

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Төлеби Г.Ә. «Адаптивное управление транспортными потоками», представленной на соискание степени доктора философии PhD по специальности 6D070500 - «Математическое и компьютерное моделирование»

Общая характеристика работы. Данная работа посвящена исследованию и разработке моделей прогнозирования интенсивности потока и адаптивного управления дорожным движением для снижения загруженности транспортной сети. В исследовании предложены модели прогнозирования и управления, основанные на методах вычислительного интеллекта.

Актуальность темы исследования. В настоящее время быстрый рост количества транспортных средств в городах является серьезной проблемой. Заторы на дорогах влекут за собой множество негативных последствий, таких как задержки, загрязнение воздуха и ухудшение экологии. Поэтому существует острая необходимость в максимально эффективном управлении транспортными потоками.

Транспортная сеть - это сложная нестационарная открытая среда с множеством разнородных агентов, таких как светофоры, перекрестки и участники дорожного движения. Изменения в такой сети могут происходить из-за случайных колебаний интенсивности потока и непредсказуемых действий агентов. Таким образом, это делает задачу адаптивного управления светофором (TSC) чрезвычайно сложной.

Цель исследования. Целью работы является исследование и разработка эффективных методов прогнозирования потока и управления дорожным движением с использованием методов вычислительного интеллекта.

Задачи исследования. Для достижения этой цели мы поставили перед собой несколько задач:

- Обзор исследований в области традиционного управления дорожными сигналами и вычислительных интеллектуальных методов разработки оптимизированных контроллеров дорожного движения.
- Анализ методов вычислительного интеллекта, включая обучение с подкреплением (RL), нейронные сети, мультиагентные системы управления дорожными сигналами.
- Построение экспериментальной среды на симуляторе.
- Проектирование безмодельного, онлайн адаптивного светофора на основе Q-обучения для изолированного перекрестка.
- Разработка контроллера на основе обучения с подкреплением (RL) с глубокой Q-сетью для изолированного перекрестка.
- Создание моделей прогнозирования транспортного потока с использованием методов глубокого обучения.
- Разработка адаптивного светофора на основе искусственной нейронной сети.

- Выполнение симуляции и вычислительных экспериментов.

Предмет и объект исследования. Объектом исследования является поток в транспортной сети. Предметом исследования является модель интеллектуального управления транспортными потоками.

Методы исследования. Основными исследовательскими подходами являются методы вычислительного интеллекта. Построение моделей управления и прогнозирования основано на моделировании транспортного потока на микроскопическом уровне. Метод обучения с подкреплением используется для адаптивного управления транспортными потоками. Табличный метод используется для простой постановки задачи, а подход Deep QNetwork - для расширенного представления. Кроме того, представлен другой подход к управлению дорожным движением, где задачи прогнозирования и управления разделены. Методы глубокого обучения используются для построения модели прогнозирования потока. Данные рассматриваются как временные ряды. Модели основаны на сверточных (CNN) и рекуррентных (RNN) нейронных сетях. Управление на основе оценки осуществляется моделью, основанной на полносвязной нейронной сети. Симулятор SUMO используется для построения экспериментальных сред. Численные эксперименты используются для оценки качества моделей и внесения соответствующих поправок при необходимости. Для экспериментов использовались синтетические данные, полученные путем генерации на симуляторе.

Научная новизна работы. В данной работе предлагается адаптивный контроллер движения, работающий без каких-либо знаний об окружающей среде. Разработана система, основанная на методе обучения с подкреплением, где функция вознаграждения является одним из основных компонентов. Представлена новая функция вознаграждения. Особенность данной формулы вознаграждения в том, что она состоит из членов равновесия и сокращения очереди. В данной работе наряду с множеством преимуществ обучения с подкреплением были выявлены некоторые недостатки в рамках задачи управления светофорами. Например, он в основном предназначен для закрытых сред, а не для динамически изменяющихся. Если агент RL помещен в динамично меняющуюся среду, каждый раз, когда меняется спрос, он должен заново изучать свою политику принятия решений. Одним из других недостатков RL является то, что агенты предназначены для работы без привязки друг к другу. Они не очень хороши в совместной работе, так как любые действия одного агента изменяют окружающую среду для других. Следовательно, это влияет на стационарное предположение. Более того, когда агенты работают в сотрудничестве, они должны делиться своими состояниями и координировать действия. Это подразумевает экспоненциальный рост пространства состояний-действий по мере увеличения числа агентов.

