

T7 Controlul cooperativ al vehiculelor unui pluton

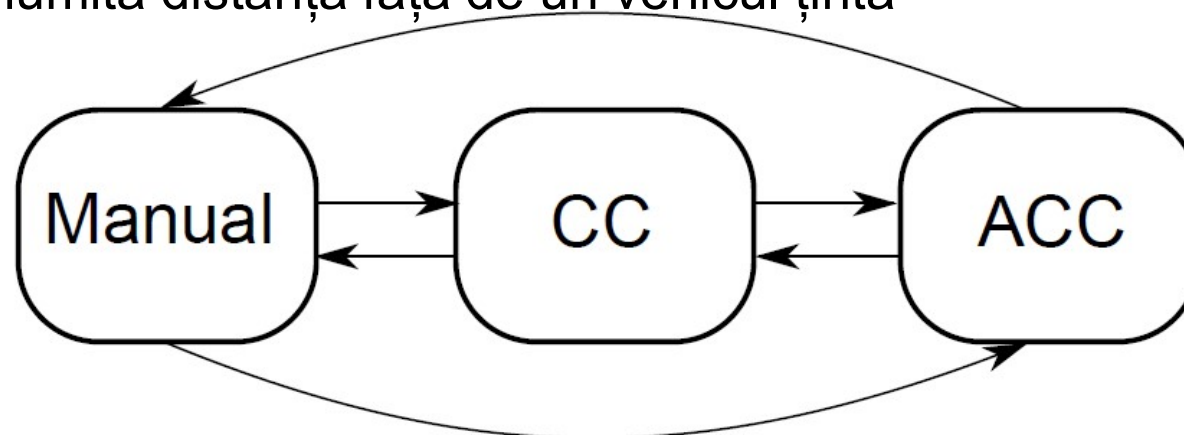
Proiect IRA

Coloană (platoon) de trei vehicule grele deplasându-se cu o viteză impusă de primul camion (leader) și păstrând o anumită distanță între vehicule



