Controlul traficului vehiculelor
Vehicle Traffic Control (2)

Conţinut:

1. Introducere
2.Taxonomia sistemelor de control al traficului vehiculelor
3. Trăsăturile sistemelor de trafic ale vehiculelor
4. Obiectivele controlului traficului vehiculelor
5. Arhitecturi ale sistemelor pentru controlul traficului vehiculelor
6. Congestionarea
7. Informaţiile caracteristice traficului vehiculelor
8. Dispozitive de detecţie
9. Modelarea şi identificarea sistemelor de trafic al vehiculelor

10. Metode pentru controlul traficului
– Vehicle traffic control methods

10.1 Informaţii caracteristice

10.2 Proiectarea sistemelor de trafic al vehiculelor – vehicle traffic system design

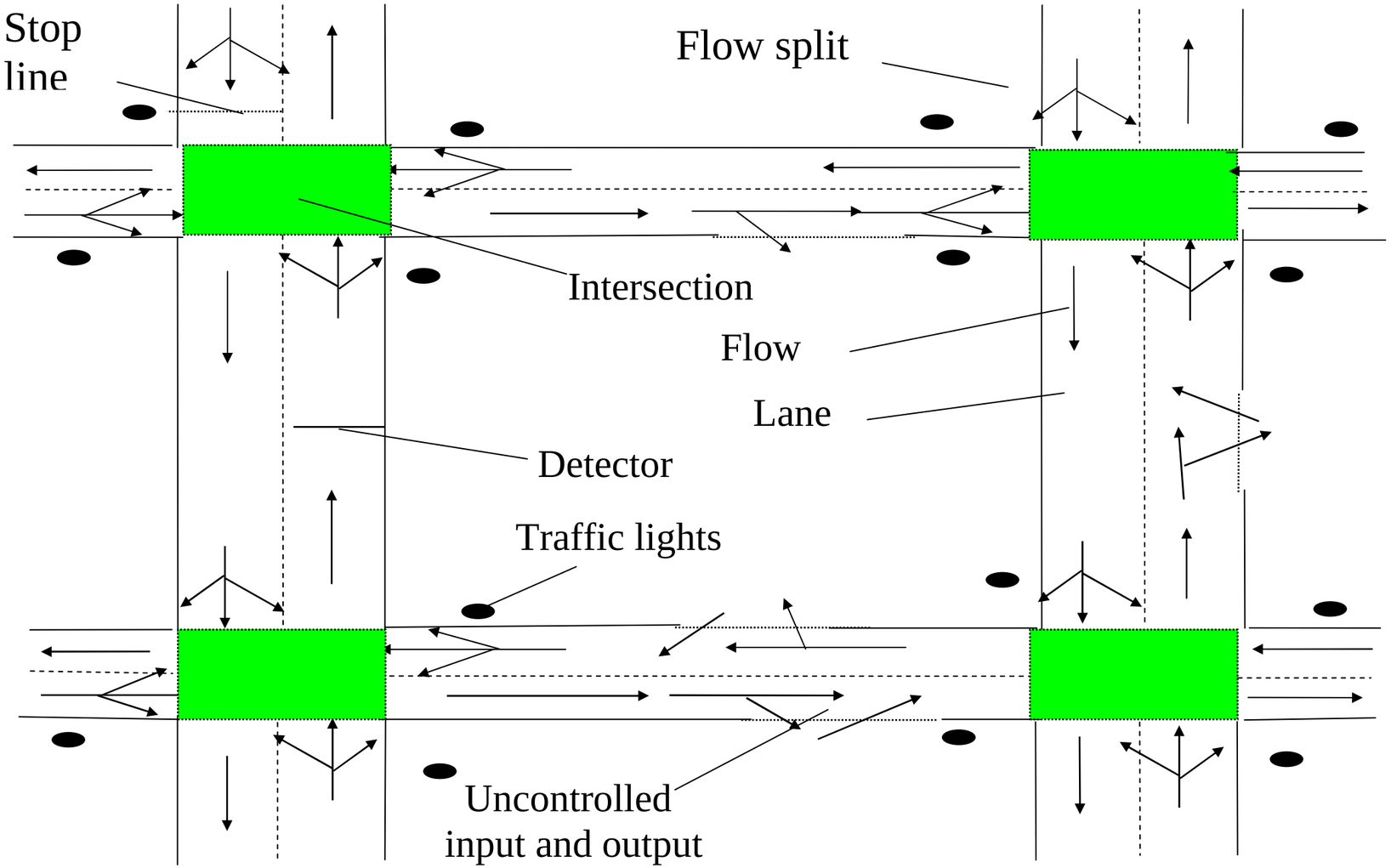
10.3 Controlul independent al intersecţiilor – Independent intersection control

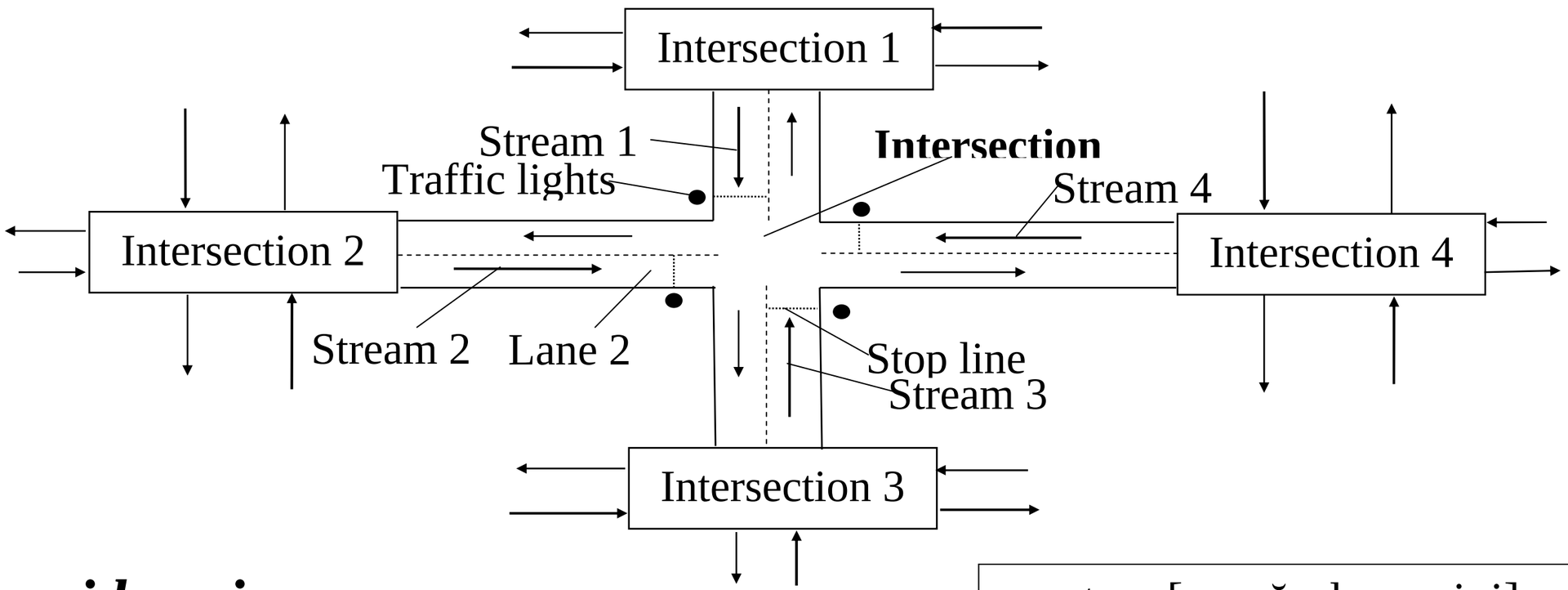
- ***Algoritmi determinişti***
- ***Controlul prin logică fuzzy***

10.4 Controlul coordonat şi cooperativ al traficului urban al vehiculelor – Coordinated and cooperative control of urban vehicle traffic

10.5 Controlul autonom al vehiculelor – Autonomous vehicle control

Congestionări





Modelul unei benzi

$x(k+1) = x(k) + \sum u_i - \sum e_i$

$x(k) \leq$ capacitatea benzii ← **ALOCARE DE RESURSE**

$e_i \leq c_i$;

c_i: capacitatea maximă de transfer a intersecţiei pentru banda i

$c_i = k \cdot d_i$; unde $T_{gi} = \delta + d_i$;

k coeficient care depinde de construcţia intersecţiei

$\sum T_{gi} \leq T_{cycle} - T_r + T_y$ ➔ c_i este limitat

Uzual, perioada de eşantionare = 5 sec.

x – stare [număr de maşini]

u_i – flux de intrare din direcţia i [nr.maşini/oră]

e_i – flux de ieşire pe direcţia i [nr.maşini/oră]

T_{gi} – durata de verde (a fazei i)

δ – timp de întârziere

d_i – durata de verde efectivă (utilizată)

Informaţiile caracteristice traficului vehiculelor

Flux (de maşini; flow) = ***volum de trafic***: numărul de maşini care trec peste un anumit loc într-o perioadă dată de timp [kT, (k+1)T] divizat la T.
Se măsoară în [veh./h].
Densitatea traficului (traffic density): numărul de vehicule cuprinse pe un segment de drum de lungime Δ la timpul kT divizat la Δ.
Densitatea de vehicule pe o suprafaţă (ex. Zona centrală a ...).
Ocuparea = occupancy: raportul dintre timpul de ocupare a unui loc de pe o bandă şi o perioadă dată de timp. Se măsoară în procente (%).
Viteza medie a vehiculelor la momentul kT pentru toate vehiculele cuprinse pe un segment de drum ([Km/h]).
Lungimea cozilor de aşteptare de pe o bandă ([nr. vehicule] sau [Km], [m])

Pe baza acestor informaţii ***se pot deduce***:

- *raporturile de separare (split)* a fluxurilor de vehicule între benzile unei intersecţii
- *tendinţele traficului* referitoare la volum sau viteză medie într-o anumită zonă
- *intrările şi ieşirile din sistem*
- *solicitarea sistemului* la orele de vârf
- *capacitatea de transfer* a unei intersecţii, artere sau zone
- *incidente* apărute pe anumite benzi sau artere
- *congestionările* unei intersecţii, artere sau zone

Capacitate de transfer = throughput [veh./h]

10. Metode pentru controlul traficului
Vehicle traffic control methods
1. Introducere - Introduction

Controlul traficului urban al vehiculelor:

- controlul traficului în (prin) intersecţii
- controlul traficului pe artere
- controlul traficului pe reţelelor de drumuri şi străzi

Controlul (traficului urban):

