

**ЛАБОРАТОРНА МУЛТИ-АГЕНТНА СИСТЕМА
ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА****Станимир Йорданов¹, Георги Михалев², Христина Стойчева³, Валентин
Владимиров⁴***^{1,2,3,4}Технически университет – Габрово***LABORATORY MULTI-AGENT TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM****Stanimir Yordanov¹, Georgi Mihalev², Hristina Stoycheva³, Valentin Vladimirov⁴***^{1,2,3,4} Technical University of Gabrovo***Abstract**

The problem of car traffic and traffic jams is getting bigger and bigger. Measures need to be taken to reduce congestion and ease traffic in major cities. One possible approach to alleviate the traffic burden is based on the construction of intelligent traffic management systems. This paper presents the structure and operation of a laboratory multi-agent traffic management system.

Keywords: Multi-Agent Systems; Intelligent Transportation Systems; Traffic Signal Timing.**ВЪВЕДЕНИЕ**

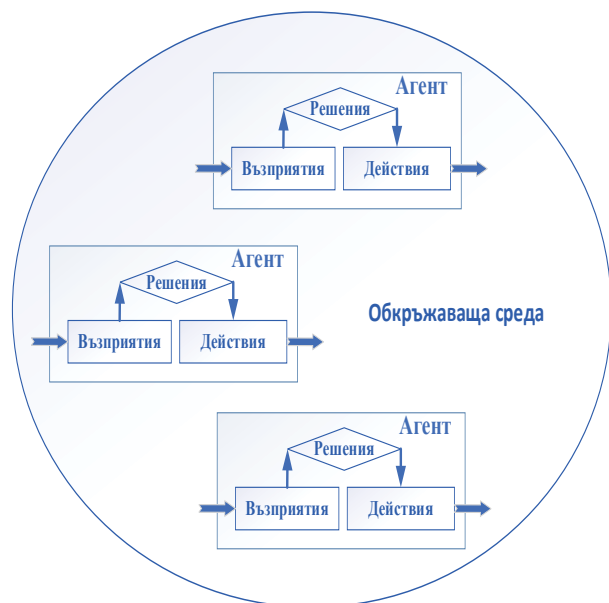
С развитието на икономиката население-то в големите градове се разрастват бързо. Това води до увеличаване на трафика и често се случва появата на задръствания. Особено в някои големи градове проблемите с трафика се превърнаха в пречка, ограничаваща развитието на града [1]. Съществуващите системи за децентрализиран контрол на трафика страдат от много ограничения поради естеството на частичната видимост на цялата транспортна мрежа, както и нейните силно динамични модели на трафик. Един от подходите за намаляване влиянието на този ефекта е използването на изкуствен интелект при управлението на трафика в населените места. Интелигентното управление спомага за постигане целта на контрола чрез симулиране на човешки интелигентни методи за вземане на решения. Ключът за решаване на проблема е да се даде възможност за съвместна координация на действията между кръстовищата, така че непрекъснатият

трафик да може да тече през няколко кръстовища в главните посоки с най-малко закъснения [2,3].

Най-голямото предимство на интелигентно управление е, че неговият алгоритъм за управление има способността силно да апроксимира нелинейни функции и не зависи от точни математически модели. Интелигентните методи за управление като размито управление, изкуствена невронна мрежа и генетични алгоритъм могат да постигнат подобри резултати от традиционния метод базиран на контрол на времето. От друга страна комбинацията от множество интелигентни методи за контрол е стратегия която би спомогнала за решаване на проблемите възникващи при управлението на градския трафик. В последното десетилетие основно място в системите за управлението на трафика заемат мулти-агентните системи

Агентът е автономно физическо или абстрактно образувание, което е в състояние да действа и възприема себе си и своята

среда, може да комуникара с други агенти и чието поведение е резултат от неговите наблюдения, знания и взаимодействия с други агенти. Агентът разполага със собствени ресурси и умения. Агентът може както да предлага услуги, така и евентуално да ги възпроизвежда. [4]. Мултиагентна система (МАС) е общност от автономни агенти, еволюирани в обща среда (фиг. 1), според начините на сътрудничество, конкуренция или дори конфликт, за постигане на глобална цел. Тези агенти представляват сложна система, която включва интелект, който може да бъде описан като колективен. [5]