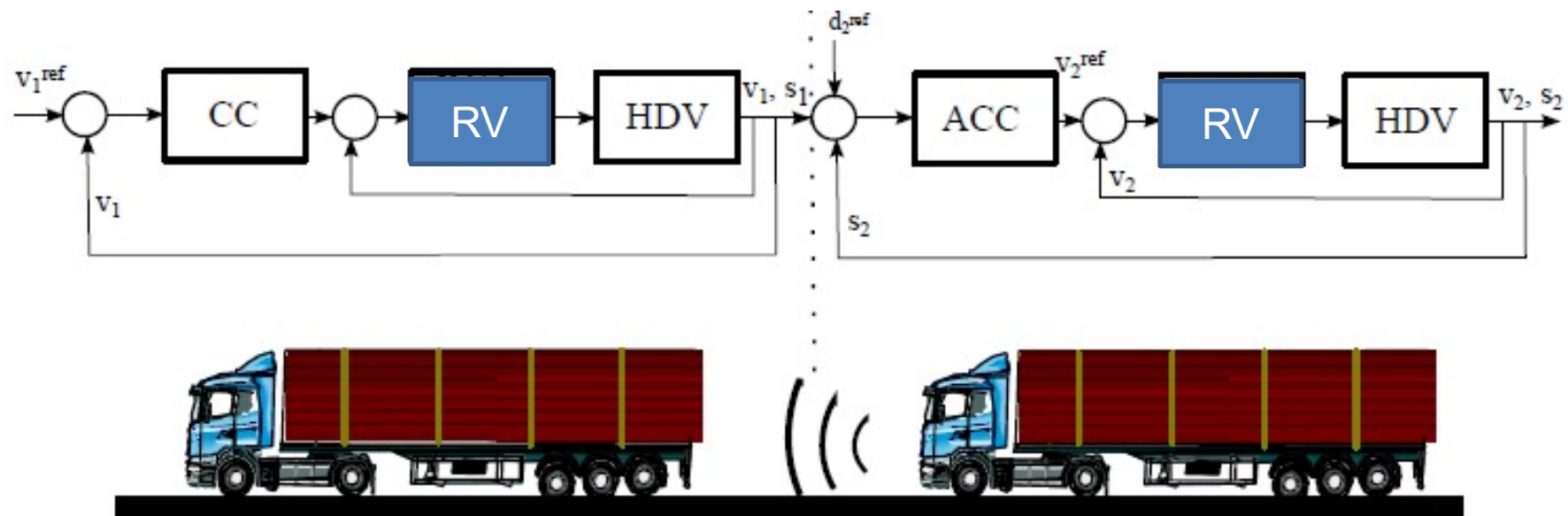
Regimuri de funcționare

- Vehiculul poate avea 3 regimuri de funcționare: manual, CC (cruise control – controlul vitezei de croazieră) și ACC (adaptive cruise control – controlul adaptiv al vitezei de croazieră)
 - Manual: șoferul are controlul total asupra vehiculului (rol de regulator)
 - CC: se menține o anumită referință pentru viteza de croazieră; se dezactivează regimul de funcționare CC la frânare sau prin anularea comenzii CC
 - ACC: se menține o anumită referință pentru viteza de croazieră și o anumită distanță față de un vehicul țintă



CC și ACC

- Regulatorul vehiculului (RV): controlează forța de tracțiune și sistemul de frânare

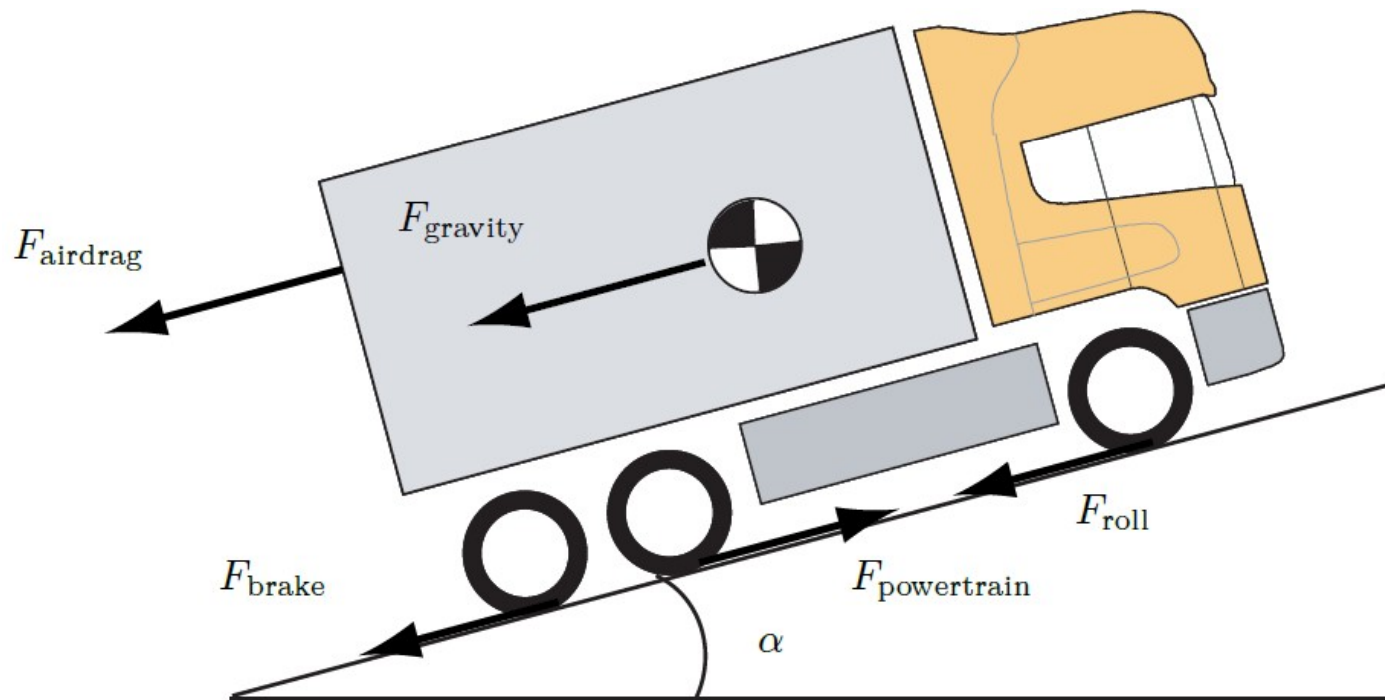


- Notății: v – viteza longitudinală a vehiculului, s – poziția vehiculului, d – distanța dintre vehicule

