

Акулов В.А.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ И ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ЗАДАЧАХ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Введение. Как известно, одной из транспортных проблем городов РФ, которая усугубляется с каждым годом, является резкое снижение пропускной способности дорог в часы «пик» (образование «пробок»). Решение указанной проблемы невозможно без локализации перегруженных участков и объективной оценки их количественных характеристик (время возникновения /окончания, средняя скорость и т. п.). Проблема осложняется тем, что характеристики «пробок» переменны по времени суток, дням недели, месяцам и сезонам. Все это требует организации постоянно действующей системы мониторинга.

В существующих системах применяются две схемы размещения источника первичной информации. Первая из них, которую можно условно назвать «внешней», предусматривает размещение источника вне потока. Это может быть наблюдатель или инструментальное средство, как, например, теле или скоростная фотокамера. Значительным разнообразием отличаются места их установки: обочины дорог, мосты, вертолеты, самолеты и даже космические аппараты. Существуют системы, использующие датчики, встроенные в полотно дороги или прилегающие к нему конструкции [1, 2, 3]. Что касается второй группы, то ее типичными представителями являются мобильные лаборатории, смонтированные на шасси автомобиля и осуществляющие движение вместе с потоком. Как правило, они оснащаются конечной аппаратурой спутниковых навигационных систем GPS.

Несмотря на разнообразие, существующие решения не в полной мере отвечают предъявляемым требованиям, главные из которых - эффективность и экономическая целесообразность. В связи с этим работы по совершенствованию и созданию новых систем мониторинга продолжают. Предлагается разновидность системы, относящаяся ко 2-й группе и обладающая следующей спецификой. Во-первых, широко привлекаются подвижные единицы общественного транспорта (автобусы). Во-вторых, применяются недорогие и компактные матема-

тические модели местности и движения. Совершенно очевидно, что для решения поставленной задачи необходим специализированный программно – аппаратный комплекс. Его принципиальные положения изложены ниже

Описание технологии. Предлагается комплекс, состоящий из 2-х устройств: бортового регистратора и периферии в виде портативного компьютера. Бортовой регистратор включает в себя GPS-навигатор (ОЕМ – плату), осуществляющий определение навигационных параметров (широта, долгота, высота, скорость, время) по задаваемому протоколу и специализированную память, предназначенную для накопления навигационных данных. Регистратор можно установить на любое наземное транспортное средство (легковые и грузовые автомобили, автобусы, троллейбусы и т.п.). Для этого предусмотрены такие меры, как питание от бортовой сети, компактное исполнение, виброзащитенность, внешняя портативная антенна и т.д. Таким образом, транспортное средство, оснащенное регистратором, становится мобильной лабораторией, осуществляющей сбор объективных данных, необходимых для количественной оценки параметров движения и других задач, связанных с мониторингом и управлением движением.

Принципиально важно то, что в силу специфики общественный транспорт может активно участвовать в подобном мониторинге. Этому способствует распределенность маршрутов по населенным пунктам (дорожная сеть), и подвижных единиц внутри маршрута (по расстоянию и времени); почти круглосуточное движение, осуществляемое по определенному графику. От водителя требуется только выполнение своих обычных функций по соблюдению графика движения. Отсутствие каких-либо дополнительных требований или ограничений по отношению к экипажам, участвующим в мониторинге, является важным достоинством предлагаемой системы

Таким образом, оснащение части подвижного состава общественного транспорта предлагаемыми регистраторами в значительной степени решает проблемы сбора информации по проблемам мониторинга при сравнительно небольших материальных затратах.

Второй составной частью предлагаемого комплекса является портативный компьютер (ПК), оснащенный специализированным программным обеспечением (ПО). ПК выполняет функции периферийного устройства, которое периодически, по мере накопления информации, подключается к регистратору (например, 1 раз в сутки) и используется для решения ряда задач

- настройка регистратора (выбор и настройка протокола передачи данных, включающего в себя идентификационный код, перечень измеряемых параметров, частоту дискретизации и т. п.);
- периодическая перезапись накопленной информации в специализированную базу данных, установленную на ПК;
- расчет и вывод на экран ПК схемы движения транспортных средств, участвующих в мониторинге;
- расчет пространственно – временных характеристик движения и их сопоставление с заданным графиком;
- выявление и визуализация перегруженных участков.

Последняя функция является основной. ПО базируется на математической модели движения, а также дву- или трехмерной модели местности. Для удобства работы с программным обеспечением спроектирован разветвленный сервис.

Модель движения. В основу анализа данных положено сопоставление пространственно-временных зависимостей заданного (расписание) и фактически выполненного графика движения (рис. 1), которые вычисляются для каждого из участников движения (транспортных средств).

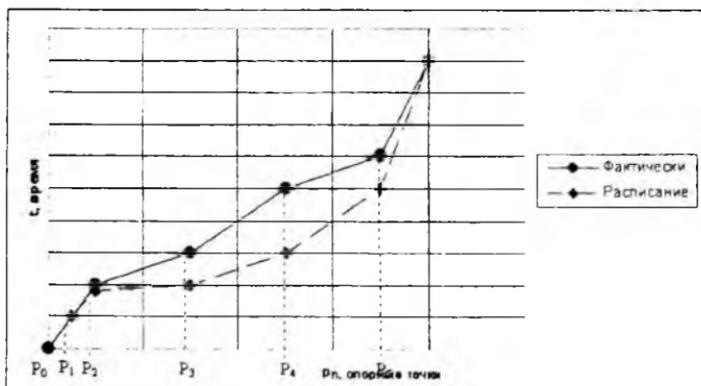


Рис. 1. Пространственно-временные характеристики движения. По оси абсцисс откладываются расстояния до опорных точек местности (остановки общественного транспорта, перекрестки дорог, линии перегиба и др.), по оси ординат – время

Как видно из рисунка 1, начиная с точки P_2 линия фактического движения расположилась выше линии расписания, т.е. началось отставание от графика, которое продолжалось до точки P_6 . Наибольшее отставание зарегистрировано в точке P_4 .