Фиг. 1. Процеси в мултиагентна система

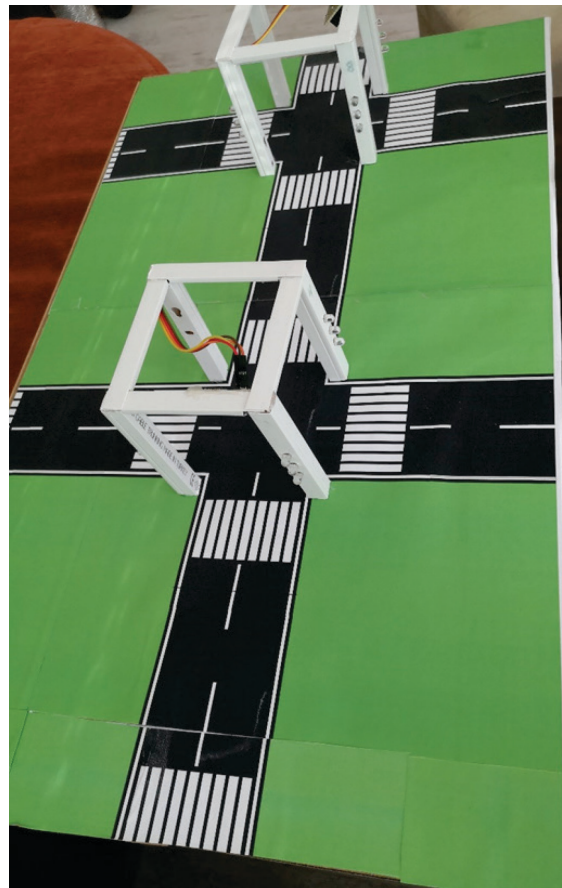
На базата на теорията на агента и характеристиките на самата транспортна система в статията се предлага структура на децентрализирана система за контрол на сигналите за управления за градски трафик, посредством мулти-агентна система работеща в режим на реално време.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обекта на изследване в настоящата разработка е лабораторна мулти-агентна система за управление на трафика (фиг.2), а на фиг. 3 е показана функционалната блок диаграма на системата.

Системата е изградена на предположението, че всяко кръстовище е самостоятелен обект (агент) чието функциониране се определя от текущия локален трафик и от състоянието на съседните кръстовища. Нивото на

трафик в едно кръстовище се определя от броя на превозните средства, видът на превозните средства, тяхната дължина и скорост на движение. Въз основа на тези предположения са избрани съставните елементи на мулти-агентната система.



Фиг. 2. Лабораторна мулти-агентна система за управление на трафика

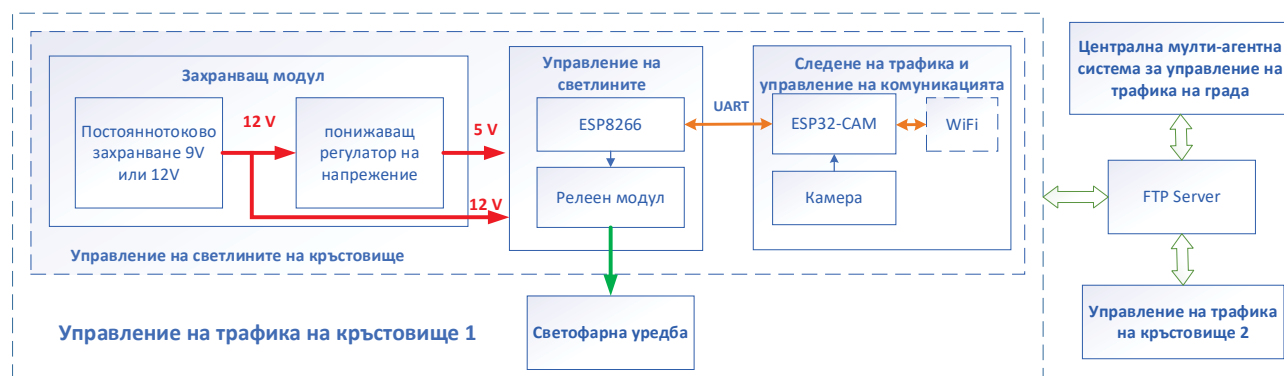
Тя е разделена на три нива. На първо ниво се управляват светлините. За това се грижи микроконтролер ESP8266, който посредством релета и контактори управлява светлинните източници.

В този контролер е изграден агент за контрол на светлините, чието функциониране се задава от третото ниво наречено „Централна мулти-агентна система за управление на трафика на града“. За дейности като събиране и обработка на данни за трафика се назначава агент за събиране на данни, агента за обработка на данни и комуникационен агент. Тези три агента са разположени в модула за „Следене на трафика и управление на комуникацията“.