Ряд моделей глубокого обучения, предложенных в этой диссертации, представляют собой новый подход к прогнозированию потоков в транспортных сетях. Транспортный поток рассматривается как вероятность создания транспортных средств в единицу времени. Это значение не является точной долей прибывших транспортных средств, а представляет собой некоторые

другие свойства транспортного потока в данном звене. Модели, которые в настоящее время доминируют в научных журналах, используют мгновенные результаты как количество остановленных автомобилей или время ожидания в данный момент. Однако мы рассматриваем входные данные как временные ряды. При использовании временных рядов для оценки потока возникают две ключевые проблемы: анализ временных рядов требует, чтобы процесс был статичным, однако транспортный поток динамически меняется; пространственные характеристики данных временных рядов не учитываются в классических методах. Однако при рассмотрении последовательных данных важно учитывать более глубокое представление признаков. Данные вопросы были решены с помощью гибридной модели RNN и CNN, которая была впервые предложена в данном исследовании. Результаты, полученные в данной диссертации, способствуют развитию искусственного интеллекта в области управления транспортными потоками.

Положения, выносимые на защиту. Согласно результатам исследования, следующие положения выносятся на защиту:

- описывается состояние проблемы и существующие решения;
- предлагается адаптивный контроллер сигналов дорожного движения на основе безмодельной, онлайн Q-обучения (Q-table, Deep-QNetwork);
- представлена новая формула вознаграждения;
- обоснована возможность прогнозирования транспортного потока в ближайшем будущем на основе предварительно полученных данных;
- представлены новые модели прогнозирования интенсивности потока на основе глубокого обучения;
- предложено решение задачи управления светофорами с использованием мультиагентного подхода для нестационарной среды;
- осуществлено прогнозирование оптимального плана сигнала светофора для транспортной сети на основе интенсивности потока;
- приведены результаты численных экспериментов и их анализ.

Теоретическая и практическая ценность работы. Разработанные в ходе исследования алгоритмы и модели могут быть использованы для разработки новых методов управления светофорами. Они также могут быть интегрированы в любые проекты, связанные с Интеллектуальной транспортной системой. Полученные результаты исследований могут быть использованы для дальнейшего теоретического исследования данной темы, в управлении дорожным движением, прогнозировании транспортных потоков и для оптимизации существующих систем управления светофорами.

Проведенные исследования позволяют нам расширить и углубить знания в области адаптивного управления транспортными потоками.

Апробация результатов исследования. Достоверность полученных результатов была доказана на основе алгоритмов и вычислительных экспериментов с использованием симулятора, публикаций в журналах, в том числе в журналах, цитируемых в SCOPUS, 2 - х свидетельствах авторского права, а также многочисленных дискуссий на семинарах, проводимых в Королевском

колледже Лондона (Лондон, Великобритания), Казахстанско-Британском Техническом университете, КазННТУ имени К.И.Сатпаева.

Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы “Разработка программного обеспечения для 3D-моделирования, онлайн-мониторинга и прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха городских и промышленных территорий” № BRO05236316 в КазННТУ имени К.И.Сатпаева по финансовой программе МОН РК, рассчитанной на 2018-2020 годы.

