Controle de estabilidade veicular com MPC baseado em modelo LTI com perturbação e restrições utilizando parametrização

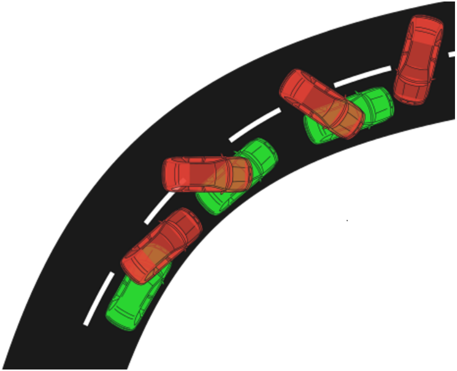
Zoé Magalhães
zoe.magalhaes@unb.br

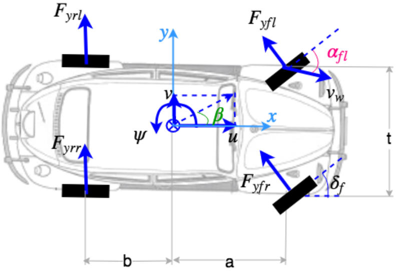
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Brasília

- Objetivo

Controlador que calcule o momento de guinada externo necessário para:

- corrigir o deslizamento lateral
- corrigir o erro na taxa de guinada





Movimento lateral:

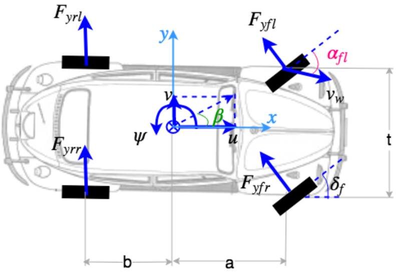
$$mu\left(\dot{\beta}+\dot{\psi}\right)-m_s h_s\ddot{\phi}=\sum F_y$$

Guinada:

$$I_{zz}\ddot{\psi}-I_{xz}\ddot{\phi}=a(F_{yfl}+F_{yfr})-b(F_{yrl}+F_{rr})+M_u$$

Rolagem:

$$I_{xx}\ddot{\phi}-I_{xz}\ddot{\psi}=m_s h_s u(\dot{\beta}+\dot{\psi})+m_s h_s g\sin(\phi)-(k_{\phi f}+k_{\phi r})-(c_{\phi f}+c_{\phi r})\dot{\phi}$$



Movimento lateral:

$$mu\left(\dot{\beta}+\dot{\psi}\right)-m_s h_s\ddot{\phi}=\sum F_y$$

Guinada:

$$\begin{aligned}I_{zz}\ddot{\psi}-I_{xz}\ddot{\phi}&=a(F_{yfl}+F_{yfr})\\&\quad-b(F_{yrl}+F_{rr})+M_u\end{aligned}$$

Rolagem ($\phi<\pi/16rad$):

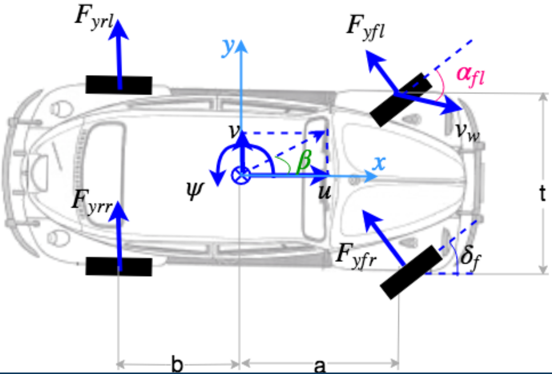
$$\begin{aligned}I_{xx}\ddot{\phi}-I_{xz}\ddot{\psi}&=m_s h_s u(\dot{\beta}+\dot{\psi})\\&\quad+m_s h_s g\phi-(k_{\phi f}+k_{\phi r})\phi\\&\quad-(c_{\phi f}+c_{\phi r})\dot{\phi}\end{aligned}$$

Força lateral das rodas(linearização):

$$F_{yfi} = C_f \alpha_f \quad F_{yri} = C_r \alpha_r$$

Deslizamento das rodas(linearização):

$$\alpha_f = -\beta - \frac{a\dot{\psi}}{u} + \delta_f \quad \alpha_r = -\beta + \frac{b\dot{\psi}}{u}$$



Modelo compacto:

$$x = [\beta \quad \dot{\psi} \quad \dot{\phi} \quad \phi]^T$$
$$M\dot{x} = A_M x + B_M M_u + E_M \delta_f$$

