

СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ ЗА АНАЛИЗ НА АДАПТИВНОТО УПРАВЛЕНИЕ НА СВЕТОФАРНИ УРЕДБИ

Златин Трендафилов
tunzzt@yahoo.com

**ВТУ „Т. Каблешков“, ул. „Гео Милев“ 158, София,
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: Трафик, симулации, адаптивно управление

Резюме: Разглеждат се проблеми свързани със задръстванията в градовете и подобряване на ефективността при системите за управление на движение. Изследвани са различни подходи за управление на светофарните уредби. Представен е адаптивен режим, за контрол на кръстовища, свързан с непрекъснатото регулиране в зависимост от моментните стойности на трафика, като се отчитат връзката между кръстовищата в целият участък който да бъде управляван. Реализиран е симулационен модел за координирано управление на трафика за реалната част от градската пътна мрежа чрез програмния продукт AnyLogic. Използвани са реални данни за движението на транспортните средства. Разгледани са варианти за регулиране на трафика. С помощта на разработения модел и дефинирани критерии са оценени ефектите от прилагане на адаптивно управление на светофарните уредби за пътен участък. От анализа на резултатите се забелязва значителен ефект от прилагането на адаптивно управление на светофарни уредби. Направени са предложения за промяна в регулирането на кръстовищата.

ВЪВЕДЕНИЕ

Затрудненото придвижване е често разглеждан проблем свързан с разрастването на градовете и увеличаването на броя превозни средства. Като общ показател измерващ нивото на задръстванията е въведен *индекс на трафика* (индекс на движението). Това е съставен индекс отчитащ изразходвано в трафика време, оценка на неудовлетвореността по време на пътуването, количеството отделян CO₂ в трафика, както и цялостната неефективност в системата за движение. София попада сред градовете със значителни задръствания и е поставена на 83-о място в индекса на трафика сред 100 градове с най-големи задръствания в света [1]. Това налага разработването на различни подходи за решаването на транспортните проблеми. Прилагат се конструктивни или технически решения, свързани с промяна на инфраструктурата и транспортните средства – увеличаване на броя на лентите за движение, нива и начин на пресичане, пътни настилки, промяна в мощността и начина на задвижване на транспортните средства и др. Други мерки за подобряване на придвижването в градовете са свързани с организацията и регулиране на движението по пътищата и кръстовищата. Особено внимание се отделя на адекватното регулиране

на кръстовищата за постигане на по-голяма пропускателна способност и намаление на времето за преминаване (чакане). През последните години във всички големи градове, в това число и в България се работи върху правилната настройка на светофарните уредби спрямо конкретните условия. Това е свързано и с подмяната и добавяне на елементи от светофарните уредби. Това са най-често контролери, датчици и специализиран софтуер за управление и обмен на информация. Така се създават условия за възможно оптимално управление на светофарните уредби в зависимост от интензивността на транспортните потоци, часовото натоварване, приоритизация при специални режими на движение и други фактори, влияещи върху организацията на движението. Особено внимание се отделя и на завишени изисквания свързани с безопасност на движението.

УПРАВЛЕНИЕ НА СВЕТЛИННИТЕ СИГНАЛИ

Съществуват няколко основни концепции при управлението на светофарните уредби. Обичайния подход е свързан с установяване и анализ на параметрите на транспортните потоци и аналитично установяване на продължителността на светлинните сигнали. Напоследък се прилагат и специално разработени модели за оптимизиране на циклите на светофарите. Чрез специализирани програмни се моделира движението и се оптимизират продължителностите на подаваните сигнали от светофарните уредби, като целта обичайно е осигуряването на минимално общо време за чакане или минимално време за преминаване през кръстовища.

Съвременните светофарните уредби притежават усъвършенствана апаратна част за управление. Използването на *контролери с микропроцесорно управление*, позволява използването на предварително създадени (изчислени) планове за регулиране в зависимост от часовото натоварване на конкретното кръстовище. Цифровите контролери осигуряват възможност за синхронизация между светофарните уредби и реализиране на т.нар. „зелена вълна”. Допълнителен ефект при тях се постига и от възможността за обмен на информация с контролния център, следене и промяна на параметрите, свързани с работата на светофарния уредба в реално време. Апаратната част и цифровото управление позволяват да се реализират и така наречените *координирани трасета* за приоритетно преминаване на градския транспорт и специализираните превозни средства.

Респективно за реализиране на ефективно управление на движението е необходимо адекватното определяне на транспортните потоци и натовареността по регулируемите кръстовища. За целта се изграждат различни съоръжения за наблюдение и регистрация на транспортния трафик. Използват се видео камери и различни датчици за регистриране на превозните средства. [2]

През последните години стремежът за подобряване на качеството на живот и средата в която живеем е пряко свързан с възможностите за увеличаване ефективност на транспортните системи. Европейското законодателство, а и това в САЩ, с поредица законодателни актове наложи изисквания и създаде предпоставки за въвеждането на така наречените *интелигентни транспортни системи* (ИТС). Директива 2010/40 EC и инициативата “Smart Cities and Communities Innovation Partnership” (SCC) на Европейската комисия от 2012г. имат за цел да спомогнат за решаването на проблемите с транспорта в градовете, управлението на трафика, задръстванията и паркирането. Да гарантират безопасността на движението, да намалят вредното въздействие върху околната среда и пр. Едно от основните приложения на ИТС в градовете е свързано с предлагането на решения за ефективно управление на трафика с цел подобряване на градската мобилност и повишаване комфорта на пътуващите. Като част от ИТС се явява и системата за *адаптивно функциониране на*

светофарните уредби. Тази концепция може да се изрази в основно две направления. Адаптивния режим, състоящ се в промяна на времетраенето на светофарните режими, се настройва не само за конкретно кръстовище според стойностите на трафика, а се взима в предвид цялата система от кръстовища която може да бъде управлявана. Отчита се движението на транспортния поток по дължината на цялата регулируема мрежа. Вторият важен момент който предполага адаптивно функциониране на светофарните уредби, е свързан с непрекъснатото регулиране в зависимост от моментните стойности на трафика. Тези принципи се залагат все повече в разработката на комерсиални решения за управление на градското движение. Не липсват и у нас фирми които предлагат цялостни или частични (за определени райони) решения свързани с въвеждането на адаптивни светофарни уредби. Функционалностите на тези уредби позволяват следене в реално време работата на светофарите и интензивността на движение, като при необходимост въвеждат промени в режима на работа светофарния контролер. Вземайки в предвид факта, че почти всички системи за управление на трафика днес използват цифров хардуер, проблемът с фиксирани (предварително определени) продължителности на циклите може да бъде решен с допълнително микропроцесорно управление. При него освен специфичната апаратна част има инсталиран специализиран софтуер, който приема и обработва данни от регистриращите датчици за действителния трафик.

Въпреки, че процесът за вземане на решение е сложен то той се осъществява незабавно, непрекъснато и в реално време. Определят се фазовите приоритети въз основа на заетост и продължителност на преминаване през участък. Целта е светофарната уредба да се адаптира към моментното състояние на трафика, като е възможно дори промяна (удължаване или намаление) на настоящата фаза при данни за наличието или отсъствието на превозни средства.

Използва се математически алгоритъм, като се въвеждат специфични „тежести“ на превозните средства по цялата следена (наблюдавана) мрежа, като променя дължината на фазите на светофарните уредби според получената оценка на участъците с превозните средства, тяхното направление и приоритет [2].

ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Настоящата публикация цели да представи ефекта от адаптивното управление на светофарни уредби. Анализът е извършен на базата на получените чрез микросимулационен модел параметри за работа на кръстовища. Разгледани са две последователни Т-образни кръстовища. Изследването сравнява ефекта от приложението на различните подходи за управление върху конкретните кръстовища с реални параметри за движение. Имитирана е работата на светофарните уредби при независим режим и постоянни времена за продължителност на сигналите, определени чрез оптимизация. Предложена е и оптимизация на фазите на светофарните уредби при зависима работа, отчитайки преминаващите транспортни потоци през разглежданите кръстовища, отчитайки динамика на следване на превозните средства и смяна на лентите. За наподобяване адаптивното управление на контролерите, по време на имитацията се променят настройките на светофарната уредба в зависимост от заложената промяна в интензивността на движение.

