

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-3>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/34TVN316.pdf>

Статья опубликована 07.06.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Игумнов А.О., Сонькин Д.М. Разработка методики построения прогноза времени прибытия с использованием статистических и фактических данных о движении транспортных средств по принципу подбора шаблонов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/34TVN316.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Статья выполнена в рамках государственного задания Министерство образования и науки Российской Федерации высшим учебным заведениям в части проведения НИОКР НИОКР по теме «Исследование и разработка новых технологий, алгоритмов и программных средств для навигационно-телекоммуникационных комплексов нового поколения использующих навигационную систему ГЛОНАСС и беспилотные летательные аппараты». № 4.1313.2014 – 1201459777

УДК 519.254

Игумнов Артём Олегович

ФГБОУ ВПО «Томский национально-исследовательский политехнический университет», Россия, Томск¹
Лаборант

E-mail: artishiro@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5852-9423>

Сонькин Дмитрий Михайлович

ФГБОУ ВПО «Томский национально-исследовательский политехнический университет», Россия, Томск
Доцент кафедры «ИПС» Института Кибернетики

Кандидат технических наук

E-mail: sonkind@tpu.ru

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56801911200>

ReseacherID: <http://www.researcherid.com/rid/H-1688-2016>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=587556

Разработка методики построения прогноза времени прибытия с использованием статистических и фактических данных о движении транспортных средств по принципу подбора шаблонов

Аннотация. В статье представлен подход к оценке времени прохождения пути из одной точки в другую на графе дорог, с учётом статистических данных. Проведен анализ системы диспетчерского мониторинга транспортных средств. Представлена актуальность задачи прогнозирования времени прибытия и описаны варианты решения задачи. Представлена методология для подбора исторических данных необходимых для составления прогноза, для чего вводится определение шаблона пути. Алгоритм подбора шаблона учитывает текущую обстановку на дороге и в расчёте задействуются статистические данные наиболее соответствующие проходимости участка пути на момент расчёта. Отличительной особенностью алгоритма является отсутствие временного хранения данных для каждого объекта мониторинга, а также учёт текущей нагрузки трафика, который позволяет

¹ 634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

алгоритму минимизировать потерю в точности при возникновении незапланированных замедляющих факторов. Алгоритм прогнозирования времени прибытия позволяет улучшить планирование движения для объектов мониторинга предоставляющей транспортные услуги в черте города. Предложенный алгоритм апробирован в системе диспетчерского мониторинга общественного транспорта города Томска, в статье приведен графический анализ сравнения прогнозов построенных с помощью алгоритма с фактическим временем прибытия, при этом погрешность оценки не превышает двух минут.

Ключевые слова: грузо-пассажирские перевозки; общественный транспорт; моделирование транспортной системы; информационная система; глобальная навигационная спутниковая система; время прибытия; методы прогнозирования событий

Системы диспетчеризации, включающие в себя системы спутникового мониторинга и централизованного-распределенного управления транспортом, активно развиваются и включают в себя множество алгоритмов обработки поступающих данных. Использование современных систем диспетчеризации позволяет отслеживать местоположение разногабаритных транспортных средств в оперативном (онлайн) режиме. В условиях реального времени описанные системы позволяют прогнозировать параметры движения, что является определяющим элементом концепции интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Существует большое количество разнообразных систем мониторинга для каждой сферы транспорта выполняющие как простые функции – определение траектории движения, так и более сложные – учет технических жидкостей и регламент проведения технического обслуживания. При этом, такие системы диспетчеризации могут включать в себя как общие функции для работы с данными о местоположении транспортного средства (ТС), так и узко профилированные функции, предназначенные для конкретного типа организаций. Общие функции транспортных систем можно разделить на три вида: обработка случившихся событий (учет расхода технических жидкостей, фиксирование пробега ТС), отслеживание текущих параметров перемещения (местоположение, скорость, вес перевозимого груза) и прогнозирование грядущих (расчет времени пути при текущих параметрах движения, анализ необходимости дозаправки и др.).

