МЛАД ФОРУМ
Механика Транспорт Комуникации
Научно списание http://www.mtc-aj.com
ISSN 2367-6558 (print)
ISSN 2367-6612 (online)
том 15, брой 1, 2026 г.
статия № 2784

КООРДИНИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА ЧРЕЗ ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Васил Копривщенов
vasil1koprivshtenov@gmail.com

ВТУ „Тодор Каблешков“
гр. София, ул. Гео Милев 158
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *координирано управление, трафик, изкуствен интелект*

Резюме*: Нарастващата урбанизация и увеличеният интензитет на движение в съвременните градове поставят сериозни предизвикателства пред традиционните методи за управление на трафика. Статичните и слабо адаптивни системи често не успяват да отговорят ефективно на динамичните и непредсказуеми трафични условия. В този контекст изкуственият интелект се утвърждава като ключова технология за изграждане на интелигентни и координирани транспортни системи.*

Настоящият доклад разглежда принципите и приложението на координираното управление на трафика чрез изкуствен интелект, като се фокусира върху адаптивни алгоритми, анализ на данни в реално време и синхронизация между множество кръстовища. Представени са основни AI подходи, както и практически примери от реални градски среди, демонстриращи значително намаляване на задръстванията, времето за пътуване и вредните емисии. В заключение се обсъждат основните предизвикателства и перспективите за развитие на интелигентни транспортни системи като част от концепцията за устойчиви и „умни“ градове.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Градският трафик представлява сложна, динамична и нелинейна система, чието управление става все по-трудно с нарастването на автомобилния парк и интензивността на придвижване в урбанизираните зони. Натрупването на задръствания води до значителни социални, икономически и екологични последствия – загуба на време, повишен разход на гориво, увеличени емисии на въглероден диоксид и намалена пътна безопасност [1], [2].

Традиционните подходи за управление на трафика не успяват да отговорят адекватно на тези предизвикателства, тъй като са базирани на предварително дефинирани правила и ограничена адаптивност. Изкуственият интелект предлага нова парадигма, която позволява системите да се адаптират в реално време, да се самообучават и да оптимизират управлението на трафика на основата на текущи и прогнозни данни [3].

2. ТРАДИЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА – ОГРАНИЧЕНИЯ И ПРОБЛЕМИ

Класическите системи за управление на трафика обикновено използват фиксирани или частично адаптивни светофарни цикли. Те разчитат на статистически анализ на исторически данни и предварително определени сценарии за пикови и извънпикови натоварвания [4].

Основните ограничения на тези системи включват:

- невъзможност за адекватна реакция при извънредни ситуации;
- липса на координация между по-отдалечени кръстовища;
- ограничени възможности за прогнозиране на бъдещи състояния на трафика.

Научни анализи показват, че тези методи често водят до неравномерно натоварване на мрежата и до влошаване на цялостния трафичен поток при по-висока динамика на движението [5].

3. РОЛЯ НА ИЗКУСТВЕНИЯ ИНТЕЛЕКТ В ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ ТРАНСПОРТНИ СИСТЕМИ

Изкуственият интелект намира широко приложение в рамките на интелигентните транспортни системи (ITS), като осигурява възможности за анализ на големи обеми от данни и вземане на решения при несигурност. AI-базираните решения обработват информация от различни източници: сензори, видеонаблюдение, GPS данни, мобилни устройства и свързани превозни средства [6].

Най-често използваните методи са:

- **машинно обучение**, при което моделите се обучават върху исторически данни;
- **дълбоко обучение**, използвано за разпознаване на образи и трафични модели;
- **обучение с подсилване**, при което системата взема решения чрез взаимодействие със средата и оценка на резултатите.

Изследвания подчертават, че обучението с подсилване е особено подходящо за управление на сложни и динамични системи, каквито са градските трафични мрежи [7].

4. АРХИТЕКТУРА НА AI-БАЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА КООРДИНИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА

Координираното управление на трафика чрез изкуствен интелект обикновено се реализира чрез многостепенна архитектура, включваща:

1. **Ниво на събиране на данни** – сензори, камери, IoT устройства и GPS информация.
2. **Ниво на обработка и анализ** – предварителна обработка, извличане на характеристики и прогнози.
3. **Ниво на вземане на решения** – AI алгоритми, оптимизиращи сигналните режими.
4. **Ниво на изпълнение** – управление на светофари и динамично пренасочване на потоци.

Все по-често се използват **мултиагентни системи**, при които всяко кръстовище функционира като автономен агент, но същевременно координира действията си с останалите агенти в мрежата [8].

5. КООРДИНИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА: ПРИНЦИПИ И ПРЕДИМСТВА

Координираното управление позволява оптимизация на трафичния поток не само на локално, но и на системно ниво. Чрез синхронизация на сигналните режими и адаптация към реалните условия, системата постига по-плавно движение и намаляване на задръстванията.

Сред основните предимства са:

- по-кратко време за пътуване;
- по-нисък риск от пътнотранспортни произшествия;
- намалени вредни емисии;
- възможност за приоритизиране на обществен транспорт и аварийни превозни средства [9].

