

Прогнозирование движения подключенных транспортных средств в сценарии с адаптивным управлением сигналами светофоров

А.А. Агафонов
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
ant.agafonov@gmail.com

Е.Ю. Ефименко
Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
evgeniaefimenko27@gmail.com

Аннотация—В работе рассматривается задача прогнозирования времени движения отдельных транспортных средств в регулируемой дорожной сети с адаптивным управлением сигналами светофоров. В оценке общего времени движения учитывается как время движения по сегментам дорожной сети, полученное с использованием нейросетевой модели, так и время ожидания на регулируемых перекрестках. Экспериментальные исследования показывают преимущества использования представленного подхода по сравнению с базовыми методами.

Ключевые слова — прогнозирование движения, адаптивное управление, машинное обучение

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача прогнозирования усредненных характеристик транспортного потока является одной из наиболее популярных задач в транспортных системах. Для решения этой задачи было разработано большое число методов и алгоритмов, от простых моделей регрессии до глубоких нейронных сетей, позволяющих учитывать сложные пространственно-временные зависимости в данных [1, 2]. Активная разработка подключенных и автономных транспортных средств (ТС) движения ставит задачу прогнозирования движения отдельных ТС. В такой постановке задачи следует учитывать не только время движения по сегментам транспортной сети, но и время ожидания на регулируемых светофорами перекрестках. Как показывают исследования в [3], время задержки на перекрестке может составлять до 40% от общего времени движения. Как следствие, необходимо прогнозировать время прибытия ТС на перекресток и оценивать время ожидания с учетом прогнозируемой фазы светофора.

В статье рассматривается задача прогнозирования времени движения подключенных ТС, для которых считаются известными положения на сегментах сети и маршрут движения. Для оценки времени движения учитывается как время прохождения дорожных сегментов, так и время ожидания на регулируемом перекрестке. Предполагается, что управление светофорными объектами выполняется с использованием адаптивного алгоритма, т.е. выбор фазы светофорного цикла зависит от наблюдаемой транспортной ситуации. В работе используется алгоритм адаптивного управления, основанный на максимизации прогнозируемого транспортного потока [4, 5].

2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Обзор основных решений задачи прогнозирования дорожного движения наряду с существующими нерешенными проблемами представлен в [1]. Современные работы, посвященные краткосрочному

прогнозированию транспортных потоков, в основном опираются на модели глубокого обучения: сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, LSTM-сети и др. Анализ результатов моделей в различных сценариях и основных факторов, влияющих на работу моделей, представлен в [2].

В [6] авторы рассматривают смешанный транспортный поток. Скорости движения подключенных и автономных транспортных средств используются как дополнительные параметры в модели прогнозирования транспортного потока. В [7] авторы прогнозируют движение отдельных ТС, основываясь на кинематической волновой модели. Время движения каждого ТС складывается из свободного времени движения по дорожному сегменту и времени задержки на перекрестке. Однако в качестве режима работы светофора используется фиксированный цикл, а не адаптивное управление.

Схожей по постановке является задача краткосрочного прогнозирования времени движения общественного транспорта. Прогнозирования времени прибытия ТС на остановки с использованием LSTM-модели рассмотрено в [8]. В [9] авторами предлагается модель прогнозирования времени прибытия на остановку с учетом как наблюдаемого транспортного потока, так и задержек на перекрестках.

3. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

Прогнозное время движения ТС по маршруту движения складывается из прогнозного времени движения по сегментам дорожной сети и прогнозного времени ожидания на регулируемых перекрестках.

Для оценки времени движения по сегментам дорожной сети предлагается использовать нейросетевую модель. Для оценки времени ожидания выполняется прогноз фазы светофора в момент времени прибытия ТС на перекресток. Время ожидания рассчитывается исходя из времени прибытия ТС и времени длительности фазы. Рассмотрим каждую часть предлагаемого решения подробнее.

А. Прогнозирование времени движения

Для оценки времени движения $t(c)$ ТС c по сегменту дорожной сети предлагается использовать модель на основе искусственной нейронной сети (ИНС). В качестве входных параметров модели используются следующие: расстояние от текущего положения ТС до перекрестка, скорость движения ТС, ускорение ТС, максимально разрешенная скорость движения на сегменте дорожной сети, число ТС перед выбранным ТС на сегменте сети, тип поворота на перекрестке.

Б. Метод адаптивного управления

Для адаптивного управления фазами светофора в работе используется метод на основе максимизации прогнозируемого взвешенного потока ТС, проходящих через перекресток при выбранной фазе светофора [4, 5].

Выбор фазы $phase$ из множества фаз P выполняется следующим образом:

$$phase = \operatorname{argmax}(\{PredFlow(p) \text{ for } p \text{ in } P\}) \quad (1)$$

Оценка транспортного потока $PredFlow(phase)$

$$PredFlow(phase) = \sum_l \sum_c I(t(c) < t_{\min}), \quad (2)$$

где l - множество полос движения, t_{\min} - интервал переключения фаз, $I(val)$ - функция-индикатор.