Возможность достоверного прогнозирования эксплуатационных параметров движения как для пассажирского транспорта (осуществляющие движение преимущественно в городских условиях), так и грузового крупнотоннажного транспорта (передвигающегося в основном по междугородным, федеральным и международным трассам) является важным фактором для развития транспортной системы страны. На основании такого рода информации, службы, регулирующие транспортные потоки (Министерство транспорта, Федеральное дорожное агентство, РНИС и т.п.) и управляющие движением в условиях города (службы контроля пассажироперевозок, административные городские комитеты по транспорту и организации дорожного движения) могут быстро реагировать на чрезвычайные дорожные ситуации, корректировать маршрутную сеть, управлять скоростью и интенсивностью движения транспортных средств.

Стоит отметить, что прогнозирование времени прибытия транспорта и другая аналитическая информация о движении транспортных средств может быть предоставлена с помощью современных облачных информационных систем посредством WEB-сервисов, приложений для мобильных устройств, СМС-сервисов, электронных информационных табло в условиях города [1].

Постановка задачи

Одной из актуальных задач прогнозирования является задача определения времени прибытия транспортного средства из одной точки в другую. Алгоритмы, применяемые для данного класса задач, являются одними из самых востребованных для любой системы мониторинга транспорта, поскольку время прибытия служит определяющим параметром при планировании в системах мониторинга. Для систем клиентского обслуживания это позволяет улучшить оперативность предоставления услуг (подача наиболее близкого по времени автомобиля), для иных систем это позволяет осуществлять планирование с меньшим простоем [2].

Исходными данными, необходимыми для прогнозирования времени движения ТС из одной точки в другую могут выступать следующие параметры, получаемые информационными диспетчерскими системами от абонентов:

- тип транспортного средства, оснащённого терминалом системы спутникового мониторинга;
- данные о местоположении транспортного средства (долгота, широта в системе координат WGS-84) и соответствующая информация по времени;
- параметры движения и дополнительная информация (ускорение, скорость, точность получаемых навигационных данных);
- представление транспортной системы анализируемого участка в виде ориентированного графа;
- данные о планируемом и фактическом маршруте движения ТС;
- плановое или рекомендованное время прохождения транспортом контрольных точек маршрута;
- статистические данные о характере движения данного ТС и информация об отклонении от графика (расписания) движения.

Объектами исследования в рамках контроля системы предсказания являются грузо-пассажирские транспортные средства: маршрутный городской транспорт (троллейбусы, трамваи и автобусы), бригады скорой медицинской помощи, таксопарки, компании, осуществляющие транспортную грузоперевозку. Транспортные средства должны быть оснащены навигационным оборудованием ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS, обеспечивающим определение текущего местоположения и параметров движения ТС и иметь возможность передавать текущие данные по одному или нескольким каналам связи в систему мониторинга [3].

Теория

Транспортную сеть можно представить в виде графа, с помощью которого удобно рассчитывать расстояние между пунктами назначения. Для реализации алгоритма прогноза прибытия предлагается использовать взвешенный граф дорог с перекрёстками в качестве вершин графа и дорогами в качестве рёбер и исторические сведения о средней скорости прохождения дороги (рис. 1а).

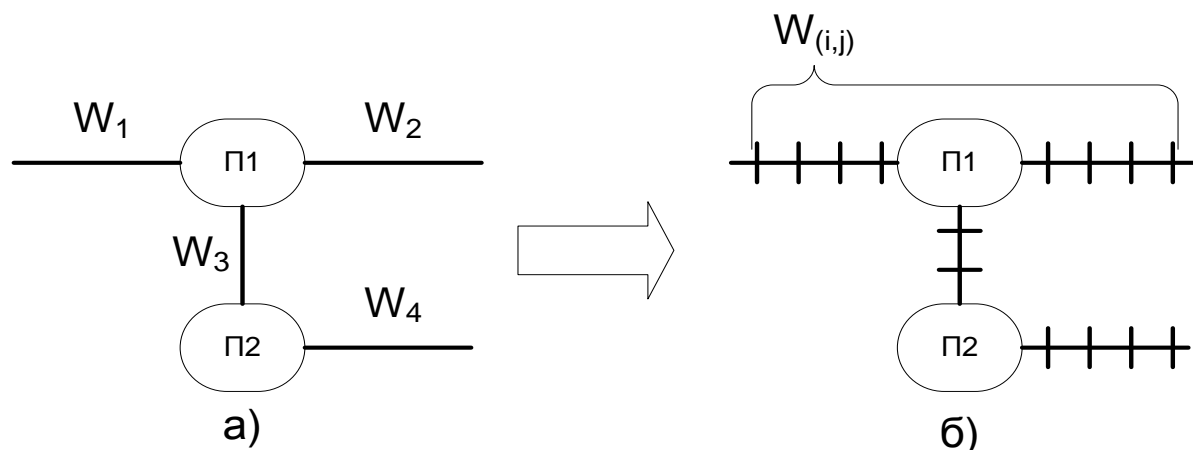


Рисунок 1. Представление графа дорог: а) обычный взвешенный граф, б) подробный

В общем виде формулу расчёта времени движения объекта мониторинга с учётом скорости и расстояния можно представить, как:

