Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen
Faculty of Mathematics and Informatics
vol. XXVII C, 2026, pp. 103 – 112, https://doi.org/10.46687/XKHH4979

AGENT-BASED SOFTWARE MODEL FOR BEHAVIORAL CHOICE OF COURIER VEHICLES DURING SHORT-TERM STOPS

BORIANA TODOROVA **HRISTO PARASKEVOV**

ABSTRACT: *The paper presents an agent-based software model for simulating the behavioral choice of courier vehicles during short-term stops in an urban traffic environment. The model is integrated with the microscopic traffic simulator SUMO through the TraCI interface. Courier agents evaluate three alternatives: continuing the trip, performing a legal stop, or performing an improper short-term stop. The decision mechanism combines delivery urgency, risk tolerance, traffic density, legal stopping availability and destination-related characteristics. A base simulation scenario with 800 vehicles, including 160 courier agents, generated 1338 behavioral decisions. The results show how the implemented model responds to variations in the considered factors within the configured simulation scenario.*

KEYWORDS: *agent-based modeling, urban freight, courier vehicles, SUMO, traffic simulation, behavioral decision, improper stopping*

2010 Math. Subject Classification: 68U20, 68T42, 90B20

АГЕНТНО-БАЗИРАН СОФТУЕРЕН МОДЕЛ ЗА ПОВЕДЕНЧЕСКИ ИЗБОР ПРИ КРАТКОТРАЙНО СПИРАНЕ НА КУРИЕРСКИ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА[*]

БОРЯНА ТОДОРОВА, ХРИСТО ПАРАСКЕВОВ

[*] Статията е частично финансирана по проект № РД-08-88/02.02.2026

1 Въведение

Развитието на електронната търговия и услугите за доставка до крайния потребител увеличава значението на градския товарен транспорт и честотата на краткотрайните спирания на доставни превозни средства. Ограниченото крайпътно пространство и необходимостта доставката да бъде изпълнена в близост до крайната дестинация създават ситуации, в които водачът трябва да избира между законно спиране, търсене на друга възможност и използване на място, което не е предназначено за тази цел. Съвременните обзори върху поведението на търговските превозни средства разглеждат избор на място, тип паркиране, неправилно паркиране, продължителност на престоя и търсене на свободно място като взаимосвързани елементи на доставната дейност [1].

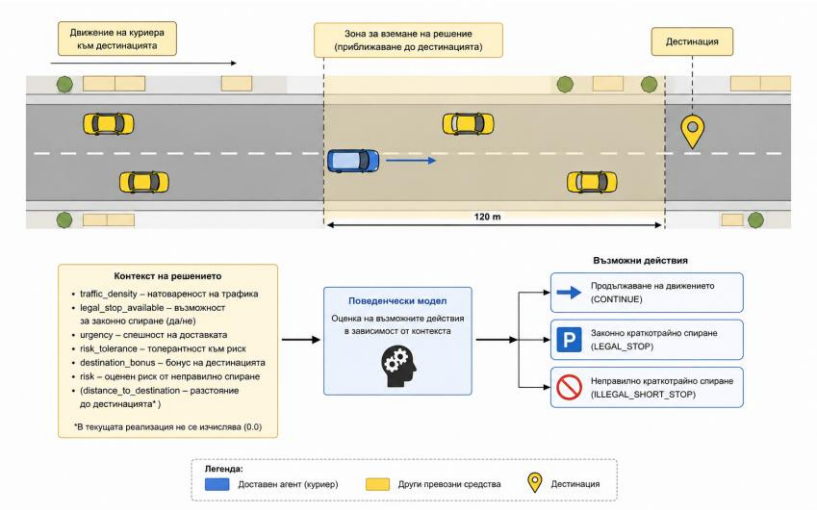
Поведенческият аспект на този проблем е съществен, тъй като изборът не се определя само от наличието на физическо пространство. Върху него влияят характеристиките на доставката, условията на транспортната среда и индивидуалната склонност на водача да приема риск [2]. Агентно-базираните модели дават възможност такива различия да бъдат представени на ниво отделен участник и да бъдат проследени в динамична среда [3, 4]. Подобен подход е използван и при изследване на градски доставки и паркиране, където индивидуалните решения се разглеждат съвместно с транспортната инфраструктура и текущия трафик [5].

