УДК 656:004 DOI 10.25730/VSU.0536.19.020

Разработка алгоритма прогнозирования времени прибытия общественного транспорта на остановку

А. Е. Гаврилов[1], А. В. Колупаев[2]

[1]студент кафедры систем автоматизации управления, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: martin.mccormick@yandex.ru

[2]кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизации управления, Вятский государственный университет. Россия, г. Киров. E-mail: al-kolupaev@yandex.ru

Аннотация. В данной статье приводится разработанный авторами алгоритм прогнозирования времени прибытия общественного транспорта на остановку. Алгоритм работает на основе анализа открытых данных информационной системы городского пассажирского транспорта Центральной диспетчерской службы г. Кирова.

Объектами исследования данной работы являются маршрутная сеть городского пассажирского транспорта г. Кирова и связанная с ней информационная система Центральной диспетчерской службы.

Разработанный алгоритм по функциональности превосходит используемый в системе в данный момент, позволяя спрогнозировать время прибытия всех транспортных единиц всех маршрутов, проходящих через заданную остановку. Точность разработанного алгоритма не уступает по погрешности прогноза используемому, а вблизи конечных остановок превосходит его.

Разработанный алгоритм может быть применен в действующей информационной системе обслуживания пассажиров городского транспорта в г. Кирове.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, информационные системы, прогнозирование, алгоритм, маршрут.

Введение. В настоящее время на автотранспортных предприятиях, которые занимаются пассажирскими перевозками, активно применяются информационные технологии. Они позволяют автоматизировать многие процессы в организации, а также помогают вести учет расхода топлива, отслеживать местоположение транспорта, составлять расписание, планировать маршруты следования и т. д. Через эти системы осуществляется взаимодействие с пользователями пассажирского транспорта: принимаются и обрабатываются заявки, жалобы, предложения, осуществляется информирование населения об изменениях в расписании, маршрутах следования, в деятельности транспортных компаний и т. д.

Самой важной для пассажиров функцией подобных информационных систем является прогнозирование времени прибытия транспорта на остановку. Такая информация доступна диспетчерам автотранспортного предприятия, и часть ее (расписание, местоположение транспорта, при наличии – прогноз прибытия) раскрывается пользователям пассажирского транспорта посредством электронных табло на остановках, веб-интерфейса системы или мобильного приложения.

На данный момент Центральной диспетчерской службой городского пассажирского транспорта г. Кирова для демонстрации на электронных табло остановок общественного транспорта и в мобильных, и веб-приложениях используется алгоритм прогнозирования прибытия на остановку только ближайшей к выбранной остановке единицы общественного транспорта требуемого маршрута. В подобных системах (например, в информационных системах Казани и Самары, в системе «Умный транспорт») прогноз выдается для нескольких единиц общественного транспорта или для нескольких остановок одной единицы общественного транспорта.

Актуальной остается задача прогнозирования времени прибытия всех единиц общественного транспорта всех маршрутов, проходящих через выбранную остановку.

Цель исследования. Целью работы является разработка алгоритма прогнозирования прибытия городского пассажирского транспорта на остановку на основе открытых данных информационной системы Кировской центральной диспетчерской службы.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– проанализировать имеющиеся открытые данные информационной системы;

– определить набор входных и выходных данных алгоритма;

– разработать модель прогнозирования времени прибытия одной единицы транспорта одного маршрута на остановку;

– масштабировать модель на все единицы общественного транспорта всех маршрутов, проходящих через остановку.

© Гаврилов А. Е., Колупаев А. В., 2019

Методы исследования. При написании работы были применены методы анализа исходных данных, синтеза алгоритмов, геометрических преобразований, компьютерного моделирования, сравнения полученных результатов с аналогами.

В результате проведенного анализа открытых данных информационной системы был разработан алгоритм, позволяющий осуществлять прогнозирование времени прибытия каждой транспортной единицы каждого маршрута, проходящего через заданную пользователем остановку. Описание алгоритма прогнозирования прибытия транспорта на остановку для всех единиц одного маршрута приводится ниже.