$$t = \frac{d}{v}, \quad (1)$$

где: d – расстояние между точками, v – скорость движения.

Естественно, что в условиях реального перемещения объекта мониторинга, скорость движения постоянно меняется и применение формулы (1) невозможно.

Для решения задачи учёта времени прохождения можно использовать некоторую заданную для обозначенного пути скорость или использовать среднюю скорость движения объекта мониторинга (v_m) на некотором предыдущем расстоянии.

$$t = \frac{d_c}{v_m}, \quad (2)$$

где: d_c – расстояние между точками, v_m – средняя скорость на некотором предыдущем участке d_m .

При отсутствии статистических сведений прогнозирование предлагается осуществлять посредством формулы (2). При расчёте относительно статистических данных необходимо учитывать не только данные о скорости движения, рассчитанные на основе информации о движении объектов по заданному маршруту, но и текущую среднюю скорость транспортного средства. Для этого предлагается использовать сопоставление исторической информации о скорости прохождения рёбер графа и текущей скорости движения транспортного средства.

Все рёбра графа делятся на небольшие участки размером I участки i в количестве n_i ($i=0,1,2,3...n_i$). Для каждого участка и времени можно определить среднюю скорость. При расчёте скорости предлагается использовать разделение суток на интервалы по J минут j ($j=0, J, 2J \dots n_jJ$) (рис. 1б). Для каждого участка i и интервала j относительно времени вычисления прогноза t , вычисляется скорость $v(i, t - j)$, где p ($p = 0,1, \dots n_p$) это индекс статистического дня [4]. При этом:

- $i=0$ – географическое начало анализируемого пути;
- $i=n_i$ – географический конец анализируемого пути;
- $j=0$ – текущее время, конец пути;
- $j=n_j$ – предыдущее время прохождения.

Для удобства, используя разделение графа на участки, введём понятие шаблона, под которым будем понимать некоторое количество участков предыдущего пути за некоторое предыдущее время (A) и количество участков до точки назначения [5]. Таким образом, получим набор шаблонов для каждого дня p , на конкретное время t и для набора участков i .

Для подбора шаблона необходимо учитывать только участки пути за предыдущее время A . Для сравнения проходимости участков пути предлагается сравнивать коэффициент относительно скорости на выбранном участке i в заданное время $t-j$: $\frac{1}{v(i,t-j)}$ и соответствующий коэффициент для исторического дня p [6]. То есть выбираются участки, расстояние которых в день p преодолело транспортное средство за интервал времени $[t-A...t]$. Соответственно при выборе шаблонов в исторические дни p набор участков выбирается относительно времени построения прогноза t , причём для учёта погрешности динамики трафика во времени, предлагается взять некоторое время t_s учитывающее отклонение на дельту x (напр. 15 минут) относительно реально-эталонного времени прохождения t : $t - x \geq t_s \geq t + x$ [7]. Следовательно, выбор наиболее оптимального шаблона для конкретного дня p можно определить, найдя минимальное значение коэффициента:

$$\min_{t-x \geq t_s \geq t+x} \Delta(p, t, t_s) = \sum_{i=0}^{n_i} \sum_{j=0}^{n_j} \left| \frac{1}{v(i,t-j)} - \frac{1}{v(i,t_s-j,p)} \right|, \quad (3)$$

где: $\Delta(p, t, t_s)$ – рассчитанный коэффициент приемлемости шаблона для t_s . Минимальное значение коэффициента из интервала $t - x \geq t_s \geq t + x$ будет детерминировать наиболее приемлемый для текущей дорожной обстановки.

Соответственно для минимального значения $\Delta(p, t, t_s)$ подбирается соответствующее для этого участка времени t_s дня p время прибытия к конечной точке, которое используется для определения конечного времени прибытия.