6. ПРИМЕРИ ОТ ПРАКТИКАТА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Практическите изследвания и експериментални симулации през последните години показват, че AI-базираните системи за управление на трафика значително превъзхождат традиционните фиксирани светофарни режими[10]. Основната причина е способността на алгоритмите да анализират големи обеми от данни в реално време и динамично да адаптират управлението спрямо текущата трафична обстановка. За разлика от класическите системи, при които времетраенето на сигналите е предварително зададено, AI моделите могат да реагират на внезапни промени като инциденти, пикови натоварвания или неочаквано увеличаване на потока от превозни средства.

Особено ефективни се оказват методите, базирани на обучение с подсилване (Reinforcement Learning – RL) [10][11]. При този подход системата взаимодейства с транспортната среда и постепенно се самообучава чрез механизъм за награда и наказание. Когато избраната стратегия води до по-малко задръствания и по-кратко време за изчакване, алгоритъмът получава положителна оценка и затвърждава поведението си. По този начин AI моделът успява постепенно да оптимизира работата на светофарните уредби и да подобри координацията между отделните кръстовища.

В обзорните научни изследвания върху reinforcement learning системи за трафично управление са представени множество реални експериментални резултати[10][11]. В симулационната среда SUMO е тестван Deep Q-Network (DQN) модел, който успява да намали средното време на изчакване на превозните средства с приблизително 26.7% спрямо традиционните фиксирани светофарни цикли. Освен това се отчита намаляване на дължината на колоните и по-плавен трафичен поток при натоварени градски условия.

Друг пример е използването на Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL), при което всяко кръстовище функционира като отделен интелигентен агент[11]. Тези агенти обменят информация помежду си и координират действията си в реално време. Резултатите показват значително подобрение при управление на сложни градски мрежи с множество взаимосвързани кръстовища. В експерименти с платформата CityFlow се наблюдава намаляване на задръстванията и по-добро разпределение на трафичния поток спрямо традиционните централизирани системи.

В докладите се разглеждат и AI модели, които комбинират трафично управление с прогнозиране на бъдещи натоварвания[12]. Чрез анализ на исторически данни, GPS информация и данни от IoT сензори системата може предварително да предвиди вероятността от задръстване и да промени сигналните режими още преди възникването на проблем. Подобен подход значително подобрява ефективността на транспортната инфраструктура и намалява риска от трафичен колапс в пиковите часове.

Практически приложения на AI-базирано управление вече се наблюдават в редица съвременни градове. В някои системи се използва видеоанализ чрез дълбоко обучение за разпознаване на натоварването по отделните пътни ленти. [10]. Камерите и сензорите анализират броя на превозните средства, скоростта им и степента на натоварване, след което AI алгоритъмът автоматично адаптира продължителността на зелената светлина.

Изследванията показват също, че AI-базираните системи могат да доведат до намаляване на вредните емисии и разхода на гориво[12]. По-плавното движение намалява необходимостта от често спиране и ускоряване, което е един от основните фактори за повишен разход на енергия в градски условия. Това превръща интелигентните транспортни системи в ключов елемент от политиките за устойчиво градско развитие и изграждане на „умни градове“.

Допълнително предимство на AI системите е възможността за приоритизиране на аварийни превозни средства и обществен транспорт. Например при приближаване на линейка системата може автоматично да създаде „зелен коридор“, като синхронизира светофарите по маршрута[10]. Подобни решения значително намаляват времето за реакция при извънредни ситуации и подобряват безопасността.

Независимо от постигнатите резултати, реалното внедряване на подобни системи остава сериозно технологично и организационно предизвикателство[11]. Необходимо е изграждане на надеждна комуникационна инфраструктура, обработка на големи обеми данни в реално време и гарантиране на киберсигурност. Освен това съществува разлика между симулационните резултати и реалните градски условия, където поведението на участниците в движението е трудно предвидимо.

Въпреки тези ограничения, тенденцията е към все по-широко приложение на изкуствения интелект в транспортните системи. Развитието на автономните превозни средства, 5G комуникациите и Интернет на нещата (IoT) ще позволи създаването на още по-интелигентни системи за координирано управление. Очаква се бъдещите AI модели не само да реагират на текущото състояние на трафика, но и активно да предотвратяват възникването на задръствания чрез прогнозиране и превантивна оптимизация.

Примерни експериментални резултати

Модел / Подход	Среда	Резултат
DQN (Deep Q-Network)	SUMO	Намаляване на средното време на чакане с ~26.7%
MARL (Multi-Agent RL)	CityFlow	По-добра координация между кръстовища и по-ниски задръствания
Видеоанализ с Deep Learning	Реални градски камери	Динамична адаптация на светофарните режими
Predictive Traffic AI	IoT + GPS данни	Предварително прогнозиране на трафични натоварвания

7. ОГРАНИЧЕНИЯ И БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ НАСОКИ

Независимо от постигнатите резултати, остават редица предизвикателства:

- гарантиране на сигурност и надеждност на данните;
- преодоляване на разликата между симулационни и реални условия;
- етични и регулаторни въпроси.

