

УДК 681.3.06

**Ф.А. Данилкин, Д.С. Наумов****ТРАССИРОВКА МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ПО ЦИФРОВЫМ КАРТАМ МЕСТНОСТИ**

*Рассмотрена методика отыскания оптимальных маршрутов движения при работе с цифровыми картами местности. Введен критерий оптимизации “коридор”. Описан порядок формирования объектного состава растра цифровой карты местности. Рассмотрен дополнительный критерий безопасности движения.*

**Ключевые слова:** цифровая карта местности, растр, трассировка маршрута, опасная зона, критерий “коридора”.

**Введение.** На современном этапе развития геоинформационных технологий все большее внимание уделяется цифровым картам местности. Спроектирован ряд систем работы с цифровыми картами местности, позволяющих отыскивать оптимальные траектории движения в привязке к дорожным сетям. Однако возникают задачи прокладывания трасс по бездорожью, например при движении между населенными пунктами, не соединенными между собой дорогой.

**Постановка задачи.** Данную задачу можно сформулировать следующим образом.

Проложить оптимальную по времени прохождение трассу по цифровой карте местности, состоящую из участков с различной степенью проходимости, из точки  $A$  с координатами  $(x_A, y_A)$  в точку  $B$  с координатами  $(x_B, y_B)$ , где  $x_A, y_A, x_B, y_B$  – географические координаты начальной и конечной точек.

**Алгоритм трассировки.** Для сокращения вычислений векторные данные цифровой карты местности необходимо преобразовать к матричному формату или растру качеств.

Растр качеств может быть представлен в виде матрицы:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & \dots & \dots & r_{1M} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & \dots & \dots & r_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & r_{ij} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{N1} & r_{N2} & \dots & \dots & \dots & r_{NM} \end{pmatrix},$$

где  $r_{ij}$  – элемент растра качеств (соответствует скорости прохождения участка местности),  $N, M$  – размеры растра качеств.

Элемент растра  $r_{ij}$  соответствует квадратному участку местности, для которого задается размер его стороны в метрах [1]. При построении растра его элементам присваиваются идентификационные значения объектов, координаты которых попадают в рассматриваемый участок местности.

Объектом электронной карты является совокупность цифровых данных, а именно: метрика, семантика, справочные данные, которым может соответствовать часть реального объекта на местности или сам объект, или группа объектов. При сложном описании метрики объекта она может быть дополнительно разделена на два объекта или же объект может быть описан более подробно.

Пользователь имеет право самостоятельно устанавливать, по каким слоям, характеру локализации и признакам, логически не противоречащим друг другу, допустимо объединение отдельных объектов векторной карты.

Задача поиска по цифровой карте преобразуется в задачу поиска по матрице, где точкам  $A$  и  $B$  будут соответствовать элементы матрицы  $r_{xy}$  и  $r_{zv}$  соответственно  $(x, z \in [1 \dots N]; y, v \in [1 \dots M])$ .

Поиск маршрута движения осуществляется на основе данных растра качеств с помощью методов нахождения оптимальной траектории (метод набора высоты, волновой метод, рекурсивный метод и др.) [2, 3]. Волновой метод является предпочтительным. Решение с его помощью находится быстрее, чем рекурсивным методом, он не требует преобразования исходной матрицы, как в методе набора высоты, и предполагается возможность шагов назад. Повышение быстродействия данного алгоритма возможно при

использовании его модификации, например с помощью запуска встречной волны (время поиска, таким образом, снижается в 2 раза), или при применении одного из вариантов лучевого алгоритма трассировки.

Волновой алгоритм является алгоритмом поиска наикратчайшего пути  $T$ , соединяющего две точки. Поиск осуществляется методом распространения волны от одной точки к другой по растру качеств. На каждом шаге основного цикла алгоритма фронт волны  $w_k$  последовательно распространяется от одного элемента матрицы к соседним. С каждым новым шагом значение фронта увеличивается. При достижении конечной точки основной цикл заканчивается и начинается движение назад по минимальным значениям элементов. Таким образом будет найден оптимальный путь. Для дальнейшей обработки координаты элементов матрицы по  $i$  и  $j$  сохраняются в двумерный вектор  $V$ .

Задача отыскания оптимальной траектории по считанному растру волновым методом формулируется с использованием следующего функционала:

$$T = \min_{k>0} w_k,$$

где  $T$  – оптимальная траектория движения,

$w_k$  – значение  $k$ -го фронта волны.

$$w_k = w_{k-1} + r_{ij},$$

$r_{ij}$  – элемент растра качеств.

Получаемые в результате работы приведенного алгоритма трассы подлежат дальнейшей оптимизации. Это связано с тем, что в результате выполнения первого этапа оптимизации возникает большое количество точек экстремального перегиба (резких поворотов). Следовательно, должна решаться задача сглаживания полученной траектории движения.

Анализ задачи сглаживания полученной трассы показал необходимость введения критерия “коридора”, который представляет собой множество  $K$  элементов растра качеств  $r_{ij}$  ( $K \subset R$ ). Коридор задается следующими граничными условиями:

$$r_{ij} \leq r_{kl},$$

где  $r_{kl}$  – элемент растра для трассы, рассчитанной на первом шаге оптимизации.