Поскольку для дорог в условиях города характерны факторы резкого снижения проходимости (ДТП, ремонт...), предлагается ввести понятие нагрузки участка. Нагрузка каждого участка представляет собой относительный коэффициент воздействия различных затрудняющих движения факторов. Такие факторы бывают двух видов: постоянные, как плохое покрытие дороги или переход на более узкую и т.п.; и временные, как пробки вызванные аварией или медленным движением отдельных транспортных средств [8]. Для оценки всех вариантов затрудняющих факторов предлагается нагрузку конкретного участка определить относительно воздействия скорости на участок:

$$w(i, j) = \frac{1}{[v(i,t-j,p)]^B}, \quad (4)$$

где B это весовой коэффициент, определяющий степень актуальности воздействия нагрузки. При этом чем меньше значение B , тем больше степень соответствия выбранного шаблона для исследуемого проблемного участка (затрудняющего движение в выбранный день p) [9]. Соответственно конечный коэффициент соответствия шаблона определяется:

$$\min_{t-x \geq t_s \geq t+x} \Delta(p, t, t_s) = \sum_{i=0}^{n_i} \sum_{j=0}^{n_j} w(i, j) \left| \frac{1}{v(i,t-j)} - \frac{1}{v(i,t_s-j,p)} \right|, \quad (5)$$

Для формирования конечного прогноза, предлагается вычислить наиболее подходящие шаблоны для C количества дней относительно текущего дня u : $p \in (u - C, u - (C - 1), \dots, u - 1)$. Однако, следует учитывать, что в различные дни обстановка на дорогах может существенно различаться. Поэтому целесообразно использовать информацию о проходимости дорог не за все C дней а только наиболее подходящие из них. Для отбора соответствующих шаблонов предлагается ввести две константы: максимальное количество подходящих шаблонов N которой ограничивается список по сортировки относительно Δ и минимальная

степень соответствия шаблона E сравнению с которой будет фактором отброса критически не подходящих коэффициентов ($\Delta \leq E$) [10].

Таким образом, после расчёта подходящих шаблонов для C предыдущих дней и просеивания относительно минимальной степени соответствия E , если их остаётся более H то выбирается H наиболее подходящих [11]. При условии полного отсутствия шаблонов удовлетворяющих E , выбирается день, для которого $\Delta(p, t, t_s)$ будет минимальной.

После выбора шаблонов для каждого исторического дня p , отбирается соответствующее время прибытия объекта мониторинга в шаблоне и на основании их рассчитать прогнозируемое время прибытия:

$$\hat{T}(t, p) = \frac{\sum_{h \in \Omega(t, p)} T(t_s, h)}{n_k}, \quad (6)$$

где: $\hat{T}(t, p)$ – конечный прогноз, $\Omega(t, p)$ - набор подобранных шаблонов, $T(t_s, h)$ - время для шаблона в исторический день h , n_k – количество шаблонов.

Результаты экспериментов

Приведённый алгоритм расчёта прогнозируемого времени, позволяет реализовать прогнозирование времени движения для транспортного средства с динамически выстроенным маршрутом, например для такси, при этом дополнительно учитываются статистически накопленные данные от навигационных приёмников при движении по конкретным участкам дорог [12]. Если маршрут определён как постоянный, например, для городского пассажирского транспорта, то можно реализовать структуру хранения данных таким образом, чтобы осуществлять расчёт по непосредственно хранящимся данным. Для описания шаблона предлагается сохранять в единую базу данных такие параметры как: среднюю скорость v для каждого участка i и J -минутного промежутка времени j в течении дня. Тогда при расчёте прогноза осуществляется выборка скоростей и времени для подборки шаблонов, на основании которой осуществляется непосредственно описанный алгоритм [13].

Особенностью алгоритма является отсутствие механизма отслеживания в памяти перемещения транспортного средства. При каждом обращении передаются координаты конечной точки посещения, координаты и скорость текущего положения ТС. Данная реализация подразумевает выборку шаблонов таким образом, что при неожиданном изменении загруженности дорог (например, ДТП) прогноз вычисляется для статистических данных так же включавших загруженную дорогу, что делает прогноз точнее.