Бъдещите изследвания са насочени към интеграция с автономни превозни средства, федеративно обучение и повишаване на мащабируемостта на системите [13].

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Координираното управление на трафика чрез изкуствен интелект представлява ефективен и перспективен подход за справяне с комплексните проблеми на градската мобилност. Чрез използване на адаптивни модели и анализ в реално време, тези системи предлагат устойчиво решение с дългосрочни ползи за обществото, икономиката и околната среда.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Farooqi, A., Dutta, R., Gocher, H., Bishnoi, A., Sharma, P., & Sharma, S. (2025). Artificial Intelligence in Traffic Management: A Survey on Techniques, Challenges, and Future Directions. In *Recent Trends in Communication and Intelligent Systems*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-09832-0_5

[2] Zhao, Z., & Chen, J. (2025). Application of artificial intelligence technology in the economic development of urban intelligent transportation systems. *PeerJ Computer Science*, 11, e2728. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2728

[3] Zemmouchi-Ghomari, L. (2025). Artificial intelligence in intelligent transportation systems. *Journal of Infrastructure, Mobility and Smart Engineering*, 6(1), 26–40.

[4] El Mokhi, C., Erguig, H., Hmina, N., & Hachimi, H. (2025). Intelligent Traffic Management Systems: A Literature Review on AI-Based Traffic Light Control. In *The Future of Urban Living: Smart Cities and Sustainable Infrastructure Technologies*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98334-4_15

[5] Agrahari, A., Dhabu, M. M., Deshpande, P. S., Tiwari, A., Baig, M. A., & Sawarkar, A. D. (2024). Artificial Intelligence-Based Adaptive Traffic Signal Control System: A Comprehensive Review. *Electronics*, 13(19), 3875. https://doi.org/10.3390/electronics13193875

[6] Wang, Z., Wang, X., Wu, Z., Hu, J., Yuan, F., & Tian, Z. (2026). Traffic Flow Prediction in Intelligent Transportation Systems: A Comprehensive Review. *Algorithms*, 19(4), 310. https://doi.org/10.3390/a19040310

[7] Michailidis, P., Michailidis, I., Lazaridis, C. R., & Kosmatopoulos, E. (2025). Traffic Signal Control via Reinforcement Learning: A Review on Applications and Innovations. *Infrastructures*, 10(5), 114. https://doi.org/10.3390/infrastructures10050114

[8] Xiao, H., Li, H., Wang, Z., Yang, Z., Qi, S., Zhang, J., Cai, D., & Yin, J. (2026). Intelligent traffic signal control based on reinforcement learning: A survey. *Artificial Intelligence Review*, 59, Article 128. https://doi.org/10.1007/s10462-026-11530-9

[9] Balasubramanian, A. (2024). AI-Driven Optimization of Urban Mobility: Integrating Autonomous Vehicles with Real-Time Traffic and Infrastructure Analytics. San Jose State University.

[10] Michailidis, P., Michailidis, I., Lazaridis, C. R., & Kosmatopoulos, E. (2025). Traffic Signal Control via Reinforcement Learning: A Review on Applications and Innovations. Infrastructures, 10(5), 114.

[11] Xiao, H., Li, H., Wang, Z., Yang, Z., Qi, S., Zhang, J., Cai, D., & Yin, J. (2026). Intelligent traffic signal control based on reinforcement learning: A survey. Artificial Intelligence Review, 59.

[12] Tolani, M., Saathwik, G. E., Roy, A., Rao, D. B., Bajpai, A., & Balodi, A. (2025). Machine learning based adaptive traffic prediction and control using edge impulse platform.
[13] Xiao, F., Lu, J., Li, L., Tu, W., & Li, C. (2024). Advances in reinforcement learning for traffic signal control: A review of recent progress. *Intelligent Transportation Infrastructure*, https://doi.org/10.1093/iti/liaf009

COORDINATED TRAFFIC MANAGEMENT THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Vasil Koprivshtenov
vasil1koprivshtenov@gmail.com

Todor Kableshkov University of Transport in Sofia
Geo Milev str. 158
BULGARIA

Key words: *coordinated management, traffic, artificial intelligence*

Abstract: *The growing urbanization and increased traffic intensity in modern cities pose serious challenges to traditional traffic management methods. Static and poorly adaptive systems often fail to respond effectively to dynamic and unpredictable traffic conditions. In this context, artificial intelligence is establishing itself as a key technology for building intelligent and coordinated transport systems.*

This report examines the principles and application of coordinated traffic management through artificial intelligence, focusing on adaptive algorithms, real-time data analysis and synchronization between multiple intersections. Basic AI approaches are presented, as well as practical examples from real urban environments demonstrating significant reductions in congestion, travel times and harmful emissions. Finally, the main challenges and prospects for the development of intelligent transport systems as part of the concept of sustainable and "smart" cities are discussed.