Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

К. А. Якунин, В. А. Акулов, Ю. С. Корнев, Математические модели местности в задачах управления движением наземных транспортных средств с применением GPS-технологий, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2002, выпуск 16, 188–191

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu120>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.89.56.158

26 апреля 2023 г., 16:49:28

Информатика

УДК 519.71:629.051+519.71:629.058

К. А. Якунин, В. А. Акулов, Ю. С. Корнев

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ GPS – ТЕХНОЛОГИЙ

Предлагается экономически целесообразный и высокотехнологичный проект построения многомерных математических моделей местности, ориентированных на специфику задач управления движением наземных транспортных средств (диспетчерские задачи и мониторинг потоков силами общественного транспорта). Он основан на интерполяции местности сплайнами: в 2-х мерной модели – кубическими, а в 3- мерной модели – бикубическими. В качестве источника исходных данных (пространственные координаты типовых точек) для построения интерполяционных линий и поверхностей используются серийные GPS приемники – навигаторы класса GPS 12 (III). Разработана и апробирована в реальных условиях (общественный транспорт) методика сбора исходных данных. Разработана СУБД, хранящая дискретные данные и дополнительную информацию, необходимую для построения цифровых карт. Созданы демонстрационные версии программ, осуществляющие визуализацию 2- и 3- мерных моделей.

Одним из приложений спутниковых навигационных систем (GPS)¹ является управление движением наземного транспорта. Из всего многообразия выделим две группы задач: во-первых, диспетчерские задачи (контроль и управление движением); во-вторых, мониторинг транспортных потоков (выявление перегруженных участков (“пробок”) и расчет их числовых характеристик. Цифровые модели (планы) местности являются составной частью указанных задач. К таким моделям предъявляется ряд специфических требований: невысокая стоимость; открытость (возможность редактирования); компактность (невысокие требования к элементной базе персональных компьютеров).

Р и с. 1. Типовой пример электронной карты. Дороги (плоские кривые) интерполированы участками прямых

В последнее время все более актуальным становится требование 3- мерности, поскольку пересеченная местность является одним из источников проблем, таких, как аварийность, “пробки” и т. п. Существующие варианты цифровых карт, а речь идет, прежде всего, о ГИСах², не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям. Более того, как показал поиск в системе Internet и обращение к организациям, занимающимся разработкой ГИС- систем, для многих регионов отсутствуют цифровые карты, пригодные для решения указанных задач. Поволжье не является исключением. Что касается 3- мерных систем, то они находятся в стадии отладки и, что немаловажно, предъявляют повышенные требования к аппаратным средствам. Во многом это объясняется типовой технологией создания ГИС-систем, предусматривающей сле-

¹ GPS The Global Positioning System Satellite – глобальная спутниковая система позиционирования (США).

² ГИС - географическая информационная система. ГИС представляет собой многоуровневую информационную систему, включающую в себя цифровую карту местности и разнообразную вербальную информацию об объектах.

дующие процедуры: сканирование бумажных карт (построение растровой модели); преобразование растровой модели в векторную; ручная или полуавтоматическая корректировка векторной модели; ввод вербальной информации об объектах; визуализацию. Все процедуры, кроме первой, осуществляются с помощью специализированных прикладных программ и требуют значительных трудозатрат. Поскольку источником цифровых карт являются традиционные карты, то и продукт является 2-мерным. На рис. 1 показан типовой пример электронной карты (фрагмент из CD Word MAPPER [1]).

Таким образом, проблема создания и эксплуатации цифровых моделей местности, особенно 3- мерных, далека от разрешения и является весьма актуальной.

Постановка задачи. Целью исследований в данной работе является разработка экономически целесообразной и отвечающей предъявляемым требованиям технологии построения многомерных математических моделей местности по дискретным данным, полученным со стандартных приемников-навигаторов GPS (широта, долгота и высота). В задачи исследования входят следующие: 1) разработка концепции 3- мерной модели местности, обеспечивающей поэтапное достижение цели; 2) разработка алгоритмов и построение демонстрационной программы, осуществляющей визуализацию 3- мерной модели местности; 3) разработка и апробация в условиях общественного транспорта методики сбора исходных данных; 4) разработка 2-мерной модели местности двойного применения (автономное применение как этап построения 3- мерной модели); 5) разработка алгоритмов и программная реализация 2-мерной модели местности (демонстрационный вариант); 6) апробация 2-мерной модели на реальной информации; 7) формулировка направлений дальнейших исследований.

В основу разработанной концепции положены следующие принципы: 1) построение модели с учетом основных требований, о чем сказано ранее; 2) источник информации: дискретные данные, полученные с помощью стандартных GPS приемников навигаторов (широта, долгота, высота); 3) апробация источников информации на реальной информации; 4) построение непрерывной модели местности по дискретным данным (выбор интерполяционной модели); 5) визуализация модели; 6) поэтапность построения модели: 1-й этап – 2-мерная модель, 2-й этап – 3- мерная модель; 7) апробация моделей на реальной информации.