Для корректировки точности прогноза необходимо определить только значения констант, задействованных в алгоритме. В ходе апробации алгоритма, для ТС передвигающихся в городе с населением до 500 тыс. человек, было выявлено, что наиболее точный результат алгоритм показал для констант, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Выбранные значение констант

I	длина участка графа дороги	100 метров
J	размер интервалов времени	5 минут
A	интервал времени для которого вычисляется коэффициент соответствия шаблона	30 минут
B	степень актуальности нагрузки дороги при сравнении шаблонов	0.5
C	количество дней для которых выбираются шаблоны	30 дней
H	максимальное количество подходящих шаблонов для расчёта	10

Е	допустимая погрешность для коэффициента соответствия шаблонов	0.005
---	---	-------

Для анализа точности работы алгоритма сравним время прибытия транспортных средств в течении дня для конкретной остановки и прогноза, вычисленного на предыдущей остановке (рис. 2).

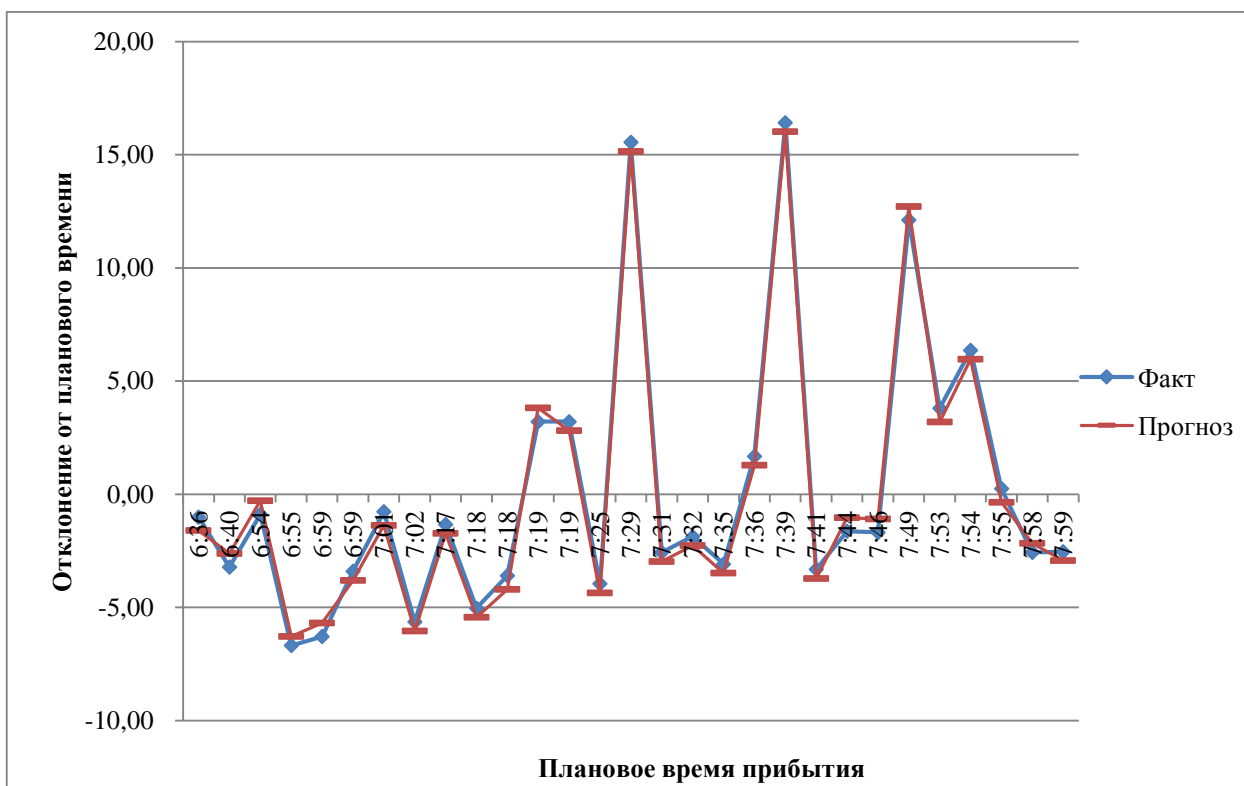


Рисунок 2. Сравнение конечного прогноза с реальным прибытием

По графику видно, что в часы пик, разница между плановым временем посещения остановки и фактическим увеличивается.

Обсуждение результатов

Для сравнения эффективности алгоритма прогнозирования относительно фактического времени прибытия построен график отклонения спрогнозированного времени относительно фактического времени посещения остановки транспортом по модулю (рис. 3).