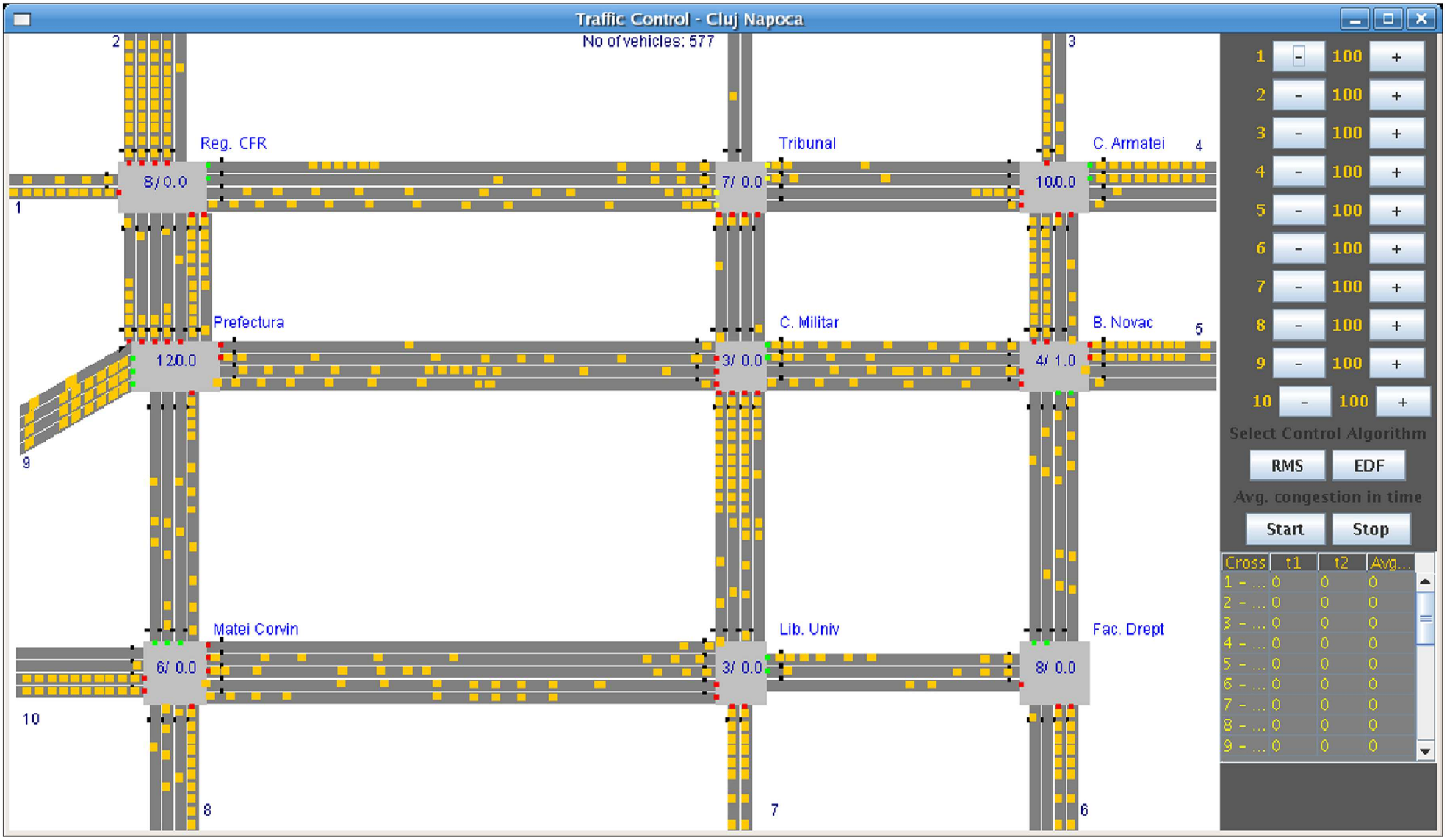
- controlul independent al intersecţiilor
- controlul coordonat al intersecţiilor
- controlul supervizat al intersecţiilor

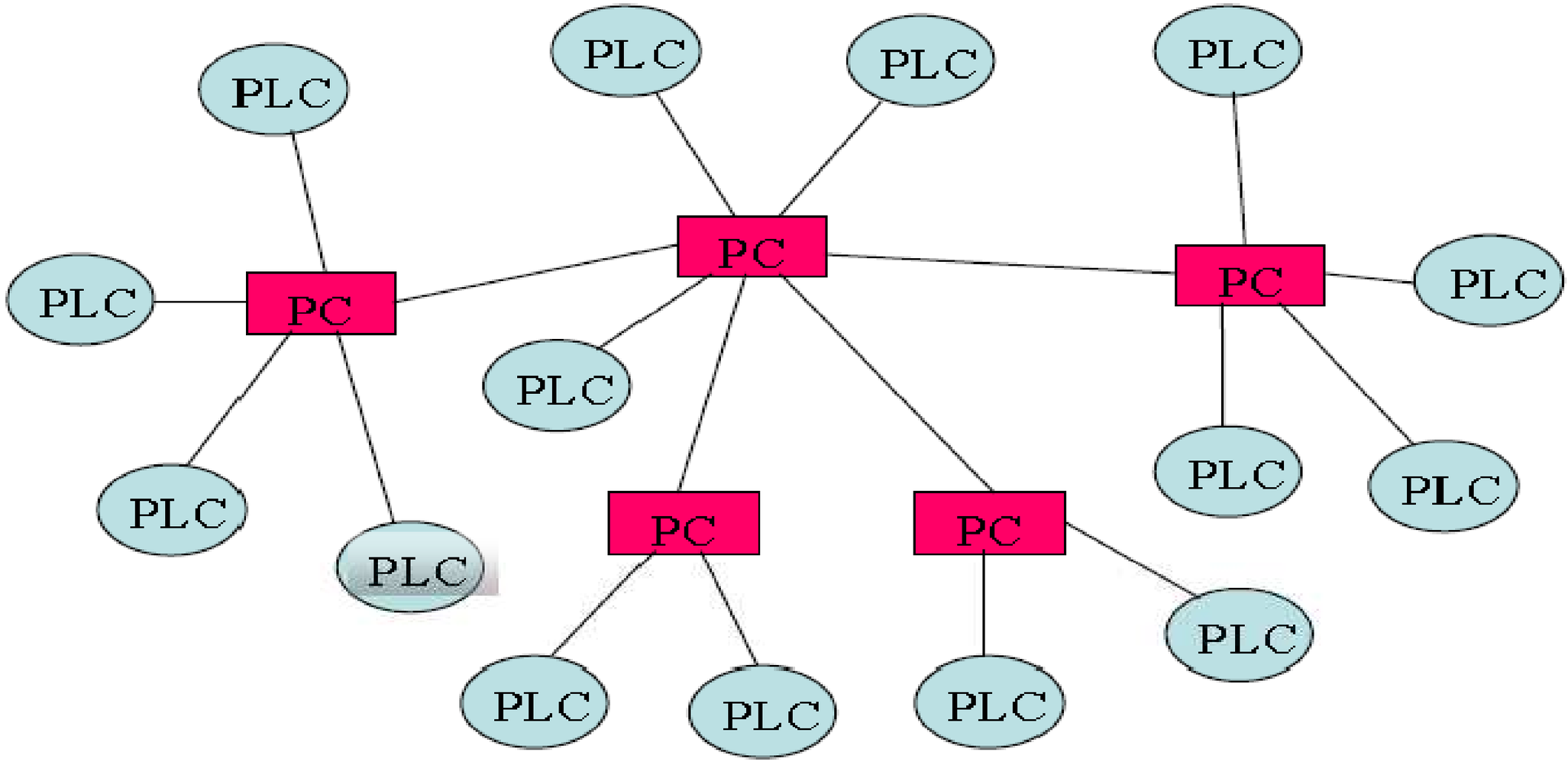
Abordarea controlului traficului urban al vehiculelor:

- controlul pe baza evenimentelor discrete
- controlul fluxurilor
- controlul utilizării resurselor

Controlul vehiculelor autonome
Autonomous vehicle control

Simulation


Traffic Control - Cluj Napoca
No of vehicles: 577
Reg. CFR
Tribunal
C. Armatei
Prefectura
C. Militar
B. Novac
Matei Corvin
Lib. Univ
Fac. Drept
8/ 0.0
7/ 0.0
10 0.0
12 0.0
3/ 0.0
4/ 1.0
6/ 0.0
3/ 0.0
8/ 0.0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Select Control Algorithm
RMS
EDF
Avg. congestion in time
Start
Stop
Cross
t1
t2
Avg...



Arhitectura sistemului de trafic urban al vehiculelor (UVTC)

PLC = Programmable Logic Controller

PC = Personal Computer (sau echivalent)

Informaţii pentru controlul traficului:

- informaţii locale:
  - ratele fluxurilor (număr de maşini pe unitate de timp)
  - lungimea cozilor de aşteptare – număr de maşini care stau în faţa liniei de stop pentru a trece prin intersecţie
  - densitatea de maşini într-o zonă dată sau pe o arteră
  - evenimente (de sosire a unor maşini obişnuite sau speciale, gap-ul dintre plutoane de maşini, trecerea peste un anumit punct specificat, comutarea unor bariere etc.)
  - stările unor zone, cum ar fi prezenţa maşinilor într-un spaţiu definit (uzual în faţa liniei de stop)
  - atingerea unei lungimi critice a unei cozi de aşteptare
- informaţii furnizate de către controllerele atribuite în intersecţiile învecinate:
  - încărcarea intersecţiei (cum ar fi densitatea de maşini din benzile de intrare)
  - despărţirea fluxurilor de intrare în fluxuri de ieşire
  - ratele de maşini aşteptate sau numărul de maşini estimat în următoarea perioadă
- informaţii furnizate de către operatori:
  - prioritătile benzilor
  - capacităţile maxime ale benzilor (adică lungimea maximă posibilă a cozilor)
  - lungimea critică a cozilor (adică lungimea cozilor care dacă este depăşită poate să ducă la congestionări ale traficului)
  - alocarea benzilor de intrare ale unei intersecţii la faze (cu alocare fixă sau dinamică)

Taxonomia celor mai folosite abordări:

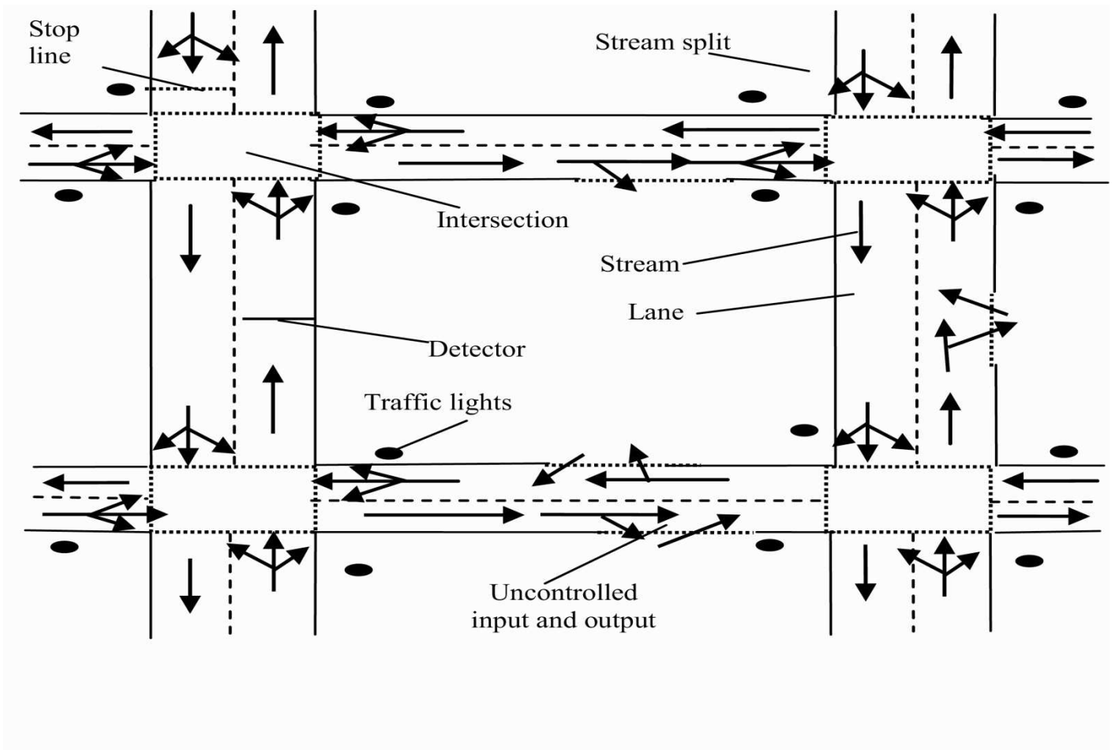
- cercetare operațională (metode deductiv – analitice, simulare)
  - programare dinamică: liniară, neliniară, dinamică
  - rețele de cozi
  - analiză decizională
- inteligență artificială
  - logică fuzzy și control bazat pe reguli (sisteme expert)
  - teoria jocurilor
  - planificare
- control liniar sau neliniar
  - control optimal
  - control adaptiv
  - control predictiv
- inginerie software
  - alocarea resurselor
    - static (fixă)
    - dinamică
  - abordări de timp real
    - sincrone
    - asincrone

Decizii pentru controlul semnalizării traficului:

- partiţionarea mişcărilor maşinilor prin intersecţii în diferite faze astfel încât să nu existe conflicte (alocarea benzilor la faze fără conflicte între ele)
- alegerea modului de lucru cu durate fixe sau variabile ale ciclurilor
- determinarea împărţirii timpului între fazele ciclurilor şi a ordinii fazelor

10.2 Proiectarea sistemelor de traffic al vehiculelor

Vehicle traffic system design



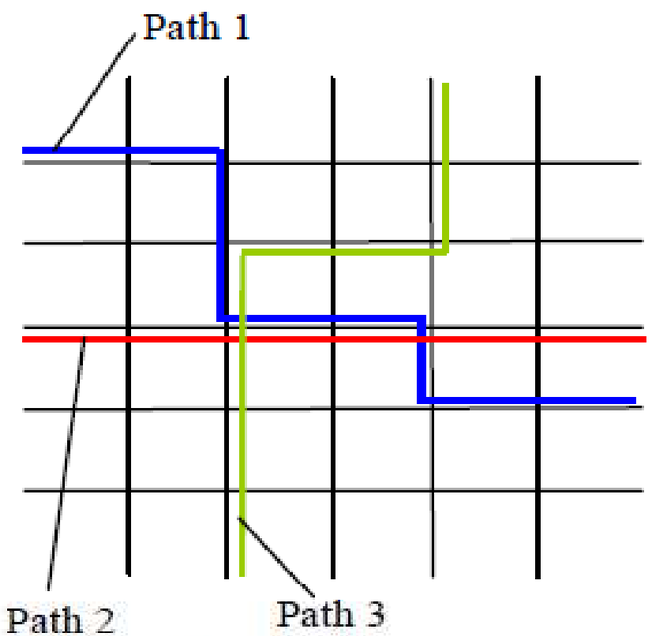


Fig. 8. Paths trough a traffic network.