Публикации. Опубликовано 9 работ, в том числе: 3 в журналах, рекомендованных комитетом, 1 в журнале, индексируемом SCOPUS, 4 в трудах международных конференций (3 индексируются SCOPUS):

1. Link Flow Estimation on an Isolated Intersection Based on Deep Learning Models. Gulnur Tolebi, Nurlan S. Dairbekov, Daniyar Kurmankhojayev. International Review of Automatic Control (I.R.E.A.CO.), Vol. 13, N. 1. ISSN 1974-6059, pp. 19-26, January 2020.
2. Deep learning models for link flow estimation. Tolebi G., Dairbekov N. Traditional April international mathematical conference in honor of Day of science workers of the Republic of Kazakhstan, dedicated to the 1150th anniversary of Abu Nasir al-Farabi and the 75th anniversary of the Institute of mathematics and mathematical modeling, pp 141-142, Almaty, 2020.
3. Road Traffic Demand Estimation and Traffic Signal Control. Kurmankhojayev D., Tolebi G., Dairbekov N. The 5th International Conference on Engineering; MIS 2019. June 6–8, 2019, Astana, Kazakhstan. ACM, New York, NY, USA, 5 pages. <https://doi.org/10.1145/3330431.3330433>. (SCOPUS)
4. Link flow estimation using neural network. Tolebi G., Kurmankhojayev D. Herald of the KBTU, Vol. 16, Issue 2, pp. 170-174, June 2019.
5. Analysis of existing traffic detectors for taking measurements. Tolebi G., Kurmankhojayev D., Herald of the KBTU, Vol. 16, Issue 1, pp. 73-79, March 2019.
6. Adaptive control of traffic flows. Dairbekov N.S., Kurmankhojayev D., Tolebi
7. G. III International innovation Forum ”Digital Kazakhstan: sustainable development of urban planning systems in the XXI century, pp. 120-124, April 2019.
8. Reinforcement Learning Intersection Controller. Tolebi G., Dairbekov N.S., Kurmankhojayev D., Mussabayev R. Proceedings of 14th International Conference on Electronics and Computer and Computation (ICECCO), pp. 65-69, Electronic ISBN: 978-1-7281-0132-3, DOI:10.1109/ICECCO.2018.8634692, Kaskelen, 2018. (SCOPUS)
9. Analysis of the traffic flow modeling systems. Kurmankhojayev D., Tolebi G., Herald of the KBTU, ISSN 1998-6688, Vol. 15, Issue 4, pp.86-91, December 2018
10. Online model-free adaptive traffic signal controller for an isolated intersection. Kurmankhojayev D., Suleymenov N., Tolebi G. XIII International Asian School-seminar “Problems of complex systems’ optimization” in the scope of International multi-conference IEEE SIBIRCON 2017, pp. 109-112, Novosibirsk, Russia, 2017. (SCOPUS)

Структура и объем диссертации. Диссертация представлена на 92 страницах машинописного текста. Состоит из нормативных ссылок, списка условных обозначений и сокращений, введения, пяти основных глав, заключения и списка литературы. Диссертация включает 19 таблиц, 26 рисунков. Список литературы состоит из 91 наименования.

Первая глава представляет собой введение, в котором описываются проблемы диссертационной работы и ее содержание.

Во второй главе описаны общие понятия управления светофором. Дана справочная информация об основных терминах, общих архитектурах оптимизации транспортного потока, типах моделирования. Кроме того, приведен подробный обзор существующих методов управления светофором.

В третьей главе представлен обзор методов обучения с подкреплением. Описаны элементы и основные типы данных методов.

В четвертой главе предлагается метод управления светофором, основанный на обучении с подкреплением. В рамках задачи TSC реализуются два подхода. Численные эксперименты, моделирование и результаты приведены в данной главе.

В пятой главе предлагается модуль прогнозирования интенсивности транспортного потока, основанный на моделях глубокого обучения. Приведен обзор метода и результаты экспериментов с соответствующими таблицами и диаграммами. Кроме того, представлен сравнительный анализ предложенных моделей.

В шестой главе представлен адаптивный контроллер светофора с использованием интенсивности потока, разработанный на основе нейронных сетей. Приведены результаты экспериментов.

В заключении приводятся основные итоги данной работы.