Для работы данного алгоритма необходим следующий набор входных данных:

– расписание на текущий день для конечных остановок проходящего маршрута;

– упорядоченный список остановок маршрута с их местоположением на карте и принадлежностью к стороне дороги;

– упорядоченный список узлов маршрута с их местоположением на карте и направлением движения транспорта через этот узел. Узлом маршрута называется точка поворота маршрута или точка остановки. Обозначения приведены на рис. 1;

– список точек местоположения транспортных единиц (маркеров) маршрута на карте с углом их поворота и скоростью движения;

– местоположение автобусного парка.

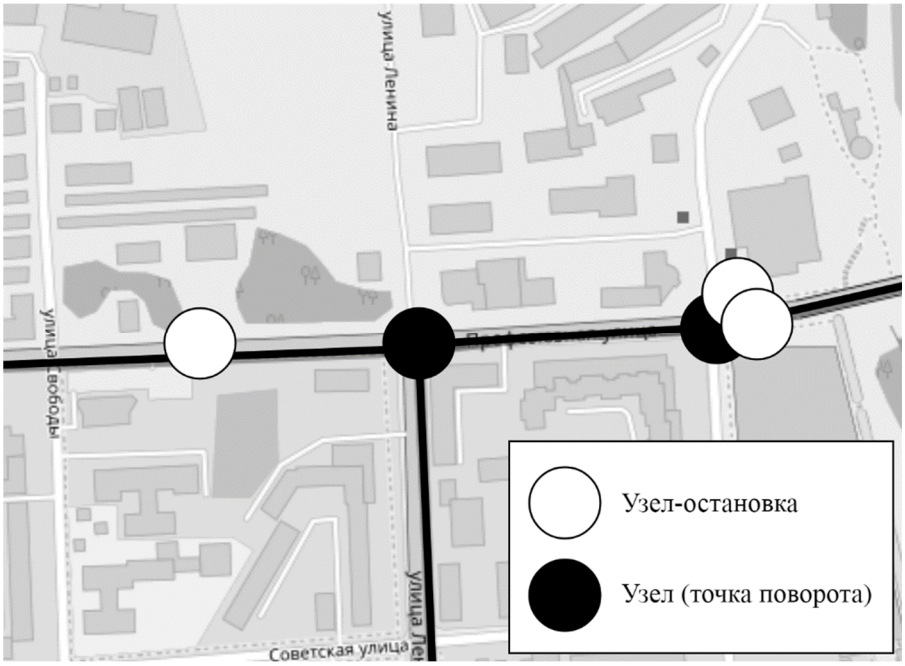

Рис. 1. Обозначения узлов маршрута

Разработанный алгоритм состоит из нескольких этапов (шагов).

Шаг 1. Обработка всех маркеров маршрута

На этом шаге необходимо для каждого маркера выполнить расчет его расстояния до линии маршрута. Это необходимо для того, чтобы отбросить маркеры, которые находятся не на линии (потенциально, сняты с рейса, находятся в парке и т. п.), при этом учитывая максимально возможную погрешность GPS-приемника, равную 50 метрам [2].

Для нахождения расстояния между маркером и линией маршрута применяется геометрическая формула нахождения точки пересечения между четырьмя отрезками, проходящими через центр маркера горизонтально (от -180 до 180 по оси X, по оси Y в точке маркера), вертикально (по оси X в точке маркера, от -90 до 90 по оси Y) и под углом в 45 градусов и линией маршрута. Пересечение отрезков проиллюстрировано на рис. 2 (тонкой черной линией изображена линия маршрута).

Точка пересечения отрезков находится по алгоритму [1, с. 227].

Далее находятся расстояния от точек пересечения до маркера по формуле (1) и выбирается из них кратчайшее (на рис. 2 изображено жирной линией).

$$\Delta\sigma = \arctan\left(\frac{\sqrt{(\cos\phi_2 * \sin\Delta\lambda)^2 + (\cos\phi_1 * \sin\phi_2 - \sin\phi_1 * \cos\phi_2 * \cos\Delta\lambda)^2}}{\sin\phi_1 * \sin\phi_2 + \cos\phi_1 * \cos\phi_2 * \cos\Delta\lambda}\right) \quad (1)$$

Где $\phi_1, \lambda_1; \phi_2, \lambda_2$ – широта и долгота двух точек в радианах;
$\Delta\lambda$ – разница координат по долготе;
$\Delta\sigma$ – угловая разница.