Задачата на агент за събиране на данни да изследва данните получени от сензорите

(видео камера), те са брой на превозните средства и категоризация на превозните средства. Реализиран е посредством дълбока невронна мрежа. Той действа като първи представител в многоагентния системен подход. Агент за обработка на данни е следващият агент в системата за управление на трафика. Неговата роля е да определя дължината

на превозното средство, скоростта и относителното количество трафик. Данните за трафика се обработват и се подават на комуникационния агент за изпращане към централната мулти-агентна система за управление на трафика. И двамата агенти са независими и са интегрирани в микроконтролер ESP32-CAM.



Фиг. 3. Функционална блок-диаграма на лабораторна мулти-агентна система за управление на трафика

Задачата на този контролер е да следи трафика в реално време. Да открие превозните средства. Да определи видът им. Да преброи превозните средства. И да изпрати данните към FTP сървър. FTP сървър се използва в ролята на „пощенска кутия“. В него се записват два файла TrafficControl.txt и TrafficControlTimeOut.txt съдържащи JSON команди.

Файла TrafficControl.txt е предназначен за съхраняване на данните за състоянието на кръстовищата изпращани от контролерите за следене на трафика. Синтаксиса на JSON командата е следният:

```
{"deviceID":10001,"carCount":[4,3,2,4,5],"date":"22.06.2022 20:44M:52"}
```

Полето deviceID от командния стринг съдържа идентификационния номер на кръстовището. Този номер е уникален за системата и се назначава при инсталирането на системата. По този номер се идентифицира кръстовището в централната мулти-агентна система за управление на трафика. Полето carCount съдържа броят ленти на даденото кръстовище (първа стойност на масива). Останалите стойности на масива са броят на преминалите превозни средства през съответната лента за даден отчетен период. Този период е динамичен и може да се коригира от централната мулти-агентна сис-

тема за управление на трафика (ЦМАСУТ). По подразбиране е 5 минути. Броят на отчетените автомобили зависи от техния вид. Дефинирани са четири категории превозни средства: велосипет/мотоциклет; лек автомобил, камион/автобус, тир/камион с ремарке.

Това деление е направено от презумпцията, че времето за преминаване на дадено превозно средство през кръстовището зависи от неговата големина и динамика. Като базова единица се приема лекият автомобил (ЛА). При отчитане на другите превозни средства бройката която се изпраща към ЦМАСУТ се определим се определя като броят на отделните превозните средства от дадена категория умножени по тегловен коефициент. Тегловните коефициенти за отделните категории са:

$$T_{\text{велосипет/мотоциклет}} = 0.5; T_{\text{лек автомобил}} = 1; \\ T_{\text{камион/автобус}} = 2; T_{\text{тир/камион с ремарке}} = 4;$$

Например ако в дадена лента на кръстовището има 4 автомобила, 1 автобус и 2 мотоциклета то полето carCount ще има следната стойност:

$$carCount = 1 * 4 + 2 * 1 + 0.5 * 2 = 7$$

Последният параметър на JSON командата date съдържа датата и часът на направените измервания. Този запис се прочита от

агента за четене в ЦМАСУТ, след което се изтрива от файла. По този начин в даден момент във файла TrafficControl.txt има само по един запис за дадено кръстовище.

Вторият файл TrafficControlTimeOut.txt съдържа командите изпращани от ЦМАСУТ към съответните кръстовища. Форматът на командите в него са:

```
{"deviceID":10001,"Lenta "=1,"Red":[10,2,0,0],"Yellow":[0,2,0,2],"Green":[0,0,10,0],"date":"22.06.2022 20:44M:52"}
```

Тук новите елементи са Lenta, Red, Yellow и Green. Параметъра Lenta съдържа номера на лентата от дадената светофарна уредба за която се задават времевите интервали в секунди за съответните цветове Red, Yellow и Green. В посоченият пример по-горе се светофарната уредба работи в четири състояния. В първото състояние свети само червеният сигнал. Във вторият червени и жълто и т.н. Стойност 0 в съответната позиция означава, че даденият сигнал не работи, а стойностите различни от 0 колко секунди ще свети.