В. Прогнозирования времени ожидания

Оценка времени ожидания ТС на регулируемом перекрестке формируется исходя из длительности прогнозируемой фазы светофора в момент прибытия ТС на перекресток. Выбор прогнозируемой фазы состоит из следующих шагов:

- Для каждого момента времени выбора фазы формируется оценка количества ТС, которые проедут перекресток за следующий интервал времени для каждой фазы, исходя из прогнозной оценки времени движения (полученной моделью из раздела 3.А).
- Выбирается фаза, для которой оценка количества ТС максимальна.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения экспериментальных исследований предложенного подхода был использован пакет моделирования SUMO. Исследования проводились на двух сценариях моделирования: «Cologne-8» и «Cologne-316», содержащих 8 и 316 перекрестков в дорожной сети соответственно.

В качестве алгоритмов для сравнения использовались следующие:

- Детерминированная модель [4], прогнозирующая время движения на основе аналитических закономерностей движения ТС.
- ИНС: две модели, обученные на данных движения по сегментам дорожной сети, примыкающих к регулируемым и нерегулируемым перекресткам соответственно.
- ИНС с учетом времени ожидания: представленная в работе модель:

Сравнение моделей проводилось по критерию средней абсолютной ошибки. Результаты сравнения представлены в таблице I.

Таблица I. СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПО КРИТЕРИЮ СРЕДНЕЙ АБСОЛЮТНОЙ ОШИБКЕ (В СЕКУНДАХ)

Модель	Сценарий	
	Cologne-8	Cologne-316
Детерминированная модель	13,88	65,73
ИНС	7,92	26,25
ИНС + время ожидания	7,62	23,92

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассматривается задача прогнозирования времени движения отдельных транспортных средств в сценарии с адаптивным управлением сигналами светофоров. Предложено использовать модель на основе нейронной сети для оценки времени движения по сегментам дорожной сети, прогнозировать фазу светофора с использованием метода адаптивного управления и оценивать время ожидания на перекрестке исходя из прогнозируемого времени прибытия и длительности фазы светофора. Результаты показывают, что рассмотренный подход позволяет снизить ошибку прогнозирования по сравнению с базовыми методами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-11-00321, <https://rscf.ru/en/project/21-11-00321/>).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lana, I. Road Traffic Forecasting: Recent Advances and New Challenges / I. Lana, J. Del Ser, M. Velez, E.I. Vlahogianni // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2018. – Vol. 10(2). – P. 93-109. DOI: 10.1109/MITS.2018.2806634.
- [2] Yin, X. Deep Learning on Traffic Prediction: Methods, Analysis, and Future Directions / X. Yin [et al.] // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2022. – Vol. 23 (6). – P. 4927-4943. DOI: 10.1109/TITS.2021.3054840.
- [3] Ladino, A. A real time forecasting tool for dynamic travel time from clustered time series / A. Ladino, A. Y. Kibangou, C. Canudas de Wit, H. Fourati // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2017. – Vol. 80. – P. 216-238. DOI: 10.1016/j.trc.2017.05.002.
- [4] Мясников, В.В. Детерминированная прогнозная модель управления сигналами светофоров в интеллектуальных транспортных и геoinформационных системах / В.В. Мясников, А.А. Агафонов, А.С. Юмаганов // Компьютерная оптика. – 2021. – Т. 45, № 6. – С. 917-925. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1031.
- [5] Агафонов, А.А. Адаптивное управление дорожными сигналами на основе нейросетевого прогноза максимального взвешенного потока / А.А. Агафонов, А.С. Юмаганов, В.В. Мясников // Автометрия. – 2022. – Т. 58, № 5. – С. 85-97. DOI: 10.15372/AUT20220510.
- [6] Suh, B. Vehicle Speed Prediction for Connected and Autonomous Vehicles Using Communication and Perception / B. Suh, Y. Shao, Z. Sun // Proceedings of the American Control Conference. – 2020. – P. 448-453. DOI: 10.23919/ACC45564.2020.9147227.
- [7] Lu, L. A Real-Time Prediction Model for Individual Vehicle Travel Time on an Undersaturated Signalized Arterial Roadway / L. Lu, J. Wang, Y. Wu, X. Chen, C.-Y. Chan // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2022. – Vol. 14 (5). – P. 72-87. DOI: 10.1109/MITS.2021.3068416.
- [8] Liu, H. Bus Arrival Time Prediction Based on LSTM and Spatial-Temporal Feature Vector / H. Liu [et al.] // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 11917-11929. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2965094.
- [9] Zhang, H. A Prediction Model for Bus Arrival Time at Bus Stop Considering Signal Control and Surrounding Traffic Flow / H. Zhang, S. Liang, Y. Han, M. Ma, R. Leng // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 127672-127681. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3004856