

SISTEME DE SEMNALIZARE ȘI CONTROL AL TRAFICULUI RUTIER

ing. Dumitru Popescu
ing. Marius Staicu

Institutul de Cercetări în Informatică

Rezumat: Intensificarea traficului rutier a determinat dezvoltarea unor sisteme de control care să asigure utilizarea eficientă a spațiului limitat, afectat circulației, în condiții de siguranță crescută și de reducere a poluării. În articol, se expun concepte și modele utilizate în sistemele de control rutier și modul de abordare a proiectelor de semnalizare luminoasă. Sunt menționate, de asemenea, tendințele de integrare a sistemelor de control rutier în sisteme logistice de transport combinat.

Cuvinte cheie: fluidizarea traficului, noduri rutiere, tronsoane rutiere, algoritmi pentru semnalizare.

1. Introducere

Mediul urban în care populația locuiește, activează, se instruieste, își întreține, dezvoltă sau reface capacitatea de acțiune, este limitat la dimensiunile spațiului urban care trebuie distribuit echitabil între toate formele de existență menționate, rezervându-se, totodată, și o cotă necesară satisfacerii cerințelor de comunicare și deplasare între diferitele arii care se constituie în spațiul rutier urban. Creșterea spectaculoasă a traficului rutier care însoțește dezvoltarea activităților urbane nu poate fi satisfăcută de o creștere corespunzătoare a spațiului rutier. Pentru aceasta, în toate mediile economice dezvoltate s-au încercat soluții de descongestionare, orientate pe două direcții:

- ameliorarea amenajării spațiului rutier pentru creșterea gradului de utilizare și de îmbunătățire a caracteristicilor și parametrilor ce favorizează creșterea traficului;
- îmbunătățirea indicilor de utilizare a spațiului concomitent cu îmbunătățirea parametrilor de desfășurare a traficului prin control și monitorizare.

Eficiența eforturilor de îmbunătățire în acest domeniu este condiționată de abordarea sistemică a elementelor ce compun un sistem de trafic rutier. Acestea sunt:

a. Spațiul rutier care cuprinde în configurația sa, căi rutiere, noduri rutiere (intersecții), lucrări speciale (porturi, tunele, refugii, parcări, serpentine, pante etc.), care pot facilita sau restricționa traficul rutier. La acestea se mai adaugă lucrările speciale de semnalizare și protecție, de iluminat etc.

b. Participanții la trafic, care sunt:

- vehicule, autovehicule (din care o categorie aparte o constituie transportul public)
- pietoni și bicicliști.

Participanții la trafic au diferite caracteristici (viteze de parcurs, grade de ocupare a căilor rutiere precum și grade de securitate sau pericolozitate). De asemenea, participanții la trafic prezintă diferite priorități (grupurile de copii, bătrânii și invalizii în cadrul categoriei pietoni) sau autovehicule oficiale sau de intervenție (salvare, pompieri, poliție) în cadrul categoriei vehicule.

c. Condițiile naturale și de mediu, care influențează desfășurarea traficului rutier și care acționează asupra spațiului rutier sau asupra participanților la trafic (vânt, nebulozitate, precipitații etc.).

Controlul traficului din sistemele de trafic rutier are ca obiect creșterea capacității de trafic a rețelilor rutiere în următoarele condiții:

- creșterea eficienței pentru participanții la trafic (economie de timp și de carburanți, creșterea gradului de confort prin servicii de informații și de asistență service);
- creșterea gradului de siguranță pentru participanții la trafic și pentru factorii învecinați spațiului rutier;
- reducerea poluării mediului (poluare sonoră, poluarea aerului și a apei etc.).

2. Structura sistemelor de trafic

Sistemele de trafic se compun din:

1. trasee, tronsoane cu unul sau dublu sens, fiecare sens beneficiind de una sau mai multe fire sau culoare de circulație, din care un fir sau două pot fi rezervate transportului public;
2. noduri rutiere sau intersecții care pot fi cu 3 sau mai multe căi sau ramuri de acces.

Configurația sistemelor de trafic se completează cu traversări sau refugii pietonale, cu locuri de parcare sau de întoarcere etc. și poate cuprinde mai multe tronsoane și noduri rutiere.

Nodurile rutiere mononivel sunt elementele cele mai sensibile pentru traficul rutier, deoarece prilejuiesc cele mai frecvente situații conflictuale între participanții la trafic, care se deplasează pe direcții diferite sau care-și schimbă direcția din

momentul intrării în intersecție și până la părăsirea sa.