За да приложим нашия софтуерен дизайн, ключът е да изградим всеки агент и да осъществим координацията чрез взаимодействията на агентите. В най-горното ниво (ЦМАСУТ) информационният агент се моделира за всяко кръстовище, за да поддържа локалното състояние, от което се нуждае, за да се вземе решение. В най-долното ниво контролните агенти в рамките на едно кръстовище работят съвместно, за да разрешат конфликтите на различни потоци от трафик. Средните агенти също са създадени, за да координират всички тези контролни агенти в модела. Чрез изграждането на тези тристепенни агенти, координацията между кръстовищата се постига главно от информационните агенти разположени в ЦМАСУТ, а конфликтите в рамките на всяка пресечна точка могат да бъдат разрешени от средния агент (следене на трафика и управление на комуникацията) и агенти управляващ светлините.

Организация и функциониране на ЦМАСУТ

Мулти-агентните система (МАС или "самоорганизирана система") е компютъризирана система, съставена от множество взаимодействащи интелигентни агенти [6]. Мулти-агентните системи могат да решат

проблеми, които са трудни или невъзможни за решаване на отделен агент или монолитна система. Те се състоят от агенти и тяхната среда. Обикновено тези агенти са софтуерни агенти. Въпреки това, те биха могли да бъдат контролери, роботи, хора или човешки екипи и комбинация от тях. МАС са в основата си софтуерни платформи или библиотеки прилагачи общи стандарти (като FIPA и OMG MASIF стандарти). Някои от свободните за реализиране на МИС отговарящи на стандартите от FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) са JADE и ActressMas.

JADE (Java Agent DEvelopment Framework) е софтуерна платформа, изцяло внедрена в езика Java. Систеმა, базирана на JADE, може да бъде разпределена на различни машини, а конфигурацията може да се управлява чрез отдалечен GUI.

Друга платформа за разработване на мулти-агентни системи е ActressMas.

ActressMAS е мултиагентен фреймворк, използващ модела Actor. Основната му цел е простотата и първоначално е насочен към студенти, които се запознават с агентните системи. Това е една от малкото агентни рамки, налични за C#. В тук представената разработка използваме ActressMAS и C# за реализирането на ЦМАСУТ. За целта са създадени два агента дефинирани като класове в програмата: CrossroadAgent и FileTransferAgent.

CrossroadAgent класа описва всяко едно от кръстовищата в проекта. Чрез него се определя интервала от времената на светлините на светофарите на текущото кръстовище. Класът се състои от няколко метода чието предназначение е следното:

- Setup(): Този метод се използва за първоначална инициализация и изпращане на съобщения за стартиране мулти-агентния протокол.

- Act(): Този метод се активира, когато агент получи съобщение. Ако има повече съобщения, които трябва да бъдат получени, методът Act се активира веднъж за всяко съобщение.

- ActDefault(): Този метод се изпълнява, когато няма повече налични съобщения между агентите в опашка.

- ProcDataAndGenerateMessForNextAgent(): Този метод се използва за обработка на

файловете от FTP сървъра, като резултатът се сериализира в JSON формат и се праща обратно към сървъра.

- SetConfigJsonModel: Този метод съдържа самата логика за обработка на информацията постъпила от сървъра.

Агентите декларирани посредством FileTransferAgent клас описват и управляват комуникацията между мулти-агентната система и FTP сървъра. CrossroadAgent-а генерира JSON обект и го предава като параметър на FileTransferAgent-а за изпращане към FTP сървъра.

- Setup() метода се използва за инициализация.

- Act(): Този метод се активира, когато агент получи съобщение.

- ActDefault(): Този метод се извиква, когато няма повече налични съобщения между агентите в опашка.

- GenerateMessageForNextAgent: Този метод се извиква, за да се прочете файла от FTP сървъра. Прочетените данни от файла се изпращат като съобщение към текущият агент.

Процедура за изчисляване на продължителността на време на основния цикъл на набор от координирани светофари

Изчисляването на цикъла на работа на светофарите позволяващи повишаване на ефективността на автомобилния транспорт

Това може да се постигне чрез по-правилно изчисление на основните и междинните цикли на работа на светофарите. В настоящата разработка е използвана методиката за определяне времената за работа на светофарите представена в [7], която се състои в следното:

При известна почасова активност на превозните средства в най-натовареното направление на кръстовище (N_a), първо се определя броят на пристигащите превозни средства за определения интервал от време (N_a^i).

$$N_a^i = \frac{N_a \cdot 120}{3600} \quad (1)$$

където N_a^i — е стойността на трафик потока по разглежданото направление по време на цикъла, un/120sec; N_a — почасовата стойност на трафик потока в разглежданото направление. За най-висока стойност на трафик потока се определя по потока в най-натоварената лента, а не по целия поток в кръстовището.