Для перевода углового расстояния в метрическое нужно угловую разницу умножить на радиус Земли (6 372 795 метров), единицы конечного расстояния совпадают с единицами, в которых выражен радиус [3].

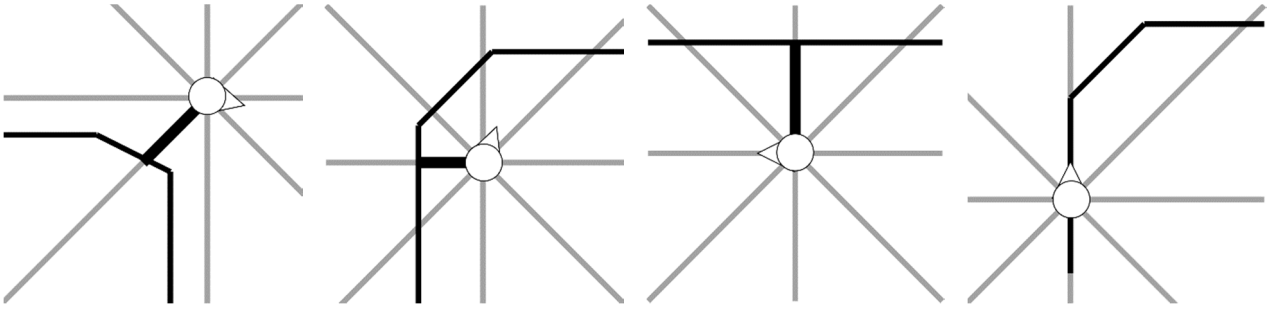

Рис. 2. Определение расстояния между маркером и линией маршрута

Если найденное расстояние превышает выбранное пороговое значение, то рассматриваемый маркер выбывает из списка прогнозируемых.

Шаг 2. Обработка маркеров, оставшихся на линии

На этом этапе необходимо определить направление движения маркера. Для этого вычисляется расстояние от каждого маркера до каждого узла маршрута по прямой и формируются два списка (по стороне дороги) с расстояниями до этих узлов. В этих списках выбирается по два ближайших к маркеру узла.

Далее необходимо вычислить угол между линией направления «взгляда» маркера и линией между двумя найденными узлами. Для «построения» линий используется формула уравнения прямой с угловым коэффициентом $y = kx + b$, проходящей через заданную точку на плоскости. Острый угол, направленный в сторону узла с большим порядковым номером, свидетельствует о движении в прямом направлении, а направленный в сторону узла с меньшим порядковым номером – о движении в обратном направлении. Если же угол оказывается прямым, то рассматриваемый маркер выбывает из списка прогнозируемых, поскольку нет возможности определить направление его движения. Возможные случаи продемонстрированы на рис. 3 (определяющий направление угол выделен жирной линией).

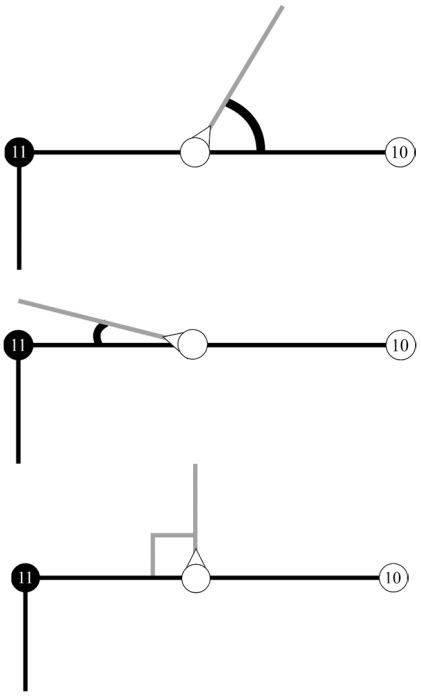

Рис. 3. Определение направления движения маркера

Также на этом шаге маркер может выбыть из списка прогнозируемых, если он едет в противоположном направлении от разрешенного конфигурацией маршрута.