Целта на настоящата разработка е да се представи софтуерен модел, при който куриерското превозно средство се разглежда като агент, способен при приближаване към доставна дестинация да оценява текущата ситуация и да избира между три действия: продължаване на движението, законно краткотрайно спиране и неправилно краткотрайно спиране. Акцентът е върху формализирането на механизма за избор, интеграцията му с микроскопична транспортна симулация и анализа на полученото поведение.

2 Модел на поведенческия избор

Разработеният модел отделя транспортната динамика от специфичната логика на куриерския агент. Транспортната среда се реализира чрез SUMO, а външно Python приложение управлява доставните задачи, изгражда контекста за вземане на решение, оценява възможните действия и предава избраното действие обратно към симулацията чрез TraCI. SUMO е платформа за микроскопична транспортна симулация, която позволява индивидуално проследяване и управление на превозните средства [6].

Контекстът на решението включва спешността на доставката U, толерантността към риск RT, текущата плътност на трафика T, базовия риск R, наличието на законна възможност за спиране, характеристиките на дестинацията и разстоянието D до нея. В зоната за вземане на решение всяка от трите алтернативи получава числова оценка, след което се избира действието с най-висока стойност.



Фигура 1. Локална транспортна ситуация и процес на вземане на поведенческо решение

Оценката за продължаване на движението се определя от спешността на доставката:

(1) $$S_C = 0.20\ U$$

За законно краткотрайно спиране се използва оценката:

(2) $$S_L = U - 0.02\ D + B_L - 0.15\ U$$

а за неправилно краткотрайно спиране:

(3) $$S_I = U - T - R_eff + B_I + 0.20\ U + B_D$$

Ефективният риск зависи от базовото ниво на риск и индивидуалната толерантност на агента:

(4) $$R_eff = R\ (1 - R_T)$$

По-високата толерантност към риск намалява отрицателния принос на риска към оценката на неправилното спиране. Наличието на законна възможност едновременно увеличава оценката на законното спиране и намалява оценката на неправилното. По този начин една и съща промяна на контекста може да има различно влияние върху отделните алтернативи.

Таблица 1

Компоненти и коефициенти на оценъчния механизъм

Компонент	**Обозн.**	**Коефициент / правило**	**Участва в**
Спешност	U	1.00U; +0.20U или -0.15U	трите действия
Разстояние	D	-0.02D	LEGAL_STOP
Плътност на трафика	T	-T	ILLEGAL_SHORT_STOP
Риск и толерантност	R, RT	R_eff = R(1-RT)	ILLEGAL_SHORT_STOP
Законна възможност	B_L	+0.30 / -0.15	LEGAL_STOP
Законна възможност	B_I	-0.05 / +0.10	ILLEGAL_SHORT_STOP
Дестинация	B_D	стойност според дестинацията	ILLEGAL_SHORT_STOP

Коефициентите са параметри на разработения модел и не са резултат от емпирично калибриране спрямо наблюдения върху реални водачи. Следователно моделът трябва да се разглежда като

детерминиран механизъм за изследване на зададени поведенчески зависимости, а не като универсален модел на реалното поведение.

3 Софтуерна реализация и експериментална постановка

Програмното решение е реализирано модулно на Python. Основният симулационен цикъл координира обновяването на транспортната среда, управлението на доставните задачи, формирането на контекста, вземането на решение и изпълнението на събитията. Последователността може да бъде представена като SUMO → WorldUpdater → WorldModel → CourierController → Decision → EventManager/StopExecutor → SUMO. За обработка и визуализация на резултатите се използват Pandas, NumPy, Matplotlib и Seaborn.

Експерименталното изследване използва един базов сценарий. Фиксирано начално число на генератора на случайни числа позволява резултатите да бъдат възпроизведени при еднаква конфигурация. Основните параметри са обобщени в табл. 2.

