

## АЛГОРИТМ УПРЕЖДАЮЩЕЙ ПРОКЛАДКИ МАРШРУТА

### Введение

Информационная и деловая активность современного мира заставляет человека в течении дня много перемещаться. В больших городах остро стоит проблема заторов на дорогах, что парализует активность и приносит большие убытки. Хотя эта проблема широко известна и приносит огромное количество неудобств, она так до си пор и не имеет универсального решения.

На данный момент существует несколько программных продуктов, которые частично решают задачу балансировки нагрузки на дорогах:

Британские ученые совместно с государственными организациями и коммерческими компаниями основали консорциум под названием CADRE (Congestion Avoidance Dynamic Routing Engine – механизм динамической маршрутизации для объезда пробок). Разрабатываемая система предупредит водителя о возможной пробке по пути следования за 4-10 км, чтобы водитель не метался в поисках объездного пути, когда пробка появится в зоне видимости.

Навигационная система CityGuide предназначена для эксплуатации на CAR PC, снабженная электронной картой города и функциями прокладки маршрута.

Система CityGuide обладает следующими особенностями:

Автоматическое получение и отображение на дисплее информации о пробках в Москве и Санкт-Петербурге;

Прокладывание маршрута с учетом актуальной информации о заторах;

Регулярное обновление (несколько раз в неделю) дорожной информации (знаки, ремонтируемые отрезки, аварии, изменения в схеме проезда и другие изменения) и электронных карт;

Наличие подробных карт Москвы, Санкт-Петербурга, их областей, трассы E105 (Москва-Санкт-Петербург), Эстонии, а также обзорная карта Европы и Азии;

Возможность взаимного мониторинга пользователей.

Компания “Регионсвязьсервис” установила АПК Vocord Traffic, который применяется для телеавтоматического контроля транспортного потока и фотофиксации нарушений ПДД. Проект реализован для службы ГИБДД города Абакан республики Хакасия. В данной установке применяются цифровые телекамеры высокого разрешения Vocord

NetCam, которые позволяют решать основные задачи видеоанализа: распознавание автомобильных номеров, контроль и анализ транспортного потока, фиксация нарушений ПДД.



Рис. 1 – Загруженность дорог в Киеве в течении буднего дня

Количество пробок и затруднений движения в будний день зимой 2006-2007 было существенно выше, чем летом 2006 года. Это может быть связано как с сезонностью (летом ездить проще), так и с существенно увеличившимся за полгода парком машин. Средняя суточная загруженность достигала зимой 7 баллов (серьезные пробки), летом — 5-6 баллов.

Помимо того, что зимой было заметно сложнее ездить в часы пик, зимние затруднения движения занимали больше времени. Если летом 2006 дороги были открыты автомобилисту примерно с двенадцати до пяти, то зимой это время сократилось как минимум на час, причем даже в самые спокойные дневные часы загруженность улиц составила 4 балла.

Для недельной загруженности улиц также характерна цикличность — из недели в неделю основные закономерности движения сохраняются. Худшие дни для автомобилистов — вторник и среда, разгар рабочей недели. В эти дни были отмечены самые высокие пики (зимой по вторникам вечерняя загруженность улиц достигала 8 баллов) и значительное количество пробок даже в середине дня (по средам днем показатель загруженности приближался к 5). Наименее загруженным будним днем был понедельник.

## Постановка задачи

Приведенные выше разработки частично решают проблему навигации, но являются локальными решениями и не позволяют анализировать и управлять загрузкой дорог в целом[6]. Основная их проблема состоит в методике анализа и алгоритме прогнозирования загрузки транспортных магистралей. Также, во многих продуктах отсутствует метод прокладки маршрута с учетом изменения ситуации на дорогах во время пути. Британская же система CADRE, на данный момент находится в стадии разработки и не может дать каких либо очевидных результатов.

Поэтому нашей основной целью является разработка математической и информационной модели, методики и алгоритма упреждающей прокладки маршрута.

### Алгоритм упреждающей прокладки маршрута

В основе алгоритма лежит анализ статистических данных (историческая информация) с последующим прогнозом ситуации на дорогах. Таким образом, мы можем рассматривать задачу управления с обратной связью и алгоритм управления с памятью[7,8].

Один из алгоритмов использующихся для принятия решения о кратчайшем пути является алгоритм Дейкстры. Алгоритм на графах, изобретенный Э. Дейкстрой. Находит кратчайшее расстояние от одной из вершин графа до всех остальных. Алгоритм работает только для графов без ребер отрицательного веса. Алгоритм широко применяется в программировании и технологиях, например, его использует протокол OSPF для устранения кольцевых маршрутов. Известен также под названием кратчайший путь.

