

О.А. Лебедева¹¹ Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Аннотация. Использование данных мобильных операторов для улучшения оценки априорной матрицы может повлиять на структуру и повысить качество информации при прогнозировании транспортных потоков. Такие данные важны для повышения качества результатов, получаемых при использовании транспортных моделей, поскольку они могут предоставлять гораздо большие объемы информации в режиме реального времени. Они содержат информацию о сигнале конкретного устройства со станцией сотовой связи, что дает возможность определить местоположение абонента. Анализ временных рядов данных устройств позволяет восстановить маршрут и понимать повседневную динамику движения. Данные мобильных устройств могут использоваться для получения различных показателей: количество поездок, график работы, время в пути.

Однако оба источника данных (мобильные операторы и опросы о поездках) имеют свои сильные и слабые стороны, при применении которых возможны ошибки моделирования. Сравнение этих источников дает представление о достоверности матрицы корреспонденций, то есть комбинация двух типов данных повысит качество априорной матрицы для транспортного моделирования. В исследовании объединили распределение продолжительности поездок на основе обследований и данные мобильной сети для улучшения структуры традиционной априорной матрицы. Для исследования используется мультимодальная транспортная модель, включающая транспортные зоны с учетом различных видов автомобильного транспорта (легковые и грузовые автомобили, общественный транспорт). Для правильной оценки поездок, прибывающих из-за пределов региона, а также для учета сквозного движения, необходимо включать сеть и зоны за пределами региона с меньшей детализацией. Априорная матрица региона построена с использованием моделей спроса и характеристик ездов. Калибровка синтетической априорной матрицы корреспонденций по подсчетам транспортных потоков дает апостериорную матрицу. В модели учитывается назначение равновесия, основанное на функциях времени прохождения участка улично-дорожной сети и транспортных заторов.

Ключевые слова: транспортное моделирование, спрос, матрица, мобильные данные.

О. А. Lebedeva¹¹ Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

MODELING TRANSPORT DEMAND BASED ON MOBILE COMMUNICATION DATA

Abstract. Using the data of mobile operators to improve the estimate of the prior matrix can affect the structure and improve the quality of the posterior matrix when predicting traffic flows. Such data are important for improving the quality of the results obtained using transport models, since they can provide much larger amounts of information and continuous measurements. They contain information about the connection of a specific device with a cell tower, which makes it possible to determine the location of the subscriber. Time series analysis of these devices allows you to reconstruct the route and understand the daily dynamics of movement. Data from mobile devices can be used to obtain various indicators: the number of trips, work schedule, travel time.

However, both data sources (mobile operators and travel surveys) have strengths and weaknesses that can lead to modeling errors. Comparison of these data sources gives an idea of the reliability of the correspondence matrix, that is, the combination of the two types of data will improve the quality of the prior matrix for transport modeling. The study combined survey-based travel time distributions and mobile network data to improve the structure of the traditional prior matrix. For the study, a multimodal transport model is used, which includes a large number of transport zones, taking into account various types of road transport (cars and trucks, public transport), using a detailed network of the region. For a correct assessment of trips arriving from outside the region, as well as for the assessment of through traffic, it is necessary to include the network and zones outside the region with less detail. A priori matrix of the region is constructed using demand models and characteristics of riders. Calibration of the synthetic a priori matrix of correspondences by subaccounts of traffic flows gives the posterior matrix. The model takes into account the purpose of equilibrium, based on the functions of the transit time of a section of the road network and traffic congestion.

Keywords: transport modeling, demand, matrix, mobile data.

Введение

На современном этапе развития информационных технологий появляются возможности для сбора информации на уровне пространственной и временной детализации (мобильная

связь, социальные сети). Эти наборы данных имеют потенциальное значение для мониторинга, планирования и управления транспортными системами. Одним из часто применяемых вариантов при планировании работы транспортной сети являются модели спроса, которые определяют закономерности поведения пассажиров и эффективность инвестиций в инфраструктуру. Эти модели обеспечивают прогнозируемую количественную информацию о поездках (о пункте назначения; выборе режима транспортировки) и условиях дорожного движения в часы пик, используя в качестве исходных данных перепись населения и натурные обследования поездок – один будний день для каждого респондента в «репрезентативные» периоды, когда потоки движения максимальны. На практике априорные матрицы корреспонденций строятся на основе данных переписи, на следующем этапе они дополнительно калибруются по счетчикам транспортных потоков (на основе статистики с детекторов или других доступных измерений в сети) для оценки окончательной апостериорной матрицы после (многоцелевой) процедуры оптимизации [1, 2].

