

LUCIAN MATEI

LUCIAN MATEI

**ALGORITMI DE OPTIMIZARE A CIRCULAȚIEI
LA NIVEL DE INTERSECȚII RUTIERE**



**Editura UNIVERSITARIA
Craiova, 2020**

Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Ilie Dumitru

Prof.univ.dr.ing. Nicolae Ispas

Conf.univ.dr.ing. Laurențiu Racilă

Copyright © 2020 Editura Universitari

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

MATEI, LUCIAN

Algoritmi de optimizare a circulației la nivel de intersecții rutiere /

Lucia Matei. - Craiova : Universitaria, 2020

Conține bibliografie

ISBN 978-606-14-1589-2

656.05

© 2020 by Editura Universitaria

Această carte este protejată prin copyright. Reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea prin orice mijloace și sub orice formă, cum ar fi xeroxarea, scanarea, transpunerea în format electronic sau audio, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau prin rețelele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informațiilor, cu scop comercial sau gratuit, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea scrisă a deținătorului copyrightului reprezintă o încălcare a legislației cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc penal și/sau civil în conformitate cu legile în vigoare.

Prefață

Transportul rutier reprezintă unul din elementele critice în evoluția unei economii performante, poziționându-se ca un element activ și dinamic în funcționarea și dezvoltarea în condiții optime a acesteia. În ultimii ani s-a înregistrat o creștere semnificativă a numărului de autovehicule din trafic, generându-se astfel o presiune importantă asupra întregului sistem de transport, a cărui capacitate tinde să fie depășită atât din punct de vedere al geometriei actuale a intersecțiilor, cât și a metodelor de optimizare.

Putem spune că circulația rutieră devine din ce în ce mai aglomerată și mai lentă, favorizându-se producerea a numeroase congestii, atât în interiorul metropolelor, a orașelor mari, cât și pe celelalte categorii de drumuri naționale și europene. În acest sens putem identifica creșterea emisiilor poluante, nivelul ridicat de zgomot și vibrații create de către toate categoriile de vehicule.

Pornind de la cele câteva probleme enunțate mai sus, în contextul general extrem de important al traficului și transportului rutier, devine din ce în ce mai importantă necesitatea optimizării transportului rutier în raport cu modificările rapide și distribuite neuniform ale participanților la trafic. Astfel, se pune problema unei optimizări și a verificării soluțiilor optime în timp real, astfel încât să se prevină o multitudine de probleme care apar de-a lungul tramei stradale, mai ales la orele de vârf.

Plecând de la acest context general, lucrarea de față expune într-o formă concisă și accesibilă diverse soluții de optimizare a circulației la nivel de intersecții rutiere, prin identificarea și crearea unor algoritmi matematici necesari fluidizării circulației rutiere și decongestionării traficului.

Aspectele analizate și studiate în această lucrare pleacă de la considerentele că infrastructura actuală este dificil de modificat în raport cu schimbările din trafic, astfel încât soluțiile de optimizare trebuie să vină din utilizarea mai eficientă a elementelor pasive (procedee matematice, algoritmi matematici de previziune, procedee de calcul a modurilor de utilizare a infrastructurii, sau elemente de evaluare între diferite momente ale zilei având ca scop emiterea unor soluții dedicate).

Prin caracterul complex al algoritmilor de optimizare a circulației la nivel de intersecție rutieră, lucrarea se adresează atât specialiștilor, cât și studenților și masteranzilor din domeniile Ingineria Transporturilor și Ingineria Sistemelor.

Prezenta lucrarea este rezultatul cercetărilor doctorale care s-au concretizat în teza de doctorat „**Contribuții la optimizarea sistemelor de transport rutier, cu aplicație la orașul Craiova**” susținută în noiembrie 2016 și care cuprinde trei părți importante: prima parte fiind crearea de algoritmi optimizare la nivel de intersecții nesemaforizate și semaforizate, a doua parte fiind de aplicații de modelare și simulare a anumitor structuri rutiere, ultima parte fiind analiza intersecțiilor prin aplicații de tip ”GUI” specifice traficului rutier.

* * *

Autorul mulțumește referenților științifici, domnul prof. univ. dr. ing. Ilie Dumitru, domnul prof. univ. dr. ing. Nicolae Ispas și domnul conf. univ. dr. ing. Laurențiu Racilă, pentru observațiile utile și sprijinul permanent acordate de-a lungul elaborării prezentei lucrări.