В основе алгоритма Тарьяна лежит рекурсивный поиск в глубину, в который добавлена операция проталкивания вершин в стек. Он вычисляет индекс компоненты для каждой вершины в векторе , индексированном именами вершин, используя векторы  $pre$  и  $low$  (справа). Вектор  $low$  отслеживает вершину с наименьшим номером в прямом порядке обхода, достижимую из каждого узла через последовательность прямых связей, за которыми следует одна восходящая связь. Воспользовавшись поиском в глубину с тем, чтобы рассматривать вершины в обратном топологическом порядке, мы вычисляем для каждой вершины  $v$  максимальную точку, достижимую через обратную связь из предшественника ( $low[v]$ ). Когда для вершины  $v$  выполняется  $pre[v]=low[v]$ , мы выталкиваем ее из стека, а также все вершины выше ее и всем им присваиваем номер следующей компоненты.

Сложность алгоритма зависит от способа нахождения вершины  $v$ , а также способа хранения множества непосещенных вершин и способа обновления меток. Каждому объекту в объектном графе назначается уникальное числовое значение. Следует иметь в виду, что эти числовые значения, приписываемые членам в объектном графе, произвольны и не имеют никакого смысла вне графа. После назначения всем объектам числового

значения объектный граф может начать запись множества зависимостей каждого объекта.

При описании алгоритма будем предполагать, что у нас уже есть некоторый объем исторических данных, который включает в себя статистику загруженности дорог в разные периоды времени.

На основе исторических данных мы можем вывести среднестатистическую скорость передвижения для заданного отрезка на определенном временном промежутке.

При расчете скорости учитывается среднее число между исторической информацией о скорости, с разными весовыми коэффициентами в зависимости от временного периода к которому относится историческая информация[9,10].

В каждый отрезок времени прогнозируемая скорость передвижения вычисляется по следующей формуле:

$$V_{np.} = \frac{(V_1 \cdot K_1 + V_2 \cdot K_2 + V_3 \cdot K_3 + \dots + V_n \cdot K_n + V_r \cdot K_r)}{(K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n + K_r)} = \frac{V_r \cdot K_r + \sum_{i=1}^n V_i \cdot K_i}{K_r + \sum_{i=1}^n K_i}, \quad (1)$$

где  $V_{np.}$  – это значение прогнозируемой скорости;

$V_1 - V_n$  – “срезовые” исторические значения скоростей движения на заданном участке дороги (берутся значения из выборки составленной для заданного периодического момента времени);

$V_r$  – значение скорости в текущий отрезок времени (если есть данные);

$K_r$  – значение весового коэффициента для скорости в текущий отрезок времени;

$K_x$  – весовые коэффициенты, которые необходимы для ранжирования “влияния” исторических данных на значение прогнозируемой скорости. Матрица весовых коэффициентов задается в зависимости от принадлежности исторических данных к определенному временному периоду.

Все весовые коэффициенты имеют значение в пределах от 0 до 1.

Для определения базовых весовых коэффициентов используется процедура получения оценки значения на основе группового мнения специалистов (метод экспертного анализа).

Пример:

Преимуществом использования предлагаемого алгоритма является то, что он позволяет прокладывать маршрут, принимая во внимание не текущие скорости (а значит и весовые коэффициенты или “цены” ребер графа), а скорости, предсказанные для каждого ребра на момент вероятного движения транспортного средства по соответствующему участку маршрута.

Необходимо проложить путь из точки А в точку J.

Кратчайший путь без учета заторов на дорогах будет таким: А – Н – I – J будет составлять 15 км.

Путь А – F – I – J - 20 км.

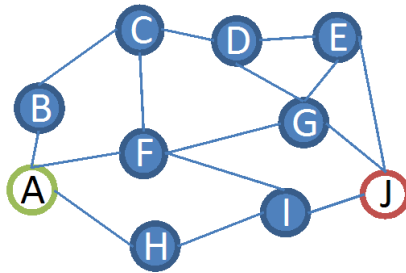


Рис. 2 – Начальное состояние

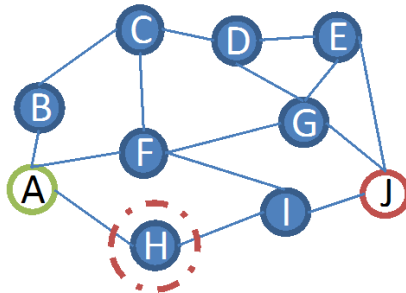


Рис. 3 – Состояние с пробкой, образовавшейся в данный момент

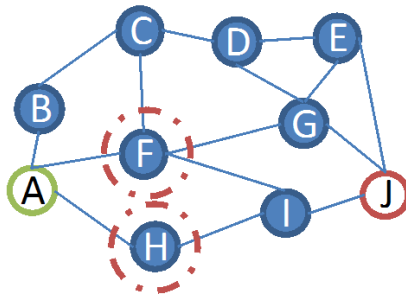


Рис. 4 – Состояние, рассчитанное на базе статистической информации

Путь  $A - B - C - D - G - J - 25$  км.