Шаг 3. Формирование очереди прохождения остановок

Перед данным этапом становится известно, между какими двумя узлами маршрута находится маркер и его направление движения. На данном этапе необходимо определить, какой следующий узел-остановка находится по направлению движения маркера. Далее формируется закольцованная очередь прохождения остановок маркером (начиная с текущей остановки до конечной, с конечной в обратном направлении до другой конечной и с нее до текущей остановки). Кольцо необходимо сформировать на тот случай, если пользователь запрашивает прогноз с остановки, через которую уже проехал транспорт, и он единственный на маршруте. Время отправления для конечных остановок учитывается исходя из расписания этой остановки.

Шаг 4. Разбиение списка маркеров

На этом шаге для дальнейшего определения средней скорости движения маркеров необходимо разбить список маркеров на два списка: движущийся и стоящий. Стоящим считается маркер, если скорость его движения меньше или равна 5 км/ч, а расстояние между ним и ближайшим узлом-остановкой меньше 30 метров.

Расчет расстояния между двумя точками на карте также осуществляется по формуле (1).

Шаг 5. Обработка движущихся маркеров. Расчет протяженности маршрута

На данном шаге рассчитывается расстояние между всеми узлами маршрута и вычисляется время, необходимое для прохождения требуемой части маршрута. Расчет расстояния между узлами маршрута производится по формуле (1), начиная с позиции маркера. Скорость движения каждого маркера принимается постоянной (равной текущей скорости маркера) на всем протяжении маршрута. Время перемещения определяется делением длины требуемой части маршрута на скорость движения. Дополнительным параметром в расчете является время простоя на промежуточной остановке. В ходе статистического анализа данных было установлено, что среднее время простоя занимает около 15 секунд. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений времени простоя транспорта на остановке

№ транспорта	Время простоя
1	19
2	14
3	53
4	9
5	9
6	12
7	15
8	20
9	13
10	5
11	7
12	7
13	8
14	14
15	16
16	21
17	13
18	5
19	23
20	37
21	10
22	12
Среднее время:	15,545

Время простоя на конечной остановке можно найти как разницу в расписании между интервалами прибытия и отправки с остановок, одна из которых является конечной, а другая – отправной, скорректированное с учетом рассчитанного времени прибытия. Таким образом, достигнув в процессе прогнозирования конечной остановки, можно получить приблизительное время прибытия транспорта в данное место и отправления с него. Если время отправления находится близко к последнему интервалу промежуточной конечной остановки, то при прогнозировании времени про-

хождения остановок маркером для него будет выставляться пометка «последний рейс», что сигнализирует о том, что посадка пассажиров уже не гарантируется. Если время прибытия на последнюю конечную остановку маршрута близко к последнему интервалу расписания, то из очереди прохождения отбрасываются все следом идущие остановки, т. к. транспорт уйдет в парк.

Шаг 6. Обработка стоящих маркеров

Первым шагом на данном этапе проводится дополнительная фильтрация маркеров, которые стоят в парке, если сам парк находится достаточно близко к маршрутной линии. Рассчитывается расстояние между стоящими маркерами и местоположением парка по формуле (1). Если маркер находится в радиусе 50 метров от центра парка, то он выбывает из списка прогнозируемых.

Для оставшихся стоящих маркеров скорость устанавливается как средняя скорость движущихся маркеров, после чего ведется расчет времени проезда маршрута как для движущегося.

Результаты исследований. Ниже, в табл. 2, приведено сравнение по различным критериям действующего алгоритма с разработанным.

Таблица 2

Сравнение алгоритмов

Критерий	Действующий алгоритм	Разработанный алгоритм
Количество прогнозируемых единиц транспорта на маршрут	1 ближайшая к остановке	n ближайших к остановке
Используемый набор данных	Используются статистические данные и данные текущего состояния системы	Используются только данные текущего состояния системы
Максимальная разница между фактическими данными и прогнозом	1-3 минуты	1-4 минуты
Погрешность прогнозов вблизи конечных остановок	2-6 минут	1-2 минуты
Время прогнозирования	Нет данных	5-7 секунд

В табл. 3 приведены результаты тестирования разработанного алгоритма. Последний тест выполнялся для конечной остановки маршрута.