Сбор информации о поездках – сложная дорогостоящая задача, требующая временных затрат, но охватывающая относительно небольшую выборку поездок с точки зрения участников улично-дорожного движения и количества учтенных дней. Такие виды обследований повторяются только через несколько лет что не позволяет получить реальную картину происходящего. Практические исследования показывают, что в обследованиях не учитывается значительное количество поездок (от 20 до 30%). Гравитационная модель, используемая на этапе распределения при построении априорной матрицы, предполагает, что поездки совершаются в зависимости от размеров производства, а также общих затрат между зонами (то есть максимизации энтропии) [3-6]. В результате этот метод не позволяет правильно оценить количество поездок между связанными зонами. Калибровка априорной матрицы по количеству транспортных потоков направлена исключительно на минимизацию разницы между результатами присвоения апостериорной и подсчетами с использованием априорной матрицы в качестве отправной точки или многоцелевой процедуры оптимизации. Следовательно, качество априорной матрицы определяет транспортную модель. Если влияние калибровки велико (то есть разница между априорной и апостериорной матрицей), следовательно оценки первых трех шагов транспортной модели являются сомнительными. Таким образом, структура априорной матрицы (то есть отношения между зонами) имеет решающее значение, поскольку процедура калибровки не влияет на структуру (не исправляет ни смещения в данных при проведении натурных обследований, ни ошибки, сделанные на этапе распределения). Использование данных мобильных операторов для улучшения оценки априорной матрицы может повлиять на структуру и повысить качество апостериорной матрицы при прогнозировании транспортных потоков.

Такие данные важны для повышения качества результатов, получаемых при использовании транспортных моделей, поскольку они могут предоставлять гораздо большие объемы информации и непрерывные измерения (24/7/365). Данные содержат информацию о связи конкретного устройства с вышкой сотовой связи, что дает возможность определить местоположение абонента. Анализ временных рядов данных устройств позволяет восстановить маршрут и понять повседневную динамику движения. Данные мобильных устройств могут использоваться для получения различных показателей: количество поездок, график работы, время в пути.

Однако оба источника данных (мобильные операторы и опросы о поездках) имеют свои сильные и слабые стороны, при применении которых возможны ошибки моделирования. Сравнение этих источников дает представление о достоверности матрицы корреспонденций, то есть комбинация двух типов данных повысит качество априорной матрицы для транспортного моделирования.

Общий алгоритм транспортной модели

Точность информации — это одно из важнейших условий для принятия правильных решений в области транспортного моделирования. Информация, полученная из моделей

транспортного планирования, часто дает усредненную картину текущего состояния прогнозирования (количество поездок между зонами, используемые виды транспорта и маршруты, транспортные потоки, время в пути и загруженность улично-дорожной сети). Оценки моделей транспортного планирования как для текущего, так и для прогнозируемого состояния также вводятся в модели. Модели транспортного планирования обычно оценивают спрос и связывают этот спрос (поездки) с предложением инфраструктуры, оценивая выбор маршрута и потоки на каждом сетевом звене в четыре этапа: производство / привлечение, распределение, модальное разделение и назначение. На рисунке 1 показана традиционная четырехступенчатая транспортная модель.

