***

E. V. Vetchanin, Junior Researcher, Udmurt State University
V. A. Tenenev, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Motion of drop-shaped and spherical bodies with variable mass geometry in viscous fluid

Numerical simulation is carried out for motion of drop-shaped and spherical bodies with variable geometry of masses on the basis of the joint solution of three-dimensional Navier-Stokes equations and Kirchhoff equations. It was found that the displacement of a drop-shaped body in a viscous liquid is greater than of a spherical one.

Keywords: mobile robots, numerical methods for fluid dynamics, unsteady motions, variable geometry of masses

Получено: 12.05.12

УДК 519.876.5

О. Т. Зубарева, аспирант;
Д. В. Груздев, ведущий программист;
И. В. Журбин, доктор исторических наук, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, заведующий лабораторией
Физико-технический институт УрО РАН

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАНИЦ И СТРУКТУРЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ [*]

Разработан метод моделирования ареала археологической культуры на основе оптимизации по комплексному критерию, который учитывает исторические и физико-географические факторы: типология древних поселений, их ранжирование, реконструкция системы хозяйства, особенности рельефа и конфигурация гидросети. Апробация проведена на примере Чепецкой археологической культуры (IX–XIII вв.).

Ключевые слова: моделирование, метод оптимизации, археологическая культура, рельеф, конфигурация гидросети

Введение

Археологическая культура является одним из фундаментальных понятий в археологии. Этот уровень обобщения предполагает объединение в одну систему всех археологических памятников, существовавших в определенный промежуток времени на определенной территории. Учитывая, что для изучения «дописьменных» культур существует лишь ограниченный набор источников (данные раскопок), при реконструкции ранних периодов истории актуально использование математического моделирования исторических процессов.

© Зубарева О. Т., Груздев Д. В., Журбин И. В., 2012

[*] Исследования выполняются в рамках Программы фундаментальных исследований Уральского отделения РАН, грант 12-М-26-2005.

Учитываемые факторы и исходные данные

Чрезвычайно важным направлением является оценка границы археологической культуры. При их моделировании целесообразно применять комплексный анализ исторических и физико-географических факторов.

Типология древних поселений достаточно очевидна: укрепленные (родоплеменные центры, посты и убежища) и неукрепленные поселения (селища). Родоплеменные центры играли роль военно-оборонительных и общественно-административных центров. Селища являлись ремесленными и сельскохозяйственными центрами. Совокупность поселений существовала как самодостаточная система с точки зрения экономики и защиты населения.

Иерархия археологических объектов позволяет определить структуру модели археологической культуры. Принято, что группа поселений контролировалась одним управленческим (родоплеменным) центром, вокруг которого происходило освоение территории и формирование новых поселений (расселение).

Взаимное положение поселений, вероятно, определялось не только возможностью управления и обеспечения безопасности населения, но и потребностями хозяйства. Следовательно, анализ ландшафта позволяет прогнозировать ресурсные зоны поселений. Исходя из этого, необходимо учитывать особенности рельефа и конфигурацию гидросети.

Апробация разработанной модели проводилась на примере Чепецкой археологической культуры, которая существовала в IX–XIII вв. н. э. в верхнем течении реки Чепцы на севере Удмуртии. В настоящее время известно 40 поселений. Ведущее место в средневековом хозяйстве северных удмуртов занимало земледелие и скотоводство. Очевидно, что эффективное ведение сельского хозяйства было возможно на равнинных орошаемых территориях.

Исходными данными для моделирования ареалов культуры являются:

– картографическая база данных средневековых археологических памятников Удмуртской Республики (предоставлена государственным учреждением культуры «Центр по эксплуатации и реставрации объектов культурного наследия», г. Ижевск);

– картографическая основа, включающая границы административного деления, населенные пункты, дороги и гидросеть по состоянию на 2007 г. (предоставлена ЗАО НТП «Ижтехинформ», г. Ижевск);

– рельеф изучаемой территории, представленный в виде матрицы высот с постоянным шагом 30 сек (ок. 92,6 м) в системе координат WGS-84 [6].

Методика моделирования

Моделирование ареалов распространения культуры основано на решении задачи оптимизации. С помощью модифицированного алгоритма оптимизации A* реконструируются области, геометрической моделью которых являются планарные объекты (ареал распространения культуры). Исходными точками для построения являются родоплеменные центры (точечный объект на карте). Построение производится по матрице высот рельефа и данных конфигурации о гидросети, которые определяют приоритетные области расселения. Учет этих параметров осуществляется на основе оценки трудозатрат при переходе из текущего узла равномерной квадратной сетки на местности в любой другой (трудоемкость пути). Оптимизация пути необходима для определения порядка присоединения узловых точек при построении планарных объектов.