Таблица 3

Результаты тестирования алгоритма

№ теста	Временная отметка в системе ЦДС	Скорость движения транспорта, км/ч	Расстояние до остановки, км	Прогнозируемое время по алгоритму ЦДС, мин.		Прогнозируемое время по разработанному алгоритму, мин.		Фактическое время
1	16:52:23	18	4,02	7	16:59:23	13,4	17:05:47	17:02:39
2	17:04:40	20	2,35	12	17:16:40	7,05	17:11:43	17:13:01
3	17:19:33	10	3,17	18	17:37:33	13,58	17:33:08	17:35:53
4	12:31:15	21	0,74	1	12:32:15	2,1	12:33:21	12:32:30
5	12:40:56	30	0,57	1	12:41:56	1,14	12:42:04	12:41:27
6	18:21:34	0	1,68	5	18:26:34	2,77	18:24:20	18:24:28

Выводы. Разработанный алгоритм позволяет спрогнозировать время прибытия всех транспортных единиц всех маршрутов, проходящих через заданную пользователем остановку на основе анализа открытых данных информационной системы Центральной диспетчерской службы г. Кирова (расписание, местоположение транспортных средств, линия маршрута, скорость движения).

Результаты сравнения показывают, что разработанный алгоритм не уступает по погрешности прогноза используемому в данный момент, а вблизи конечных остановок значительно превосходит его.

Данный алгоритм может быть применен в действующей информационной системе обслуживания пассажиров городского транспорта в г. Киров.

Список литературы

1. *Окулов С. М.* Программирование в алгоритмах. М., 2002. 341 с.

2. Переосмысление GPS: Разработка системы позиционирования нового поколения в Uber / Хабр. URL: https://habr.com/ru/post/353978 (дата обращения: 21.04.2018).

3. GIS-Lab: Вычисление расстояния и начального азимута между двумя точками на сфере. URL: http://gis-lab.info/qa/great-circles.html (дата обращения: 30.10.2018).

Development of an algorithm for forecasting the time of arrival of public transport at the bus stop

A. E. Gavrilov[1], A. V. Kolupaev[2]
[1]student of the Department of control automation systems, Vyatka State University.
Russia, Kirov. E-mail: martin.mccormick@yandex.ru
[2]PhD of technical sciences, associate professor of the Department of control automation systems,
Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: al-kolupaev@yandex.ru

Abstract. This article presents an algorithm developed by the authors to predict the time of arrival of public transport to the bus stop. The algorithm works on the basis of the analysis of open data of information system of city passenger transport of the Central dispatch service of Kirov.

The objects of the study of this work are the route network of urban passenger transport in Kirov and the associated information system of the Central dispatch service.

The developed algorithm surpasses the functionality used in the system at the moment, allowing to predict the arrival time of all transport units of all routes passing through a given stop. The accuracy of the developed algorithm is not inferior to the prediction error used, and well, near the end stops exceeds it.

The developed algorithm can be applied in the current information system of public transport passenger service in Kirov.

Keywords: urban passenger transport, information systems, forecasting, algorithm, route.

References

1. *Okulov S. M. Programmirovanie v algoritmah* [Programming in algorithms]. M. 2002. 341 p.

2. *Pereosmyslenie GPS: Razrabotka sistemy pozicionirovaniya novogo pokoleniya v Uber / Habr* – Rethinking GPS: Development of the positioning system of the new generation of Uber / Habr. Available at: https://habr.com/ru/post/353978 (date accessed: 21.04.2018).

3. *GIS-Lab: Vychislenie rasstoyaniya i nachal'nogo azimuta mezhdu dvumya tochkami na sfere* – GIS-Lab: Calculation the distance and initial azimuth between two points on a sphere. Available at: http://gis-lab.info/qa/great-circles.html (date accessed: 30.10.2018).