

Local Path Planning with Moving Obstacle Avoidance based on Adaptive MPC in ATLASCAR2

Tesi di Laurea in Ingegneria dell'Automazione

Relatore: Prof. Angelo Cenedese
Correlatore: Prof. Vitor Santos

Laureando: Alberto Franco

15 Aprile 2019



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Questo lavoro di tesi è stato sviluppato all'interno del progetto ATLAS:

- Creato dal gruppo di Automazione e Robotica dell'Università di Aveiro
- L'obiettivo è sviluppare sistemi per la navigazione autonoma delle automobili
- 2003 - 2010 Modelli piccola scala
2010 - 2019 Automobili
- 3 LIDAR, 1 Telecamera, 1 Sensore inclinometrico, 1 Unità GNSS



universidade
de aveiro



Figura 1: *ATLASCAR2*
Mitsubishi iMiEV
elettrica del 2015

Motivazioni:

- Sono stati sviluppati sistemi di navigazione globali
- Sistema di pianificazione locale in ambiente statico

Obiettivi:

- Sistema di anticollisione con ostacoli in movimento
- Sistema di assistenza al mantenimento della corsia

⇒ Algoritmi basati su ottimizzazione matematica.

Model Predictive Control:

- tecnica avanzata basata su ottimizzazione matematica
- prevede il comportamento futuro utilizzando un modello dinamico LTI
- predizioni non esatte - insensibile agli errori di predizione - performance inaccettabili

⇒ Tecnica adottata: **Adaptive Model Predictive Control**

- adatta il modello di predizione per cambiare le condizioni operative
- struttura di modello fissa, ma consente ai parametri del modello di evolvere nel tempo

Dato un sistema discreto LTI:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}\mathbf{u}(k)$$

L'idea è quella di minimizzare la funzione obiettivo assicurando che i vincoli siano rispettati:

minimizzare $\mathbf{J}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u})$
 \mathbf{u}

soggetto a $\mathbf{x}_{k+i+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_{k+i} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k+i} \quad \forall i = 0, \dots, N-1;$

$\mathbf{x}_{k+i} \in \mathcal{X} \quad \forall i = 0, \dots, N-1;$

$\mathbf{u}_{k+i} \in \mathcal{U} \quad \forall i = 0, \dots, N-1;$

$\mathbf{x}_{k+N} \in \mathcal{X}_f; \quad \mathbf{x}_k = \mathbf{x}(k).$

Moving Obstacle Avoidance System

(sistema di anticollisione con ostacoli in movimento)

Il modello utilizzato è il seguente:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos(\theta) \\ \dot{y} = v \sin(\theta) \\ \dot{\theta} = \frac{v}{C_L} \tan(\delta) \\ \dot{v} = 0.5 \cdot T \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \\ \mathbf{y} = \mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \end{cases} \quad \text{where} \quad \begin{aligned} \mathbf{x} &= [x \quad y \quad \theta \quad v]^T \\ \mathbf{u} &= [T \quad \delta]^T \end{aligned}$$

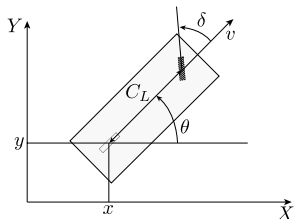
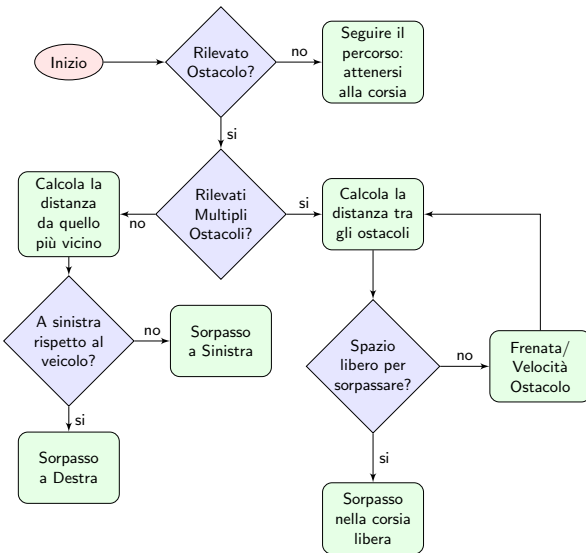