За обект на изследването са избрани две последователни Т-образни кръстовища в гр. София, район Иван Вазов. , бул.“Петко Тодоров“ с ул.“Бяла Черква“ и ул.“Бяла Черква“ с бул.“Витоша“. Кръстовищата се характеризират със значителна интензивност на преминаващи транспортни средства, включващи и голям брой автобуси на градския транспорт. Ширината на участъка на бул.Петко Тодоров и ул.Бяла Черква включват по

две платна по 3.00 м без разделителен остров. Бул. „Витоша“ включва две платна по 3.00 м. с широк разделителен остров. Реално платното за движение е едно, заради заемането на другото платно от платена паркинг зона. Приетите параметри на движение са установени при предишно проучване. [4] Използвани са данните за реалното движение. След анализ са определени три часови диапазона характеризиращи натоварването на пътната инфраструктура през денонощието – сутрин от 8 до 9 часа, по обяд от 13 до 14 часа и вечерния пик от 17 до 18 часа. При преброяването са обхванати всички посоки на движение, както и всички видове моторни превозни средства, които преминават през кръстовището. Обобщените резултати от изследването на кръстовището в приведени транспортни средства са представени в табл. 1.

Приведена интензивност на транспортните потоци

таблица 1

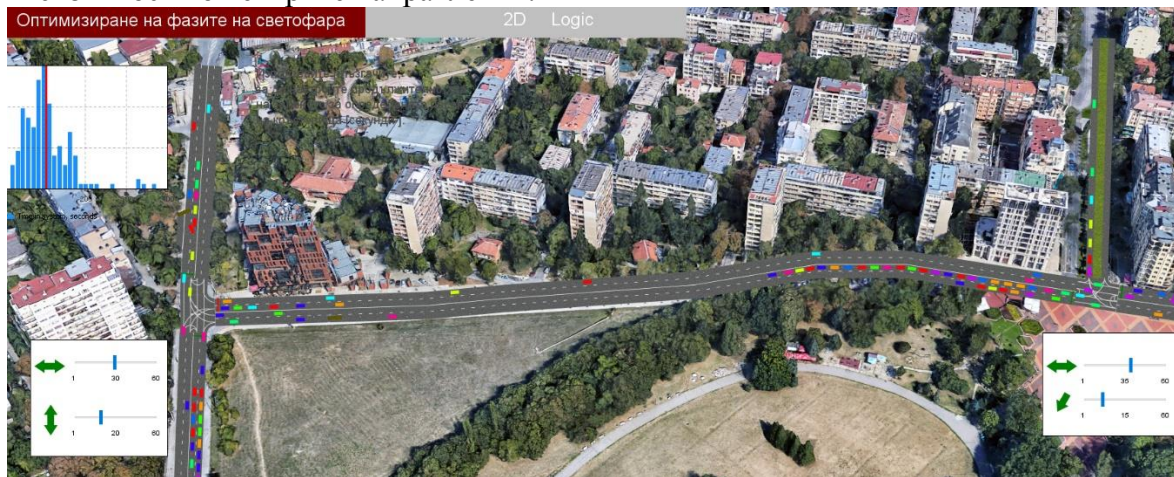
Направление	08:00 - 09:00ч	13:00 - 14:00ч	17:00 -18:00ч
ул.Бяла Черква - бул.Петко Тодоров	200	200	200
ул.Бяла Черква – бул.Витоша	230	200	300
ул.Бяла Черква - бул.Петко Тодоров /Х.Ибсен/	220	180	180
бул.Витоша - бул.Петко Тодоров	310	190	220
бул.Витоша - бул.Петко Тодоров /Х.Ибсен/	390	210	260
бул.Витоша - ул.Бяла Черква	150	90	210
бул.Петко Тодоров /Х.Ибсен/ - бул.Петко Тодоров	490	504	547
бул.Петко Тодоров /Х.Ибсен/ - бул.Витоша	150	200	220
бул.Петко Тодоров/Х.Ибсен/ - ул.Бяла Черква	190	190	200
бул.Петко Тодоров - бул.Петко Тодоров /Х.Ибсен/	620	450	680
бул.Петко Тодоров - бул.Витоша	260	210	280
бул.Петко Тодоров – ул.Бяла Черква	250	190	270

За анализа на управлението на светофарните уредби е използвано компютърното микро моделиране, при което се създава динамичен компютърен модел, пресъздаващ до голяма степен реалната обстановка и поведението на участниците в движението. От модела се получават резултати за експлоатационните характеристики на кръстовищата при различните предложени решения. За реализацията на модела е използван продукт за стимулационно моделиране AnyLogic7. Продукта съдържа специализиран инструмент (библиотека) за моделиране на процеси в транспорта. Така значително се улеснява работата и се предоставя възможност за много добра визуализация на резултатите и последващ анализ. В представения модул има стандартен инструмент за оптимизация на предварително зададени параметри. Реализирания модел има значително правдоподобие с наблюдаваната транспортна ситуация - фиг.1. Чрез него са определени продължителността на фазите на разглежданите светофарни уредби.