Мястото на което отстои последното превозно средство от Stop линията на кръстовището се определя по зависимостта:

$$S_{enter}^i = n_i \cdot (B + l) \quad (2)$$

където n_i — е брой превозни средства в една лента за движение, пристигнали на кръстовище по време на един цикъл на светофара; B — средната дължина на автомобил (в изчисленията може да се приеме 4,5 m); l — средното разстояние между превозните средства, (при изчисленията може да се приеме 1 m).

$$N_a = \frac{N_a^i}{c} \quad (3)$$

където N_a^i е стойността на потока на трафика в изследваната посока по време на цикъл, un/120 sec, c - брой ленти за движение, определени за тази посока.

Продължителността на основния цикъл трябва да съвпада с продължителността на времето, необходимо на последното превозно средство да премине през кръстовището.

Първият автомобил достига до мястото, където водачът му има право да се движи през кръстовище за t_{oi} секунди, които съвпадат с продължителността на основния цикъл.

$$t_{oi} = \sqrt{\frac{2 \cdot (S_{enter}^i - S_{wait})}{a}} + t_{delay}^i \quad (4)$$

където $(S_{enter}^i - S_{wait})$ — разстояние, изминато от последния автомобил в редицата от момента на подновяване на движението след зелен сигнал на светофара, до достигане на границата, след което водачът няма физическа възможност да спре автомобила на „Stop“ линията, m; a — ускорение на превозно средство, m/s^2 (за практически изчисления се приема $1,5 m/s^2$); t_{delay}^i — забавянето във времето за подновяване на движението на последното превозно средство, s и се определя от зависимостта:

$$t_{delay}^i = n_i \cdot t_{delay}^{av} \quad (5)$$

където t_{delay}^{av} - средното забавяне във времето преди обновяване на всеки автомобил в линията, s (при изчисленията може да се приеме 1,0 s);

Разстоянието на отношение на превозно средство S_{wait} спрямо границата, установено от правилата за движение, при достигане до нея водачът на превозното средство няма

физическа възможност да спре и получава право да продължи движението през кръстовището се определя по зависимостта.

$$S_{wait} = (t_1 + t_2 + 0,5t_{SLy}) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot J_y} \quad (6)$$

където V_a – най-вероятната скорост на последното превозно средство, достигнато до момента на включване на ограничителния сигнал на светофара, km/h (за практически изчисления се приема 40 km/h); J_y — забавяне на автомобила при включен ограничителен (жълт) сигнал, m/s^2 (за сухо асфалтово покритие за практически изчисления се приема $4,6 m/s^2$); t_1 – времето за реакция на водача на превозното средство в развита ситуация на шофиране, s (за практически изчисления се приема като 0,6 s); t_2 — времето на закъснение на реакцията на предавката на превозното средство, s (за практически изчисления се приема 0,1 s); t_{SLy} — времето за натрупване на забавяне на превозно средство в развита ситуация на шофиране, s (за практически изчисления се приема като 0,35 s).

По този начин продължителността на времето, необходимо на последното превозно средство за навлизане в кръстовището, ще се определя от времето на основния цикъл в съответното направление, което позволява безпроблемно преминаване от пристигналите превозни средства, като се има предвид неговата конфигурация и броя на лентите, определени за движение в тази посока.

Регулирането на основния цикъл на една от фазите на работа на светофарите

По принцип регулирането на основния цикъл може да се извърши, като се има предвид минималното и максималното време за включване. Минималната продължителност на времето за включване на основния цикъл трябва да бъде не по-малко от 7 s. По този начин изчисленото време на основния цикъл във всяка фаза на работа на светофарите с време за включване не по-малко от 7 секунди трябва да се коригира, като се има предвид определената стойност. Като се има предвид максималното време за включване на основния цикъл, настройката трябва да се извърши след оценка на възможността за пресичане на лентата от пешеходци по време на зеления сигнал на светофара.

Времетраенето (t_{ped}), достатъчно за пресичане на вагон от пешеходци, се изчислява по следната формула:

$$t_{ped} = 5 + \frac{S_{ped}}{V_{ped}} \quad (7)$$

където S_{ped} – разстояние, изминато от пешеходец при пресичане на платното по време на разрешаващия сигнал на светофара, m; V_{ped} – средната скорост на пешеходците при пресичане на вагон по време на разрешителния сигнал на светофара, m/s (при изчисленията се приема 1,3 m/s).