Modelul vehiculului pentru mișcarea longitudinală

➤ Newton – legea a doua a mișcării

$$m\dot{v} = F_x - F_{brake} - F_{airdrag}(v) - F_{roll}(\alpha) - F_{gravity}(\alpha)$$



Modelul vehiculului pentru mișcarea longitudinală

- F_x – forța de tracțiune datorată cuplului motor transmis la roți prin sistemul de transmisie
- F_{brake} – forța de frânare
- forța aerodinamică: $F_{airdrag}(v) = 0.5\rho C_d A v^2$
 - ρ – densitatea aerului; A – aria secțiunii vehiculului
 - C_d – coeficientul de rezistență a aerului
- forța de rezistență la rulare: $F_{roll}(\alpha) = fmg \cos \alpha$
 - f – coeficientul de rezistență la rulare
- forța datorată gravitației: $F_{gravity}(\alpha) = mg \sin \alpha$
- modelul final: $m\dot{v} = F_x - 0.5\rho C_d A v^2 - fmg \cos \alpha - mg \sin \alpha$

Liniaizarea modelului mișcării longitudinale

- Punct de echilibru: $\dot{v} = 0$ cu F_{x0} , α_0 , v_0
- Variațiile incrementale ale variabilelor
 $v = v_0 + \Delta v$; $F_x = F_{x0} + \Delta F_x$; $\alpha = \alpha_0 + \Delta \alpha$
- Notății: $d = mg(f \sin \alpha_0 - \cos \alpha_0) \Delta \alpha$
 $\tau = m / (\rho C_d A v_0^2)$; $K = 1 / (\rho C_d A v_0^2)$
- Modelul liniar:

$$\tau \Delta \dot{v} + \Delta v = K(\Delta F_x + d) \Rightarrow \Delta v = \frac{K}{\tau s + 1}(\Delta F_x + d) \Rightarrow$$

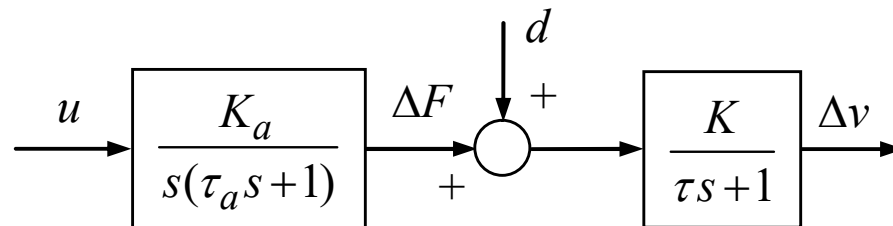
$$G_{long}(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Partea fixată a sistemului CC

- Elementul de execuție => clapeta de admisie acționată cu motor de curent continuu

$$G_a(s) = \frac{K_a}{s(\tau_a s + 1)}$$

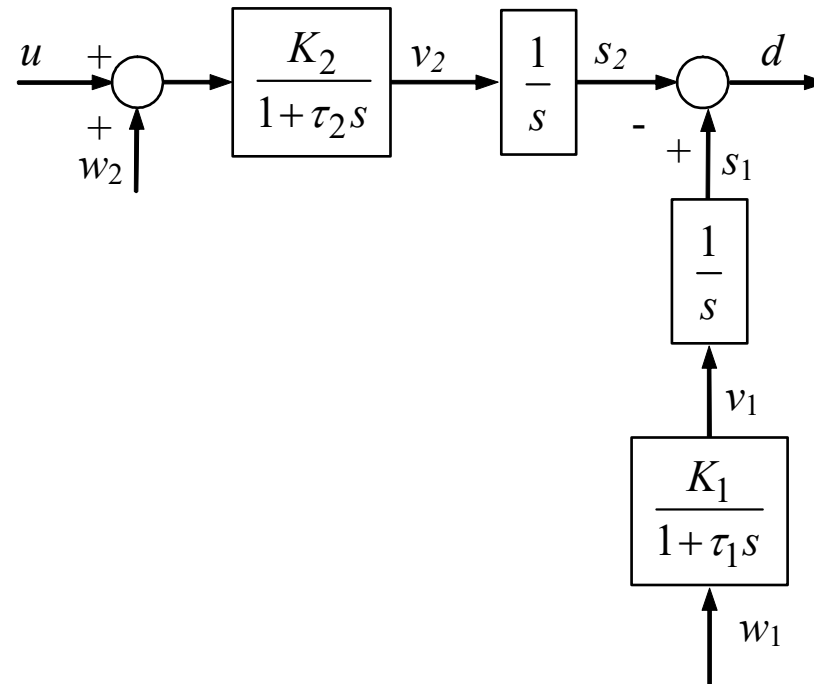
- Modelul părții fixate



Partea fixată a sistemului ACC

- Modelul liniar al unui vehicul: $\Delta v = \frac{K}{\tau s + 1}(\Delta F + d)$
- Notății pentru cele două vehicule

$\Delta v \rightarrow v_1 / v_2$; $\tau \rightarrow \tau_1 / \tau_2$; $K \rightarrow K_1 / K_2$; $\Delta F \rightarrow u$; $d \rightarrow w_1 / w_2$



Partea fixată a sistemului ACC

- Modelul intrare-stare-ieșire:
 - Stări: $x_1 = v_1$, $x_2 = v_2$, $x_3 = d$

$$\dot{x}_1 = -\frac{1}{\tau_1}x_1 + \frac{K_1}{\tau_1}w_1$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{1}{\tau_2}x_2 + \frac{K_2}{\tau_2}u + \frac{K_2}{\tau_2}w_1$$

$$\dot{x}_3 = x_1 - x_2$$

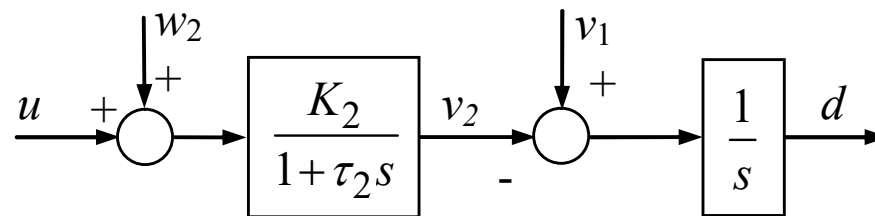
Partea fixată a sistemului ACC

- Dacă se ignoră cele două poziții s_1 și $s_2 \Rightarrow$ modelul de stare cu perturbațiile $w=[v_1 \ w_2]^T$
 - Stări: $x_1 = d$, $x_2 = v_2$

$$\dot{x}_1 = -x_2 + v_1$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{1}{\tau_2}x_2 + \frac{K_2}{\tau_2}(u + w_2)$$