În abordarea reglementării traficului rutier în nodurile rutiere intervin următoarele grupe de parametri:

- parametri generali, provenind din politica de transporturi într-o anumită regiune și prioritățile rezultate din acestea, tipologia și amplasarea intersecțiilor și aspectele juridice instituționale și sociale, respectiv statutul administrativ și financiar, jurisdicția polițienească și de întreținere;
- parametri fizici rezultând din dimensiunile și alinierea intersecțiilor;
- parametri de trafic și de securitate, rezultând din repartizarea fluxului și din variația sa orară, zilnică sau sezonieră, precum și aspecte legate de circulația pietonilor sau a vehiculelor de transport public, aspecte legate de securitate și de semnalizare;
- parametri de mediu care au în vedere aspectele legate de: urbanism și peisaj, activitățile riverane și staționări, precum și nivelul de zgomot.

Separarea temporară a circulației conflictuale se poate realiza prin: reglementări prin reguli de prioritate și semnalizări fixe, reglementări prin agent și reglementări prin semnalizare luminoasă. Dacă prima este cea mai rapidă, iar cea de a doua este foarte flexibilă (ambele aplicabile la noduri secundare), reglementarea prin semnalizare luminoasă are o mare răspândire și o eficiență în creștere ca urmare a evoluției conceptuale și tehnice a soluțiilor adoptate și a gradului de automatizare la care se pretează.

Un sistem de reglementare a traficului pentru o intersecție întrunește:

- Echipamente de achiziție a datelor privitoare la trafic. În această categorie intră senzorii de tip bandă inductivă având diferite forme și dimensiuni și care se amplasează sub calea de acces în intersecție. În cazuri mai speciale, se utilizează detectoare radar sau cu raze infraroșii care prezintă dezavantajul că pot fi perturbate în cazul precipitațiilor abundente. Toate aceste sisteme dispun și de un detector la care se cuplează senzorul și care emite semnalul necesar către tabloul de comandă.
- Echipamente de semnalizare luminoasă care sunt montate sub formă de baterii luminoase colorate ce se adresează diferitelor categorii de participanți la traficul rutier. Pe lângă bateriile principale mai există baterii repetitoare

de semnal pentru repetarea în profunzime a semnalizării pentru a fi perceput de întregul grup de participanți în trafic.

- Tabloul de comandă sau controllerul de trafic, care este amplasat în proximitatea intersecțiilor și care recepționează semnalele de la detectoarele de trafic, aplică planul de semnalizare și comandă bateriile de semnalizare potrivit programelor implementate.

Planul de semnalizare este un ansamblu de programe care asigură elaborarea soluțiilor pentru comanda optimă a semafoarelor, în raport cu fluctuațiile de trafic.

În cazul unei intersecții independente, se pot aplica programe de reglare la intervale fixe (sistemele ce se bazează pe o automatizare clasică), sau programe de reglare adaptivă care țin seama de fluctuațiile momentane ale traficului rezultate din măsurători. Reglarea adaptivă aplică algoritmi de programare aciclică sau ciclică, testați și verificați ca având rezultate optime pentru anumiți parametri de trafic orar sau zilnic.

Intersecțiile unui tronson rutier, care funcționează în regim coordonat, beneficiază de un nivel de microreglare care ține seama de parametrii de programare ai tronsonului rutier, iar, în cazul unei rețele, coordonarea în ansamblu a traficului este încredințată unui nivel de macroreglare.

Sistemele moderne adaptive includ echipamente de calcul capabile să susțină sistemele de programare prezentate, sisteme care sunt rezultatul unor importante etape pregătitoare de simulare și testare, aplicate fiecărei intersecții sau fiecărui sistem de trafic rutier având în vedere parametrii specifici ai acestora.

3. Etapele de realizare a sistemelor de reglementare a circulației

Pentru introducerea unui sistem de reglementare a circulației se parcurg patru etape care se desfășoară coerent:

- Planificarea sistemului, respectiv stadiul de determinare a strategiei de reglementare.
- Elaborarea proiectului de execuție.
- Realizarea și controlul execuției.
- Urmărirea, exploatarea și întreținerea.

Părțile implicate în realizarea proiectului sunt:

- șeful proiectului (inginer de trafic) având în subordonare contractuală,

- un birou de ingineri de trafic responsabil cu realizarea studiului de strategie finalizat cu un caiet de sarcini,
- furnizorii de componente pe baza caietului de sarcini fiind firme specializate de echipamente electro-tehnice și hardware-software.

4. Elemente de strategie a reglementării

În cele ce urmează se va insista asupra strategiei de reglementare adaptivă, care implică tehnologie informatică și importante preocupări de modelare și simulare. Această strategie este alternativa modernă la strategia de reglementare cu timpi fixați care este înlocuită treptat.