Използваният програмен продукт има възможност за създаване на база с динамични параметри на движение. Такова представяне изисква по задълбочен анализ на входящите потоци (закони за разпределение и характеристика на интервалите и пр.) и в настоящият модел не е реализирано. Работата на светофарната уредба се моделира с отделен модул имаш възможност за прецизно настройване на продължителността на светлинните сигнали. Продължителността на времената за преминаване са дефинирани като променливи параметри за всеки цикъл. Така те могат да се определят на базата на критериален параметър и допълнителни условия.

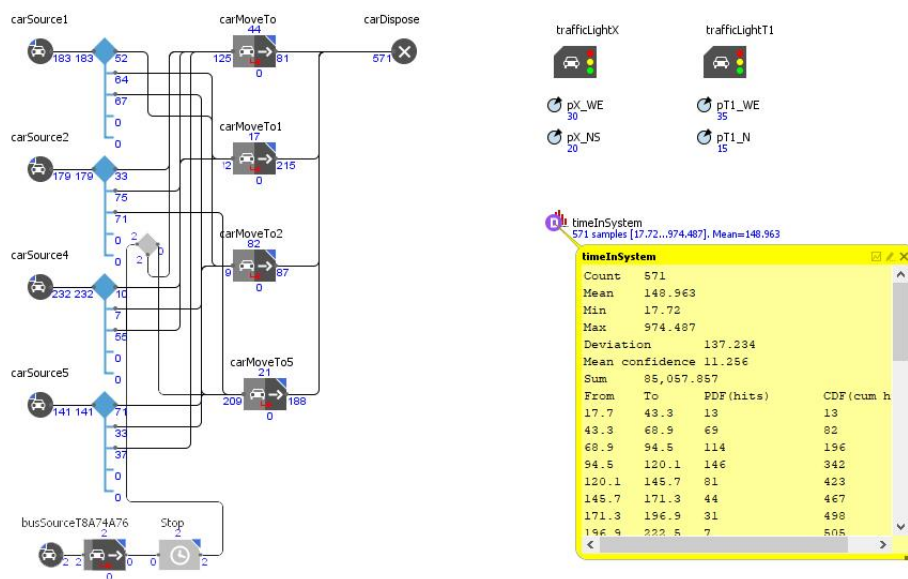
За наподобяване адаптивно (самонастройващо се управление) са въведени слайдери, с който лесно и по време на симулацията могат да се изменят продължителности на подаваните светлинни сигнали. Връзките на модела се

представят с логическа схема. Дефинирани са входящите потоци и тяхната интензивност по четирите направления.



Фиг.1 Симуляционен модел на участък с две кръстовища

С вероятностни модули е разделено движението по направления съгласно направеното преброяване. Моделното време е ограничено на 60 минути, заради използвания лиценз на симуляционния продукт. Това налага няколкократно повторение на експеримента и усредняване на получените резултати. При дефинирани на наблюдавани параметри, AnyLogic7 има възможност за статистика и визуализация на следените величини. Могат да се определят броят преминали и броят на задържаните (чакащите) транспортни средства по всяко едно от направленията.



Фиг.2 Връзките в имитационния модел и статистика на наблюдаваните параметри

За улеснение ще приемем за постоянна структурата на фазите на регулиране на кръстовището. Набелязани са три варианта за сравнение. *Първият* е при които светофарните уредби работят независимо с отделна самостоятелна оптимизация на циклите им. *Вторият* вариант разглежда връзката между кръстовищата, при него оптимизацията е извършена на базата на съвместната работа на двете светофарни уредби. При *третият* вариант се отчита динамиката в транспортните потоци и светофарните уредби се настройват в дискретни интервали. При дефиниране на критерий за оценка на вариантите на настройка на работата на светофарните уредби –

време за преминаване през кръстовищата – T_{np} , реализираният модел има възможност да представи подробна статистика на разпределението на критериален параметър – фиг.2.