Autorul dorește să își exprime întreaga grațitudine domnului profesor Matei Vinătoru și întregului colectiv al Facultății de Automatică, Calculatoare și Electronică din Craiova, pentru susținerea și sfaturile acordate de-a lungul timpului la realizarea acestei lucrări.

Recunoștința mea se îndreaptă și către domnul profesor Leonardo Geo Mănescu și colectivul INCESA (Infrastructura de Cercetare în Științe Aplicate) pentru suportul oferit prin punerea la dispoziție a echipamentelor de cercetare specializate utilizate în aplicațiile descrise în această lucrare.

As dori să menționez suportul acordat de întregul colectiv al catedrei de Ingineria Transporturilor și Traficului din cadrul Facultății de Mecanică din Craiova, care m-a ajutat pe tot parcursul realizării acestei lucrări prin susținere materială și morală, prin disponibilitatea și cunoștințele împărtășite, cât și prin sfaturile deosebit de utile pe care mi le-a dat.

Craiova, martie 2020
Autorul

Glosar de termeni

- **Activitate de transport** – ansamblul acțiunilor prin care se organizează și se realizează deplasarea în spațiu a călătorilor și mărfurilor;
- **ADC** – Automat de dirijare a circulației
- **Aimsun** – platformă software pentru modelarea și simularea traficului rutier realizată de TSS - Transport Simulation Systems
- **Ambuteiaj** – Aglomerarea vehiculelor în circulație, constând în oprirea sau încetinirea anormală a circulației, care poate să apară pe un sector de drum sau la o intersecție
- **Arteră rutieră** – Stradă din localitățile urbane sau rurale
- **Autovehicul** – vehicul rutier care se deplasează prin propulsie proprie, cu excepția vehiculelor care circulă pe șine și a autovehiculelor cu 2 sau 3 roți
- **Autovehicul etalon** – vehicul convențional care se folosește ca unitate de referință pentru dimensionarea și verificarea drumurilor din punct de vedere al capacității de circulație și al capacității portante a sistemului rutier
- **Bandă de circulație** – Subdiviziune longitudinală a părții carosabile, materializată sau nu prin marcaje rutiere, destinată circulației unui singur șir de vehicule
- **Bandă de stocare** – Bandă de circulație, amenajată într-o intersecție, pe care vehiculele staționează în vederea schimbării direcției de mers
- **Cale** (parte carosabilă, tramă stradală) – Parte din platforma drumului special amenajată, destinată circulației vehiculelor
- **Centroid** – sunt elemente constructive pentru utilizarea în cererea de trafic ca puncte de atragere și generare a volumelor de vehicule în platforma Aimsun;
- **Cerere de trafic** – este unul dintre elementele de bază utilizate în platforma Aimsun pentru introducerea volumelor de vehicule și poate să fie de natură statică sau matrice origine / destinație;
- **Coeficient de drum** – corecție care se aplică parcursului efectiv pentru a se obține parcursul echivalent

- **Congestie** – este o condiție pe rețelele de drumuri care apare când volumul de vehicule crește, și se caracterizează prin viteze mai mici, timpi de așteptare mari, și cozi de așteptare mai lungi;
- **Debit** – Numărul mediu de vehicule pe oră, care au trecut prin rețeaua studiată
- **Debit rutier** – Volum de vehicule care trece în unitatea de timp printr-o secțiune dată
- **Densitatea** – numărul mediu de vehicule pe kilometru pentru întreaga rețea
- **Densitatea rețelei rutiere** – Raportul dintre lungimea rețelei rutiere și suprafața teritoriului aferent
- **Drum** – calea de comunicație terestră, special amenajată pentru circulația autovehiculelor și a pietonilor
- **Drum cu 4 benzi** – drum național accesibil prin intersecții reglementate, cu traseu care poate traversa localități și pentru care oprirea / staționarea pe partea carosabilă sunt interzise
- **Faza de semaforizare** (circulație) – prin fază de semaforizare se înțelege o mișcare particulară a traficului sau un grup de mișcări de trafic neconflictuale (mișcări protejate) sau conflictuale (mișcări permissive) care primesc simultan indicația de „verde”;
- **HCM** (Highway Capacity Manual) – publicație a Transportation Research Board, SUA, care conține concepte, orientări și proceduri de calcul pentru traficul rutier
- **IMS** (Incident Management System) – sisteme de management a incidentelor în cazul unor evenimente neprevăzute
- **Infrastructura de transport** – ansamblul elementelor din baza tehnico-materială necesară desfășurării activităților de transport, activităților conexe transporturilor și activităților privind administrarea infrastructurilor respective
- **Infrastructura drumului** – totalitatea lucrărilor care susțin suprastructura, asigurând legătura cu terenul și transmiterea către acesta a eforturilor statice și dinamice
- **Interchange** – sunt zone în care pasagerii și mărfurile sunt schimbate între vehicule sau între diferite moduri de transport;
- **Intersecție** – Loc de întretăiere a două sau mai multe drumuri, amenajat pentru înlesnirea circulației și a schimbării direcției de mers

- **ITS** (Intelligent Traffic Systems) – sunt sisteme inteligente de trafic care comunică și între ele formând un centru de date și control al traficului;
- **LOS** (Level of Service) – Nivel de serviciu
- **Matrice origine / destinație** – este o modalitate de distribuție a volumelor de vehicule din două sau mai multe noduri de rețea prin introducerea volumelor de la fiecare origine către fiecare destinație din rețea;
- **Mijloace de transport** – mijloace mobile, cu sau fără propulsie, amenajate pentru transportul de persoane sau de bunuri, special destinate să se deplaseze pe o cale de comunicație rutieră, feroviară, navală sau aeriană
- **Noduri** – sunt elemente de legătură, în platforma Aimsun, între două sau mai multe secțiuni de drum;
- **Operator de transport rutier** – orice întreprindere care efectuează transport rutier, contra plată, cu autovehicule rutiere deținute în proprietate sau cu orice alt titlu și care în prealabil a obținut licența de transport
- **Politici (strategii) de transport** – sunt reguli comune aplicabile transportului sau măsuri pentru îmbunătățirea siguranței în transport;
- **Poluare** – Complex de fenomene care au schimbat sau tind să schimbe mediul ambiant în detrimentul echilibrului ecologic natural
- **Rețea rutieră** – Ansamblul drumurilor pe care se realizează circulația autovehiculelor pe un anumit teritoriu sau a(l) drumurilor de aceeași categorie
- **Secțiune** – este elementul constructiv de baza în platforma Aimsun, reprezentat printr-un segment de drum între două noduri (intersecții);
- **Semnalizare rutieră** – Ansamblu de instalații, accesorii și semne convenționale amplasate pe platforma sau în zona drumului pentru dirijarea, orientarea și siguranța circulației rutiere
- **Sidra** – platformă software pentru modelarea și simularea intersecțiilor și a planurilor de semnal realizată de Akcelik & Associates Pty Ltd
- **Sistem de transport** – ansamblul mijloacelor de transport, instalațiilor și construcțiilor aferente care acționează independent sau coordonat în scopul satisfacerii cerințelor de deplasare în spațiu a oamenilor și bunurilor;

- **Timpul de întârziere** – timpul mediu de întârziere pentru fiecare vehicul pe kilometru. Aceasta este diferența dintre timpul de călătorie de așteptat (timpul necesar pentru a traversa sistemul în condiții ideale) și timpul de călătorie.
- **Timpul de întârziere** – este diferența între timpul de călătorie ideal (timpul necesar pentru a traversa rețeaua în condiții ideale) și timpul de călătorie real din rețea
- **Timpul de oprire** – timpul mediu în regim de staționare per vehicul pe kilometru
- **Trafic** – totalitatea transporturilor efectuate într-o perioadă de timp (lună, trimestru, an) în cadrul anumitor relații de transport
- **Transport** – mișcarea de la un loc la altul a persoanelor, bunurilor, semnalelor sau informațiilor (din lat. trans peste și portare a purta sau a căra)
- **Transport intermodal** – este utilizarea mai multor moduri de transport pentru efectuarea unei călătorii;
- **Transport multimodal** – transport succesiv mixt care utilizează două sau mai multe moduri de transport
- **Transport rutier** – mod de transport terestru care asigură deplasarea în spațiu a bunurilor și oamenilor cu ajutorul autovehiculelor (mijloace de transport auto-propulsate), al mijloacelor tractate (remorci, trailere etc.) sau al mijloacelor cu tracțiune animală
- **Vissum/Vissim** – platformă software pentru modelarea și simularea traficului rutier realizată de PTV Group
- **VMS** (Variable – Message Sign) – sistemele de informare a tuturor participanților la trafic.

I. Considerente specifice privind problemele de optimizare în traficul rutier

1.1. Importanța optimizării traficului rutier

Optimizarea traficului rutier se referă la totalitatea proceselor de coordonare și conducere a echipamentelor instalate într-o intersecție, având drept unic obiectiv asigurarea unor condiții de deplasare cât mai bune pentru participanții la trafic și siguranța acestora [1]. Acest obiectiv se rezolvă prin scăderea congestiilor din trafic, sau în anumite aplicații ce țin de zona studiată și contextul general de stabilire a măsurilor necesare pentru reducerea anumitor elemente de stare, cum ar fi emisiile poluante sau consumul de combustibil, reducerea timpului de deplasare, etc. Aceste moduri de îmbunătățire a condițiilor de deplasare duc în general, pentru toți participanții la trafic, la efecte de tipul: creșterea gradului de siguranță și confort, întârzieri minime, eliberarea căilor de acces și oferirea de asistență pentru autovehiculele speciale aflate în misiune [2, 3, 4].

Un alt mod de a privi metodele de optimizarea actuale este de a realiza o monitorizare în timp real a parametrilor și a condițiilor de trafic și de a dezvolta eficient soluții privind conducerea circulației la nivel local (intersecție sau tronson) [5, 6]. Toate acestea au la bază date achiziționate în procesul de trafic iar coordonarea acestuia se realizează eficient prin dezvoltarea de modele matematice de optimizare și analiză integrate ulterior în sisteme complexe de tipul platforme software.

Considerând ambele moduri de optimizarea descrise mai sus, putem spune că o optimizare eficientă și care să poată fi utilizată la nivel generalizat și pe perioade lungi de timp nu se pot realiza decât prin intermediul unui sistem inteligent avansat de monitorizare și conducere a traficului, bazat pe instrumente moderne atât în zona de tehnologiei informației cât și a comunicațiilor [7, 8, 9].

Acest sistem inteligent presupune existența unui centru de management a traficului, ce poate fi considerat drept nodul principal care coordonează și conduce rețeaua de detectori și analizatori. Acest nod achiziționează date din trafic plecând de la corpurile de semaforizare și continuând cu elemente de automatizare și dirijare a circulației (ADC), afișajele electronice destinate informării participanților la trafic (VMS)

până la utilizarea tuturor resurselor proiectate pentru asigurarea fluidizării circulației rutiere [10, 11].

Sistemele inteligente ale traficului rutier utilizate în soluțiile de optimizare oferă soluții de îmbunătățire a fluidității traficului, prin eliminarea planurilor de semnal fixe, utilizate în mare măsură în majoritatea intersecțiilor. Acestea utilizează conceptul de conducere adaptivă a grupurilor de semnal create în automatele de trafic și a tehnologiilor de comunicație, furnizându-le sistemelor de optimizare în timp real (platforme specializate pentru modelare și simulare ca Aimsun, Vissum / Vissim, Sidra, HCM, etc [12]., care pot să fie conectate la infrastructura de transport cu rolul de management și control). În același timp, datorită costurilor destul de ridicate ale echipamentelor pe bază de conducere adaptivă, sistemele de optimizare curente mai utilizează multiple planuri de semnal fixe, distribuite după cerințele orare ale intersecțiilor, tronsoanelor, etc [13, 14, 15]. Câteva exemple de sisteme inteligente de transport rutier, care pot fi considerate subsisteme ale unui sistem inteligent de optimizare a traficului, sunt indicate în continuare:

- VMS-urile (Variable – Message Sign) sunt sistemele de informare a tuturor participanților la trafic. Aceste sisteme semnalează posibilele pericole sau blocaje ale traficului din zona în care se regăsesc către zona în care se îndreaptă astfel oferind participanților la trafic posibilitatea de a face alegerea optimă [13, 16];
- ADC-urile (Automat de Dirijare și Control a traficului rutier) sunt sistemele de coordonare și dirijare a traficului. Aceste sisteme, în funcție de aplicațiile unde sunt folosite, pot fi conectate la o varietate de senzori, camere de luat vederi și diverse instrumente de comunicații pentru monitorizarea și controlul traficului rutier [17];
- IMS-urile (Incident Management System) sunt sisteme de management a incidentelor care asigură, în cazul unor evenimente neprevăzute, un răspuns rapid și eficient (în general se referă la situații de urgență) [18, 19];
- CMO-urile sunt sistemele de management a vehiculelor comerciale sunt caracterizate de servicii de operare care cuprind sisteme ca: localizarea automată, clasificarea clasei de vehicul și

cântărirea lor în vederea colectării taxelor de drum, monitorizarea poluării chimice, etc [4, 20, 21].

Așa cum am menționat și în paragrafele anterioare sistemele de optimizare utilizează toate echipamentele de detecție sau control și se bazează pe ele pentru a oferi soluții optime în timp real. Astfel, noile soluții utilizate de sistemele de optimizare pentru transportul rutier, atât transport de marfă cât și transport de public și privat, includ [22, 23]:

- sisteme de navigare montate la bordul vehiculului;
- sisteme de notificare a accidentelor;
- sisteme de plată electronică;
- senzori încorporați în șosea;
- tehnologii video pentru controlul traficului;
- semnale cu mesaje variabile;
- servicii de informare asupra vremii;
- tehnologii de determinare a greutății și înălțimii vehiculelor în mișcare și static.

Putem spune că obiectivul unui sistem de optimizare a traficului rutier poate fi împărțit în mai multe etape funcționale [24, 25, 26], fiecare independentă una de cealaltă, în funcție de caracterul și cerințele zonei optimizate, astfel:

- Maximizarea capacității de circulație prin menținerea constantă a infrastructurii, atât din punct de vedere al tramei stradale, cât și al echipamentelor disponibile, prin distribuirea fluxului de trafic și a cozilor de așteptare în mod inteligent, încă din momentul în care acestea încep să se formeze [27];
- Minimizarea impactului ambuteiajelor, strangulărilor (datorită parcarilor ilegale), sau a accidentelor, mai ales în timpul orelor de vârf, elemente care au un impact major asupra timpului de călătorie. Reducerea efectelor nu se poate realiza decât printr-o optimizare a traficului, urmărindu-se două direcții [28, 29]:
 - reducerea posibilității apariției incidentelor;
 - minimizarea întârzierilor;
- Utilizarea optimizărilor într-un sistem inteligent de management a traficului rutier, astfel încât să poată facilita buna-desfășurare a serviciilor pentru situațiile de urgență (poliție, pompieri, ambulanță,

etc.). Astfel, putem spune că interacțiunea cu aceste servicii poate presupune distribuirea fluxurilor în mod eficient prin detectarea, verificarea și notificarea incidentelor, coordonarea răspunsurilor în situațiile în care mai multe servicii sunt necesare și modificarea parametrilor de trafic pentru a îmbunătăți viteza și timpul de răspuns [30, 31].

Ca și considerent general, atingerea acestor obiective duce la creșterea eficienței instrumentelor de coordonare a echipamentelor pentru managementul traficului, eficiență care se răsrânge direct asupra tuturor participanților la trafic, plecând de la o economie de timp și de combustibil, până la creșterea gradului de siguranță pentru participanții la trafic, precum și la reducerea efectelor poluării chimice și fonice a mediului înconjurător. Pe baza acestora pot fi schițate funcțiile critice ce trebuie îndeplinite de către un sistem inteligent care utilizează metode de optimizare a traficului rutier [32, 33]:

- monitorizarea condițiilor de desfășurare a traficului rutier;
- achiziționarea și transmiterea datelor de trafic în timp real la sistemele de optimizare pentru a fi procesate;
- stabilirea modurilor optime de fluidizare a circulației în funcție de cerințele sistemului;
- monitorizarea și înregistrarea incidentelor de trafic;
- eliberarea căilor rutiere pentru ușurarea accesului autovehiculelor serviciilor de urgență;
- evaluarea eficienței de funcționare, cu scopul de raportare la diverse niveluri de acces: numărul de accidente, gradul de siguranță, nivelul de congestie, nivelul de zgomot, de poluare fonică și de emisii poluante, condițiile de infrastructură, etc.

1.2. Metode de optimizare a traficului rutier

1.2.1. Metode de analiză și optimizare a fluxurilor rutiere

Calculul fluxurilor rutiere este un punct critic în eficientizarea și calcularea optimă a planurilor de semnal astfel încât timpul de întârziere să fie cât mai mic [34]. Astfel de-a lungul timpului au fost dezvoltate mai multe metode de calcul pentru optimizarea fluxurilor de circulație, metode

care se folosesc și astăzi în diferite aplicații. Putem astfel aminti următoarele metode uzuale de calcul și optimizare:

a) **Metoda Greenshield** [24, 35, 36]

Greenshield a fost capabil să dezvolte un model de calcul pentru fluxurile de trafic în condițiile neîntreruperii lor, astfel putând prezice și explica tendințele care sunt observate în fluxurile reale de trafic. În timp ce modelul Greenshield nu este perfectă, rezultatele sunt destul de precise și relativ simple. El a plecat de la presupunerea că, în condiții de tranzit neîntrerupt, viteza și densitatea sunt au o relație liniară. Această relație, consacrată în literatura de specialitate [37] este exprimată folosind ecuația 1.1

$$v = A - B * k \quad (1.1)$$

unde:

v – viteza exprimată în km/h

A, B – constante determinate din observațiile de pe teren

k – densitatea exprimată în veh/km

b) **Metoda Korte** [1, 24, 38]

Această metodă se bazează pe calculele efectuate prin metoda Greenshield numai că particularitatea apare în condițiile în această metodă este adaptată pentru condițiile de trafic și legislație specifică Europei.

c) **Metoda Webster** [7, 39, 40, 41]

Principiul de calcul al metodei Webster constă în anumiți termeni ai modelului matematic care au fost determinați experimental prin simularea legilor sosirii și plecării autovehiculelor. Scopul principal în această metodă de calcul este de a minimiza întârzierile care apar la autovehicule la tranzitarea intersecțiilor semaforizate.

d) **Metoda undei de șoc** [42, 43, 44]

Teoria undei de șoc, care apare în fluxurile de trafic este foarte asemănătoare cu teoria valurilor produse de cădere de pietre în apă. Un val de șoc se propagă de-a lungul unui pluton de vehicule, ca răspuns la o schimbare a condițiilor inițiale de la linia de start a plutonului [45]. Astfel unda de șoc poate fi cauzată de coliziuni, creșteri bruște ale vitezei pe motiv de intrare într-un tronson cu flux de circulație liber, etc. putem spune

că o undă de șoc va exista de fiecare dată când o schimbare a condițiilor de trafic va exista. Ecuația care estimează viteza de propagare a undei de șoc se poate vedea în ecuația următoare [37]:

$$v_{sw} = (q_b - q_a)/(k_b - k_a) \quad (1.2)$$

unde:

v_{sw} – viteza de propagare a undei de șoc

q_b – fluxul înainte de schimbările condițiilor inițiale

q_a – fluxul după schimbările condițiilor inițiale

k_b – densitatea traficului înainte de schimbările condițiilor inițiale

k_a – densitatea traficului după schimbările condițiilor inițiale

e) Metoda diagramelor timp – spațiu [24, 41]

Aceste diagrame arată poziția vehiculelor individuale în timp și spațiu, fiind utile în înțelegerea, gestionarea și optimizarea fluxurilor de trafic. În același timp, diagramele sunt utile la evaluarea undelor de șoc și în special la evaluarea propagării undelor.

1.2.2. Algoritmi de analiză și optimizare a traficului rutier

Algoritmi de analiză și optimizare traficului rutier utilizează rețeaua de senzori sau detectori instalată, pentru a prelua informațiile despre desfășurarea traficului în timp real cu scopul de a modifica parametrii funcționali ai echipamentelor de control în funcție de evenimentele survenite în rețea [46, 47]. În general acești algoritmi sunt integrați în sisteme complexe de analiză, predicție, optimizare și simulare, sisteme care sunt utilizate pentru verificarea condițiilor de drum în diverse ipostaze astfel încât participanții la trafic să nu fie supuși unor riscuri. Aceste sisteme (platforme software) sunt utilizate atât la nivel de intersecție cât și la nivel de tronson, arie sau oraș

În cele ce urmează sunt descrise anumite platforme software pentru analiza, predicția, optimizarea și simularea traficului rutier:

a) MOVA - Microprocessor Optimised Vehicle Actuation [48]

MOVA este un software care rezolvă anumite probleme caracteristice controlului automat al semaforizărilor. Platforma poate fi utilizat și pentru analiza trecerilor de pietoni, în condițiile în care nu este necesară coordonarea cu instalații de semaforizare adiacente.