Reglementarea adaptivă depinde de informațiile recoltate printr-o rețea de detectare cu diferite caracteristici potrivit cu natura circulației și tipurile de informații necesare reglării. Rețeaua de detectare este formată din detectoare rutiere, detectoare pentru transportul în comun și detectoare pentru pietoni. Pentru detecția rutieră cele mai răspândite sunt buclele inductive de diferite tipuri:

- bucle transversale pentru detectarea prezenței sau trecerii unui vehicul în apropierea liniei de oprire de pe o cale de rulare;
- bucle longitudinale care se montează suplimentar față de bucla transversală și care poate avea o profunzime de până la 30m, care semnalează cererile de acces în intersecții;
- bucle avansate, plasate la 80-100m de linia de oprire pe o cale de rulare care servește la măsurarea debitului pe minut și a gradului de ocupare a arterei de circulație, informații importante pentru alegerea timpului de reglementare la nivelul macroreglării.

Detectoarele pentru transportul în comun sunt cu elemente pasive, bucle de detecție pe culoarul rezervat, dispozitive de contact pe linia aeriană de alimentare a tramvaielor sau troleibuzelor sau șine izolate de transport. Elementele de detecție active prin radio IF sunt fiabile, identifică corect vehiculele, dar presupun costuri mai mari.

Elementele de detecție pentru pietoni cele mai răspândite sunt butoane acționate de pietoni, dispozitivele cu raze infraroșii nu și-au dovedit încă eficiența.

Strategia bazată pe reglementarea adaptivă are în vedere, pe lângă alegerea sistemelor de detecție, și amplasarea lor și evaluarea încărcării fiecărei intersecții și ramuri ale acestora, precum și studierea fluctuațiilor orare și săptămânale sau

sezoniere. În funcție de parametrii obținuți, se poate formula cererea de programe de reglementare și regimul dorit de funcționare ca intersecții izolate sau coordonate. Astfel, coordonarea este dorită în cazul în care coeficientul de coordonare pe un tronson este > 10 .

Coeficientul de coordonare este dat de relația:

$$(ij) \quad c_{ij} = \frac{TC_{ij}}{TT_{ij}} \times \frac{1}{(d_{ij})} > 10 \text{ în care:}$$

TC_{ij} = volumul traficului între intersecții succesive (ij)

TT_{ij} = traficul total de intrare în sistemul celor două intersecții

d_{ij} = distanța dintre cele două intersecții (km).

Programele de reglementare adecvate pentru diferite intensități și situații de trafic pot fi schimbate manual sau prin mecanism de temporizare însă soluția cea mai modernă este alegerea programelor în funcție de trafic.

5. Elementele care stau la baza proiectării sistemului de semnalizare al traficului

Proiectul de execuție a sistemului de semnalizare are la bază informații cuprinse în două elemente de bază:

- matricea de timpi "între verde"
- tabloul timpilor invariabili.

Matricea de timpi "între verde" are rolul de a garanta securitatea completă între toate mișcările posibile în intersecții, în condițiile minimizării pierderilor de capacitate de tranzitare a acestora. Pe baza elementelor geometrice ale amenajării se determină timpii minimi necesari între sfârșitul accesului între o grupă de semafoare de pe o direcție de acces și începutul accesului unei alte grupe de semafoare de pe o direcție cu circulație antagonistă. Timpii minimi, cuprinși în matrice se referă la fiecare categorie de participanți la trafic (vehicule, pietoni etc.).

Timpii fixați, cuprinși în cel de al 2-lea tablou reprezintă durata semnalului verde minim pentru fiecare direcție, ținând seama de viteza medie de exploatare și de lungimile de frânare corespunzătoare acestor viteze la apariția semnalului galben.

Pe baza celor două grupe de informații se simulează programe de tip aciclic și ciclic pentru diferite intensități de trafic, evaluându-se timpii de așteptare. De exemplu, simularea aplicată unei intersecții cu 4 ramuri (8 fire de circulație de intrare și un traseu de autobuz) a condus la următoarele concluzii :

- pentru un trafic neuniform de 200 vehicule pe 1/4h reglarea aciclică și

ciclică conduc la timpi de așteptare comparabili;

- pentru un trafic mediu de 350-400 vehicule pe 1/4 h reglementarea aciclică conduce la timpi de așteptare de 50% mai mari față de cei creați de reglementarea ciclică;
- în regim de trafic intens de 600-700 vehicule pe 1/4 h reglementarea ciclică este de două ori mai favorabilă.