Дискретная модель местности. Дискретная модель местности представляет собой множество 3- мерных векторов, компонентами которых являются пространственные координаты характерных точек местности. Дискретная модель скрыта от пользователя. Ее основное назначение – исходные данные для построения непрерывных моделей местности.

Опуская подробности, отметим, что в качестве источника исходных данных апробированы два типа приемников навигаторов: GPS – 12, GPS – III [1]. Испытания проведены в Самаре, Казани, Ульяновске, Тольятти, Димитровграде, Сызрани и на сети дорог, прилегающих к ним. Оба GPS – навигатора и, соответственно, подобные им по характеристикам пригодны для решения поставленных задач. Кроме того, создана и апробирована методика сбора исходных данных с применением рейсовых автобусов. Наиболее приспособленными оказались автобусы Mercedes 340-й серии. Апробировались также автобусы ЛИАЗ и Avtosun. Наиболее удобное время: воскресные дни, темное время суток, часы с пониженным пассажиропотоком. С практической точки зрения применение серийных приборов и рейсовых автобусов вместо специализированных лабораторий оправдано по технологическим и экономическим соображениям.

Заключительной процедурой сбора исходных данных является их перезапись из памяти GPS – навигатора в специализированную СУБД.

Что касается построения непрерывной модели местности по дискретным данным, по целому ряду соображений предпочтение отдано сплайн – интерполяции. Как известно, интерполяционным кубическим сплайном $S(x)$ на сетке ω называется функция:

1) которая на каждом из отрезков $[x_i, x_{i+1}]$, $i = 0, 1, \dots, m$ представляет собой многочлен 3-й степени, $S(x) = S_i(x) = a_0^{(i)} + a_1^{(i)}(x - x_i) + a_2^{(i)}(x - x_i)^2 + a_3^{(i)}(x - x_i)^3$;

2) $S(x) \in C^2[a, b]$, удовлетворяет условиям $S(x_i) = y_i, i = 0, 1, \dots, m$ [2].

Различают 4 типа граничных условий, из которых 3 представляют интерес с точки зрения решаемых задач:

1-й тип – на концах промежутка $[a, b]$ задаются значения 1-й производной искомой функции $S'(a) = f'(a), \quad S'(b) = f'(b)$;

2-й тип – на концах промежутка $[a, b]$ задаются значения 2-й производной искомой функции $S''(a) = f''(a), \quad S''(b) = f''(b)$;

3-й тип – называются *периодическими* и требуются в тех случаях, когда интерполируемая функция является периодической с периодом $T=b-a$.

$$S'(a)=S'(b), \quad S''(a)=S''(b).$$

Двумерная модель местности. Как показали проработки, исходя из соображений простоты и удобства реализации в программном коде, из сплайновых кривых следует отдать предпочтение Catmull-Rom. Эта кривая заданному массиву P_0, P_1, P_2, P_3 определяется при помощи векторного уравнения

$$R(t)=1/2(-t(1-t)^2P_0+(2-5t^2+3t^3)P_1+t(1+4t-3t^2)P_2-t^2(1-t)P_3), 0 \leq t \leq 1.$$

Также составной сплайновой кривой Catmull-Rom, определяемой массивом $P_0, \dots, P_m$, $m \geq 3$, называется кривая γ , которую можно представить в виде объединения элементарных сплайновых кривых Catmull-Rom $\gamma^{(1)}, \dots, \gamma^{(m-2)}$ [4]. К достоинствам данной сплайновой кривой с точки зрения решаемых задач относится следующее: изменение одной вершины в массиве приводит к изменению только части кривой; при добавлении в массив одной вершины изменяются только четыре коэффициента.

Программная реализация. Программный комплекс строится по блочному принципу и состоит из следующих компонент: 1) база данных; 2) программа интерполяции и визуализации цифровой модели местности; 3) сервисные программы (редактор маршрутов).

База данных необходима для хранения информации, полученной с GPS-навигаторов. Кроме того, к ней обращаются программы сплайн – интерполяции и визуализации за исходными данными. База данных реализована в среде MS Access. Выбор данного продукта обусловлен тем, что таблицы, формы и другие атрибуты БД находятся в одном файле, и тем самым упрощается доступ к данным. Кроме того, имеется возможность редактирования базы данных вне исполняемых программных модулей. Реквизиты данных для 2-мерного случая показаны на рис. 2.

	Code	Date	Time	Latitude	Longitude	Speed	Vehicle ID	Station
▶	6	17.05.01	12:00:00	53,1913	50,19055	40	2401	АС Аврора
	7	17.05.01	12:03:45	53,19135	50,1805	55	2402	Революционная ул.
	8	17.05.01	12:04:33	53,19571	50,17871	57	2403	М.Тореза ул.
	9	17.05.01	12:07:27	53,19951	50,17786	30	2404	Гагаринская ул.
	21	17.05.01	12:43:06	53,1938	50,09345	38	2416	Дом Промышленности
	22	17.05.01	12:45:42	53,1899	50,09065	29	2417	Некрасовская ул.
	23	17.05.01	12:47:10	53,18523	50,0882	24	2418	пл. Революции

Р и с. 2. Фрагменты базы данных для построения 2-мерной модели, содержащей реальную информацию

Кроме наименования станций общественного транспорта и, естественно, их координат, каждой станции присваивается 4-значный код. Первые 2 разряда отведены под номер маршрута (24), последние 2 – под порядковый номер станции или опорной точки, например перегиб трассы. Такая кодировка

ка существенно упрощает процедуру сбора исходных данных о маршруте³.