Figura 2: *Bicycle model*

Per usare l'MPC, il sistema è stato:

- linearizzato con un'approssimazione del primo ordine
- discretizzato con il metodo di Eulero (tempo campionamento T_s)

\Rightarrow Ipotesi: tutti gli stati sono misurabili



L'ATLASCAR2 deve:

- seguire una velocità di riferimento
- rimanere nel mezzo della corsia centrale

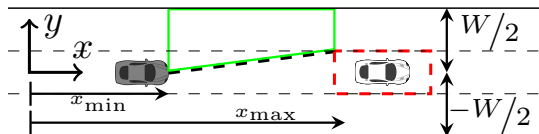
Per definire l'area del sorpasso usiamo i seguenti vincoli di ingresso/uscita:

$$\mathbf{Eu} + \mathbf{Fy} \leq \mathbf{G}$$

dove **E**, **F** e **G** sono aggiornate ogni T_s

Figura 3: *Algoritmo decisionale*

L'area del sorpasso è definita come $\mathbf{E}u + \mathbf{F}y \leq \mathbf{G}$ dove: $\Rightarrow \mathbf{E} = \mathbf{0}_{5 \times 2}$



$$\Rightarrow \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ cS & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 4: Vincoli nel sorpasso a sinistra.

Sono stati definiti i seguenti vincoli:

- 1 limite superiore coordinata y
- 2 limite inferiore coordinata y
- 3 linea veicolo-angolo della zona di sicurezza
- 4 limite destro coordinata x
- 5 limite sinistro coordinata x

$$\Rightarrow \mathbf{G} = \begin{bmatrix} W/2 \\ W/2 \\ -cl \\ x_{\max} \\ x_{\min} \end{bmatrix}$$

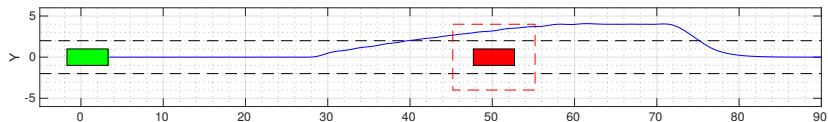


Figura 5: *Sorpasso a sinistra di un ostacolo in movimento (animazione)*

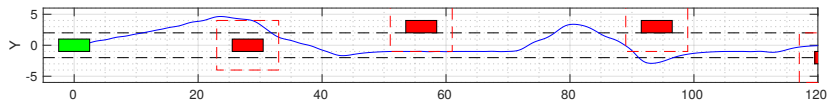


Figura 6: *Sorpasso di 6 ostacoli in movimento (animazione)*

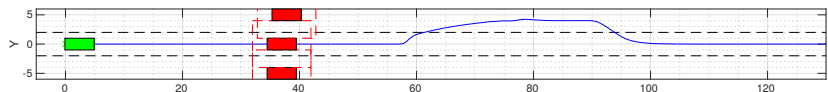
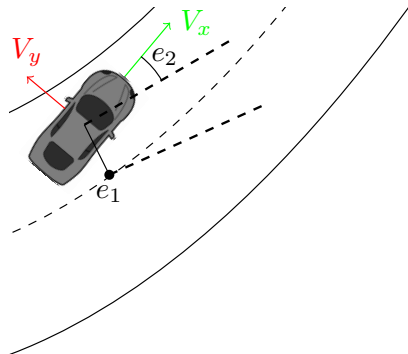


Figura 7: *Frenata e sorpasso di 3 ostacoli in movimento (animazione)*

Lane Following System

(sistema di assistenza al mantenimento della corsia)



Obiettivo: il veicolo deve seguire la linea centrale, con una velocità di riferimento.