- controlled input flows: $f_{i,o}, \ldots, f_{i,m}$
- controlled output flow: $f_{e,o}, \ldots, f_{e,n}$
- uncontrolled input flows: $f'_{i,o}, \ldots, f'_{i,x}$
- uncontrolled output flows: $f'_{e,o}, \ldots, f'_{e,y}$

Flow split: $f_j \rightarrow s_{j,k}$; $j=1,\ldots, n_j$; $f_{k,j} = f_j \cdot s_{j,k}$; $\sum_k s_{j,k} = 1$; fluxurile sunt în echilibru $f_k = f_{k,1}+f_{k,2}+\cdots$

$f_{k,j}$ este fluxul rezultat pe banda j datorită despărţirii fluxului f_k

sau: giratoriu !!

$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{x}(k) + \sum \mathbf{u}_i(k) - \sum \mathbf{e}_i(k) + \sum \mathbf{u'}_i(k) - \sum \mathbf{e'}_i(k)$

$\mathbf{x}(k) \leq$ **capacity(lane)**

Flows: $\mathbf{f}_k \leq \mathbf{c}_{j,k}$

Ce se comandă? ➔ Duratele fazelor.

$T_c = T_r + T_y + \sum_i T_{g,i} = T_r + T_y + T_g$

T_c – durata ciclului (cycle time)
T_r – timpul de roșu (red time)
T_y – timpul de galben (yellow time)
$T_{g,i}$ – timpul de verde pe faza *i*
$T_{g,i} = \delta + d_i$; δ: start delay;
d_i: durata efectivă de trecere
Fluxul: $f = v \cdot d$; v depinde de structură

d_x=?; x=1,2,…	Benzi de ieșire					
Benzi de intrare (approach)		E_1	…	E_k	…	E_n
	I_1	$c_{1,1}$				
	…		…			
	I_j	$c_{j,1}$		$c_{j,k}$		
	…		…			
	I_m		…			$c_{m,n}$

Coeficieţii $c_{j,k}$ exprimă capacitatea de transfer a intersecţiei între banda de intrare I_j şi banda de ieşire E_k . Ei sunt dependenţi de duratele fazelor.

O fază x are asociată o durată d_x.
$\sum_x (d_x + \delta) = T_g$
Toate benzile de intrare ale unei faze au aceeaşi durată de deschidere.

Dacă I_j este asociată la faza x.
$c_{j,k} = v_{j,k} \cdot d_x$; depinde liniar de viteza $v_{j,k}$ şi de durata de deschidere
Dacă intersecţia este congestionată, $v_{j,k}$ este diminuat.

Fluxul din E_k datorat benzii I_j este $f_{k,j}$.
$f_{k,j} = f_j \cdot s_{j,k}$ dacă $f_{k,j} \leq c_{j,k}$ şi sunt locuri pe banda de ieşire
$f_{k,j} = c_{j,k}$ în caz contrar.

Fluxul f_k de pe banda E_k este dat de :
$f_k = \sum_j f_{k,j}$

Proiectarea unui sistem de trafic urban al vehiculelor optim
(Design of urban vehicle traffic system)

Constrângeri:

$f_{k,j} \leq c_{j,k}$

unde $c_{j,k} = v_{j,k} \cdot d_x$;

$D = d_1 + \cdots + d_n$;

- n este numărul de faze,
- D este: $D = T_g - n \cdot \delta$; - este timpul efectiv de deschidere a tuturor fazelor (benzilor)

$T_g = T_{g,1} + \cdots + T_{g,n}$; $T_{g,i} = \delta + d_i$;

- $v_{j,k}$: viteza de deplasare între banda I_j şi banda E_k .
- d_x : durata fazei x la care este asignată banda I_j.

Relaţii de transfer:

$f_{k,j} = f_j \cdot s_{j,k}$ dacă $f_{k,j} \leq c_{j,k}$

$f_{k,j} = c_{j,k}$ în caz contrar

- f_j : fluxul din banda de intrare
- $s_{j,k}$: coeficientul de despărţire a fluxului f_j spre banda k;

Calculul fluxului pe o bandă: relaţia de echilibru a fluxului de pe o bandă

$$f_k = \sum_j f_{k,j} + u_k - e_k$$

- u_k : intrarea pe bandă
- e_k : ieşirea de pe bandă (perturbaţie)

Evaluarea sistemului de fluxuri:

$$J = \sum_i \sum_k a_{i,k} \cdot f_{i,k}^2 - \sum_i \sum_j b_{i,k} \cdot n_f$$

- $a_{i,k}$ şi $b_{i,k}$ sunt coeficienţi de ponderare utilizaţi la evaluarea controlului
- n_f este numărul de fluxuri care depăsesc capacitatea de transfer a unei faze dintr-o intersecţie.

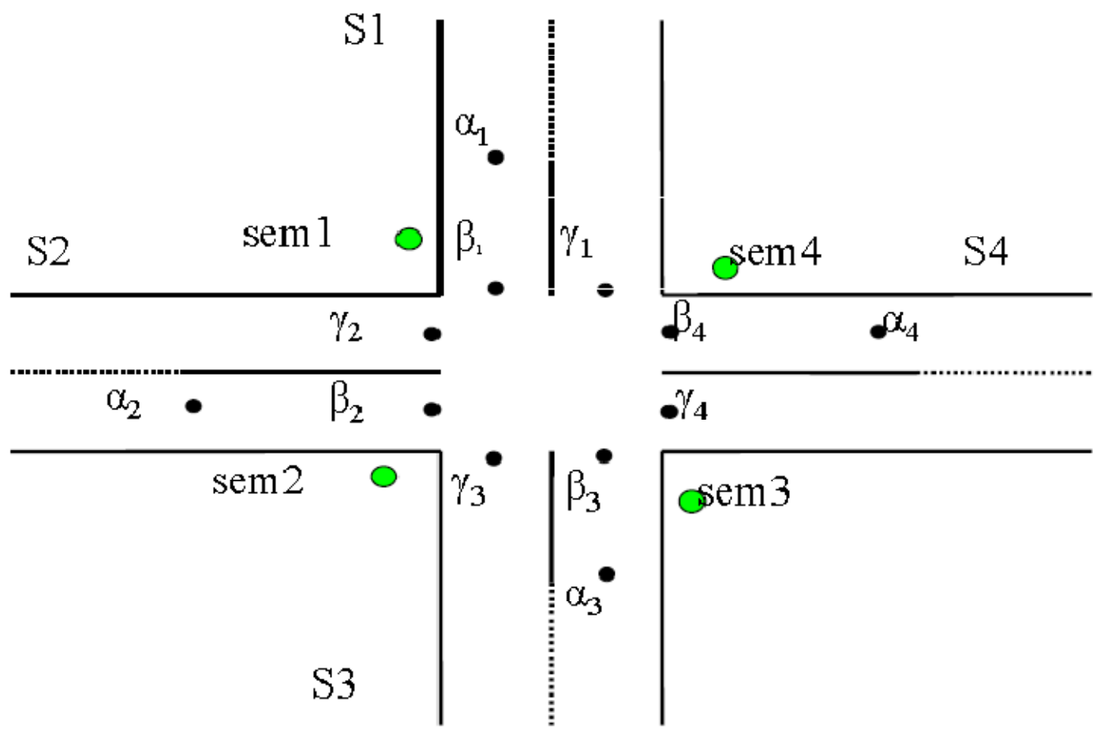
Algoritm de optimizare:

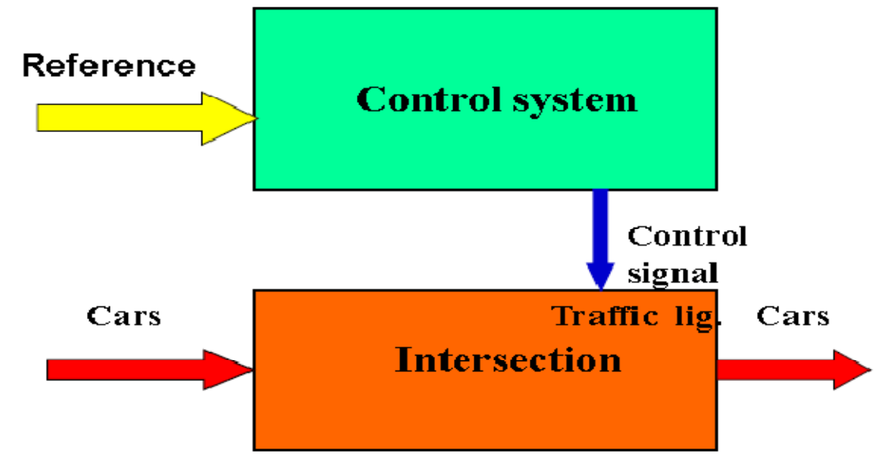
1: *input*: $c_{j,k}$ coeficienţii de transfer ai fiecărei benzi de intrare din fiecare intersecţie X_i;
2: *input*: D_i duratele effective de verde şi n_i numărul de faze ale fiecărei intersecţii X_i;
3: *input*: $s_{j,k}$ coeficienţii de despărţire ai fluxurilor de intrare în fiecare intersecţie;
4: *output*: $d_{i,x}$ duratele efective de verde ale fiecărei intersecţii X_i;
5: *output*: fluxurile de ieşire din fiecare intersecţie X_i şi duratele fazelor $d_{i,x}$ ale fiecărei intersecţii;
6: *initialization:* $d_{i,x} = D_i / n_i$ pentru toate intersecţiile;
7: **while** (se obţin îmbunătăţiri) **do**
8: **for** toate intersecţiile
9: * calculează coeficienţii $c_{j,k}$ pentru toate fluxurile de intrare din toate intersecţiile;
10: * calculează fluxurile de ieşire;
11: * evaluează performanţa J a sistemului de fluxuri;
12: * îmbunătăţeşte duratele fazelor $d_{i,x}$;
13: **end while;**

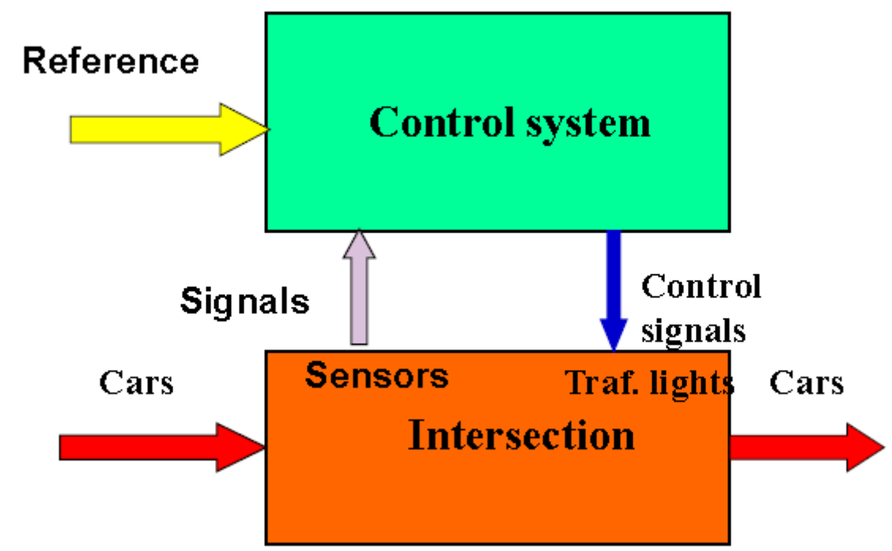
Mărimile $d_{i,x}$ se setează în controllerele intersecţiilor pentru controlul în buclă deschisă.