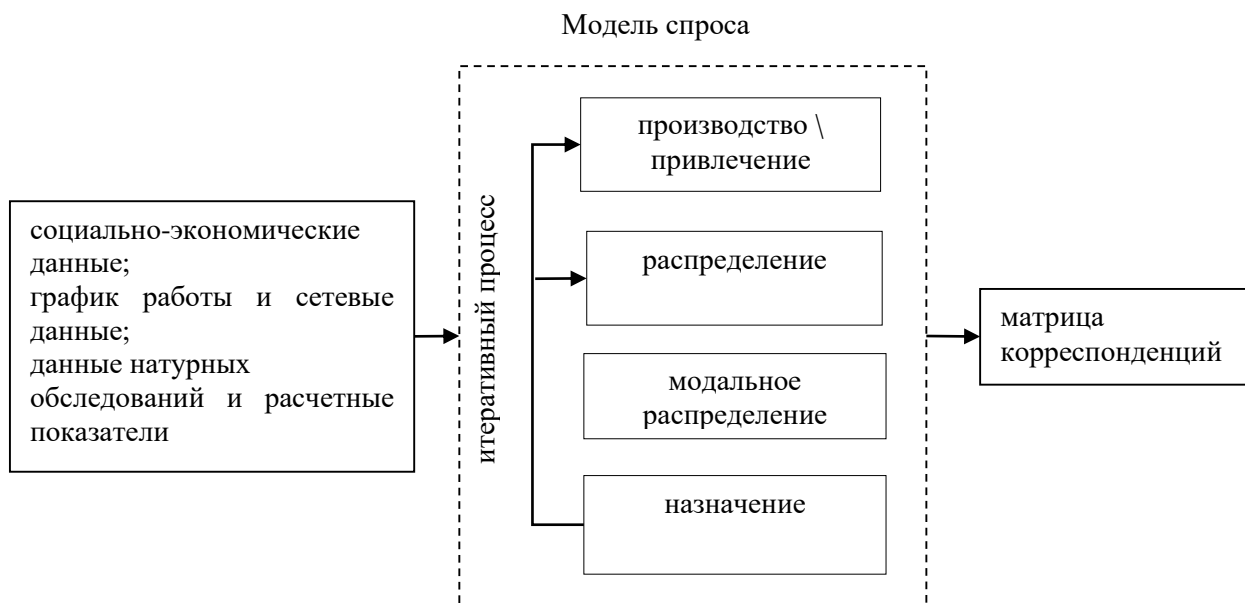


Рисунок 1. Традиционная четырехступенчатая транспортная модель.

На этапе производства / привлечения определяется количество выездов и въездов в зону. Этап распределения определяет количество поездок между зонами, в результате чего получается общая априорная матрица корреспонденций. Режимы (графики) работы для поездок определяются на этапе разделения мод, далее восстанавливаются матрицы для каждой моды. Эти первые три шага часто называют моделью спроса. На последнем этапе восстановления матрицы (для каждого графика) назначаются сети (соответствующего графика) для определения маршрутов и нагрузок на улично-дорожную сеть с использованием сетевой модели. В модели спроса часто учитывается равновесное время прохождения, поэтому необходимы итерации, снабжающие модель спроса результатами присвоения определенному промежутку других данных, чтобы откалибровать априорную матрицу для оценки окончательной апостериорной матрицы. В некоторых моделях этапы могут быть объединены (одновременное распределение и разделения по видам транспорта) или расширены дополнительными этапами (выбор времени отправления).

Для исследования используют мультимодальную транспортную модель, включающую большое количество транспортных зон с учетом различных видов автомобильного транспорта (легковые и грузовые автомобили, общественный транспорт). Для правильной оценки поездок, прибывающих из-за пределов региона и сквозного движения, необходимо включать в сеть и зоны за пределами региона с меньшей детализацией. Априорная матрица региона построена с использованием моделей спроса и характеристик ездки.

Калибровка синтетической априорной матрицы корреспонденций по подсчетам транспортных потоков дает апостериорную матрицу. В модели учитывается назначение равновесия, основанное на функциях времени прохождения участка улично-дорожной сети и транспортных заторов.

Применяемая модель основана на традиционных источниках данных для проверки и калибровки модели. Гравитационная модель не учитывает объекты тяготения между зонами. Используемые данные мобильной сети — это записи сведений о подключении к сети мобильного телефона, отправки/получения голосовых или текстовых сообщений, или передачи мобильных данных. Записи состоят из отметки времени, кода абонента в сети, и одностороннего хешированного идентификатора (номера мобильного телефона). Конфиденциальность данных обеспечивается строгим протоколом, так как нет прямого доступа к необработанным данным, возможен только их запрос, а идентифицирующая информация (номер телефона) хешируется в одностороннем порядке. Хеширование меняется каждый первый день месяца.

Данные мобильной сети не содержат внутризональные поездки и менее подробны, чем модель транспортного планирования регионов, что приводит к процедуре дополнения априорных оценок спроса: восстанавливается матрица корреспонденций для рабочего дня по данным мобильной сети; преобразовывается модельная система в данные мобильной сети; находится совокупность априорных матриц для каждого вида транспорта; масштабируются синтетические априорные матрицы (суммы строк и столбцов) к измеренным. Сравнивая продолжительности поездки, находится распределение мобильного данных, и дополненная матрица преобразуется до системы зонирования модели, а также агрегированных модальностей, в результате чего получаем дополненную априорную матрицу корреспонденций для каждой моды. Диагональ априорной матрицы не принимается во внимание в процедуре дополнения, потому что нет доступной внутризональной информации. На следующем этапе преобразования модельной системы зонирования учитывается количество модельных зон в исследуемой области относительно мобильной сети, если требуется проводится агрегирование. Далее проводится масштабирование синтетических априорных матриц – распределение синтетически определенной информации (традиционная априорная модель, основанная на данных опроса) заменяется распределением измеренной информации с мобильного телефона.