Освен времевата корекция, необходима на пешеходците за пресичане на платното, ако е необходимо, трябва да се извърши и корекция на продължителността на основния цикъл (t_0) за възможността за преминаване на кръстовището от трамвай (t_{tr}).

$$t_{ped} = \frac{3,6(l_i - l_{tr})}{V_{tr}} \quad (8)$$

където l_i – е участък от маршрута, изминат от трамвая от стоп-линия до по-далечна конфликтна точка в посоката му на движение с превозни средства, започващи движението си в следващата фаза, m; (приема се с оглед на размерите и конфигурацията на кръстовището); l_{tr} – дължина на трамвайна мотрица (участък), m; дължината на вагон в изчисленията може да се приеме 15 m; V_{tr} – средната скорост на трамвая (при изчисленията може да се приеме 20 km/h)..

Съответно, общата продължителност на основните цикли ще бъде равна на сумата от основните цикли на конфликтни посоки и се определя съгласно следната формула:

$$\sum T_{mi} = t_{m1} + t_{m2} + \dots + t_{mi} \quad (9)$$

където t_{m1}, t_{m2} до t_{mi} са продължителност на основните цикли на всички направления в съответните фази на работа на светофарите.

За да се опрости изчисляването на продължителността на основните цикли в други направления, е разумно да се извърши, като се вземе предвид пропорционалността на стойността на транспортните потоци. В методическата литература този параметър се определя от т. нар. еднократен коефициент, чиято физическа стойност е съотношението на максималната стойност на най-натоварения трафик на едно платно и максималната

стойност на трафика на платно в противоположната посока.

$$Y_i = \frac{N_{ai} \cdot c_1}{N_{a1} \cdot c_i} \quad (9)$$

където N_{a1} — стойността на трафика на най-натовареното направление по време на цикъла, $up/120$ sec.; c_1 — брой на лентите, определени за най-натовареното направление, ед.; N_{ai} — стойността на транспортния поток в една от изследваните посоки по време на цикъла, $up / 120$ sec.; c_i — брой на лентите за движение, определени за едно от изследваните направления.

Съответно, продължителността на основните цикли в другите фази трябва да бъде в същите пропорции спрямо най-натоварената посока като изчислените фазови коефициенти.

$$t_{mi} = Y_i \cdot t_{m1} \quad (10)$$

Съответно, продължителността на основните цикли в другите фази трябва да бъде в същите пропорции спрямо най-натоварената (една лента) посока като изчислените фазови коефициенти.

На заключителния етап, за да се получи най-точната стойност на цикъла на светофарите, като се вземе предвид дадената изчислена продължителност на цикъл, да е по-малка от 120 секунди, е необходимо да се извърши допълнителна корекция за основния цикъл в най-натоварената посока (една лента) и съответно за основните цикли в останалите посоки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията е представено използването на мулти-агентна системна технология в про-

цеса на регулиране на трафика в градска среда. Така изградените системи повишават гъвкавостта при управление на трафика в населеното място, както и спомага при разрешаването на непредсказуеми ситуации, възникващи в системата.

Използваната методика за определяне на трафика води до оптимизиране на работата на основния цикъл на светофарните уредби.

REFERENCE

- [1] ZhengQin Wang, Coordination and Optimization of Urban Traffic Control and Path Guidance Based on Multi-Agent, Journal of Physics: Conference Series 1345 (2019) 042058 doi:10.1088/1742-6596/1345/4/042058
- [2] UK's Transport Research Laboratory. Split Cycle and Offset Optimisation Technique. https://trlsoftware.co.uk/products/traffic_control/scoot. Accessed November 2019.
- [3] UK's Transport Research Laboratory. [n.d.]. Traffic Network and Isolated Intersection Study Tool. https://trlsoftware.co.uk/products/junction_signal_design/transyt. Accessed November 2019.
- [4] Ferber, J Multi-agent systems: An introduction to distributed artificial intelligence. Harlow, UK: Addison-Wesley. (1999).
- [5] Chopra, N., & Spong, M. W. Passivity-based control of multi-agent systems. In Advances in Robot Control 2006. (pp. 107–134).
- [6] Cobeanu I., V. Comnac, Multi-agent systems: traffic control application, Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series I: Engineering Sciences Vol. 4 (53) No. 2 – 2011
- [7] Gorodokin V., Z. Almetova, V. Shepelev, Procedure for Calculating On-Time Duration of the Main Cycle of a Set of Coordinated Traffic Lights, 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in large cities", SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia