

**ОБЗОР НА ТЕХНИКИТЕ ЗА КОНТРОЛ НА ТРАФИКА ПРЕЗ
ПОСЛЕДНОТО ДЕСЕТИЛЕНИЕ****REVIEW OF TECHNICS FOR TRAFFIC CONTROL FROM LAST DECADE****Vasil Shterev¹, Nikolay Hinov²**¹ TU-Sofia² TU-Sofia**Abstract**

Техниките за контрол на автомобилния трафик в съвременните (умни) градове непрекъснато се развиват, като целта е осигуряване на надежден, бърз, сигурен и не на последно място транспорт с минимално количество отделени CO₂ емисии. Всички активни (движещи се) елементи участващи в пътната инфраструктура могат и трябва да се управляват/контролират/менаждат за постигане на изброените по-горе цели. Те от своя страна са повече или по-малко противоречиви. Заради този факт, повечето автори/изследователи се фокусират върху оптимизирането на един или максимум два фактора влияещи пряко на движението по градските артерии.

Technics for automobile control in smart cities are involved in continuously development and change toward reliable, fast, safe and last but not least transportation with minimum CO₂ emission. All units that take part in public traffic infrastructure can and must be manage for this goal. This is the reason that most of the researchers optimize one or maximum two factors in such situation.

Keywords: контрол на трафика, умен град, автономен транспорт, зелена енергия; traffic control, smart city, autonomous transport, green energy.

ВЪВЕДЕНИЕ/INTRODUCTION

На практика няма два еднакви града в света, както и съставните им квартали и отделните предградия. Освен това ден след ден те непрекъснато се променят и така се получава един непрекъснат цикъл на адаптиране на населението към града и обратното. Точно както в една древна поговорка - човек не може да се изкъпе два пъти в една и съща река, защото реката не е същата и човека не е същият! Следвайки тази максима проектантите на пътните артерии и техните най-конфликтни точки - кръстовищата се ръководят от текущата ситуация във въпросния град, както и тенденциите за постоянно нарастващата плътност на населението и проблемите свързани с неговия транспорт.

Настоящият труд е фокусиран върху методологичното разделяне и критичен коментар на техниките за контрол на трафика в градска среда, предложени в литературата през последното десетилетие. Следващата

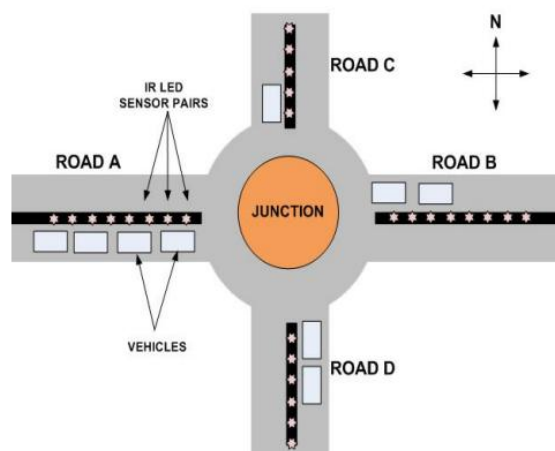
секция в документа е посветена на техниките за управление на светофарните уредби. Секция 3 е фокусирана върху разликите между големите и малки градове в развиващите се страни. Секция 4 представя моделите и симулациите чрез които се постига по-пълно утилизирание на пътната мрежа. Накрая документа завършва с излагане на недостатъците на предложените методи и модели от другите автори до този момент.

**КОНТРОЛ НА ТРАФИЧНИ
УРЕДБИ/TRAFFIC LIGHT CONTROL**

Неминуемо, контрола на светофарните уредби е сред първите фактори влияещи на пропускателната способност на вече изградената пътна мрежа, макар много по-рядко да съществува и обратната ситуация - градове построени около главни пътни артерии (Лас Вегас или големите автоспирки на главните пътища в САЩ, които наброяват до 50 000 души). Последният споменат факт е по-скоро изключение от миналото,

отколкото правило в наши дни.

Един "безобиден" пример за умна система за контрол на трафика е представена в [1]. Авторите използват евтини, надеждни и широко разпространени компоненти като: ATmega2560, LM358m, инфрачервени сензори, интегрални схеми от 74-та серия, LED индикация и не на последно място те захранват своята система, чрез слънчев панел с мощност 10W/12V. Като недостатък в това конкретно предложение, може да се изтъкне, че то е предвидено само за "обикновени" кръстовища при които се пресичат два главни пътя (фиг.1) - липсва алтернатива за Т-образни кръстовища или по-сложни такива като "петте кюшета" и други подобни. Освен това, единствената величина която се контролира е продължителността на зелената светлина (5, 10 и 15 сек.). Последното допускане не е критично при Х образни кръстовища, при които червената светлина в едно от направленията е пряко свързана с продължителността на другите две (зелена и жълта) или иначе казано с времетраенето на цикъла.



Фиг. 1 класическо "X" образно кръстовище [2]

В [2] е представена нискобюджетна идея за независим и адаптивен контрол на трафика. Съгласно функционалната блок диаграма главната управляваща програма събира данни от периферните подпрограми (IR сензори, LED индикация и таймери) и изработва управляващи въздействия за контрол на броячите и светлинната индикация. За микроконтролер е избран PIC18F4520, но това решение е само за доказване работоспособността на системата. Добре известен факт, е че софтуерните "провлачва-

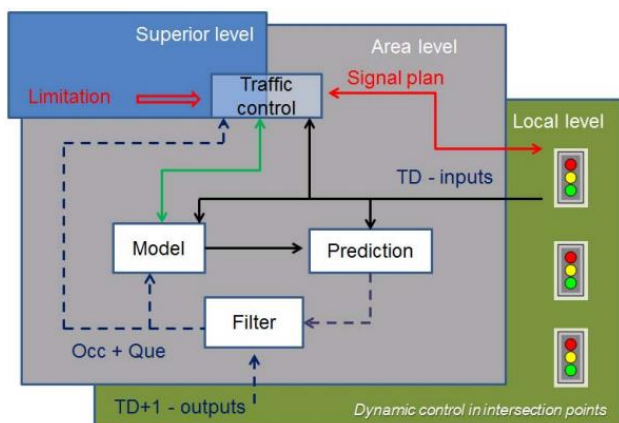
ния" (glitch - гlich) могат да доведат до неизправности в работата на цялата система, което е абсолютно недопустимо. Решение на този проблем може да се търси в използването на FPGA, а като по-масов вариант и ASIC, защото тези две технологии са изцяло хардуерно базирани, следователно при тях няма софтуерни итерации, което ги прави по-бързи и лишени от гlich-ове. Като оставим назад концептуалните недоразумения, предложеният алгоритъм в [2] показва завидно увеличение на трафика преминаващ по всеки един "ръкав" на изследваното кръстовище от една страна, а от друга времената за изчакване (престой) също силно намаляват (до 5 пъти). Тези подобрения обаче зависят от натовареността, която пък е в пряка релация с часа от денонощието. В интерес на истината, подобрение липсва при пикови натоварвания и адаптивния контрол се справя еднакво добре спрямо системата с фиксирани времена. Тук е добре да се отбележи, че законовите наредби ограничават отчасти пълната гъвкавост на подобни системи - например в Р. България продължителността на червената светлина на светофарните уредби е с максимална продължителност 120 секунди.

Сходна идея, но базирана на едночипов микрокомпютър е представена в [3]. За основа е ползван AT89S51, заради ниската консумация и високата производителност на вложените CMOS компоненти. В труда са описани детайлно всички използвани модули: захранващ блок, схема за рестартиране, кристален (кварцов) резонатор, IR сензор за детектиране и т.н. Впечатление прави, че блок диаграмата на главната програма е линейна - без разклонения и зацикляния (обратни връзки (loop-ове)) от началото до края. Авторите твърдят, че тяхното решение е просто, евтино, стабилно, лесно за използване, поддръжка и бъдещо разширение, но за съжаление експериментални резултати липсват.

ГОЛЕМИ И СРЕДНИ ГРАДОВЕ/LARGE AND MIDDLE-SIZED CITIES

Какво е голям, малък и среден по размери град? Трудно е да се даде точна дефиниция, макар повечето от нас да знаят по име

пренаселените мегаполиси на всички континенти. Линейните размери, населението и броя на участниците в движението не са достатъчни за подобна класификация. Така например, малък град в КНДР или Индия може да се окаже с многократно по-интензивен трафик от голяма част от европейските столици или както е казал един от най-големите учени на XX век - всичко е относително и зависи от гледната точка на наблюдателя. Урбанизацията е факт присъстващ в нашето съвремие повече от век и статистиката сочи, че тя ще продължи макар и с неравномерни темпове. В този ред на мисли, "умен" контрол на трафика в средни по големина градове е представен в [4]. Авторите "залагат" на адаптивен модул наречен TDC (Traffic Dependent Control), който работи на три нива: старшо, областно и локално. На фиг. 2 е илюстрирана тази разработка.

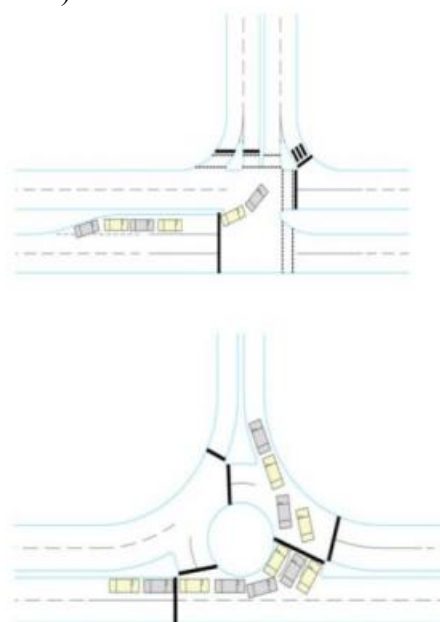


Фиг. 2 трислоен модел за предсказване, управление и събиране на информация [4]

Видно е, че чрез локалното ниво се управляват динамично светофарните уредби. На т.нар. областно ниво се осъществява предсказване, филтриране на постъпващата информация, моделиране и трафичен контрол, който същевременно е част и от старшото ниво. Всички ограничения в системата, независимо от техния характер се задават на това старшо ниво. Градът в който е проведено изследването е Uherské Hradiště в Чешка Република със средно натоварване на главната пътна артерия от около 20 000 автомобили на (работен) ден. Средното изчакване е намаляло с между 10% и 40% в зависимост от натовареността и часовия интервал. Тази система предлага и функцио-

налност за навигация до свободни паркоместа, премаршрутизиране при наличие на нови данни за пътната обстановка и актуална информация за водачите.

Друга гледна точка за възможностите и предизвикателствата пред контрола в реално време в развиващите се градове е изложена в [5] и [6]. Специално внимание е обърнато на кръстовищата на които се образува изкуствено запушване/задръстване (фиг. 3).



Фиг. 3 типове кръстовища, които са предпоставка за лесно образуване на задръстване тип "мана" (artificial-bottleneck) [6]

Фиг. 3 илюстрира видовете кръстовища, на които някои от "ръкавите" са податливи на лесно насищане на автомобили – задръстване. Трябва да се отбележи, че в Р. България, особено в столицата съществуват такива кръстовища. Един от натрапчивите примери е кръговото на 4-ти километър, където се налага поставяне на регулиращи полицаи в пиковите часове. В [6] са представени още взаимно-свързаните проблеми на развиващите се без план градове: миграция, висок коефициент на раждаемост, постоянно увеличаващ се брой на автомобилите, поведението на участниците в движението, липса на адекватна инфраструктура и не на последно място невисоко качество и продължителност на шофьорските курсове. Следва сравнение на методите за управление на сигнализацията в развитите и развиващите се страни, като вторите изостават

най-много в две направления - адаптивен контрол на трафика и координация в реално време. За сравнение в Лондон 41% от кръстовищата са с адаптивен контрол, Кейп Таун 17%, Пекин и Торонто 15%. Поради тези причини в [5] е предложен оптимизационен алгоритъм от 4 стъпки, като на всяка една се събира различен вид информация - от работоспособността и натовареността на сензорите до параметрите на оптимизационния модел и характеристиките на кръстовището. Съгласно автора с добро планиране, финансова помощ от различни фондове и организации, голяма част от развиващите се градове могат да преустроят сигнализацията си в такава, работеща в реално време.

Още един важен аспект от проследяването и оптимизирането на трафика е въздействието върху околната среда. Безспорно акустичното (шумово) и въздушно замърсяване са вплетени в транспортното дело. Публикация [7] изследва точно това въздействие, като фокуса е върху интелигентното управление на трафика и влиянието му върху нивата на финни прахови частици и парникови и вредни газове като: SO_2 , NO_2 , CO , O_3 и PM_{10} . Както отбелязват и самите автори, подобрението в конкретните параметри е двукратно - веднъж го има друг път отсъства. Необходимо е по-задълбочено изследване за корелацията между контрола на трафика и посочените параметри. Шумът от превозните средства остава постоянен в продължение на целия ден независимо дали светофарните уредби се контролират интелигентно или не. За установяване на такъв род зависимости е необходим значително по-голям обем от събрани реални данни.

ТРАФИЧНИ МОДЕЛИ И СИМУЛАЦИИ/TRAFFIC MODELS AND SIMULATIONS

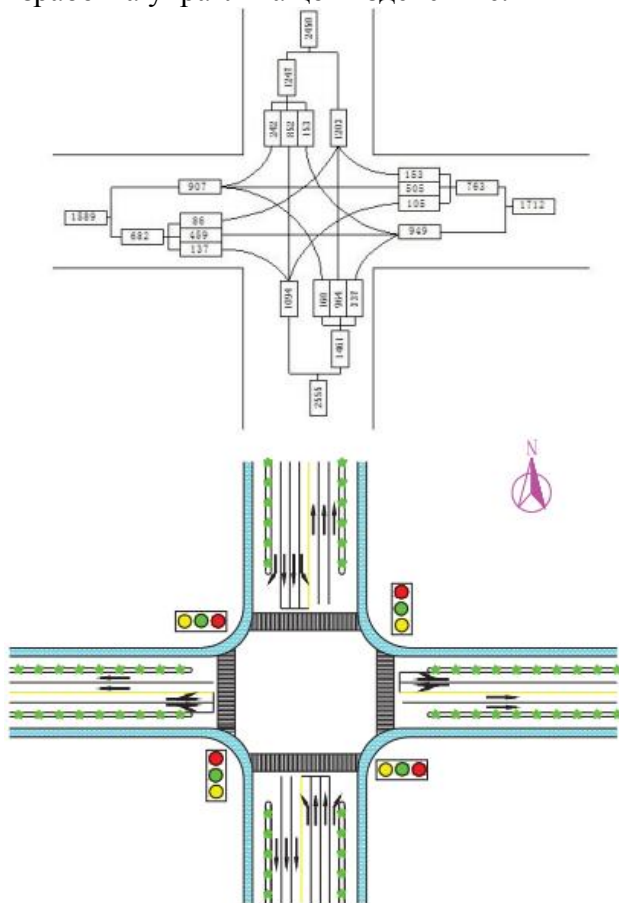
В настоящата секция е направен кратък обзор на симулационните и трафични модели използвани от другите автори с цел оптимизиране на важни за трафика и транспорта като цяло параметри. Както вече стана ясно, адаптивният контрол на трафика в реално време е нещо като панацея за текущото състояние на нещата. Хибриден подход за подобна система е представен в

[8], като акцента е върху събраната от камерите визуална информация, която в последствие търпи информационна обработка на няколко етапа ("изтегляне" на фона, конверсия в сива скала, модулна трансформация и бинаризация на Отсу). Самата системна архитектура представлява блок диаграма с множество разклонения в която събраната от камерите изображения управляват светофарните уредби. Един от елементите, които гарантира отказоустойчивостта на системата е метода на събиране на информация - едновременно от локално и централизирано ниво, като така при евентуален отказ на едно от двете нива другото би продължило да функционира. По-нататък приоритизацията може да се надгради за автомобили със специален режим на движение плюс проследяване на откраднати превозни средства. Освен това се обмисля и предаване на синтезираната информация към индивидуалните участници в движението, което допълнително би спомогнало за редуциране на престоя и напрежението върху водачите. Анализ на данните може да бъде използван и за предсказване на задръстване в различни райони на града. Друга разработка за оптимизация на координирания контрол може да се намери в [9]. Авторите представят концепцията за минимално закъснение на кръстовища или поточно за минимално средно закъснение на всеки отделен автомобил. В използвания математичен апарат се разглеждат "конвенционални" X образни кръстовища, но се отчита посоката която водачите избират да последват, (ляво, дясно или направо) както е показано на фиг. 4.

Идеологията на този модел е изчисление на отместването на зелената светлина в поредица от цикли, като припокриването (две поредни зелени вълни) е забранено. Това изчисление се прави за всяка отделна посока на движение, като резултатите показват редуциране на закъснението до 45%.

Друг модел за оптимизиране и контрол на трафична сигнализация чрез размита невронна мрежа е показан в [10]. За разлика от [9], тук изходна променлива е допълнителното (удължено) време в което зелената светлина продължава да свети. Самият модел на системата включва размит контрол,

който "прихваща" входните променливи и изработва управляващо въздействие.



Фиг. 4 модел на X образно кръстовище с отчитане на промяна на посоката на движение на превозните средства [9]

Едновременно с това, невронната мрежа обменя входно-изходна информация по отделен канал с размитата система. Симулационните резултати показват подобрене с между 5% и 10% на средното закъснение, дължина на опашката и общия трафичен капацитет. Още по-комплексен подход за итеративно обучение на контрола на фазите при пренаситена градска среда е демонстриран в [11]. Както отбелязват изследователите, максимална ефективност на метода се постига при преповтарящи се шаблони на трафичните потоци. Допълнително е представен още подобрен вариращ във времето "store-and-forward" подход за моделиране описващ трафика в градска мрежа много по-реалистично, след което той е използван за анализ проследяващ конвергенцията на грешката. Теоретичният разбор показва две схеми, които гарантират грешка близка до нулата в смисъл на Евклидово разстояние.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ/CONCLUSION

Както се вижда, няма разпределена, централизирана или смесено хибридна система, която да гарантира минимално време за престой на всички превозни средства в дадено направление или конкретен пътен възел. Повечето автори оптимизират един, максимум два параметъра, като типично това са времето за престой и/или средната скорост, а значително по-малко внимание се обръща на замърсяването и корелацията с потока на превозни средства. Освен това до този момент няма сериозно изследване, което да покаже връзката между реалното подобрене и използваната изчислителна мощ. Този факт евентуално се дължи на непрекъснатото и увеличение, както и непрестанното спадане на цената на хардуера. Въпреки това сложните и комплексни алгоритми невинаги показват по-добри резултати от елегантен и прост такъв. Освен това няма как да се сравнят всички алгоритми при равни условия, което винаги ще води след себе си дебати относно тяхното представяне. Не трябва да се забравя, и че разгръщането и поддръжката на подобна инфраструктура е свързано със значителни финансови ресурси. тояние.

БЛАГОДАРНОСТИ

Този доклад е изготвен в съответствие с проект на Технически Университет - София "Интелигентно управление на трафика"

This work is supported by the Technical University of Sofia Grant No "Intelligent traffic management"

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. Shruti, P. Dipali, G. Rani, V. Kulkarni, P. Amey and S. Pradip, Smart traffic control system using green energy, pp. 1690-1694, ICECA 2018
- [2] L. Singh, B. Shimray and N. Singh, Idea of a low cost, independent and adaptive traffic control, pp. 283-287, IEEE 2017
- [3] H. Jie and S. Bing, Intelligent Traffic Control System Based Single Chip Microcomputer, pp. 577-579, 2016 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City, IEEE 2017
- [4] Z. Bělinová, T. Tichý, J. Příkryl and K. Cíkhartová, Smarter traffic control for middle-

- sized cities using adaptive algorithm, Smart Cities Symposium Prague, IEEE 2015
- [5] F. Gundogan, Real-Time Signal Control in Developing Cities: Challenges and Opportunities, pp. 38-41, IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2015
- [6] F. Gundogan, "Simplified traffic responsive signal control method for developing large cities," Ph.D. Thesis at Graz University of Technology, Graz, Austria, 2012
- [7] K. Cikhartová, Z. Bělinová, T. Tichý, J. Ruzicka, Evaluation of Traffic Control Impact on Smart Cities Environment, pp 1-4, IEEE Smart Cities Symposium Prague 2016
- [8] P. Faldu, N. Doshi and R. Patel, Real Time Adaptive Traffic Control System A hybrid Approach, pp. 697-701, IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems, 2019
- [9] D. Pengdi, N. Muhan, W. Zhuo, Z. Zundong and D. Honghui, Traffic Signal Coordinated Control Optimization: A Case Study, pp. 827-831, IEEE CCDC 2012
- [10] D. Jia and Z. Chen, Traffic Signal Control Optimization Based on Fuzzy Neural Network, pp. 1015-1018, MIC IEEE 2012
- [11] J. Shangtai, H. Zhongsheng, C. Ronghu, W. Danwei and B. Xuhui, Iterative Learning Control Based Phase Splits Strategy for Oversaturated Urban Traffic Network, pp. 3142-3146, Proceedings of the 35th Chinese Control Conference 2016.