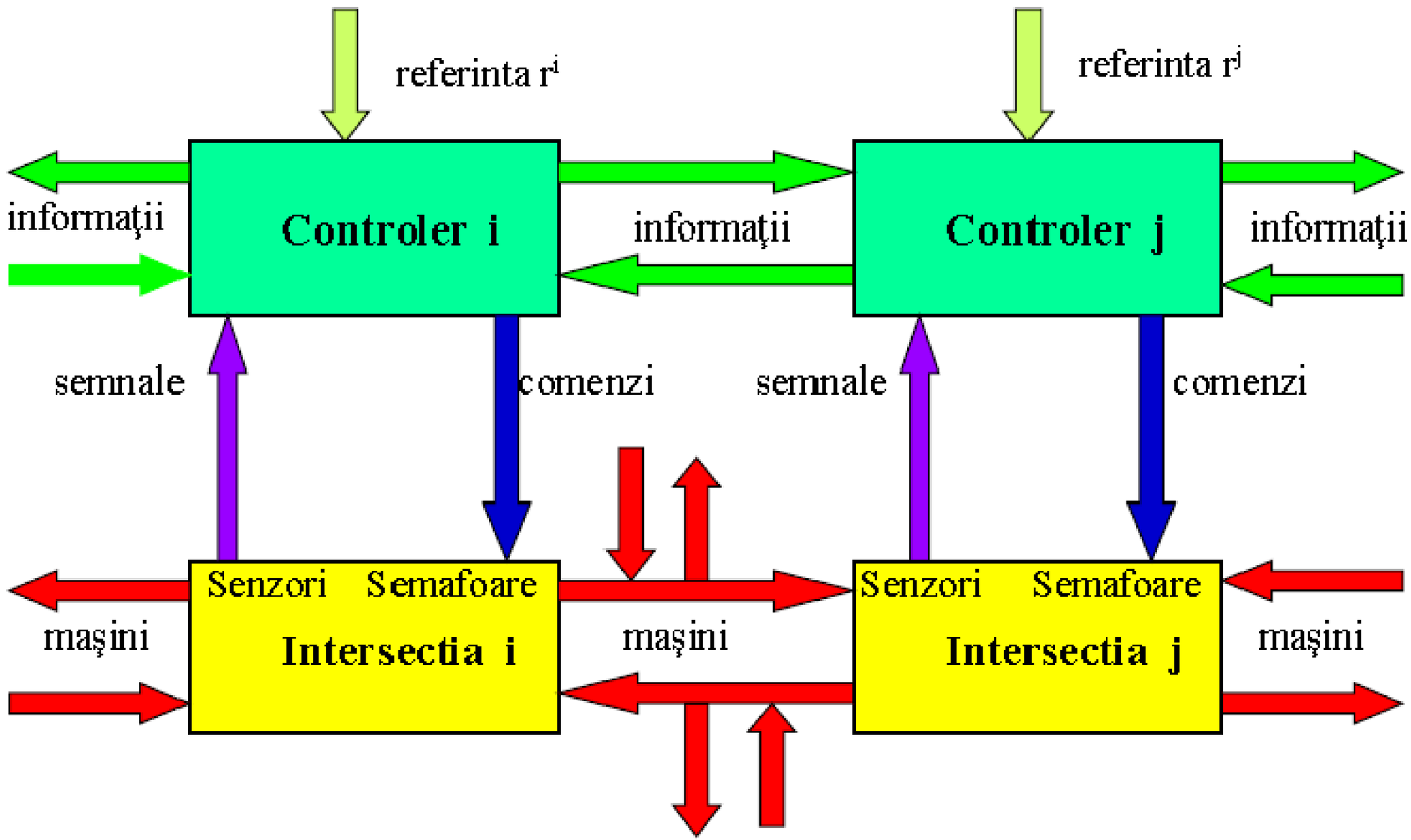
10.3 Controlul independent al traficului intersecţiilor

1. durate fixe ale ciclurilor
2. durate variabile ale ciclurilor








referinta r^i
referinta r^j
informaţii
Controler i
informaţii
Controler j
informaţii
semnale
comenzi
semnale
comenzi
Senzori
Semafoare
Intersectia i
Senzori
Semafoare
Intersectia j
maşini
maşini
maşini

Metodele de control pentru durate fixe ale ciclurilor:

- pre-temporizate (pre timed phases)– duratele fazelor fiind fixate nu este nevoie de detectori pentru culegerea de informaţii din trafic
- semi-acordate (half actuated control) – se aplică pentru intersecţiile care au numai două faze (se permite numai deplasarea înainte sau cel mult şi la dreapta). Artera secundară (cea cu un trafic mai puţin intens) are detectoare, iar cea principală nu. Se acordă timp (eventual peste o anumită durată minimă) pentru deschiderea fazei secundare din durata totală a ciclului numai dacă sunt maşini pe artera secundară la linia de stop.
- complet acordat (full actuated control):
  - selecţia unei scheme cu valori pre-temporizate de deschidere a fazelor
  - modificarea temporizărilor după volumul traficului pe benzi (volume density control)
  - generarea unor planuri ale semnalelor ca răspuns la trafic (traffic-responsive signal control)

Metode de control pentru durate variabile ale ciclurilor:

- extensia duratelor fazelor: (phase duration extension)
  - se extinde durata unei faze până la detectarea unui gap specificat. Faza are o durată minimă (a luminii verzi) alocată iniţial, care este extinsă dacă sosesc maşini până la detectarea unui timp minim (numit gap) între sosirile a două maşini. Durata gap-ului poate fi micşorată din timp în timp după trecerea unui anumit număr de maşini.
  - se extinde durata fazei dacă sunt maşini care să treacă prin intersecţie până la o valoare maximă (specificată) a timpului (timeout)
- controlul după dimensiunea volumelor. Se utilizează detectori de prezenţă. Când un vehicul trece peste un detector în timpul luminii galbene sau roşii, se extinde faza corespunzătoare (durata luminii verzi) cu o durată dată (adică se incrementează durata luminii verzi pentru fiecare maşină care trece peste un punct specificat). Dacă numărul total al vehiculelor multiplicat cu durata incrementului este mai mare decât o valoare minimă specificată pentru deschidere, atunci se aplică durata obţinută prin calcul.

Algoritmi determinşti

Algoritmii în buclă închisă extinsă
(cu reacţie după starea locală şi după informaţiile **z** de la intersecţiile învecinate):

- cu *reacţie după stare, fără memorie şi fără referinţă*

$$\mathbf{c}^T(k) = \mathbf{A}^i_0 \cdot [\mathbf{x}^i(k), \mathbf{z}^i(k)]^T$$

- cu *reacţie după stare, fără memorie şi cu referinţă*

$$\mathbf{c}^T(k) = \mathbf{A}^i_0 \cdot [\mathbf{x}^i(k), \mathbf{r}^i(k), \mathbf{z}^i(k)]^T$$

- cu *reacţie după stare, cu memorie şi referinţă*

$$\mathbf{c}^T(k) = \mathbf{A}^i_0 \cdot [\mathbf{x}^i(k), \mathbf{r}^i(k), \mathbf{z}^i(k)]^T + \mathbf{A}^i_1 \cdot [\mathbf{x}^i(k-1), \mathbf{r}^i(k-1), \mathbf{z}^i(k-1)]^T + \ldots$$

- cu *reacţie după flux, fără memorie şi fără referinţă*

$$\mathbf{c}^T(k) = \mathbf{B}^i_0 \cdot [\mathbf{u}^i(k), \mathbf{z}^i(k)]^T$$

- cu *reacţie după flux, fără memorie şi cu referinţă*

$$\mathbf{c}^T(k) = \mathbf{B}^i_0 \cdot [\mathbf{u}^i(k), \mathbf{r}^i(k), \mathbf{z}^i(k)]^T$$

- cu reacţie după flux, cu memorie şi cu referinţă

$$\mathbf{c}^T(k) = \mathbf{B}^i_0 \cdot [\mathbf{u}^i(k), \mathbf{r}^i(k), \mathbf{z}^i(k)]^T + \mathbf{B}^i_1 \cdot [\mathbf{u}^i(k-1), \mathbf{r}^i(k-1), \mathbf{z}^i(k-1)]^T + \ldots$$

Fuzzy Logic Control (recapitulare)

WHY USE FL? (from Fuzzy Logic Tutorial – An Introduction by Steven D. Kaehler)

1) It is inherently **robust** since it does not require precise, **noise-free inputs** and can be programmed to fail safely if a feedback sensor quits or is destroyed. The **output control is a smooth** control function despite a wide range of input variations.

2) Since the FL controller **processes user-defined rules** governing the target control system, it can be modified and tweaked easily to improve or drastically alter system performance. New sensors can easily be incorporated into the system simply by generating appropriate governing rules.

3) FL **is not limited to a few feedback inputs and one or two control outputs,** nor is it necessary to measure or compute rate-of-change parameters in order for it to be implemented. Any sensor data that provides some indication of a system's actions and reactions is sufficient. This allows the sensors to be inexpensive and imprecise thus keeping the overall system cost and complexity low.

4) Because of the rule-based operation, **any reasonable number of inputs can be processed** (1-8 or more) and numerous outputs (1-4 or more) generated, although defining the rulebase quickly becomes complex if too many inputs and outputs are chosen for a single implementation since rules defining their interrelations must also be defined. It would be better to break the control system into smaller chunks and use several smaller FL controllers distributed on the system, each with more limited responsibilities.

5) FL **can control nonlinear systems** that would be difficult or impossible to model mathematically. This opens doors for control systems that would normally be deemed unfeasible for automation.

Linguistic Variables

In 1973, prof. Lotfi Zadeh propune conceptul de variabile "fuzzy".

H, M, L
NH, NM, NL, PL, PM, PH

Reguli fuzzy:

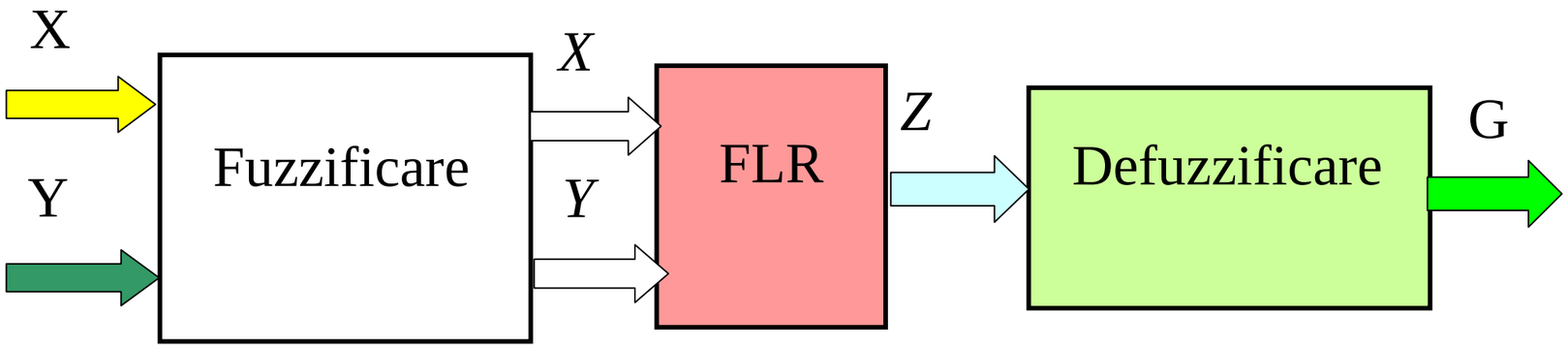
IF .... THEN .....

IF (error is NH) THEN controlCommand is PH

IF (....) AND (....) THEN (....)
IF NOT (.....) AND (.....) OR (....) THEN (....) AND (....)