Trecerea frecventă de la un program la altul face necesară intervenția unor programe tranzitorii, care să înlăture riscul apariției unor perturbații în fluența circulației.

6. Sisteme de control trafic zonal

Dezvoltarea sistemelor de semnalizare și eficiența acestora au stat la baza realizării unor sisteme de control al traficului zonal, care integrează sisteme de semnalizare în rețea urbană cu sisteme de control pe tronsoane interurbane pe distanțe medii-mari, și a unor sisteme de ghidare a transportului public. Acestea dispun de centre de monitorizare. Sunt cunoscute astfel de sisteme complexe în zona München, Viena, Frankfurt pe Main, Cologne etc., unele dintre acestea fiind realizate în cadrul programelor de dezvoltare ale UE. De menționat că, aceste sisteme complexe preiau funcțiuni foarte diversificate și integrează un număr mare de instituții. Astfel, sunt asigurate funcțiuni privind:

- semnalizare rutieră adaptivă
- controlul vitezei,
- afișaj variabil al ghidajelor rutiere, respectiv ghidarea dinamică a rutelor,
- detectarea rapidă și informarea asupra accidentelor rutiere,
- controlul poluării,
- informații pentru conducători (service, stații de benzină),
- informații privind evoluția stării meteo,
- informații privind parcările,
- informații privind conexiunea cu alte mijloace de transport.

În scopul menținerii în regim operațional a acestei game de funcțiuni, sunt cooptate la nivelul operațional :

- autoritatea municipală pentru controlul semnalizării traficului;
- centre de ghidare a traficului regional;
- biroul operațional al Poliției;
- biroul meteorologic;
- asociații automobiliste;

- centrul de control al transportului public;
- administrarea parcărilor;
- puncte mobile de achiziții date etc.

Se înțelege că astfel de sisteme au ca suport rețele importante atât în cable, cât și telemobile, cu un nivel înalt de informatizare și utilizând o gamă largă de echipamente de semnalizare și de indicatoare programabile.

O caracteristică a tuturor acestor sisteme este dezvoltarea lor pe etape și integrarea în timp.

Pentru realizarea unui sistem de semnalizare a traficului urban este necesar să se asigure următoarele elemente :

- un sistem de evaluare a parametrilor specifici elementelor rețelei,
- un sistem de modelare și simulare a planurilor de semnalizare,
- o rețea de semnalizare cu unul sau mai multe puncte de control computerizat.

Sistemele de evaluare sunt de cele mai multe ori mobile și sunt montate pe perioade limitate pe arterele de acces în intersecții. Acestea pot acumula date asupra fluctuațiilor traficului pe parcursul zilei și săptămânal.

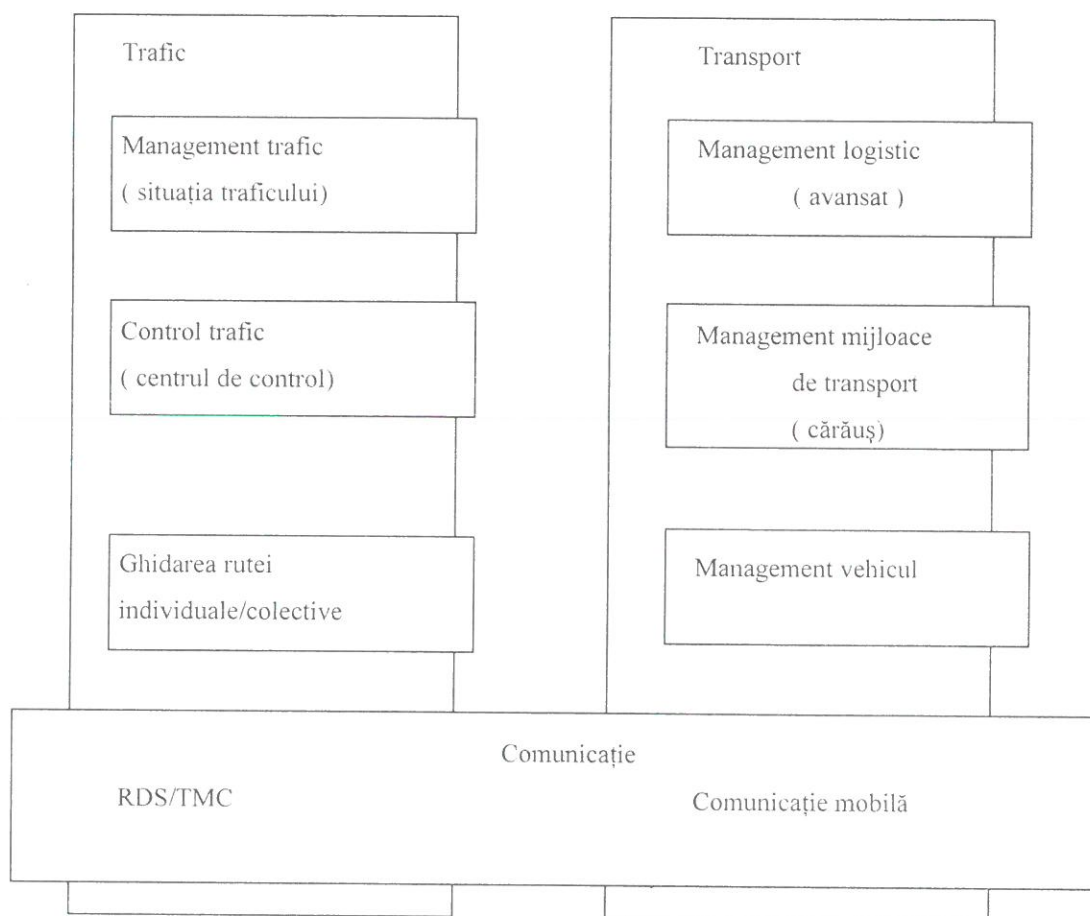
Sistemul de modelare și simulare utilizează aceste date precum și datele privind caracteristicile nodurilor rețelei și evaluează eficiența diferitelor planuri de semnalizare. În acest scop dispune de următoarele componente :