Таблица 2

Основни параметри на симулационния сценарий

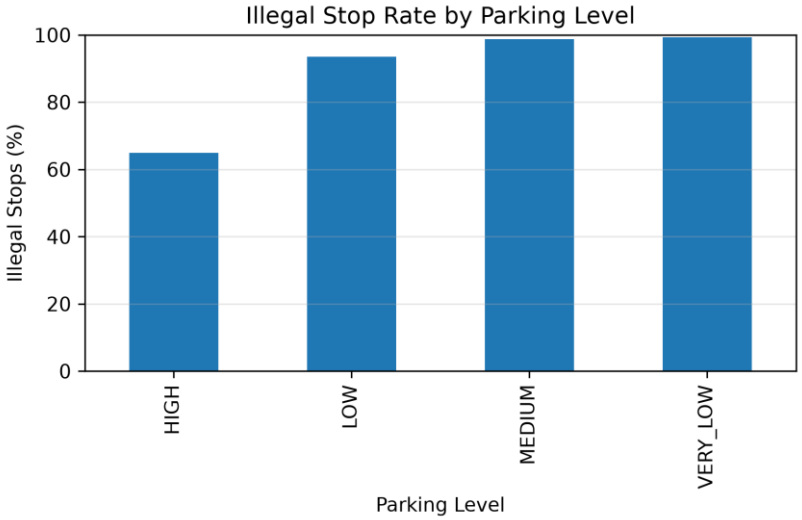
Параметър	Стойност / начин на определяне
Продължителност / warm-up	3600 s / 120 s
Random seed	42
Общ брой превозни средства	800
Куриерски превозни средства	160 (20%)
Спешност U	равномерно разпределение [0.2, 1.0]
Толерантност към риск RT	равномерно разпределение [0.2, 1.0]
Срок на доставката	300 s
Базов риск R	0.20
Брой дестинации	13
Законна възможност	vehicle_count < lane_count × 2
Разстояние D	0.0 в текущата реализация
Регистрирани решения	1338

От SUMO чрез TraCI се извличат текущият брой превозни средства, броят на лентите, средната скорост и плътността на съответния участък. В механизма за избор директно участва текущата плътност. Параметърът legal_stop_available е операционен индикатор на модела, определян от натоварването на участъка, а не непосредствено измерване на реално свободно законно място за спиране. Разстоянието D е предвидено в общия модел, но в разглеждания експеримент е фиксирано на 0.0 и следователно не влияе върху получените резултати.

4 Резултати и дискусия

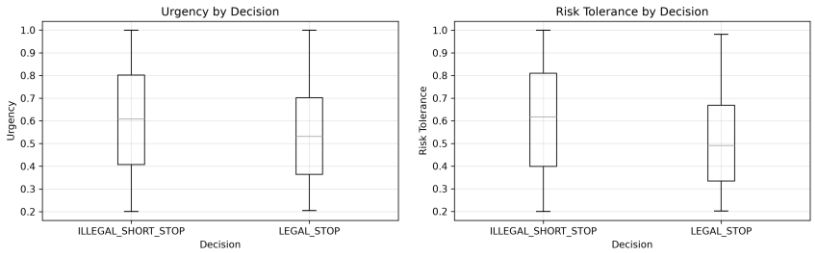
В рамките на базовия сценарий са регистрирани 1338 решения. От тях 1174 са неправилни краткотрайни спирания, 159 са законни спирания, а в 5 случая агентът продължава движението си. Така неправилните спирания представляват 87.74% от всички решения. Малкият брой на CONTINUE не позволява надеждно самостоятелно статистическо сравнение и тази алтернатива се разглежда основно като част от общото поведенческо разпределение.

Най-ясна разлика се наблюдава при нивото на паркиране, зададено като характеристика на дестинацията. При HIGH ниво делът на неправилните краткотрайни спирания е 64.07%, докато при VERY_LOW достига 99.29%. При LOW и MEDIUM нивата са съответно 93.47% и 98.73%. Разликата между крайните категории е над 35 процентни пункта и показва силна чувствителност на реализирания механизъм към условията за законно спиране в рамките на сценария.



Фигура 2. Дял на неправилните спирания според нивото на паркиране

Спешността и толерантността към риск също показват ясно изразени тенденции. При разделяне на наблюденията на четири групи според спешността делът на неправилните спирания нараства от 84.48% в най-ниската група до 93.73% в най-високата. При толерантността към риск съответният дял нараства от 84.18% до 94.33%. Средната спешност е 0.606 при неправилните и 0.541 при законните спирания, а средната толерантност към риск е съответно 0.607 и 0.518.



Фигура 3. Спешност и толерантност към риск според избраното действие

При плътността на трафика не се наблюдава еднозначна монотонна зависимост. При разделяне на наблюденията на четири групи делът на неправилните спирания е 79.24% в най-ниската група, 94.56% и 96.41% в двете средни групи и 80.97% в най-високата. Това показва, че транспортната плътност не трябва да се разглежда изолирано от останалите параметри на контекста.