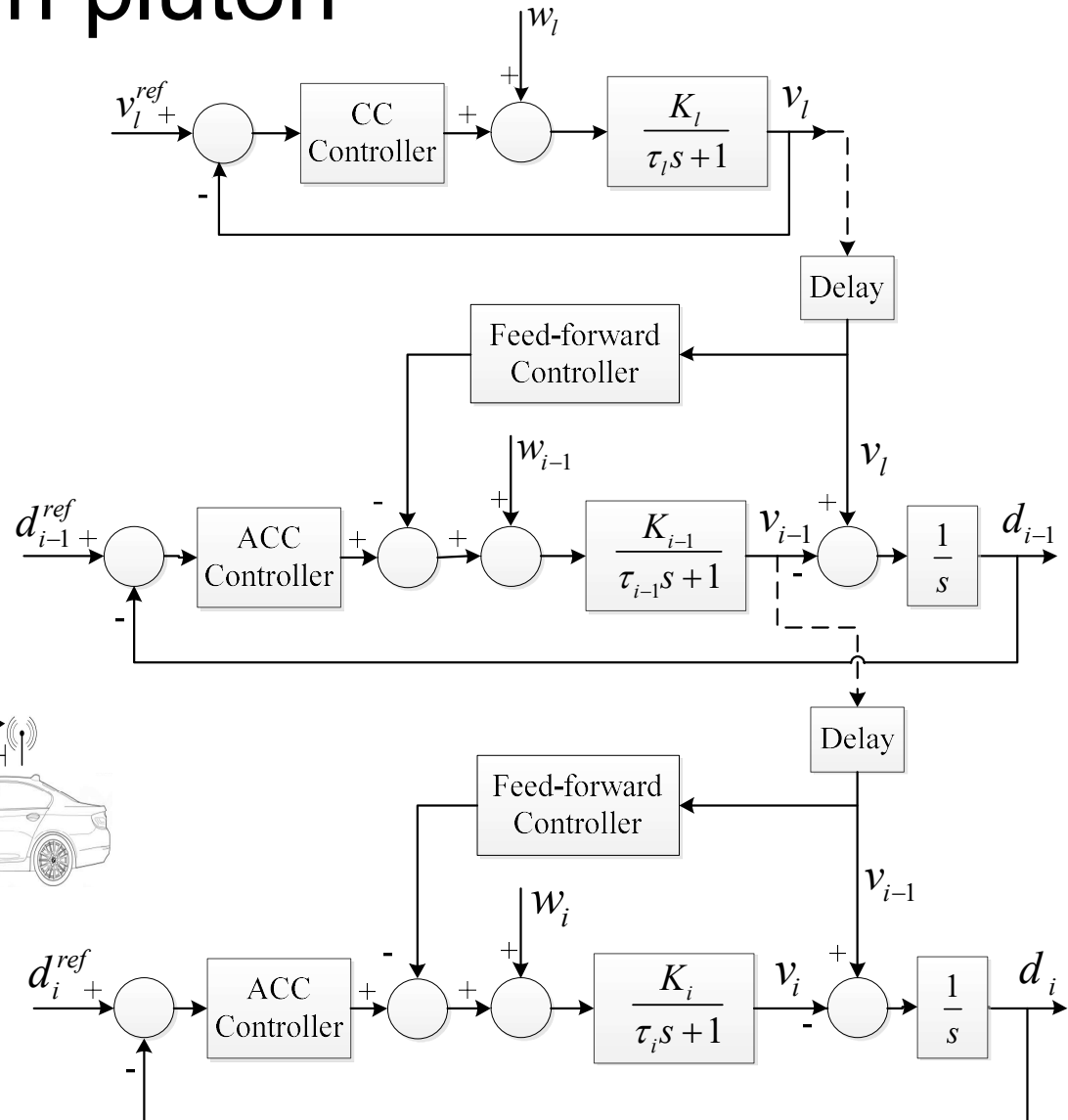
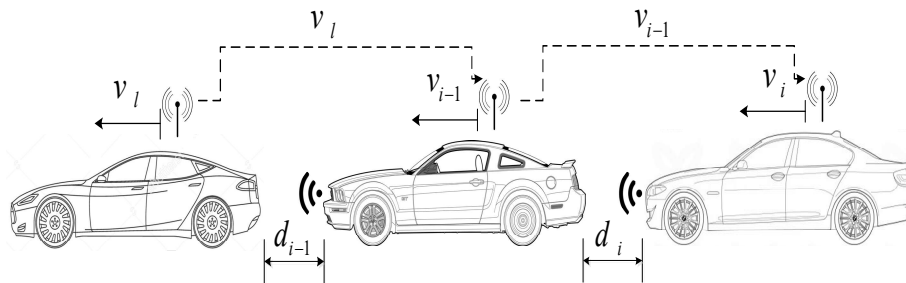
$$d = x_1$$



Controlul cooperativ al vehiculelor dintr-un pluton

- CACC – Cooperative Adaptive Cruise Control

Un vehiculul primește informații de la vehiculul din fața sa



Controlul cooperativ al vehiculelor dintr-un pluton

- Proiectarea regulatorului feed-forward pentru rejecția perturbației măsurabile considerând regulatorul ACC de tip intrare-ieșire

Regulatorul feed-forward ideal: $G_{ff}(z^{-1}) = G_{long}^{-1}(z^{-1})$

Pentru a obtine un regulator realizabil fizic se foloseste aproximarea:

$$G_{long}^{-1}(z^{-1}) \cong \frac{1 + s\tau_i}{K_i(1 + s\tau_i / N)}$$

Controlul cooperativ al vehiculelor dintr-un pluton

- Proiectarea regulatorului feed-forward pentru rejectia perturbației măsurabile considerând regulatorul ACC după stare

Modelul extins $\dot{x} = Ax + bu + dv_{i-1} + fr; \quad y = c^T x$

Legea de reglare $u = u_r + u_{ff} = kx + G_{ff} v_{i-1}; \quad k = [k_1 \quad k_2 \quad k_3 \quad k_4]$

Modelul în circuit închis $\dot{x} = (A + bk)x + (bG_{ff} + d)v_{i-1} + fr; \quad y = c^T x$

