

Лебедева Ольга Анатольевна,

к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

e-mail: kravhome@mail.ru

Баянов Семен Владимирович,

студент гр. ТТП-23-1, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

e-mail: cyja642@yandex.ru

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ В ОТКРЫТЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ ПО ДАННЫМ СМАРТ-КАРТ

Lebedeva O.A., Bayanov S.V.

PROBABILISTIC ALGORITHM FOR ESTIMATION OF INDIVIDUAL TRAJECTORIES IN OPEN TRANSPORT SYSTEMS BASED ON SMART CARDS

Аннотация. Разработка матрицы корреспонденций «отправление-назначение» имеет решающее значение для планирования работы общественного транспорта. Процесс упрощается благодаря автоматизированным данным с транспортных смарт-карт, что позволяет получать информацию о посадке и высадке на уровне отдельного пассажира. В исследовании рассматривается метод, который использует данные автоматической системы сбора оплаты проезда (AFC) и общих спецификаций транспортных потоков (GTFS) для вывода наиболее вероятной траектории движения каждого пассажира.

Ключевые слова: автоматическая система сбора оплаты проезда (AFC), общие спецификации транспортных потоков (GTFS), матрица корреспонденций «отправление-назначение» (OD), общественный транспорт, алгоритм оценки поездок, данные смарт-карт.

Abstract. Developing an origin-destination matrix is crucial for public transport planning. This process is simplified by automated data from smart cards, which allows for the collection of boarding and alighting information at the individual passenger level. The study examines a method that uses data from the Automatic Fare Collection (AFC) system and the General Transport Flow Specification (GTFS) to derive the most probable trajectory for each passenger.

Keywords: automatic fare collection (AFC), generic transport flow specification (GTFS), origin-destination correspondence (OD) matrix, public transport, trip rating algorithm, smart card data.

Для повышения качества обслуживания и планирования эффективной работы транспортным организациям необходимо понимание поведения пассажиров. Поэтому проводятся бортовые обследования, которые осуществляют сбор данных о местах посадки и высадки пассажиров, цели поездки, а затем используются коэффициенты экстраполяции данных для подобных задач. Для внедрения такого метода существуют различные ограничения, такие как стоимость, малый размер выборки, смещение, ошибки отчетности. И наоборот, автоматизированные системы сбора данных, предназначенные для аналогичных целей, предоставляют источник информации о маршрутах передвижения пассажиров на индивидуальной основе. Автоматизированные данные имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными обследованиями:

- обеспечивают связь с поездками пассажира в течение длительного периода времени;

- предоставляют информацию о доле различных категорий пассажиров (студенты, пенсионеры, инвалиды, работающие);
- хранят информацию в системах баз данных SQL и позволяют эффективно ее использовать;
- предоставляют возможности для анализа маршрутов передвижения пассажиров.

В последние годы наблюдается рост интереса к использованию автоматизированных данных смарт-карт для исследований поведения пассажиров в транспортных системах. Системы автоматического сбора оплаты проезда (AFC) накапливают информацию о платежных действиях пассажиров, фиксируя на борту остановку посадки, дату и время транзакции, а также сведения о маршруте. Данные полезны не только для улучшения повседневной работы транспорта, но и для долгосрочного стратегического планирования функционирования маршрутной сети. Они используются для различных целей, таких как:

- оценка матрицы корреспонденций на уровне остановок;
- определение цели поездки;
- моделирование выбора маршрута;
- прогнозирование поездок пассажиров;
- выявление пространственно-временных кластеров схожих маршрутов передвижения;
- оценка времени ожидания пассажиров.

Исследование фокусируется на входных данных для анализа системы общественного транспорта – потоке пассажиров между различными остановками, известном как матрица корреспонденций «отправление-назначение» (OD). Оценка OD с использованием автоматизированных данных смарт-карт требует последовательности поездок, совершенных пассажиром в течение дня, которые записываются системой AFC. Но информация, доступная из этих данных, ограничена, а полная последовательность поездок недоступна. Это связано с типом системы сбора оплаты (открытая или закрытая), используемой перевозчиком. В закрытых транспортных системах отправление и назначение поездок известны, поскольку пассажиры прикладывают карту, как при посадке, так и при высадке, тогда как в открытых транспортных системах посадка пассажиров обычно известна, а высадка неизвестна, так как пассажиры прикладывают карту только при посадке в транспортное средство. Место высадки пассажира затем может быть выведено на основе места следующей посадки с использованием алгоритма связывания поездок. Разработанные алгоритмы связывания поездок, используют допущения о различных параметрах: радиус буфера для поиска ближайшей остановки к месту посадки, порог расстояния пешего подхода после высадки для пересадки на следующий маршрут, временной порог для различия между посадкой и пересадкой. Эти параметры могут различаться в транспортных

системах и влиять на результаты связывания поездок и, следовательно, на матрицу корреспонденций.

Поскольку большинство систем сбора оплаты проезда регистрируют только информацию о посадке пассажиров, информация о высадке должна быть выведена с использованием последовательности прикладываний (или меток), сделанных пассажиром в течение дня. Таким образом, необходим алгоритм определения места высадки, использующий предположение, что структуры посадки и высадки обратной поездки симметричны в течение всего дня, то есть пассажиры снова садятся в автобус с той же остановки, где они вышли во время предыдущей поездки. Основываясь на этом предположении, рассмотрим метод связывания поездок для вывода отправления и назначения со следующими допущениями:

- пассажиры возвращаются на то же место, чтобы сесть на автобус, где они вышли во время предыдущей поездки;
- между поездками не используется индивидуальный транспорт;
- пассажиры не проходят пешком большое (более определённого порога) расстояние, чтобы сесть на автобус;
- пассажиры заканчивают свою последнюю поездку в том же месте, где они начали маршрут.

Основываясь на приведенных выше допущениях, рассмотрим модель, которая определяет остановки высадки, минимизируя расстояние между остановкой высадки текущей поездки и посадкой следующей поездки, используя данные бортового опроса пассажиров автобусов (BODS).

Для вывода отправок и назначений используются данные AFC с данными общих спецификаций транспортных потоков (GTFS) вместо данных AVL. Ближайшая остановка, найденная в пределах предельного расстояния от местоположения метки смарт-карты, отмечается в качестве места посадки. Используя информацию о маршруте, указанную в транзакции, выполняется поиск рейса, ближайшего по времени. Анализируя этот рейс, остановка, найденная как ближайшая к следующей посадке, выводится как остановка высадки при условии, что расстояние между выведенной высадкой и следующей посадкой составляет менее 800 метров. Параметр расстояния может различаться для транспортных систем.

Место высадки может быть неправильно определено, если пассажир осуществляет посадку на маршрут, который следует в двух направлениях, поэтому чтобы проехать несколько кварталов, пассажир осуществляет пересадку на автобус, следующий в обратном направлении. Чтобы решить эту проблему, предложена функция стоимости, которая представляет собой сумму времени текущей транзакции и времени пешего подхода, умноженную на некоторый штрафной коэффициент, полученный из дискретной модели выбора.

Алгоритм избегает таких ситуаций, отбрасывая поездку, которая с меньшей вероятностью будет использована пассажиром. Для вывода посадки и высадки несвязанных поездок умножаются временные и пространственные вероятности, рассчитанные с использованием местоположения и времени меток, для вывода потенциальной высадки.

Качество результатов связывания поездок зависит от того, правильно ли система сбора оплаты записывает информацию о метке. Это предположение может привести к неправильному выводу посадки, высадки или определению пересадок, если системы не корректно записывают информацию. Возможные причины – отказ: системы AVL, считывателя карт, программного обеспечения.

Кратко изложим алгоритм связывания поездок:

1. Прочитать данные и выбрать текущую и следующую метки (транзакции).
2. Извлечь расписание маршрута и местоположение текущей метки, чтобы найти ближайшую остановку.
3. Перейти к шагу 4, если расстояние между текущей меткой и найденной ближайшей остановкой менее 200 метров, в противном случае исключить метку и вернуться к шагу 1.
4. Найти рейс в пределах $T_rT - \alpha$ и $T_rT + \beta$, ближайший ко времени текущей метки. $T_rT - \alpha$ – время текущей метки, α и β — параметры соблюдения расписания, определяемые с использованием данных автоматического подсчёта пассажиров-местоположения транспортных средств (APC-VL).
5. Определить ближайшую остановку к местоположению следующей метки на рейсе, найденном на шаге 4, для последовательности остановок, большей, чем остановка, найденная на шаге 2.
6. Перейти к шагу 7, если расстояние между выведенным местом высадки текущей метки и местоположением следующей метки менее 800 метров, в противном случае исключить метку.
7. Перейти к шагу 8, если время посадки следующей метки больше времени высадки предыдущей метки, в противном случае исключить метку и перейти к шагу 2.
8. Определить, является ли текущая метка первой в рассматриваемый период. Если да, пометить её как «посадка», в противном случае определить, является ли она пересадкой.

Хотя метод работает в большинстве случаев, он может привести к неправильному выводу или отсутствию вывода в некоторых случаях.

Метод связывания поездок генерирует набор для каждой метки AFC для достижения следующей, вычисляя вероятность траектории и выбирая наиболее вероятную для вывода остановок посадки и высадки. Это исследование предлагает надёжный метод связывания поездок для данных смарт-карт общественного транспорта, который пытается ослабить влияние различных параметров, используемых в алгоритмах связывания поездок. Параметры могут ва-

рироваться в зависимости от качества данных и поведения пользователей в разных транспортных системах, поэтому фиксированное значение не может быть принято для разных транспортных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kumar, P.** A robust method for estimating transit passenger trajectories using automated data / P. Kumar, A. Khani, Q. He // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – Volume 95. – 2018. – p. 731-747.

2. **Лебедева, О.А.** Проектирование транспортной сети городской территории путем применения эвристических и генетических алгоритмов / О. А. Лебедева // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. – 2019. – Т. 1, № 16. – С. 167-172.

3. **Лебедева, О.А.** Эмпирическая оценка времени ожидания городского общественного транспорта с целью обеспечения оптимального функционирования маршрутной сети / О. А. Лебедева, Ю. О. Полтавская // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. – 2019. – Т. 1, № 16. – С. 179-183.

4. **Лебедева, О.А.** Планирование и проектирование устойчивой городской мобильности / О. А. Лебедева // *Современные технологии и научно-технический прогресс*. – 2019. – Т. 1. – С. 186-187.