

Разработка микросервиса ADP для идентификации источников выбросов на основе машинного обучения с подкреплением

А. В. Кычкин¹, И. А. Черницин¹

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Пермь, Россия
*avkychkin@hse.ru

Аннотация. Представлены результаты разработки программного микросервиса, встраиваемого в системы мониторинга качества атмосферного воздуха для поддержки процессов идентификации промышленных источников загрязнений. Выброс и последующее распространение вредных веществ в приземистых слоях атмосферы происходит в динамике и характеризуется высокой неопределенностью из-за особенностей технологических установок, их режимов работы, влияния рельефа местности, зданий и метеофакторов. Зависимости между местоположением источника выброса и информацией с датчиков, установленных в центральных районах города или на границах санитарно-защитных зон крупных производств, невозможно описать аналитически, в связи с чем формализация знаний экологов и последующая автоматизация обнаружения объектов, ответственных за формирование опасных уровней концентраций в точках контроля, является актуальной задачей. Цель исследования – разработка алгоритма непрерывной оптимизации поисковых стратегий за счет применения технологии аппроксимированного динамического программирования (Approximate Dynamic Programming). В статье впервые предложено реализовать механизм ADP на основе Q-обучения, которое, в свою очередь, производится в режиме имитационного моделирования за счет взаимодействия с моделью Лагранжа, описывающей физические процессы рассеивания загрязнений. Разработанная модель учится выбирать наилучшие поисковые шаги (действия) на размеченной карте местности с учетом функции стоимости, аппроксимированной нейросетью, с учетом метеофакторов и рельефа местности, что является новым технологическим решением. Проведено проектирование базовых информационных процессов, в том числе рассмотрены процессы сбора и предобработки данных измерений концентраций вредных веществ и метеоданных в точках контроля, подготовка таблицы для Q-обучения и ее использование для тренировки нейросетевой модели, применение модели для решения задачи определения источника аварийного выброса. Результаты экспериментальной проверки показали, что разработанный и интегрированный в состав платформы цифрового экомониторинга микросервис хорошо улавливает особенности процессов рассеивания промышленных загрязнений в атмосферном воздухе и может быть использован для автоматизированной идентификации источника выброса в динамике. Средние значения вклада источника аварийного выброса в формирование загрязнения на заданной территории отличаются от значения, рассчитанного на примере УПРЗА, не более чем на 15%, что позволяет судить о высокой степени достоверности результатов и возможности их сопоставления с методиками ГОСТа, работающими в статике.

Ключевые слова: экологический мониторинг, искусственный интеллект, машинное обучение с подкреплением, системная архитектура, Интернет вещей

Для цитирования: Кычкин А. В., Черницин И. А. Разработка микросервиса ADP для идентификации источников выбросов на основе машинного обучения с подкреплением // Прикладная информатика. 2026. Т. 21. № 1. С. 40–58. DOI: 10.37791/2687-0649-2026-21-1-40-58.

© Кычкин А. В., Черницин И. А., 2026.

DOI: 10.37791/2687-0649-2026-21-1-40-58

Research article

Development of an ADP microservice for identifying emission sources by using reinforcement learning

A. Kychkin^{1*}, I. Chernitsin¹
¹HSE University, Perm, Russia
*avkychkin@hse.ru

Abstract. The results of the development of a software microservice embedded in atmospheric air quality monitoring systems to support the identification of industrial pollution sources are presented. The emission and subsequent spread of harmful substances in the lower layers of the atmosphere is dynamic and characterized by high uncertainty due to the specific features of technological installations, their operating modes, the influence of terrain relief, buildings and meteorological factors. The relationship between the location of the emission source and the information from sensors installed in central areas of the city or on the boundaries of sanitary protection zones of large industrial facilities cannot be described analytically. Therefore, formalizing the knowledge of environmentalists and subsequently automating the detection of objects responsible for the formation of hazardous concentration levels at control points is a pressing task. The aim of the study is to develop an algorithm for the continuous optimization of search strategies using Approximate Dynamic Programming technology. This article proposes implementing the ADP mechanism based on Q-Learning, which in turn is performed in simulation mode through interaction with the Lagrange model describing the physical processes of pollution dispersion. The developed model learns to select the best search steps (actions) on a marked map of the terrain, considering the cost function approximated by a neural network, meteorological factors and terrain relief, which is a new technological solution. The design of basic information processes was carried out, including the consideration of processes for collecting and pre-processing data on the measurement of harmful substance concentrations and meteorological data at control points, the preparation of a table for Q-Learning and its use for training a neural network model, and the application of the model to solve the problem of determining the source of an emergency release. The results of experimental testing showed that the microservice developed and integrated into the digital ecomonitoring platform accurately captures the characteristics of industrial pollution dispersion processes in the atmosphere and can be used for automated identification of emission sources in dynamics. The average values of the contribution of the emergency release source to the formation of pollution in a given territory differ from the values calculated using the UPRZA example by no more than 15%, which allows us to conclude that the results are highly reliable and can be compared with GOST methods that operate in static conditions.

Keywords: environmental monitoring, artificial intelligence, reinforcement learning, system architecture, Internet of Things

For citation: Kychkin, A., & Chernitsin, I. (2026). Development of an ADP microservice for identifying emission sources by using reinforcement learning. *Journal of Applied Informatics*, 21(1), 40–58. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2026-21-1-40-58>

© Kychkin A., Chernitsin I., 2026.