Для получения новой информации используется процедура Фернесса, которая является стандартной, часто используемой для обеспечения того, чтобы суммирование отдельных ячеек приводило к фиксированным итоговым значениям по строкам и столбцам при сохранении определенного распределения.

Процедура интеграции апробирована на модели оперативного транспортного планирования. В случае отсутствия достоверных данных о спросе для процедуры дополнения используется комбинация источников данных, а оценка основана на сравнении результатов назначения с расширенной априорной матрицы с использованием данных мобильной сети. Сравнение результатов смоделированного значения с измеренным, можно провести определяя T-значение:

$$T_c = \ln \left(\frac{x_c - x_{m,c}}{x_c} \right) \quad (1)$$

где x_c – значение счетчика, а $x_{m,c}$ – смоделированный транспортный поток в точке c . Значение T учитывает не только абсолютную разницу, но и абсолютное значение.

Заключение

Данные мобильных сетей важны для эффективности транспортного моделирования, а в частности процесса восстановления матриц корреспонденций. Развитие методов и комбинирование различных источников данных ведет и к повышению качества прогнозов. В данных, получаемых из мобильных сетей, могут содержаться ошибки, поэтому вариант интегрирования традиционных априорных оценок матрицы, основанных на обследованиях, и информации из мобильной сети является достаточно актуальным.

В статье приведен вариант объединения распределения продолжительности поездок на основе данных обследований и мобильной сети для улучшения структуры традиционной априорной матрицы. Кроме того, рассматривается методика оценки результатов априорной матрицы без использования калибровки. Отмечено, что при увеличении уровня детализации данных мобильной сети улучшится качество пространственной информации, что в целом позволит повысить эффективность применения прогностических данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. L.J.J. Wismans, E.C. van Berkum, and M.C.J. Bliemer, "Modelling Externalities Using Dynamic Traffic Assignment Models: A Review," *Transport Reviews* 31: 4 (2011) 521–545, doi:10.1080/01441647.2010.544856.
2. Z. Zhao, S.-L. Shaw, Y. Xu, F. Lu, J. Chen, and L. Yin, "Understanding the Bias of Call Detail Records in Human Mobility Research," *International Journal of Geographical Information Science* 30: 9 (2016) 1738–1762
3. Шаров М.И., Лебедева О.А. Влияние транспортного зонирования на функционирование маршрутной сети города// *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2019. № 2 (62). С. 196-202.
4. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Лебедева О.А., Каргапольцев С.К. Повышение эффективности функционирования транспортной сети городского пассажирского транспорта путем применения автоматизации модели выбора оптимального подвижного состава // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2017. № 2 (54). С. 203-208.
5. Крипак М.Н., Лебедева О.А. Оценка состояния улично-дорожной сети крупного города// *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2016. № 3 (51). С. 171-174.
6. Полтавская Ю.О., Крипак М.Н., Гозбенко В.Е. Оценка условий движения транспортных потоков с применением геоинформационных технологий *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2016. № 1 (49). С. 155-161.

REFERENCES

1. L.J.J. Wismans, E.C. van Berkum, and M.C.J. Bliemer, "Modeling Externalities Using Dynamic Traffic Assignment Models: A Review," *Transport Reviews* 31: 4 (2011) 521–545, doi: 10.1080 / 01441647.2010.544856.
2. Z. Zhao, S.-L. Shaw, Y. Xu, F. Lu, J. Chen, and L. Yin, "Understanding the Bias of Call Detail Records in Human Mobility Research," *International Journal of Geographical Information Science* 30: 9 (2016) 1738–1762
3. Sharov M.I., Lebedeva O.A. Influence of transport zoning on the functioning of the city's route network // *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2019. No. 2 (62). pp. 196-202.
4. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Lebedeva O.A., Kargapoltsev S.K. Increasing the efficiency of the functioning of the transport network of urban passenger transport by using the automation of the model for choosing the optimal rolling stock // *Sovremennye tekhnologii. System analysis. Modeling*. 2017. No. 2 (54). pp. 203-208.
5. Kripak M.N., Lebedeva O.A. Assessment of the state of the street and road network of a large city // *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2016. No. 3 (51). pp. 171-174.
6. Poltava Yu.O., Kripak M.N., Gozbenko V.E. Assessment of traffic flow conditions using geoinformation technologies. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2016. No. 1 (49). pp. 155-161.

Информация об авторах

Лебедева Ольга Анатольевна - к. т. н., доцент, доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте», Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: kravhome@mail.ru

Authors

Olga Anatolyevna Lebedeva – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Department of Management in Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: kravhome@mail.ru