И т.д.

Маршрут движения рассчитывается, как уже говорилось, по весовым коэффициентам, предсказанным для ребер на момент движения, которые, впрочем, корректируется в реальном времени, что позволяет оптимально пересчитывать маршрут при: (а) отклонении водителя от заданного маршрута по ошибке, (б) вынужденном отклонении, при появлении препятствий или резком замедлении по движения по одному из выбранных ребер, (в) при появлении альтернативного пути вследствие ускорения движения по смежным ребрам.

При прокладке маршрута имея данные только о ситуации в данный момент (рис. 2) наикратчайший путь будет таким:  $A - F - I - J$ .

Однако имея информацию о том, что в момент перемещения через точку  $F$ , на пути может образоваться затор, водитель проложил бы маршрут по-другому. Таким же образом действует и алгоритм, т.е. маршрут, проложенный с учетом информации прогноза, будет превосходить оптимальный по длине, или по расходу топлива, но скорость достижения цели будет намного выше. В нашем примере, это может быть следующий маршрут:  $A - B - C - D - G - J$

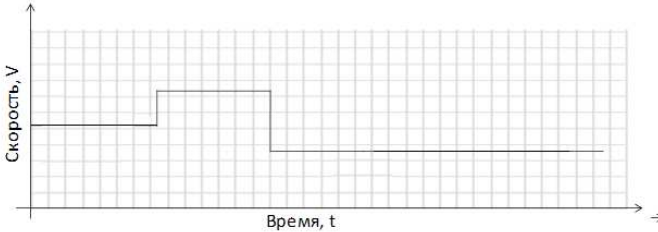


Рис. 5 – График исторических скоростей для определенного периода времени

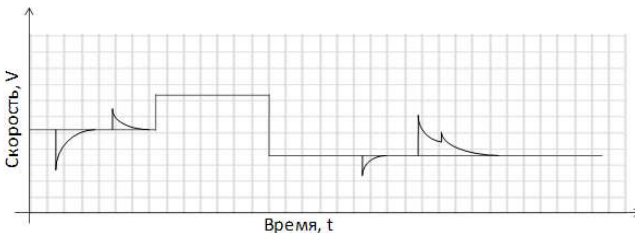


Рис. 6 – График наложения прогнозных и реальных скоростей в моменты времени

## Выводы

Данный алгоритм позволяет с большой точностью прогнозировать состояние ситуации на дороге в заданный временной отрезок. Эффективность алгоритма экспоненциально зависит от количества исторических данных. Это позволяет повысить точность прогнозирования.

Таким образом, система, построенная на основе алгоритма упреждающей прокладки маршрута, в течение эксплуатации будет постоянно увеличивать точность последующих прогнозов при условии постоянного накопления данных.

Учитывая постепенное проникновение технологии GPS в набор функциональности недорогих телефонов среднего и низкого уровня, цена, энергопотребление и размеры самих микросхем должны быть значительным образом уменьшены. Как следствие – увеличение числа программных продуктов ориентированных на применение GPS, в которых может быть использован данный алгоритм.

## Литература

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: 1976.
2. Бониц М. Научные исследования и научная информация /Пер. с нем. – М.: Наука, 1987.
3. Каханер Д., Муулер К., Нэш С. Численные методы и математическое обеспечение /Пер. с англ. – М.: Мир, 1998.
4. Саати Т, Метод анализа иерархий. М.: “Радио и связь”, 1993.
5. Рыжиков Ю.И., О показательной аппроксимации распределения времени обслуживания // Изв. АН СССР, Техн. Кибернетика. – 1972. - 2.
6. Рыжиков Ю.И., Расчет систем массового обслуживания с порогом включения и разогревом // Изв. АН СССР, Техн. Кибернетика. – 1972. - 6.
7. Рыжиков Ю.И., Решение научно-технических задач на персональном компьютере. – СПб.: КОРОНА Принт, 2000.
8. Кудрявцев Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. –М.: Радио и связь.
9. Саати Г.А. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. - М.: Советское радио.
10. Вентцель Е.С. Исследование операций. Советское радио, 1972.

*Получено 15.11.2008*