F.d.t. în circuit închis în raport cu perturbația v_{i-1}

$$(Is - (A + bk))X(s) = (bG_{ff} + d)V_{i-1}(s); \quad Y(s) = c^T X(s)$$

$$Y(s) = \underbrace{c^T (Is - (A + bk))^{-1} (bG_{ff} + d)}_{G_{op}(s)} V_{i-1}(s)$$

Controlul cooperativ al vehiculelor dintr-un pluton

Rejecția perturbației măsurabile:

$$G_{op}(s) = \frac{s^2(s - k_2 K_i / \tau_i + 1 / \tau_i - G_{ff} K_i / \tau_i)}{s^2(s^2 + (-k_2 K_i / \tau_i + 1 / \tau_i) + k_1 K_i / \tau_i)} = 0$$
$$\Rightarrow G_{ff}(s) = \frac{\tau_i s - k_2 K_i + 1}{K_i} = \frac{1 - k_2 K_i}{K_i} \left(\frac{\tau_i}{1 - k_2 K_i} s + 1 \right)$$

Regulator feed-forward de tip PD

$$K_p = \frac{1 - k_2 K_i}{K_i}; \quad T_d = \frac{\tau_i}{1 - k_2 K_i}$$

Filtrarea componentei derivative pentru realizabilitate

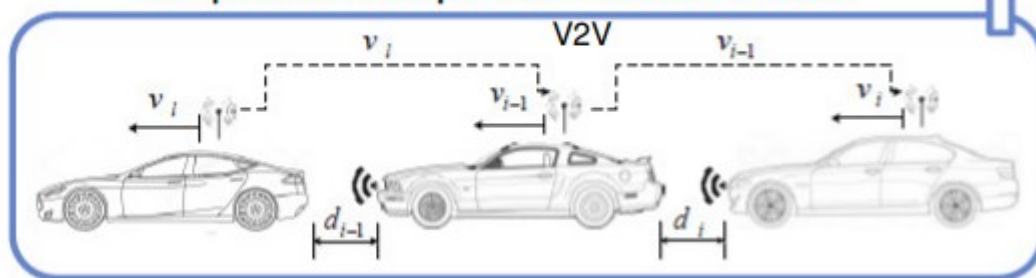
$$G_{ff}(s) = K_p \frac{sT_d + 1}{sT_f + 1}; \quad T_f = T_d / N \quad (\text{uzual } N = 10)$$

Controlul cooperativ al vehiculelor dintr-un pluton

- Călătoria pe autostradă: structură CACC

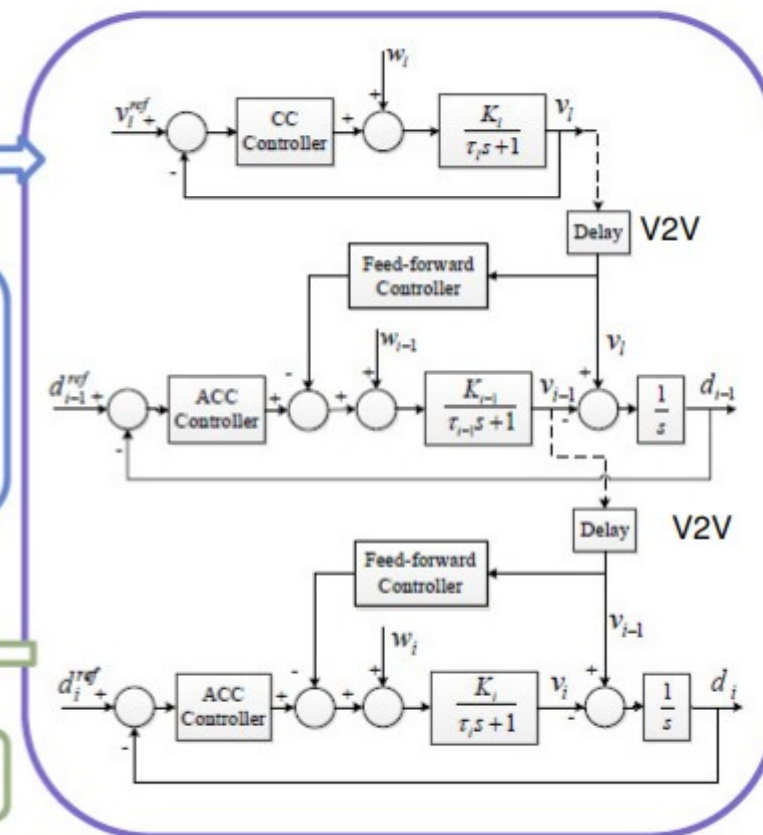
- Informații transmise: poziția, viteza, accelerația