В рамках найденного “коридора” сглаживание траектории движения может производиться различными методами. Одним из наиболее эффективных является метод отыскания избыточных состояний, который основан на анализе соседних точек трассы с целью определения и ис-

ключения точек перегиба.

Данный метод подразумевает последовательный просмотр точек трассы. На каждом шаге анализируются две переменные  $prevDir$  и  $nextDir$ . Переменные принимают значения из множества  $DIR = \{i, j\}$ . При этом возможны два случая.

Первый:  $nextDir \neq prevDir$  – точка трассы не добавляется в вектор  $W$ , содержащий значения сглаженной трассы.

Второй:  $nextDir == prevDir$  – точка трассы добавляется в вектор  $W$ .

На выходе алгоритма получается двумерный вектор с координатами сглаженной трассы.

Данный метод является оптимальным при обработке трассы, в которой имеются участки типа “лестница”.

Для создания введенного ранее растра качеств  $R$  необходимо определить объектный состав цифровой карты местности, участвующий в его построении. В частности, если задачи решаются в рамках населенного пункта, то достаточно включить в состав объектов элементы дорожной сети (магистраль, асфальтовые дороги, грунтовые, площади, аллеи и т.д.). Если решается более широкая, комплексная задача прокладывания трасс по бездорожью, необходимо дополнительно включать объекты гидрографии, типы грунтов, рельеф местности, элементы растительности и т.д. Объектный состав определяется по классификатору цифровой карты местности

$$K = \{k_i | i = 1, \dots, L\},$$

где  $k_i$  – объект классификатора цифровой карты местности,

$L$  – количество объектов, перечисленных в классификаторе цифровой карты местности.

Определенный таким образом объектный состав записывается в файл фильтра растра в сгруппированном по типу локализации (площадный, линейный или точечный объекты) виде. Далее необходимо определить затраты на прохождение рассматриваемых объектов. Для более удобного последующего анализа предлагается скомпоновать объекты, присвоив эквивалентным по времени прохождения объектам одинаковые идентификационные значения, например: магистраль и шоссе – 1, грунтовые и проселочные дороги – 2, поля и степи – 5, леса – 10, болота – 20 и т.д. Пример файла фильтра растра:

```
[SQUARE]
//Дорожная сеть
61970000 1 //транспортные развязки
на автодорогах
```

[LINE]

//Дорожная сеть

61320000 2 //грунтовые проселочные  
дороги61210000 1 //автомагистрали (авто-  
страда)

Определим множество идентификационных значений (временных затрат на прохождение объектов)

$$C = \{c_s | s = 1, \dots, S; c_s > 0\},$$

где  $S$  – количество объектов, участвующих в построении растра,

$c_s$  – скорость прохождения  $s$ -го объекта.

Элементы множества  $C$  используются при заполнении матрицы качеств  $R$ .

Для работы с растром необходимо использовать набор программных функций, поставляемых в комплекте геоинформационной системы.

Различают следующие основные типы функций работы с растровыми картами: это функции открытия, отображения, создания и редактирования, функция выполнения расчетных операций над растровыми данными совместно с другими данными (векторными, матричными и т.д.) или отдельно от них.

При работе с растром использовались функции:

- открытия растровой карты совместно с уже открытыми векторными, матричными и растровыми данными;
- выделения области памяти под растр;
- чтения прямоугольного фрагмента растра в область памяти из соответствующего района работ (совокупности отдельных листов электронной карты, помещенных в одну базу данных, отображаемых и обрабатываемых вместе).

Для проведения дополнительной оптимизации вводится критерий безопасности движения. Это связано с тем, что трасса может быть проложена вблизи от зоны поражения и при следовании по данному маршруту техники и людей им может быть нанесен значительный ущерб.

Данная задача может быть решена введением дополнительных информационных слоев в цифровые карты местности с указанием соответствующих опасных зон ( $DZ$ ). Пользовательские карты описываются своими собственными независимыми классификаторами. При их создании указываются соответствующие паспортные, метрические и семантические характеристики объектов. С одной картой местности может совмещаться несколько пользовательских карт, имеющих собственные классификаторы. Карты могут создаваться, например, на основе такой

информации, как размеры зоны поражения, метеорологические условия (направление ветра, его средняя скорость) и др.

Опасные зоны следует задавать в виде изолиний, которые характеризуют вероятность выхода из строя техники. При анализе подобных зон может быть задано определенное пороговое значение. Если вероятность поражения превышает данный порог, колонна не может следовать через данный участок, в противном случае проезд возможен.

Данный критерий поможет отфильтровать маршруты ( $M$ ), попадающие в опасные зоны карты ( $M \in DZ$ ) (рисунок).



Рисунок – Введение в карту опасных зон и их влияние на последующий выбор оптимальной трассы

**Заключение.** В ходе исследований были проанализированы указанные алгоритмы и разработаны дополнительные критерии оптимизации. Были проведены сравнительные испытания в системе имитационного моделирования и на их основе получены оценки, подтверждающие эффективность применения предложенного алгоритма трассировки маршрутов движения по цифровым картам местности.

#### Библиографический список

1. Геоинформационная система "Интеграция": руководство пользователя. Версия 7.0. – Ногинск: Панорама, 2001. – 109 с.
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы. Построение и анализ. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.
3. Макконел Дж. Основы современных алгоритмов. 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.