По данным, приведенным на рис. 1, вычисляется средняя скорость движения V_{cp} на участке (P_n, P_{n+1}) (угол φ , рис. 2).

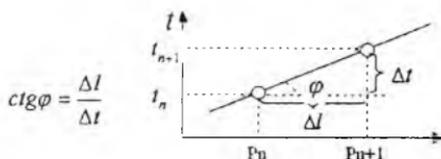


Рис. 2. К вычислению средней скорости движения

Для известных средних скоростей для каждого из участков V_{cp} строится распределение заданных и фактических скоростей движения по маршруту для каждого рейса (рис. 3).

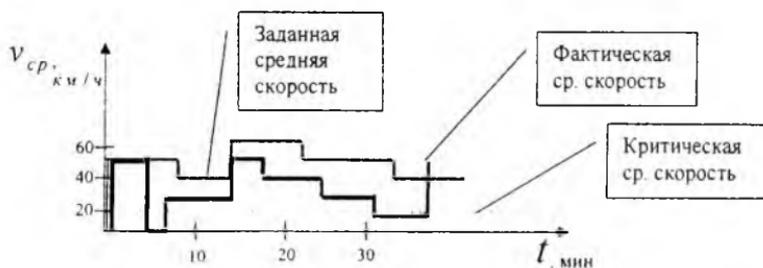


Рис. 3. Распределение скоростей по маршруту

Кроме того, задается допуск на отклонение V_{cp} от графика в виде критической скорости. Участки дорог, где скорость оказалась ниже критической, трактуются как «пробки» и визуализируются на электронной схеме маршрутов («Модель местности»). Поскольку подобный анализ выполняется для ряда подвижных единиц, следующих с некоторым интервалом, формируется динамическая картина.

Модель местности. Визуально модель местности представляет собой схему маршрута (трассы), построенную в определенном масштабе. С целью снижения стоимости разработки и требований к аппаратным средствам, хранятся не сами схемы, а их исходные данные (коор-

динаты характерных точек). Визуализация схемы и интерполяция осуществляется кривыми Catmull-Rom, представляющими собой разновидность сплайнов [4]. Такая кривая для массива точек P_0, P_1, P_2, P_3 определяется уравнением:

$$R(t) = \frac{1}{2}(-t(1-t)^2 P_0 + (2-5t^2+3t^3)P_1 + t(1+4t-3t^2)P_2 - t^2(1-t)P_3),$$

$$0 \leq t \leq 1, P(x, y, z)$$

Матричная запись параметрических уравнений, описывающих элементарную сплайновую кривую Catmull-Rom, имеет вид: $R(t) = P M T, 0 \leq t \leq 1$.

$$P = (P_0 P_1 P_2 P_3) = \begin{pmatrix} x_0 & x_1 & x_2 & x_3 \\ y_0 & y_1 & y_2 & y_3 \\ z_0 & z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix}, R = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}, M = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & -3 & 3 & -1 \\ 4 & 0 & -6 & 3 \\ 1 & 3 & 3 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} t^0 \\ t^1 \\ t^2 \\ t^3 \end{pmatrix}$$

Матрица M называется базисной матрицей сплайна Catmull-Rom. Касательная к элементарной кривой Catmull-Rom в концевой точке P_1 ($R(0)=P_1$) параллельна отрезку $P_0 P_2$, а в концевой точке P_2 ($R(1)=P_2$) - отрезку $P_1 P_3$ (рис. 4)

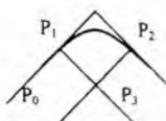


Рис. 4. Построение сплайна

К достоинствам сплайновых кривых Catmull-Rom можно отнести следующее:

- изменение одной вершины в массиве приводит к изменению только части кривой,
- при добавлении в массив одной вершины возникает необходимость пересчета параметрических уравнений только четырех элементарных кривых

Трехмерная математическая модель местности базируется на основе построения сплайновых поверхностей, состоящих из элементарных сплайновых кривых Catmull-Rom. Для расчета узлов таких сплайнов необходимо использовать специальный TAIP-протокол (с регистрацией высоты) и достаточно малый шаг дискретизации.

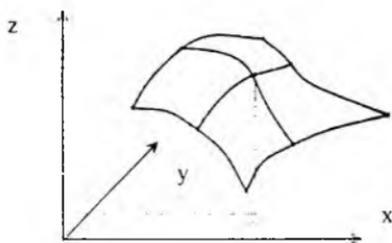


Рис. 5. Схема пространственной сплайн – интерполяции

Предполагается, что на основе статистики, полученной при помощи рассчитанных характеристик, будут приниматься административные меры, направленные на решение транспортных проблем (переход на одностороннее движение, реверсирование полос, создание обводных путей, расширение проезжей части и т. п.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. www.trimble.com
2. www.agp.ru
3. www.gpshome.ru
4. Шикин Е.В., Плис А.И. Кривые и поверхности на экране компьютера. М.: Диалог-МИФИ, 1996