Средната продължителност на регистрираните неправилни спирания е 12.71 s, медианата е 10.66 s, а стойностите са в интервала от 5.02 s до 39.65 s. Различията между отделните дестинации показват, че характеристиките им се проявяват не само в честотата на избраното действие, но и във времевите параметри на събитието.

Получените зависимости са в съответствие с логиката, заложена при конструирането на оценъчните функции. Това означава, че експериментът проверява работоспособността и вътрешната съгласуваност на реализирания поведенчески механизъм. Резултатите не следва да се интерпретират като доказателство за универсални причинно-следствени зависимости при реални куриерски водачи. Сходни ограничения са характерни за агентно-базираните транспортни модели, при които калибрирането и валидирането на правилата за поведение са съществен етап при преминаване от концептуален модел към емпирично приложима система [4].

Допълнително ограничение е използването на един основен сценарий. Настоящият анализ е насочен предимно към избора на действие, а количественото измерване на системния ефект върху останалия транспортен поток чрез показатели като средна скорост, време за пътуване и дължина на опашките остава задача за последващо развитие. Такова разширение би позволило индивидуалното поведение на куриерските агенти да бъде свързано по-пряко със системните транспортни показатели.

5 Заключение

Представен е агентно-базиран софтуерен модел за поведенчески избор на куриерски превозни средства при краткотрайно спиране в градска среда. Разработеният механизъм формализира избора между продължаване на движението, законно спиране и неправилно краткотрайно спиране чрез числови оценки, които комбинират характеристики на доставката, индивидуални параметри на агента и текущото състояние на транспортната среда. Интеграцията със SUMO чрез TraCI позволява решенията да бъдат реализирани динамично в микроскопична транспортна симулация.

Проведеният базов експеримент показва, че моделът реагира по очаквания начин на промени в условията за паркиране, спешността и толерантността към риск, докато плътността на трафика не проявява еднозначна монотонна връзка с избора на неправилно спиране. Основният резултат е работещ софтуерен механизъм, който може да бъде използван като основа за последващи сценарийни изследвания, калибриране спрямо емпирични данни и количествен анализ на въздействието върху транспортния поток.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Ghizzawi, F., Galal, A., Roorda, M.J., Modelling parking behaviour of commercial vehicles: A scoping review. Transport Reviews, 44(4) (2024), 743-765.

[2] Amaya, J., Encarnación, T., Delgado-Lindeman, M., Understanding Delivery Drivers' Parking Preferences in Urban Freight Operations. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 176 (2023), 103823.
[3] Alho, A., Oh, S., Seshadri, R., Dalla Chiara, G., Chong, W.H., Sakai, T., Cheah, L., Ben-Akiva, M., An Agent-Based Simulation Assessment of Freight Parking Demand Management Strategies for Large Urban Freight Generators. Research in Transportation Business & Management, 43 (2022), 100804.
[4] Huang, J., Cui, Y., Zhang, L., Tong, W., Shi, Y., Liu, Z., An overview of agent-based models for transport simulation and analysis. Journal of Advanced Transportation, 2022 (2022), Article 1252534.
[5] Wise, S., Cheliotis, K., Bates, O., McLeod, F., Cherrett, T., Allen, J., Piecyk, M., Bektas, T., Park and parcel: An agent-based exploration of last-mile freight delivery behavior as it relates to parking. Proceedings of the 2019 Spring Simulation Conference, Article 8732864.
[6] López, P.Á., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P., Wießner, E., Microscopic traffic simulation using SUMO. 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (2018), 2575-2582.
[7] Kim, S., Park, D., Kim, S., Park, H., Modeling courier vehicles' travel behavior: Case of Seoul, South Korea. Transportation Research Record, 2411(1) (2014), 61-69.
[8] Bastarianto, F.F., Hancock, T.O., Choudhury, C.F., Manley, E., Agent-based models in urban transportation: Review, challenges, and opportunities. European Transport Research Review, 15 (2023), 19.

Боряна Тодорова
Студентка II курс, специалност „Софтуелни технологии“
Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“
e-mail: 2432547009@shu.bg

Христо Параскевов
ORCID ID: 0000-0001-8097-6131
Месторабота: Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“
e-mail: h.paraskevov@shu.bg