Под стоимостью (трудоемкостью) пути понимается сумма трудозатрат на его преодоление. Она зависит от фактической длины пути и весового коэффициента (влияние рельефа и гидросети). Именно стоимость является основным параметром, который будет минимизироваться. Значительная группа алгоритмов поиска оптимального пути (например, метод поиска в ширину и алгоритм Дейкстры, Dijkstra's algorithm) не учитывают направления от начальной точки маршрута к конечной [1]. Последовательная обработка соседних узлов во всех направлениях обеспечивает минимизацию стоимости пути, но существенно увеличивает время поиска. Проблема малого быстродействия снимается при использовании двунаправленного поиска в ширину или эвристических алгоритмов (например, «лучший – первый») [4, с. 135–136]. Однако алгоритмы этой группы не учитывают накопленную трудоемкость, что необходимо для минимизации трудозатрат на прохождение пути. Для решения поставленной задачи наилучшим алгоритмом поиска оптимальных путей является A* [3, с. 70–80]. Этот эвристический поиск сортирует все узлы по приближению наилучшего маршрута, идущего через текущий узел. Таким образом, этот алгоритм сочетает в себе учет стоимости предыдущего пути из алгоритма Дейкстры с эвристикой из алгоритма «лучший – первый». Основным достоинством A* является его гибкость при вычислении трудоемкости пути, что принципиально в рамках рассматриваемого подхода. Данный алгоритм гарантированно находит оптимальный путь при условии его существования.

Определение стоимости (трудоемкости), в рамках задачи реконструкции путей, базируется на следующих предположениях. Перемещение от одной точки к другой требует определенных усилий. При передвижении по местности на пути встречаются естественные преграды, которые приходится обходить (горы, овраги, озера и пр.), и преграды, которые можно либо обойти, либо преодолеть (например, реки или небольшие возвышенности). Основное предположение заключается в том, что человек стремится минимизировать усилия для достижения своих целей. Конечно, дистанция – это существенная часть стоимости, но существуют и другие затраты. Например, путь через горы может быть самым коротким, но и одновременно самым трудным, т. е. кратчайший путь может иметь бóльшую стоимость, чем более длинный путь. Следовательно, стоимость f состоит из стоимости перемещения g от стартового узла до текущего (она может быть вычислена точно, так как путь от стартового узла до текущего известен) и h стоимости перемещения от текущего узла до конечного, которая оценивается с помощью специальной функции – эвристики:

$$f = g + h .$$

Чем удачнее выбрана эвристика, тем быстрее алгоритм найдет путь. В данной работе используется диагональная эвристика, которая учитывает движение по диагонали между клетками, что обеспечивает проверку наименьшего количества узлов. Вычисление h с учетом диагональной эвристики производится следующим образом:

$$h = \Delta x \cdot hc + (\Delta x - \Delta y)\, sc \text{, если } \Delta x < \Delta y ;$$

$$h = \Delta y \cdot hc + (\Delta y - \Delta x)\, sc \text{, если } \Delta x > \Delta y ;$$

$$\Delta x = |x_c - x_e| ,\ \Delta y = |y_c - y_e| ,$$

где x_c , y_c – координаты текущей точки; x_e , y_e – координаты конечной точки; sc – стоимость ортогонального шага; hc – стоимость диагонального шага.

Стоимость перемещения g зависит от расстояния между узловыми точками (l), угла уклона поверхности и водных преград, которые при этом могут быть преодолены, влияние которых определяется коэффициентами сложности рельефа (K_r) и сложности гидросети (K_h):

$$g = K_r \cdot K_h \cdot l .$$

Коэффициент K_r вычисляется на основе уклона земной поверхности и для каждого типа рельефа [2, с. 18] определяется за счет приведения диапазона углов уклона к диапазону допустимых значений коэффициентов (см. табл.). Алгоритм расчета определяет нелинейную зависимость между крутизной склона и затратами по его преодолению. Учитывая существенное увеличение затрат энергии при движении по склонам с крутизной более 25 градусов [5], участки территории, превышающие этот порог, в данной модели расселения рассматриваются как непреодолимые преграды. Значение коэффициента K_h изменяется в диапазоне от 50 до 100 в зависимости от условий их преодоления. По сути, K_h определяет анизотропию затрат на пересечение определенного участка местности: затраты на передвижение существенно отличаются при движении по течению, против течения или при пересечении реки.

Зависимость трудоемкости от типа рельефа

Тип рельефа	Угол уклона (град.)	Коэффициент сложности рельефа
Равнинный плоский	0,5	2
Равнинный волнистый	0,5–1	4
Равнинно-холмистый	1–4	17
Холмистый	4–7	29
Гористый	7–24	100
Горный	> 24	∞

На первом шаге работы алгоритма все узлы матрицы, смежные с начальным (родоплеменным центром), добавляются в открытый список. Затем считаются значения f для всех вновь добавленных узлов. Список сортируется по возрастанию, к построенной области присоединяется узловая точка, имеющая минимальное значение f. На втором шаге и далее в список добавляются все узлы, смежные с включенными узлами. Снова вычисляются значения коэффициента f включенных узлов, список сортируется и к области присоединяется первая узловая точка нового списка. Построение области продолжается до тех пор, пока расстояние по поверхности (с учетом крутизны склона) от начальной точки до точки, присоединенной к области на последнем шаге работы алгоритма, не достигнет априорно заданного значения. Ареалы всех родоплеменных центров строятся одновременно (многопоточные вычисления), поэтому возможна ситуация, когда последняя присоединенная точка текущей области оказывается смежной с точками, уже принадлежащими другой/другим областям. Тогда формируется граница между областями.