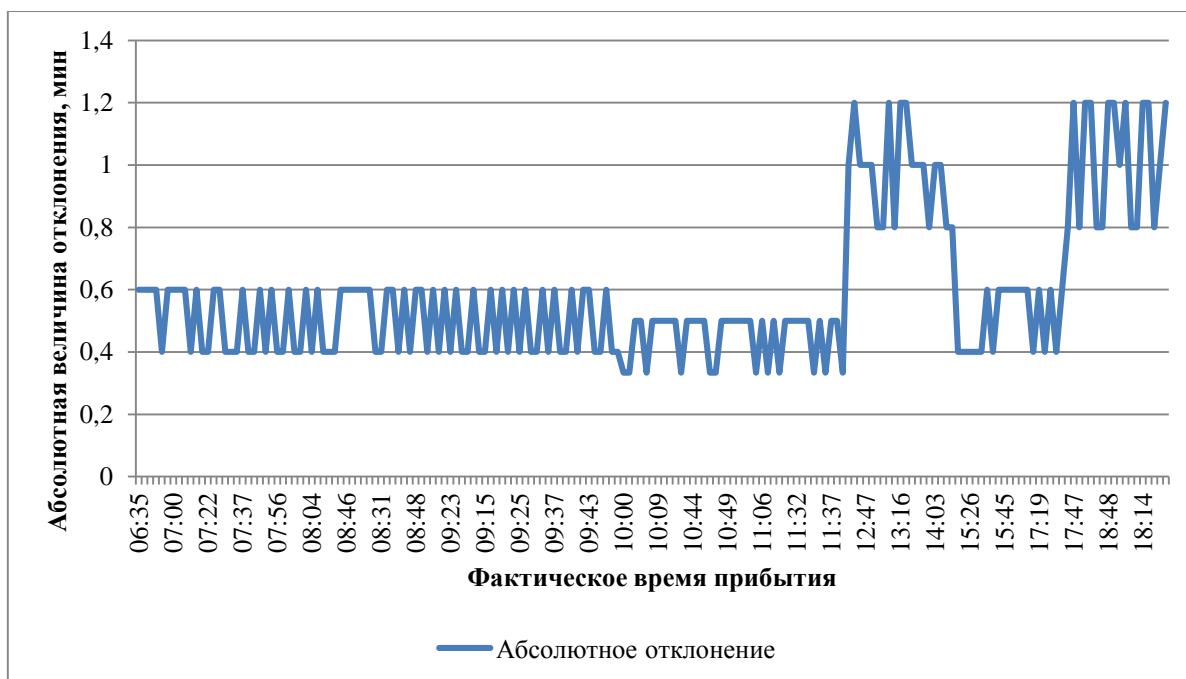


Рисунок 3. Отклонение значений прогноза с реальным прибытием

По графику видно, что отклонение не превышает двух минут и возрастает в часы пик.

Использование алгоритма прогнозирования времени прибытия транспорта позволяет эффективнее организовывать планирование движения транспорта внутри организации. На примере работы таксомоторного парка применение алгоритма позволяет подбирать автомобиль для выполнения заказа не только из тех что свободны в данный момент, но и тех что закончат работы в ближайшее время и ближе к заказу. Применение алгоритма в службах диспетчеризации городского пассажирского транспорта позволяет предоставлять пассажирам оперативную информацию о сроках прибытия каждого транспортного средства.

Заключение

В работе предложен алгоритм построения прогноза времени прибытия транспортных средств, основанный на модели адаптивной композиции фактического времени прибытия и использования статистических данных по принципу подбора шаблонов. Под адаптивностью подразумевается настройка управляющих параметров прогнозирования ряда показателей движения конкретного транспортного средства. Дальнейшим развитием управляющих параметров алгоритма может являться учет модели, включающей следующие актуальные факторы: погодные условия, плотность транспортного потока, динамика движения, горизонт прогноза и др.