Puterea de îndeplinire a unei reguli:
Variabilele au un grad de apartenență. Ex.: Temperatura este (H, 0.3) și (M, 07).
AND ➔ min {grad de apartenență}
OR ➔ max { grad de apartenență }

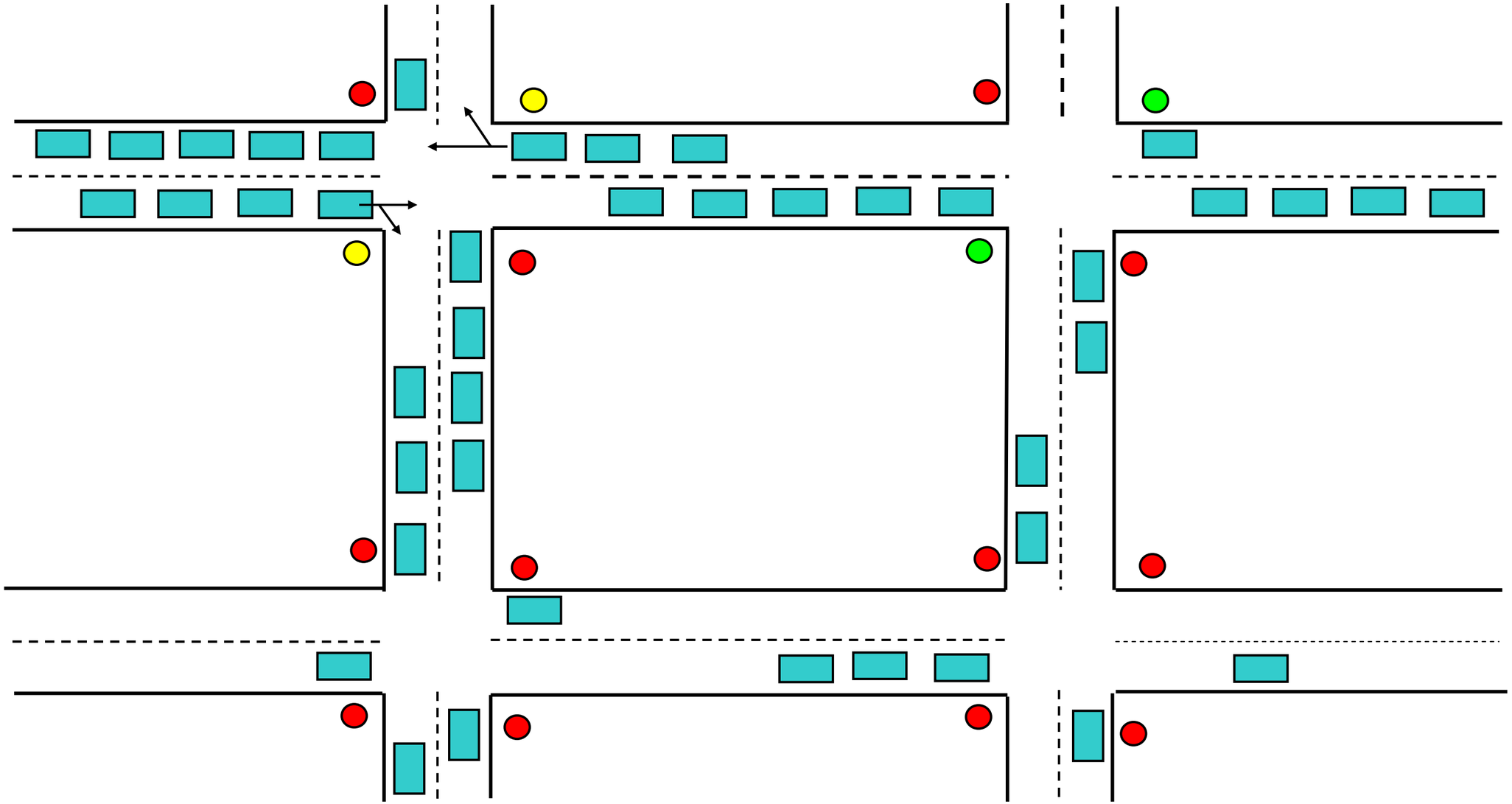
Controlul fuzzy a unei intersecții



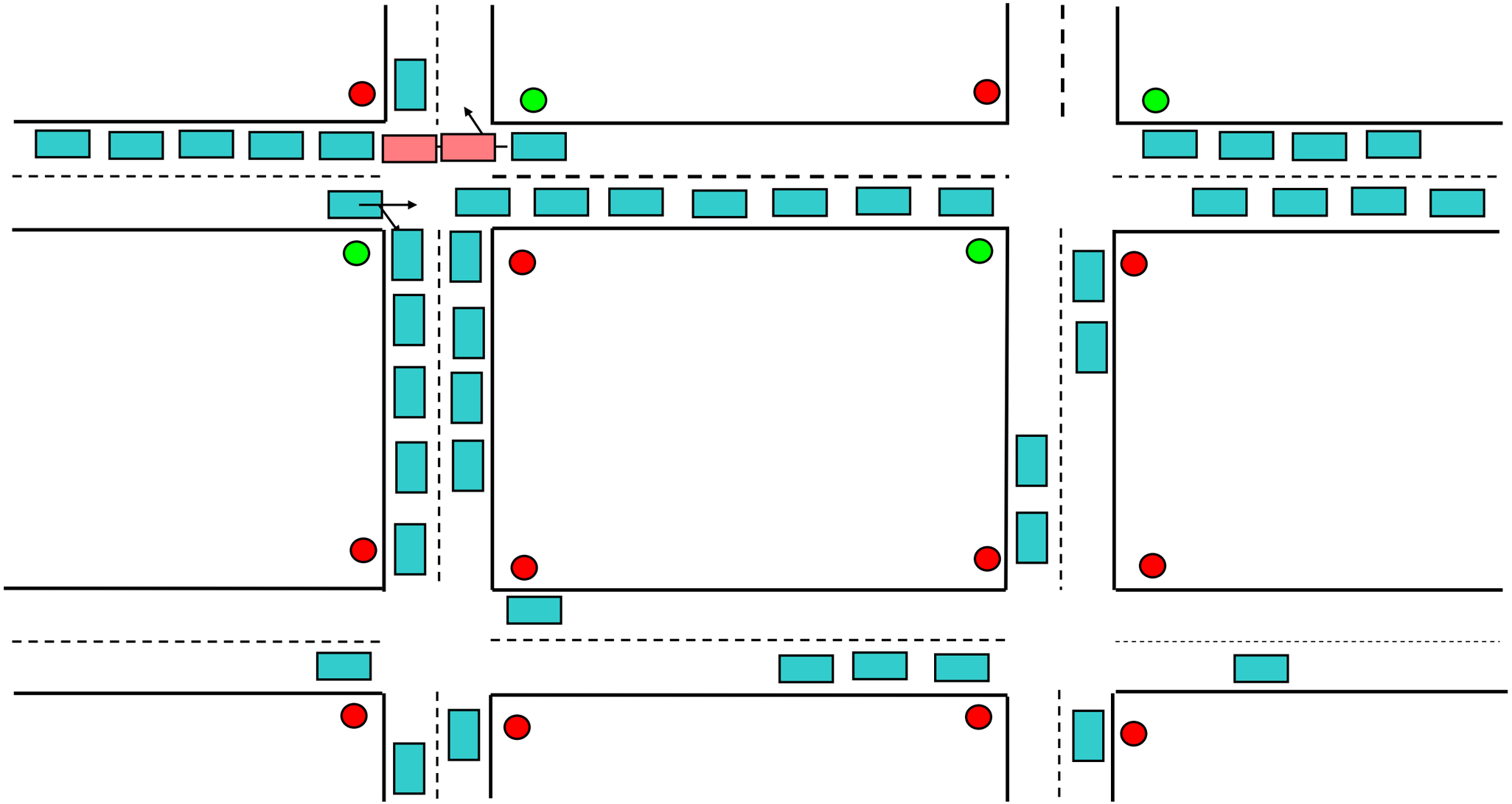
Structura unui controler fuzzy.

$X=[x_1, x_2, \ldots, x_n]$ este lungimea celor mai lungi cozi de așteptare pentru fiecare măsurată ca nr de vehicule care vor sa treacă prin intersecție.
$Y=[y_1, y_2, \ldots, y_n]$ numărul locurilor libere pentru vehicule pe benzile de ieșire din intersecție.
$G=[g_1, g_2, \ldots, g_n]$ duratele de verde ale fiecărei faze f_i, $i=1, \ldots, n$.

Exemplu de trafic urban al vehiculelor



Exemplu de trafic urban al vehiculelor



Principiu de control (traficul urban al vehiculelor)

Cerința:

Pentru fiecare bandă: **se va păstra lungimea cozii între niște limite specificate (la fiecare moment de timp).**

Presupunere:

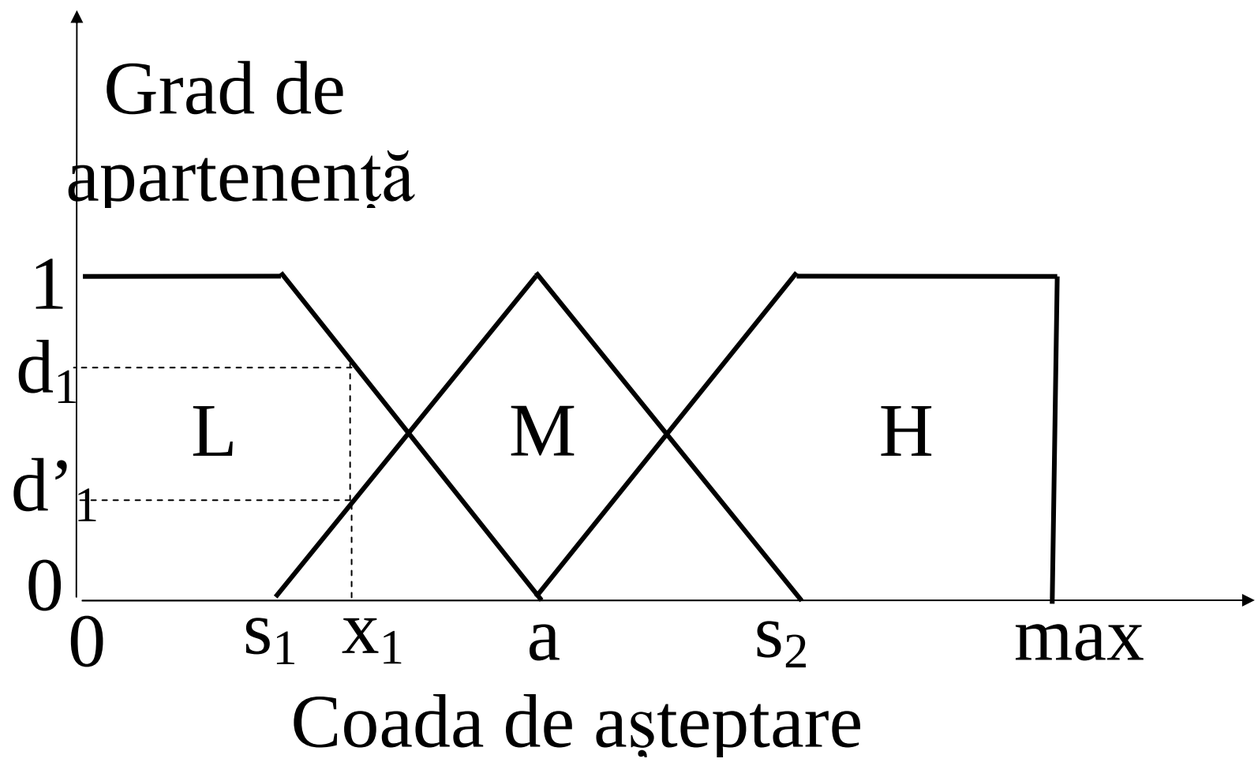
Pentru fiecare flux (pe benzi de intrare în intersecție) împărțirea fluxului (flow split) poate fi estimat.

Cerința:

Pentru fiecare fază

Se acordă verde în așa fel încât lungimile cozilor să nu depășească valori prestabilite (capacitățile benzilor).