ИЗВОДИ ОТ ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Получените резултати при всеки един от вариантите на управление на светофарната уредба през различните часови диапазона са представени в табл.2. Критериалния параметър – T_{np} в секунди и средния брой преминали превозни средства за час. За по-голяма достоверност и осигуряване на продължителност на периода за моделиране, са реализирани по няколко генерации за всеки вариант и часова зона. Разликата в средните стойности на наблюдаваните параметри при различните генерации е около 10%.

Изводите които могат да се направят от резултатите са няколко:

-ефекта от въвеждане на адаптивно управление спрямо кръстовища работещи самостоятелно е около 30 % намаляване на времето за преминаване през участъка.

- разликата между кръстовищата настройващи се адаптивно и такива при които

Осреднени резултати

таблица 2

Вариант	08:00 - 09:00ч		13:00 - 14:00ч		17:00 -18:00ч	
	n	T_{np}	n	T_{np}	n	T_{np}
I –независима оптимизация на светофарите	n	T_{np}	n	T_{np}	n	T_{np}
	1452	254 сек	1395	261 сек	1236	252 сек
II – оптимизация на взаимосвързани светофарни уредби	n	T_{np}	n	T_{np}	n	T_{np}
	1611	229 сек	1586	223 сек	1650	214 сек
III – адаптивно управление на светофарните уредби	n	T_{np}	n	T_{np}	n	T_{np}
	1460	191 сек	1642	172 сек	1656	210 сек

оптимизацията на фазите се е извършила съвместно е под 10 %. Този резултат е предвидим, защото по своята същност варианта с оптимизация на времената на фазите в малък участък и за всеки един от времевите диапазони представлява опростен дискретен адаптивен модел на управление.

- използването на по-малка продължителност на сигналите (до 30 сек) е по-ефективно когато имаме значително натоварване и двуфазно управление на T-образните кръстовища. В случая при голям брой транспортни средства и значително разстояние между двете кръстовища (около 500 м.) не може да се реализира ефекта от „зелена вълна“, между светофарите.

-при разгледаните варианти, след оптимизация на продължителността на подаваните сигнали е 35 сек. Това предполага анализ на броя фази на разглежданите кръстовища.

Общият извод е, че може да се очаква значителен ефект от прилагането на адаптивно управление на светофарни уредби за значителен брой регулируеми кръстовища и непрекъснато отчитане на натоварването по мрежата. В някои литературни източници се цитира ефект от около 70% намаляване времето за преминаване през градска мрежа, като се очаква повишаване на пропускателната способност на кръстовищата .[3]

ЛИТЕРАТУРА:

[1] The Statistics Portal - www.numbeo.com

[2] Тодорова М. Усъвършенстване нормативната база с цел подобряване движението в градовете, Научно списание „Механика Транспорт Комуникации“, том 14, бр.3, 2016 г

[3] Chandra R., Gregory C. InSync Adaptive Traffic Signal Technology: Real-Time Artificial Intelligence Delivering Real-World Results. InSync System Comparison..USA,2012

[4] Трендафилов З. Анализ на методите за определяне на светофарните уредби. Научно списание „Механика Транспорт Комуникации“, том 15, бр. 3, 2017 г

A SIMULATION MODEL APPROACH TO ANALYSIS OF THE ADAPTIVE MANAGEMENT OF TRAFFIC LIGHTS

Zlatin Trendafilov
tunzzt@yahoo.com

*Todor Kableshkov University of Transport,
158 Geo Milev Street, Sofia,
BULGARIA*

Key words: *Traffic, simulations, adaptive management*

Abstract: *Problems associated with traffic jams in the cities and improving efficiency in traffic management systems are being considered. Different approaches for management of traffic lights are investigated. An adaptive regimen for junction control for controlling intersections associated with continuous adjustment based on instantaneous traffic volume, taking into account the connection between the intersections across the entire area is being presented and managed. A simulation model for coordinated traffic management for the real part of the urban road network is implemented through the AnyLogic software. Actual data on the movement of transport vehicles has been used. Different options for traffic lights change are considered. With the help of the developed model, the effects of adaptive traffic control of traffic lights are assessed. From the analysis of the results, a significant effect of the adaptive management of traffic lights is noticed. Using the developed model and defined criteria, the effects of adaptive control of traffic lights for a section of the road. From the analysis of the results experienced significant effect of the application of adaptive control of traffic lights. Proposals have been made to change the regulation of intersections.*