

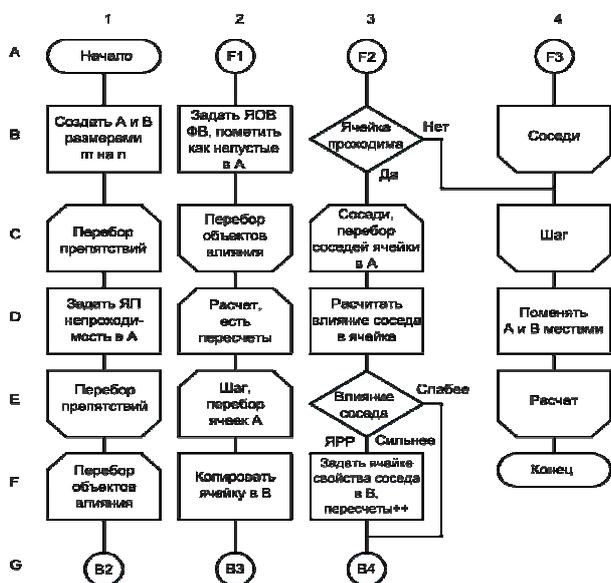


Рис. 1. Схема алгоритма вычисления влияния объектов: ЯП – ячейки препятствия; ЯОВ – ячейки объекта влияния; ФВ – функция влияния; ЯРР – ячейка не рассчитывалась ни разу

Приведенный на рис. 1 алгоритм использует две сетки. Первая сетка  $A$  обозначает состояние расчета на предыдущем шаге, а вторая  $B$  – на текущем шаге. Вначале выделяется память для сеток расчета. Затем, в цикле перебора препятствий, массив  $A$  заполняется препятствиями. Препятствия могут иметь любую форму.

Заполнение происходит следующим образом. Для всех ячеек, принадлежащих геометрической форме препятствия, устанавливается флаг, что каждая из них является ячейкой-препятствием (не проходима). В следующем цикле перебора объектов влияния в массив  $A$  похожим образом помещаются объекты влияния. Заполнение происходит следующим образом. Каждый объект влияния имеет геометрическую форму и функцию влияния. Для всех ячеек, принадлежащих геометрической форме объекта влияния, устанавливается функция влияния этого объекта влияния, расстояние до объекта влияния в каждой из этих ячеек устанавливается равным нулю и ячейки помечаются как не пустые. Таким образом, все помеченные ячейки играют роль первоисточников влияния. Далее, в цикле «Расчет» происходит повторение одного шага вычисления, пока количество пересчитанных ячеек не станет равным нулю или меньше заданного заранее максимального числа пересчетов.

В связи с тем, что при расчете все входные параметры берутся из массива  $A$ , а результат сохраняется в  $B$ , порядок перебора элементов этих массивов не имеет значения. Кроме того, этот перебор можно осуществлять несколькими вычислительными потоками одновременно, разбив сетки на непересекающиеся области, каждая из которых вычисляется отдельным потоком.

Клеточный автомат в алгоритме (рис. 1) включает блоки: F2, B3, C3, D3, E3, F3, B4. Это блоки, определяющие вычисление значения в каждой конкретной клетке.

Важной особенностью алгоритма расчета влияния с помощью клеточных автоматов является то, что влияние обладает свойством огибать препятствия.

К положительным сторонам метода можно отнести ряд важнейших качеств: форма источника влияния может быть сколь угодно сложной; форма препятствия распространению влияния может быть также сколь угодно сложной; влияние, распространяющееся от объектов влияния, огибает препятствия.

Первые два свойства позволяют обрабатывать наборы сложных геометрических данных, что делает данный метод универсальным по отношению к геометрии источников влияния и препятствий. Последнее свойство позволяет рассчитывать влияние от объектов с таким фактором влияния, как, например, шум.

В качестве примера применения созданной технологии было рассчитано распространение шума в городских условиях. Источниками пространственного влияния были взяты дороги, а препятствиями – здания. Очевидно, что шум не проходит сквозь здания, а огибает их. На магистральной дороге наблюдается самое интенсивное движение – ей задается более мощный уровень шума, чем примыкающей

дороге, а самый низкий уровень шума задается сквозным внутриквартальным дорогам.

Для сформулированных выше условий результаты работы программы приведены на рис. 2, где темным цветом отображен больший уровень шума, а светлым – минимальный уровень шума или его отсутствие.



Рис. 2. Результаты работы программы (распространение шума в городских условиях)

Анализ полученных результатов (рис. 2) показывает, что низкий уровень шума наблюдается либо на достаточном удалении от доро-

ги, либо в случаях, когда на пути распространения шума встречается достаточное количество строений (домов), удлиняющих путь его распространения за счет преграждения прямого пути распространения шума.

### Заключение

Векторно-растровые модели функций пространственного влияния позволяют значительно расширить возможности пространственного моделирования за счет учета препятствий распространению влияний от объектов рассматриваемой территории. Данные модели перспективны для организации параллельных вычислений.

### Список литературы

1. **Основы** геоинформатики: в 2 кн. / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. – М.: Изд. Центр «Академия», 2004. – 480 с.
2. **Тикунов В.С.** Моделирование в картографии: учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.
3. **Тоффоли Т., Марголюс Н.** Машины клеточных автоматов. – М.: Мир, 1991.

Гнатюк Анна Борисовна,  
Ивановский филиал Владимирского юридического института ФСИН России,  
кандидат технических наук, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин,  
e-mail: abg-07@mail.ru