Вторым блоком является программа интерполяции и визуализации цифровой модели местности. Она считывает информацию из базы данных, осуществляет сплайн-интерполяцию (Catmull-Rom) и выводит на экран ПК цифровую модель маршрута в виде сплайн-кривой. Для удобства пользования предусмотрены навигационные функции, такие как скроллинг карты, масштабирование. Программный блок построен в среде Delphi

Р и с. 3. Пример цифровой модели маршрута, построенной по реальным исходным данным

Для внесения изменений в существующий маршрут (требование «открытости») разработана сервисная программа, которая позволяет редактировать маршрут, изменяя данные в соответствии с текущим местоположением объектов.

Апробация модели на реальной информации. В соответствии с изложенной выше концепцией выполнена апробация модели на реальной информации. Были апробированы основные процедуры, предусмотренные технологией. Во-первых, осуществлен сбор исходных данных, для чего на рейсовом автобусе был установлен навигатор GPS – III. Во-вторых, полученные

³ Навигаторы не имеют клавиатуру, поэтому ввод символов через прокрутку списков символов занимает более продолжительное время, чем на ПК. При сборе данных в процессе движения общественного транспорта время ограничено, поэтому важно сократить и упростить ввод описательной информации.

данные и дополнительная информация внесены в базу данных (фрагмент см. на рис. 2). В-третьих, была построена и визуализирована модель одного из наиболее напряженных маршрутов крупного города (Самара, автобус № 24). Конечный результат апробации (копия экрана) представлен на рис. 3.

Программа позволяет изменять масштаб изображения (кнопки (+) (-)). В частности, при выбранном масштабе на экран выведен не весь маршрут, а только его фрагмент. Для перемещения по экрану в 4- взаимно перпендикулярных направлениях предусмотрена функция «панорама» (кнопки **Ů Ÿ В Р**).

Трехмерная модель местности. Концептуальная основа 2- мерной и 3- мерной моделей идентична. Для построения 3- мерной модели требуется более информативная СУБД. Для построения поверхности по исходным данным (широта, долгота и высота характерных точек и их окрестностей) применены бикубические сплайны. В целях сокращения изложения их теория не приводится (см. [2]). Кроме того, рассмотрены приемы, применяемые в триангуляции. Для более детального и визуально понятного интерфейса дополнительно использовалась библиотека типовых 3-х мерных объектов.

Направления дальнейших исследований. Полученный опыт исследований позволяет сформулировать направления дальнейших исследований:

- 1) объединение основной программы с программой редактирования маршрутов и улучшение доступа к редактированию базы данных;
- 2) проработка вариантов библиотеки типовых городских и внегородских объектов. Выбор оптимального варианта;
- 3) разработка опытного образца программы интерполяции и визуализации для 2-мерного случая;
- 4) продолжить работы по алгоритмизации и программной реализации 3- мерной задачи;
- 5) апробация новых технических средств навигации и связи, в частности аппарата BENE-FON Esc! (совмещение GPS – приемника со встроенными картами и сотового телефона);
- 6) разработка программно - аппаратных средств для мониторинга дорожного движения с помощью рейсового транспорта.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

- 1) Разработана концепция непрерывной 2-мерной модели местности по дискретным данным, полученным с помощью стандартного GPS приемника – навигатора (широта и долгота путевой точки). В ее основу положена интерполяция кубическими сплайнами (Catmull-Rom).
- 2) Выполнена программная реализация 2-мерной модели. Комплекс включает в себя следующие блоки: специализированную базу данных (среда Access), программу визуализации данных в виде электронной карты, сервисные программы (масштаб, панорама и т. п.).
- 3) Апробирована 2-мерная модель на реальной информации с выполнением основных процедур, предусмотренных технологией с визуализацией одного из маршрутов городского автобуса крупного города (г. Самара, автобус № 24).
- 4) Двумерная модель рассчитана на двоякое применение. Одно из них - универсальные цифровые карты местности, ориентированные на проблемы управления транспортом (диспетчерские задачи и мониторинг перегруженных участков –«пробок»). Другое - отработка концепции и программной реализации 3- мерной модели местности, что является существенным отличием от большинства известных цифровых моделей.
- 5) В случае 3 – мерной модели местности, предложена интерполяция бикубическими сплайнами. Разработана демо-версия программы, которая отражает применения такого рода интерполяции местности. Программа обеспечивает режим динамического “слежения” камерой по построенной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. GPS-III. Owner's Manual & Reference. Garmin Corporation. Kansas. USA. 1997.
2. Шикин Е.В., Плис А.И. Кривые и поверхности на экране компьютера. Руководство по сплайнам для пользователей. М.: Диалог-МИФИ, 1996.