Funcții de apartenență



Reguli Fuzzy

IF (x_1 is A_1) AND (x_2 is A_2) AND …. (x_n is A_n) AND

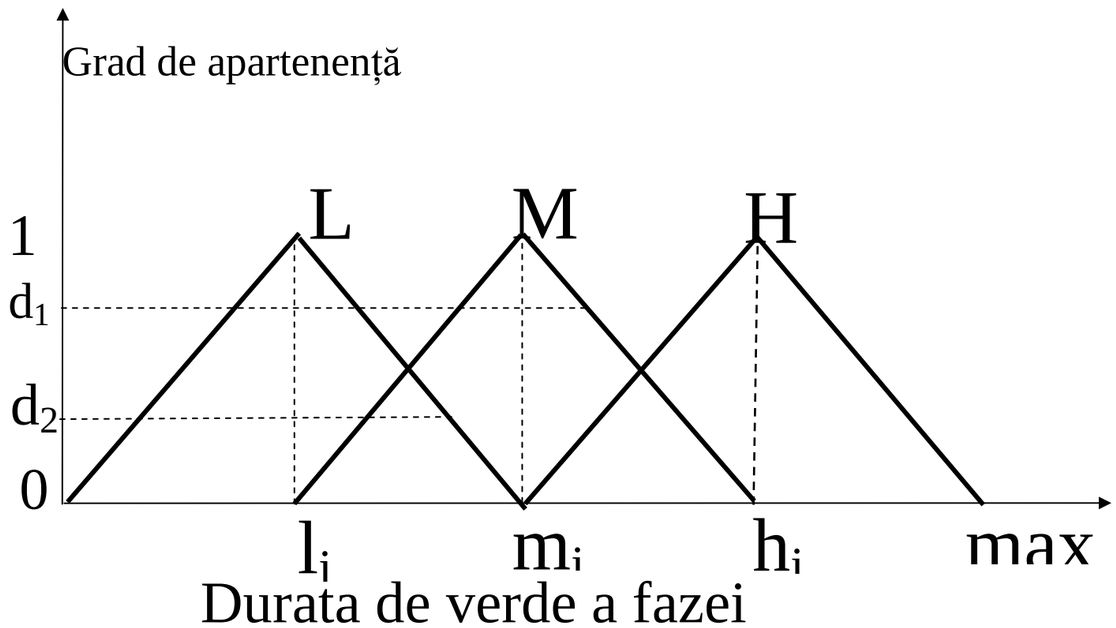
(y_1 is B_1) AND (y_2 is B_2) AND …. (y_n is B_n)

THEN (z_1 is C_1); (z_2 is C_2);…; (z_n is C_n)

unde A_i, B_i, C_i aparțin mulțimii {H, M, L}; i=1, 2, …

Defuzzificare ➔ valori „crisp”

În general, **defuzzificarea** este transformarea rezultatelor aplicării regulilor în valori numerice (crisp).



$$g_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} z_i \cdot \mu(z_i)}{\sum_{j=1}^{m} \mu(z_i)}$$ (metoda centrului de greutate)

$g_i = (d_1 \cdot z^1_i + d_2 \cdot z^2_2 + d_k \cdot z^k_i)/(d_1 + d_2 + d_k) =$
$= (d_1 \cdot m_i + d_2 \cdot l_i + d_k \cdot m_i)/ (d_1 + d_2 + d_k)$

$h_1 + h_2 + \ldots + h_n = T_g$; constrângerea asupra timpului total de deschidere a tuturor fazelor

Algoritm de control fuzzy pentru o intersecție

Regulile fuzzy sunt de forma:

IF x_1 is A_1 and x_2 is A_2 and … and y_1 is B_1 and y_2 is B_2 … THEN z_1 is C_1 and z_2 is C_2 and …

unde A_i, B_i, C_i aparțin mulțimii {H, M, L}; i=1, 2, …

Notații:

- n - numărul de faze;
- u - numărul de benzi de intrare;
- v – numărul de benzi de ieșire;
- inp_j - lungimea cozii pe banda j; j=1,…, u;
- out_j - lungimea spațiului liber pe banda de ieșire j;
- InputSet $_i$ - mulțimile de intrare pentru benzile asignate la faza i;
- $OutputSet_i$ – mulțimile de ieșire pentru benzile asignate la faza i;
- h_i, m_i, l_i; - valorile numerice corespunzătoare pentru (H, M, L) pentru faza i;
- RuleSet – setul de reguli fuzzy pentru controlul intersecției;
- deg(x_i) - gradul de apartenență a variabilei x_i la valorile fuzzy (H, M sau L);
- $z_{i,j}$ aparține mulțimii {h_i, m_i, l_i}și reprezintă durata de verde dată de regula r_j a RuleSet pentru faza f_i

Algorithm: FuzzyLogicControl

Input: n, u, v;
inp_j; j=1, 2, …, u;
out_j; j=1, 2, …, v;
InputSet $_i$; i=1,…,n;
$OutputSet_i$; i=1, …, n;
h_i, m_i, l_i; i=1,…,n;
RuleSet

Output: duratele de verde ale fazelor g_i; i=1,…,n

1. Pentru toate fazele i=1, …, n calculăm lungimea maximă a cozilor aferente benzilor de intrare

$$x_i = \max_{inp_j \in InputSet_i} \{Fuzzy\ (inp_j)\}$$

deg(x_i) este gradul de apartenență
și lungimea minimă a locurilor libere pe benzile de ieșire

$$y_i = \min_{inp_j \in OutputSet_i} \{Fuzzy(out_j)\}$$

deg(y_i) este gradul de apartenență
Fuzzy(x) este cea mai mare valoare fuzzy a lui x.
2.Pentru toate regulile r_j din RuleSet calculăm

$$Strength\ (r_j) = \min\{\deg(x_1),..., \deg(x_n), \deg(y_1),..., \deg(y_n)\}$$

unde x_i, y_i; i=1,... sunt termeni în regula r_j.
3.Pentru toate fazele calculăm duratele de verde g_i; i=1,…,n

Mai sus s-au folosit următoarele **principii de construire a regulilor fuzzy** pentru o intersecție:

1. Dacă toate bufferele de ieșire sunt puțin încărcate, toate fazele sunt deschise maxim.
2. Durata deschiderii unei faze nu este condiționată de starea bufferului de ieșire dacă faza respectivă nu introduce vehicule în acel buffer.
3. O fază cu prioritate mai mică decât cea mai mare prioritate a benzilor sale de ieșire nu poate elibera un număr de vehicule mai mare decât numărul de locuri libere. Aceasta poate fi scrisă formal:

$$IF\ pr(z_i) < pr(y_i)\ THEN\ z_i \leq y_i.$$

4. Când toate bufferele de ieșire au foarte puține locuri libere, duratele de verde sunt la minim.
5. Când un buffer de ieșire nu poate accepta toate cererile, faza cu cea mai mică prioritate este limitată prima.

Extinderea duratelor pentru fazele de verde

Cazul anterior considera că o dacă fază nu poate fi deschisă la durata maximă (din cauza cererii prea mari), timpul disponibil era pierdut. Aceasta scade rata de transfer prin intersecție chiar dacă timpul disponibil putea fi folosit de alta fază. O îmbunătățire a acestei abordări ar putea distribui timpul nealocat al ciclului la fazele care au loc nelimitat în bufferele de ieșire.

Modificarea algoritmului anterior implică găsirea fazelor care nu au alocat timpul maxim posibil și extinderea duratelor pentru acele faze pentru care bufferele de ieșire pot accepta mai multe vehicule decât timpul alocat permite. Această modificare poate fi folosită cu success atunci când împărțirea fluxurilor (flow split) se modifică puternic în timp.

Control fuzzy logic - distribuit

FLC ierarhic

Pentru un controler fuzzy (o intersecție cu 4 faze) numărul necesar de reguli este 3^8=729.
Numărul de reguli poate fi redus folosind o structură ierarhică.
Sistemele fuzzy ierarhice pot fi folosite pentru probleme care pot fi împărțite în sub-probleme logice. Acesta este cazul și pentru controlul fuzzy al traficului rutier.

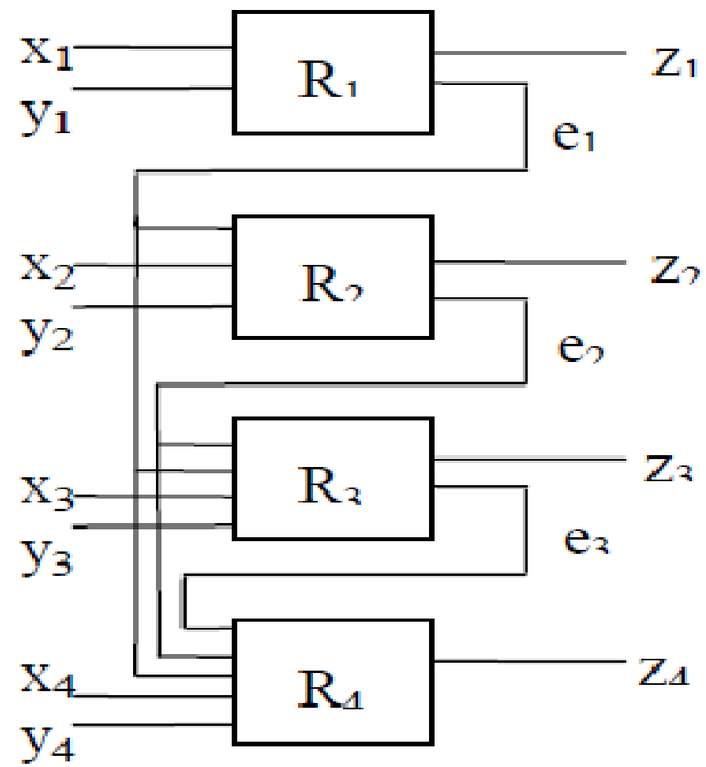


Fig. 4. The general structure of the hierarchical fuzzy logic

Fie Y_i banda de ieșire a unui set de faze f_i, i=1,…, n pentru o intersecție.

Fazele f_1, f_2, …, f_n sunt ordonate după priorități (prima – cea cu prioritatea cea mai mare).

Un set de reguli R_0 conține 9 reguli. Construcția se bazează pe următoarele:

r_1: IF y is H THEN z is H and e is H
r_2: IF y is M and x is M THEN z is M and e is M
r_3: IF y is M and x is L THEN z is L and e is M
r_4: IF y is L THEN z is L and e is L