Пример моделирования границ и структуры Чепецкой культуры

Исходя из анализа расположения и площади укрепленных поселений, мощности их культурного слоя и количества линий оборонительных сооружений, предположительно, центрами расселений являлись Гординское I, Солдырское I и Кушманское городища. Максимальное расстояние от исходной точки (родоплеменного

центра) до границы планарного объекта (модели границы культуры) ограничивается длиной суточного перехода. Считается, что возможность контроля территории в древности существовала в пределах этого расстояния, которое по оценкам историков составляет 30–40 км.

Построение «зон влияния» центров расселения производилось одновременно от трех родоплеменных центров (рис.). На каждом шаге к существующим областям присоединялся участок территории, наиболее удобный с точки зрения ландшафта для ведения сельского хозяйства. В результате моделирования ареал Чепецкой археологической культуры представляет собой замкнутую область без разрывов, в которую попали 38 из 40 известных поселений (95 %).

Для проверки корректности построенных «областей влияния» центров расселения используется реконструкция конфигурации потенциальной экономической зоны вокруг каждого из селищ. Учитывая, что основными отраслями хозяйства средневекового населения на севере Удмуртии являлись земледелие и оседлое скотоводство, в качестве максимального расстояния расположения потенциальных пахотных угодий принята дистанция в 1 км от поселения, пастбищных – в 5 км. Постоянство данных параметров было показано на широком этнологическом материале и является основой для моделирования зон экономической активности представителей разнообразных археологических культур. Моделирование показало, что все потенциальные экономические зоны находятся в пределах территории распространения культуры в целом и не выходят за рамки «зон влияния» соответствующих родоплеменных центров.



Ареал распространения Чепецкой археологической культуры

Ограничения предложенного подхода к моделированию границ и структуры археологической культуры связаны с историческими и ландшафтными параметрами. Очевидно, что не все памятники выявлены археологами. При анализе ландшафта не учитываются болота и лесные массивы, которые могли существовать в древности. Модель может быть уточнена и дополнена соответствующими параметрами в результате палинологических и палеопочвенных исследований, данных палеогеоморфологии.

Заключение

В целом, предложенный метод предполагает моделирование ареала распространения археологической культуры на основе метода оптимизации с учетом ком-

плексного критерия (исторический и физико-географический факторы). При этом археологическая культура рассматривается как иерархическая система, элементами которой являются родоплеменные центры и группа локально расположенных укрепленных и неукрепленных поселений. Каждый из этих взаимосвязанных элементов решал свою историческую задачу. Дальнейшее развитие метода предполагает уточнение конфигурации и границы используемой территории за счет привлечения данных палеогеографии.

Библиографические ссылки

1. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Х. Кормен, Ч. И. Лейзерсон, Р. Л. Ривест и др. ; пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 1296 с.

2. *Леонтьев О. К., Рычагов Г.* И. Общая геоморфология. – М. : Высш. шк., 1979. – 287 с.

3. *Нильсон Н.* Искусственный интеллект. Методы поиска решений / пер. с англ. В. Л. Стефанюка, С. В. Фомина. – М. : Мир, 1973. – 270 с.

4. *Рассел С., Норвиг П*. Искусственный интеллект: современный подход. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2007. – 1408 с.

5. *Leusen P. M*. Pattern to Process: Methodological Investigations into the Formation and Interpretation of Spatial Patterns in Archaeological Landscapes. 2002. Dissertations, University of Groningen. – URL: http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/arts/2002/p.m.van.leusen (дата обращения: 16.01.2012).

6. The CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI). – URL: http://srtm.csi.cgiar.org (дата обращения: 20.06.2011).

***

O. T. Zubareva, Post-graduate, Physical-Technical Institute, Ural Branch of RAS

D. V. Gruzdev, Lead Programmer, Physical-Technical Institute, Ural Branch of RAS

I. V. Zhurbin, DSc in History, PhD in Engineering, Senior Researcher, Head of Lab, Physical-Technical Institute, Ural Branch of RAS

Comprehensive method of simulation of archaeological culture boundaries and structure

Method of archaeological culture area simulation according to the complex criterion is developed. The criterion takes into account typology of ancient settlements, their ranking, economic system reconstruction, topographic features and configuration of the drainage system. Approbation is carried out by the example of the Cheptsa archaeological culture (IX-XIII A.D.)

Keywords: simulation, optimization method, archaeological culture, relief, configuration of the drainage system

Получено: 31.01.12