- colecția de reprezentări ale elementelor rețelei rutiere (în principal privind intersecțiile) și ale datelor caracteristice acestora;
- module alternative privind regimurile de funcționare a nodurilor rutiere;
- module de alimentare a modelelor cu datele caracteristice ale nodurilor rutiere;
- module de aplicare a cererilor de acces în intersecții: aplicarea cererilor de acces poate urma schema ridicată de componenta de evaluare a situației reale sau poate prelucra diferite evoluții ale situației reale sau situații la limită.

Viitorul sistemelor de trafic este anticipat prin sistemele de control al traficului internodal sau combinat. Aceasta rezultă din cerința de extindere a sistemelor logistice interorganizaționale în care lanțurile de aprovizionare, de fabricație și de desfacere integrează numeroase întreprinderi între care se desfășoară un important și stabil trafic de mărfuri. Relațiile logistice impun respectarea cu strictețe a unor grafice de livrare și din acest punct de vedere apare cerința de includere în sistemele de planificare și control și a sistemelor de transport utilizate. Deoarece, în multe cazuri, sistemele de

transport sunt combinate (auto-/cale ferată, auto-/naval, auto-/aerian etc.) s-a ajuns la cerința de realizare a sistemelor integrate de trafic, care

cuprind aspecte de trafic și aspecte de transport utilizând un sistem de comunicații comun.



Niveluri funcționale ale traficului și transportului

Ghidarea traficului și sistemele de control conduc la o nouă abordare în ingineria sistemelor de trafic. Noile tehnologii adaugă conceptului tradițional din domeniul transporturilor auto numit "vehicule zero triplu" (zero emisii, zero zgomot, zero accidente) și problema specifică traficului actual - congestiunea.

Integrarea centrelor de management al căilor ferate, traficului rutier, aerian și naval în cooperare cu autoritățile publice și industria mijloacelor de transport conduce la noi sarcini imprevizibile pentru toți partenerii.

În pregătirea soluțiilor anilor 2000, firme de prestigiu propun seturi de echipamente specializate și proiecte-pilot destinate să convingă asupra eficienței informatizării proceselor legate de trafic și integrării acestuia în nivelurile supraordonate ale economiei și societății.

1. **ESCHELBECK, G., TH. MOSER:** Distributed Traffic - Monitoring and Evaluation by Means of a Client - Server Architectures. The 13th World Computer Congress 94 IFIP, vol.2, p.165
2. **MOHLENBRINK, W.:** Integrated Traffic Management. The 13th World Computer Congress 94 IFIP, vol.2, p.3
3. **GLAYRE, PH., PH. H. BOVY:** Nouvelles Techniques - Régulation Lumineuse des Carrefours. Cahier nr. 2. Transitée ingénieurs Conseils S.A. 1004 Lausanne. EPFL - Institut des Transports et de Planification, 1015 Lausanne.
4. **ROSNER, FL.:** Siemens in DRIVE Projects Green Light - Siemens. Traffic Engineering News, March, 1994.

Bibliografie