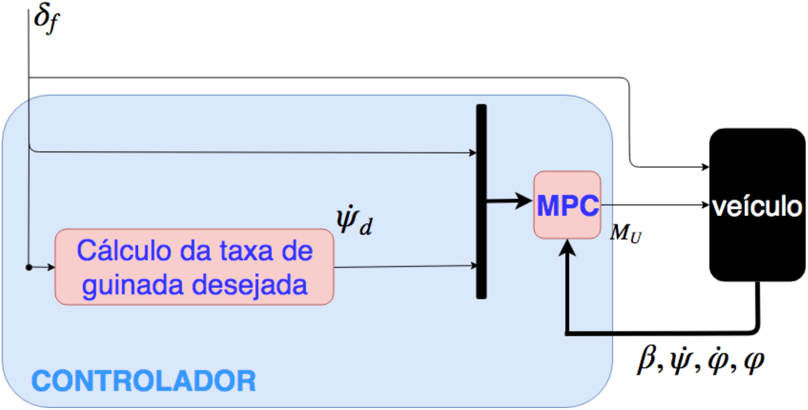
Espaço de estado:

$$\dot{x} = Ax + [B \quad E]u$$
$$y = x$$

$$A = M^{-1}A_M \quad B = M^{-1}B_M \quad E = M^{-1}E_M$$
$$u = [M_U \quad \delta_f]^T$$

Espaço de estado discreto obtido no Matlab com c2d:

$$x[k] = A_d x[k-1] + B_d u[k] \quad y[k] = x[k]$$


δ_f
$\dot{\psi}_d$
Cálculo da taxa de guinada desejada
MPC
M_U
veículo
$\beta, \dot{\psi}, \dot{\varphi}, \varphi$
CONTROLADOR

- Adaptação do MPC para perturbação medida

$$x[k] = Ax[k-1] + B_d \begin{bmatrix} M_u[k] \\ \delta_f \end{bmatrix}$$

$$B_d = \begin{bmatrix} B & E \end{bmatrix}$$

- $Q_U \in \mathbb{R}^{2,2}$. Mas a ponderação do segundo comando é zero, porque ele não é controlado..
- O segundo comando é restrito no valor medido a priore de δ_f.

Tabela: Parâmetros do modelo utilizados na simulação

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
a	1.035 m	$c_{\phi f}$	2823N m s/rad
b	1.655 m	$c_{\phi r}$	2652N m s/rad
t_f	1.520 m	$k_{\phi f}$	47298N m /rad
t_r	1.540 m	$k_{\phi r}$	47311N m /rad
hs	0.451 m	Q_U	1e-10
hg	0.550 m	Q_Y	diag(4,1,1e-3,1e-3)
m	1704.7 Kg	I_{xz}	50 Kgm^2 z
m_s	1526.9 Kg	I_{xx}	744.0 Kgm^2
I_{zz}	3048.1 Kgm^2	C_α	90624 N/rad

- Modelo estável em malha aberta. Autovalores de A_d com módulo menor do que 1.

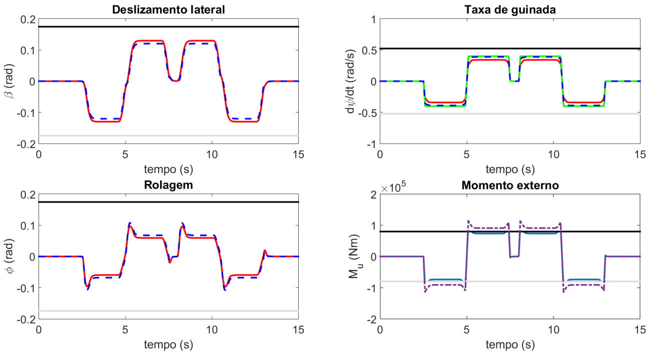
Por isso desempenho esperado para o MPC foi

- Respeitando as restrições do controle fazer a taxa de guinada rastrear uma trajetória, mantendo o ângulo de deslizamento lateral β e o ângulo de rolagem ϕ com módulo inferior a $\pi/18$ rad para que o sistema se mantenha próximo a região de linerização, em que deve ser estável.

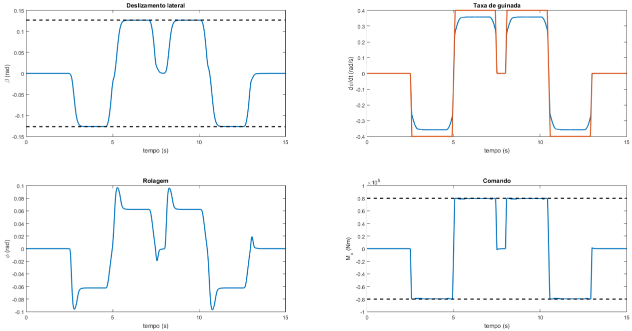
Manobra simulada:

- manobra *doublelane*("mudança dupla de faixa") a 80km/h em 10 segundos com esteçamento das rodas dianteiras de até $\pi/16$ rad.

Parametrização trivial



Parametrização geral Ni = 0 50 75 ;



- Foi observado que com a restrição do sinal de comando, o erro da taxa de guinada aumenta.
- Os estados nem chegaram a alcançar o limiar da restrição.
- Quando tentou-se aplicar uma restrição aos estados, mesmo com a restrição do controle em 10e20, a otimização tornou-se sem solução porque o espaço de busca tornou-se vazio.