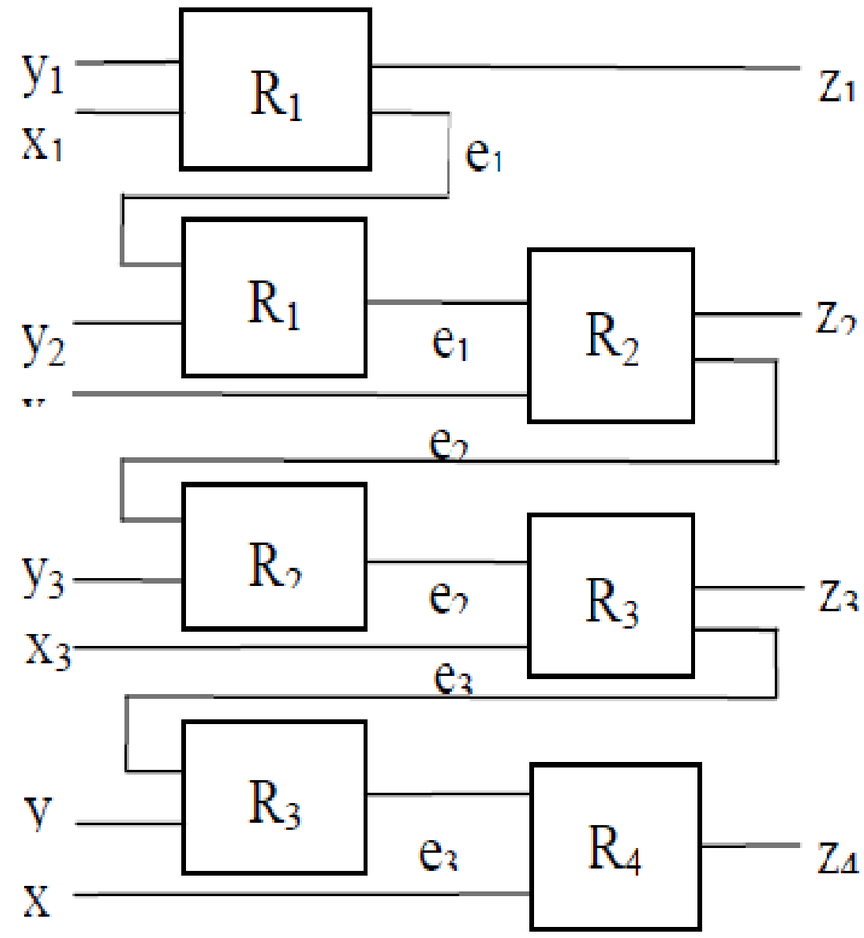


Fig. 5. Extended hierarchical

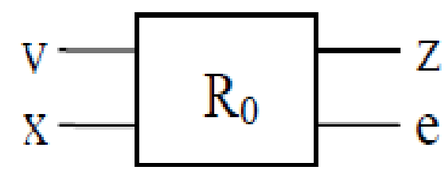
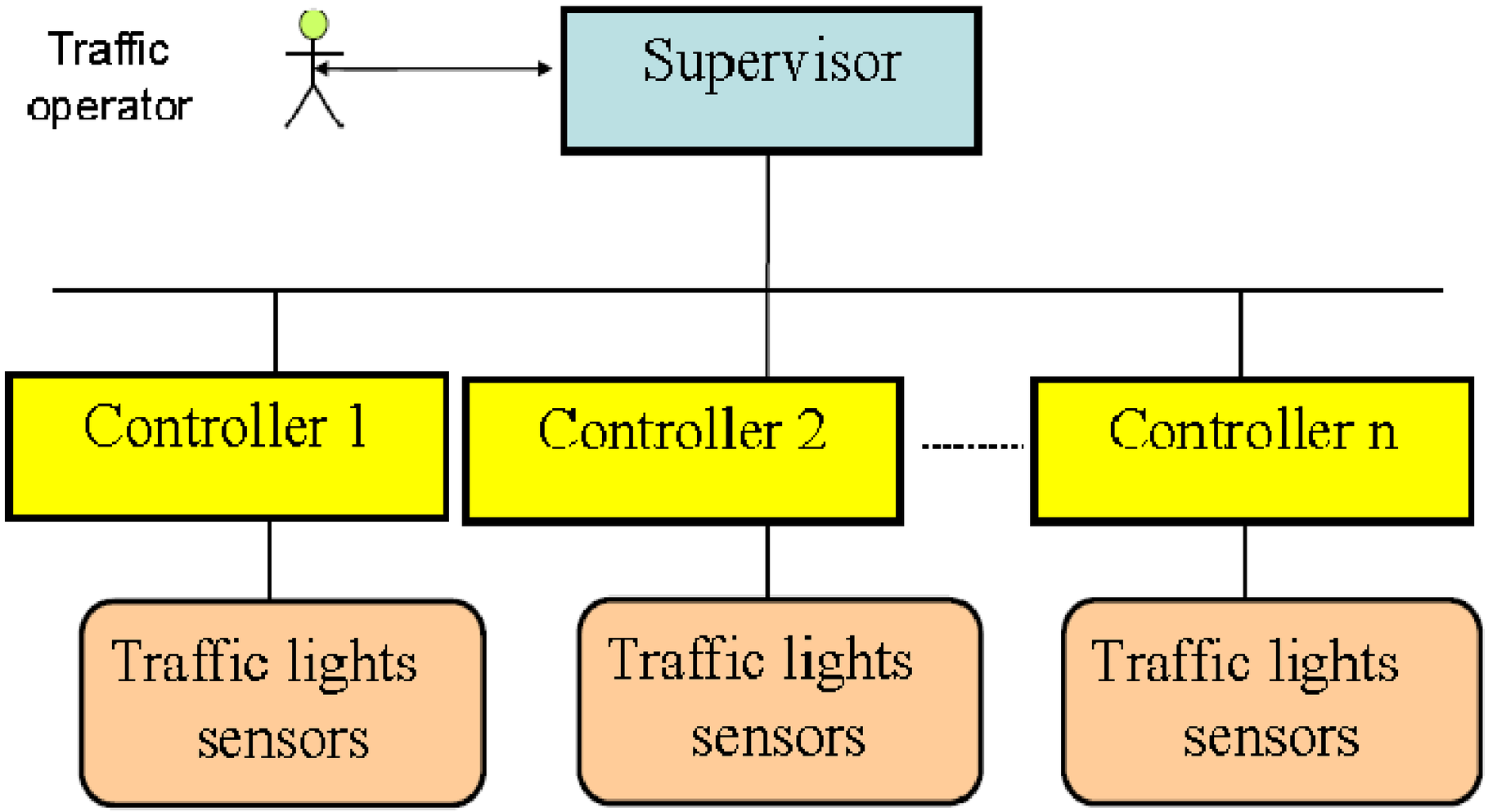
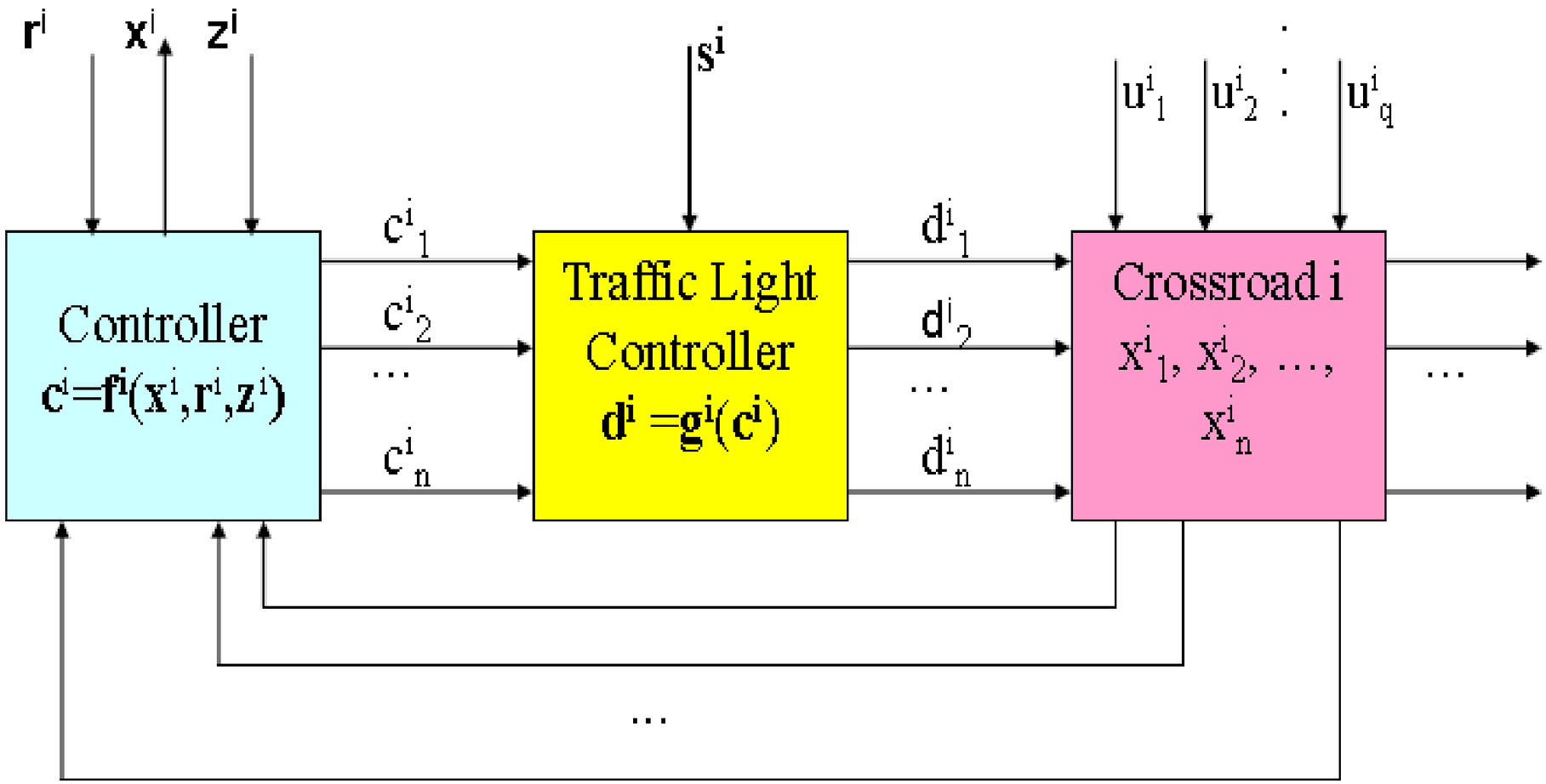


Fig. 6. Generic fuzzy rule set

10.4 Controlul coordonat al intersecțiilor (coordinated control)




r^i
x^i
z^i
s^i
u^i_1
u^i_2
u^i_q
Controller
c^i=f^i(x^i,r^i,z^i)
c^i_1
c^i_2
…
c^i_n
Traffic Light
Controller
d^i =g^i(c^i)
d^i_1
d^i_2
…
d^i_n
Crossroad i
x^i_1, x^i_2, …,
x^i_n
…
…

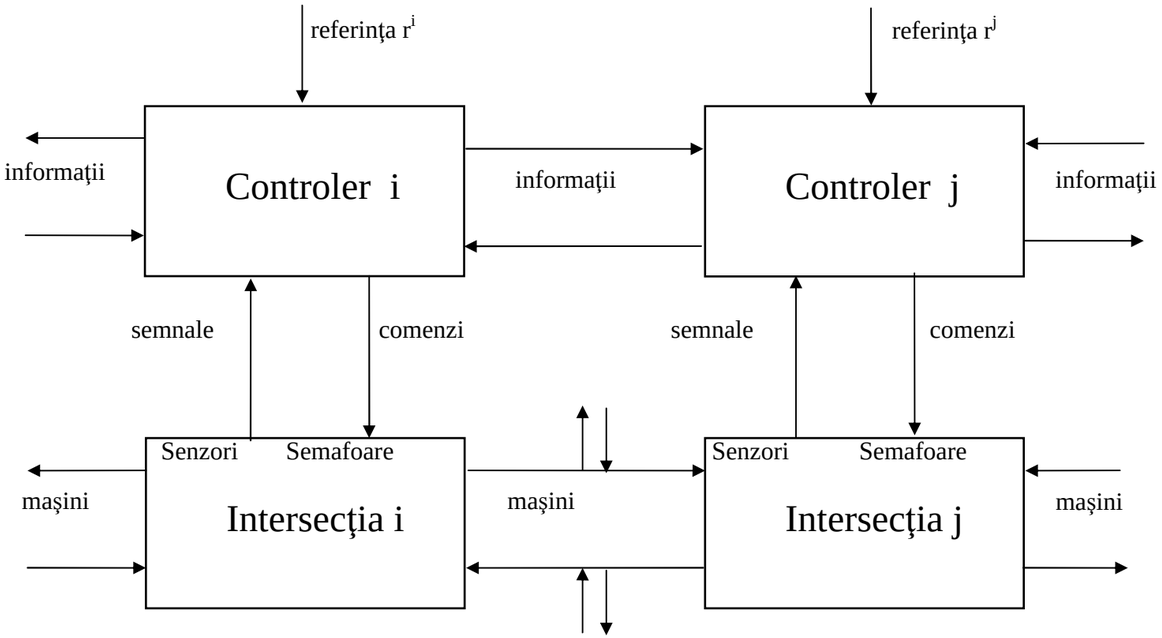


Fig. 8. Structura sistemului de control cu reacţie extinsă.