В результате проведенных исследований было определено, что особую роль в современных информационных систем мониторинга занимает своевременная и точная информация о времени прибытия ТС в заданную контрольную точку. В связи с тем, что концепция интеллектуальных транспортных городских систем динамично развивается в городах России, применение и развитие алгоритмов обработки и анализа данных о движении транспортных средств является актуальной. Использование модели, основанной на статистических и фактических данных, в том числе об интервалах движения и задержках в контрольных точках, с течением времени позволит улучшать точность оценки прогнозного времени прибытия. Результаты исследований планируются к использованию для информирования диспетчеров о текущей дорожной ситуации, информирования населения о

времени прибытия маршрутного городского транспорта на остановку с использованием электронных табло, мобильных приложений и веб-сайтов, а также для автоматизации процесса формирования расписаний движения пассажирского транспорта. С введением данной системы в эксплуатацию появится возможность для оценки точности выполняемого прогноза, корректировки разработанных алгоритмов и создания новых алгоритмов, основанных на более точных моделях прогнозирования.

Выводы

- Предложен алгоритм прогнозирования времени движения объекта из одного пункта в другой.
- Отличительной особенностью алгоритма является отсутствие временного хранения состояний отслеживаемого объекта.
- Разработанный алгоритм демонстрирует высокую точность относительно фактического времени прохождения.
- Применение предложенного алгоритма позволяет организовывать планирование движения, обусловленное необходимостями заданной организации.
- Предложенный алгоритм апробирован в системе диспетчерского управления и мониторинга городского пассажирского транспорта города Томска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капилевич В.Л., Сонькин Д.М., Игумнов А.О. Комбинированный алгоритм для отображения навигационных данных в высоконагруженных WEB-ориентированных пассажирских информационных системах. Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2014. №4 (34). С. 165-170.
2. A travel time reliability model of urban expressways with varying levels of service, Lei, F., Wang, Y., Lu, G., Sun, J. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014.
3. Погребной Вадим Юрьевич, Фадеев Александр Сергеевич Алгоритмизация прогнозирования времени прибытия пассажирского транспорта города Томска на остановку с использованием модели, основанной на исторических и реальных данных, Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2013. - Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/100TVN613.pdf>, – Загл. с экрана. - Яз. рус.
4. Thomas Notbohm, P.E., Alex Drakopoulos, Alan J. Horowitz, Smart Work Zone Deployment Initiative Wisconsin Evaluations Summer 2001 Travel Time Prediction System, 2001.
5. Bajwa, S.I., Chung, E. and Kuwahara, M., «A travel time prediction method based on pattern matching technique», Proceedings of 11th REAAA and 21st ARRB Conference, Cairns, 2003.

6. Hao Chen, Hesham A. Rakha (Corresponding author), Catherine C. McGhee, «Dynamic Travel Time Prediction using Pattern Recognition», 20th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Tokyo, Japan, 2013.
7. Khrul S.A., Sonkin D.M., Increasing positioning accuracy of moving objects using an adaptive algorithm based on diagnostic filtration. Life Science Journal. 2014. T. 11. №11 s. C. 444-448.
8. A data-driven approach for travel time prediction on motorway sections, Heilmann, B., Koller, H., Asamer, J., (...), Breuss, S., Richter, G. 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2014 Proceedings, 2014.
9. A genetic algorithm-based support vector machine for bus travel time prediction, Moridpour, S., Anwar, T., Sadat, M.T., Mazloumi, E. ICTIS 2015 - 3rd International Conference on Transportation Information and Safety, Proceedings, 2015.
10. Leshchik Y.V., Sonkin D.M., Sonkin M.A., Khrul S.A. Applying of combined algorithm for prediction urban road traffic based on fuzzy search theory. 2014 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2014 - Proceedings 12. 2014. C. 585-590.
11. Bus travel-time prediction with a forgetting factor, Yu, B., Ye, T., Tian, X.-M., Ning, G.-B., Zhong, S.-Q. Journal of Computing in Civil Engineering, 2014.
12. Taxi trip time prediction using similar trips and road network data, Deep Singh, A., Wu, W., Xiang, S., Krishnaswamy, S. 2015 IEEE International Conference on Big Data, IEEE Big Data 2015.
13. Sei Kato, Travel-Time Prediction using Gaussian Process Regression: A Trajectory-Based Approach, onference: Proceedings of the SIAM International Conference on Data Mining, SDM 2009, April 30 - May 2, 2009, Sparks, Nevada, USA, 2009.