Un pluton echipat cu sistem CACC



r_i - distanța cand vehiculele staționează
 $h_{d,i}$ - interval de timp pt. vehiculele în mișcare

Distanța de referință: $d_i^{ref} = r_i + h_{d,i} v_i$



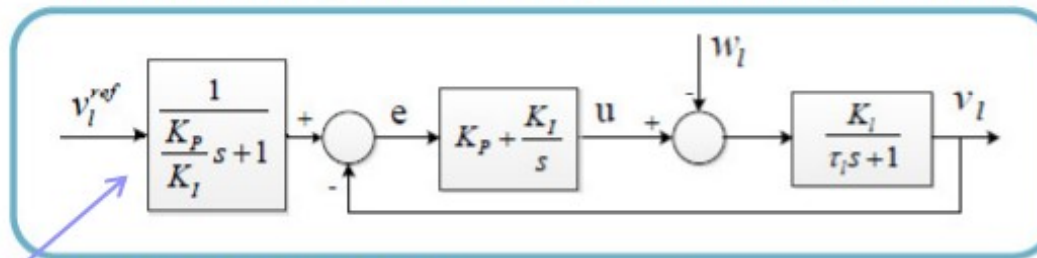
Controlul cooperativ al vehiculelor dintr-un pluton

CC – reglare viteză lider

ACC – reglare distanță urmăritori

CACC – reglare feedforward

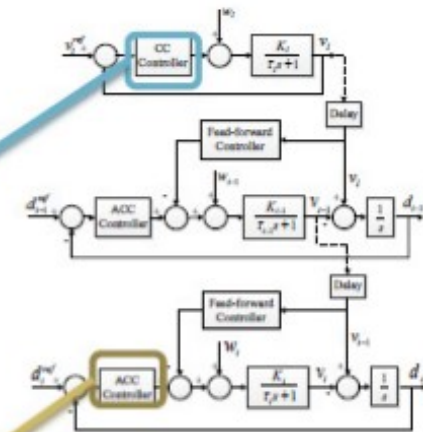
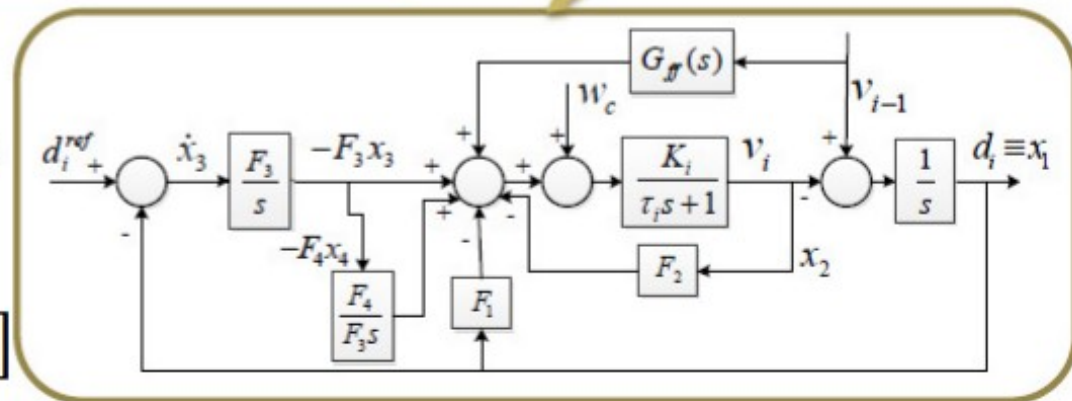
Structura cu regulator CC-PI pentru liderul plutonului



Compensarea zeroului
introdus de regulatorul PI

Structura cu regulator ACC
bazat pe reglarea după
stare pentru urmăritori

$$u_r = \mathbf{F}\mathbf{x}; \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & F_4 \end{bmatrix}$$



Bibliografie

1. Ulsoy A.G., Peng H., Cakmakci M., *Automotive Control Systems*, Cambridge University Press, 2012
2. Tiganașu A., Lazar C., Caruntu CF, *Design and simulation evaluation of cooperative adaptive cruise control for a platoon of vehicles*, International Conference on System Theory Control and Computing, Sinaia, October 13-15, 2016