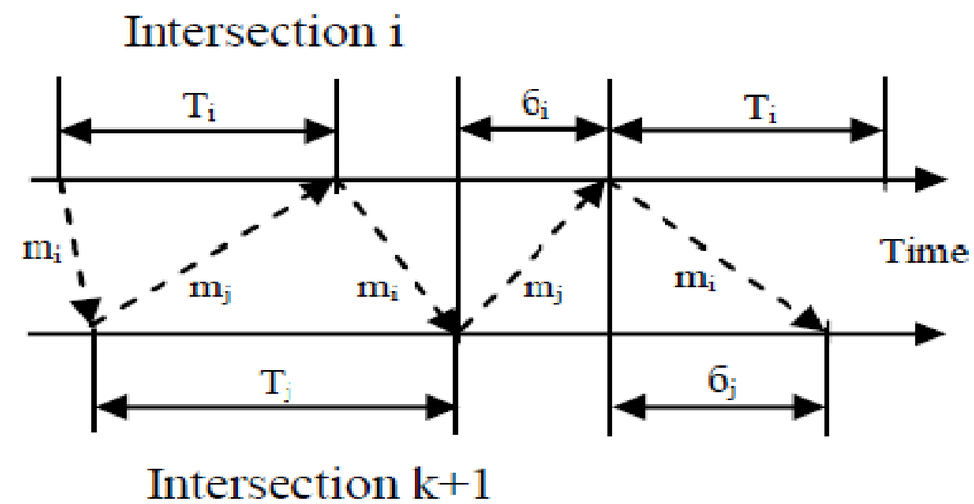


Fig. 9. Informational cooperation between two neighbor controllers.

δ_i este H, M sau L

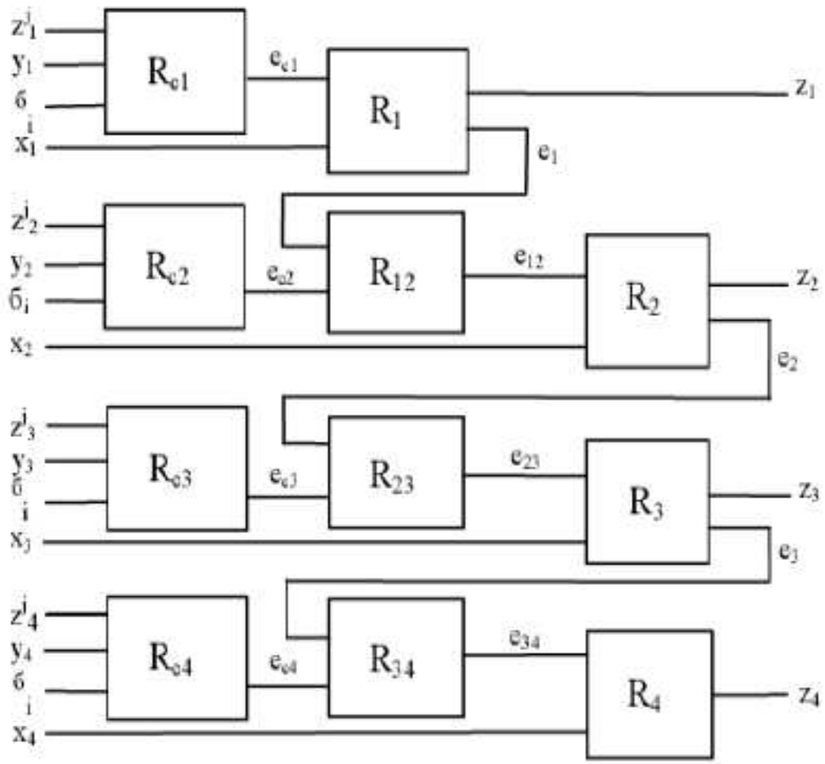


Fig. 9. Coordinated hierarchical structure

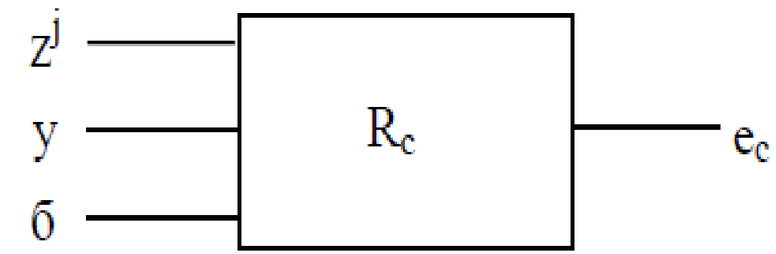


Fig. 10. Coordination rule set template

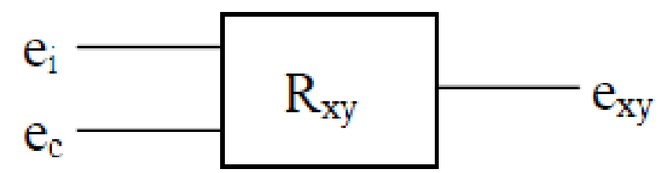


Fig. 11. Bounding rule set template

Setul de reguli R_c conține 27 eguli. Ele sunt construite pe baza următoarelor reguli empirice:

r_1: IF б is H THEN e_c is equal to y

r_2: IF б is L THEN e_c is equal to z^j

r_3: IF (б is M) and (y is H) and (z^j is L) THEN e_c is L

r_4: IF (б is M) and (y is L) and (z^j is H) THEN e_c is H

r_5: IF (б is M) and (y is M) THEN e_c is M

r_6: IF (б is M) and (y is L) and (z^j is M) THEN e_c is M

r_7: IF (б is M) and (y is L) and (z^j is L) THEN e_c is L

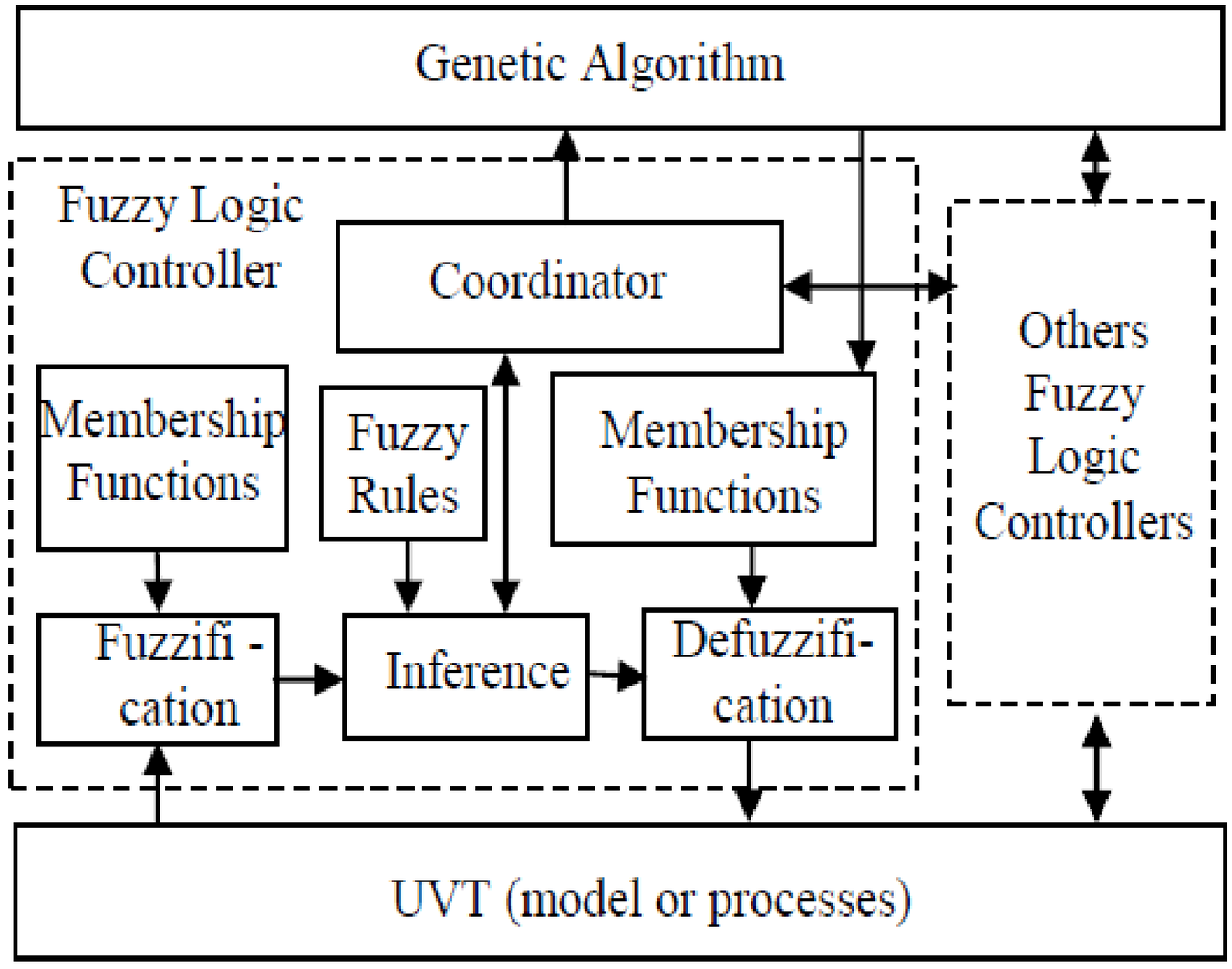


Fig. 12. Genetic design and distributed fuzzy

Funcția de performanță
Selecția indivizilor folosește o funcție de performanță multi-obiectiv, cu 3 componente:

1. Evaluarea congestiei
2. Evaluarea timpului de așteptare
3. Evaluarea ratei de transfer

Intersection 1	Intersection 2	…	Intersection N
$h_1 \mid h_2 \mid h_3 \mid \ldots$	$h_1 \mid h_2 \mid h_3 \mid \ldots$	…	$h_1 \mid h_2 \mid h_3 \mid \ldots$

Fig. 13. The encoding of the membership functions parameters.

Diminuarea vitezei maxime este dată de o funcție empirică, ce ia în considerare numărul de vehicule care rămân in intersecție, precum și structura intersecției. Funcția are forma:

$$c_i = v \cdot k_j$$

unde c_i este congestionarea fazei f_i în perioada curentă de eșantionare, v este numărul de vehicule care rămân temporar în intersecția j (când acceste vehicule au pierdut dreptul de trecere datorită schimbării ulterioare a culorii semaforului) și k_j este un coeficient asignat de operatorul de trafic pentru aceasta intersecție. Valoarea lui k_i este asignată luând în considerare suprafața și structura intersecției.

Viteza curentă maximă a unui vehicul în intersecția i este dată de:

$$s^i_M = s^i_N - c_i$$

unde s^i_M este viteza curentă maximă și s^i_N este viteza maximă nominal în interiorul intersecției. Coeficientul k_i trebuie setat în așa fel încât atunci când suprafața intersecției este ocupată mai mult de 75% de vehicule rămase, viteza maximă curentă să fie aproape de zero.

Valoarea $$J_c = \sum_{k=0}^{TimeHorizon} \sum_{i}^{n} c_i$$

exprimă funcția de performanță care evaluează gradul de congestionare a rețelei de traffic în timpul unui orizont de optimizare.

Evaluarea timpului de așteptare în orizontul de optimizare este calculate astfel:

$$J_w = \sum_{k=0}^{TimeHorizon} \sum_{i}^{n} \sum_{j} x_j^i$$

unde x^i_j este coada de așteptare pe banda de intrare j a intersecției i.

Rata de transfer în timpul orizontului de optimizare este evaluată astfel:

$$J_t = \sum_{k=0}^{TimeHorizon} \sum_{i}^{n} \sum_{j} out_j^i$$

unde out^i_j reprezintă numărul de vehicule care ies (în afara sistemului) din banda de ieșire j a intersecție i.

10.5 Controlul autonom al vehiculelor – Autonomous vehicle control

Nu sunt necesare semafoare.

Cu coordonator

Fiecare vehicul are un agent care comunică cu coordonatorul intersecției (server).

Toate vehiculele care se apropie de o intersecție cer coordonatorului permisiunea de a trece (specificând banda de ieșire). Coordonatorul menține un registru de cereri și acordă dreptul de trecere folosind un planificator echitabil (*fair scheduler*).

Coordonatorul monitorizează continuu fiecare vehicul folosind tehnologii de poziționare (ex: GPS).

Fără coordonator

Agenții vehiculelor negociază direct trecerea prin intersecție folosind un algoritm echitabil.

Temă de casă (Home work)

Concepeţi pentru o arteră de circulaţie urbană un model Distributed Petri Net care implementează unda verde (***green wave***).

Să se facă descrierea pentru 3 intersecţii consecutive.

*

****

Sfârșit

****

*