Igunnov Artem Olegovich

National research Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk
E-mail: artishiro@gmail.com

Sonkin Dmitriy Michalovich

National research Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk
E-mail: sonkind@tpu.ru

Development of forecasting arrival-time method using statistical and factual data of vehicles movement based on pattern matching technique

Abstract. An approach to evaluation of an route time from one point to another of a road graph using statistical data is described in this paper. Analysis of a vehicle dispatch monitoring system is performed. The task of forecasting of arrival time, its relevance and alternate solutions are described. The method of selection of historical data necessary for forecasting and the term "route template" are introduced. Template selection algorithm takes into account current road traffic conditions and uses the most suitable statistical data on route segment passabitily for the moment of calculation. The fact that no temporary data is stored for each monitored vehicle as well as taking into account current traffic load conditions which makes it possible to minimize the loss of accuracy in case of unexpected traffic hindrance factors are specific features of the algorithm. Arrival time forecasting algorithm makes it possible to improve planning and scheduling for monitored vehicles delivering transport services inside the city. The algorithm offered was tested in the framework of the dispatch monitoring system of public municipal passenger transport of the city of Tomsk. Graphical analysis of comparison of forecast values obtained using the algorithm and actual arrival time is given in this paper, estimation error does not exceed 2 minutes.

Keywords: Load-passenger transport; public transport; modeling of the transport system; information system; global navigation satellite system; arrival time; events prediction model

REFERENCES

1. Kapilevich V.L., Son'kin D.M., Igunnov A.O. Kombinirovannyy algoritm dlya otobrazheniya navigatsionnykh dannykh v vysokonagruzhennykh WEB-orientirovannykh passazhirskikh informatsionnykh sistemakh. Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki. 2014. №4 (34). S. 165-170.
2. A travel time reliability model of urban expressways with varying levels of service, Lei, F., Wang, Y., Lu, G., Sun, J. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014.
3. Pogrebnoy Vadim Yur'evich, Fadeev Aleksandr Sergeevich Algoritmizatsiya prognozirovaniya vremeni pribytiya passazhirskogo transporta goroda Tomsk na ostanovku s ispol'zovaniem modeli, osnovannoy na istoricheskikh i real'nykh dannykh, Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» [Elektronnyy resurs]-M.: Naukovedenie, 2013. - Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/100TVN613.pdf>, – Zagl. s ekrana. - Yaz. rus.

4. Thomas Notbohm, P.E., Alex Drakopoulos, Alan J. Horowitz, Smart Work Zone Deployment Initiative Wisconsin Evaluations Summer 2001 Travel Time Prediction System, 2001.
5. Bajwa, S.I., Chung, E. and Kuwahara, M., «A travel time prediction method based on pattern matching technique», Proceedings of 11th REAAA and 21st ARRB Conference, Cairns, 2003.
6. Hao Chen, Hesham A. Rakha (Corresponding author), Catherine C. McGhee, «Dynamic Travel Time Prediction using Pattern Recognition», 20th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Tokyo, Japan, 2013.
7. Khrul S.A., Sonkin D.M., Increasing positioning accuracy of moving objects using an adaptive algorithm based on diagnostic filtration. Life Science Journal. 2014. T. 11. №11 s. S. 444-448.
8. A data-driven approach for travel time prediction on motorway sections, Heilmann, B., Koller, H., Asamer, J., (...), Breuss, S., Richter, G. 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2014 Proceedings, 2014.
9. A genetic algorithm-based support vector machine for bus travel time prediction, Moridpour, S., Anwar, T., Sadat, M.T., Mazloumi, E. ICTIS 2015 - 3rd International Conference on Transportation Information and Safety, Proceedings, 2015.
10. Leshchik Y.V., Sonkin D.M., Sonkin M.A., Khrul S.A. Applying of combined algorithm for prediction urban road traffic based on fuzzy search theory. 2014 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2014 - Proceedings 12. 2014. S. 585-590.
11. Bus travel-time prediction with a forgetting factor, Yu, B., Ye, T., Tian, X.-M., Ning, G.-B., Zhong, S.-Q. Journal of Computing in Civil Engineering, 2014.
12. Taxi trip time prediction using similar trips and road network data, Deep Singh, A., Wu, W., Xiang, S., Krishnaswamy, S. 2015 IEEE International Conference on Big Data, IEEE Big Data 2015.
13. Sei Kato, Travel-Time Prediction using Gaussian Process Regression: A Trajectory-Based Approach, onference: Proceedings of the SIAM International Conference on Data Mining, SDM 2009, April 30 - May 2, 2009, Sparks, Nevada, USA, 2009.