Dinamica del veicolo:

- Longitudinale → Funzione di trasferimento del primo ordine.
- Laterale → Bicycle model parametrizzato

Dinamica dei Sensori

e_1 = Deviazione Laterale

e_2 = Tasso di imbardata relativo



Devono essere guidati a zero

Modello complessivo: viene discretizzato secondo Eulero, tiene conto dell'intera dinamica e degli errori.

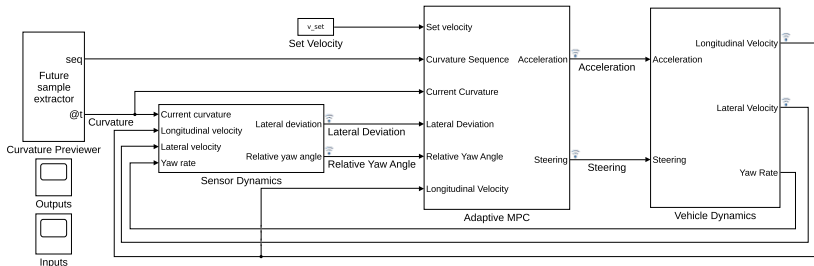


Figura 8: *Schema di controllo per il mantenimento della corsia*

Adaptive MPC: modello predittivo con 6 stati, 3 output, 2 variabili indipendenti. Abbiamo vincolato l'accelerazione e l'angolo di sterzata per una guida più confortevole.

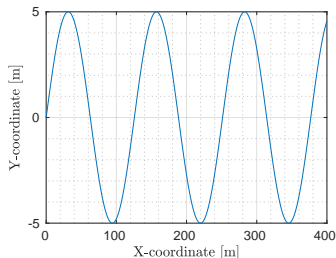


Figura 9: *Traiettorie Sinusoidale*

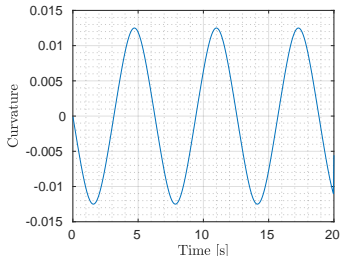


Figura 10: *Curvatura*

Esempio: **Percorso Sinusoidale**

$$X_{\text{ref}} = V_x \cdot t, \quad t \in [0, 20]\text{s}$$

$$Y_{\text{ref}} = 5 \sin(X_{\text{ref}}/20)$$

Ipotesi:

→ Velocità iniziale 15 m/s

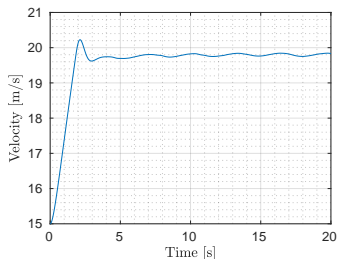
→ Velocità di crociera 20 m/s

Calcoliamo la **Curvatura**:

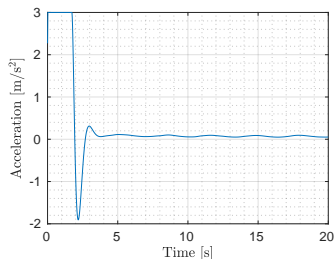
$$\kappa = \frac{x' y'' - x'' y'}{(x'^2 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

che sarà il riferimento da inseguire

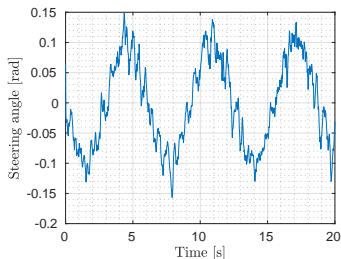
Risultati Simulativi - parte 2



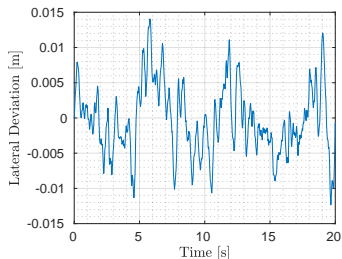
Velocità Longitudinale V_x



Accelerazione u_1



Angolo di Sterzata u_2



Deviazione Laterale e_1

Conclusioni:

- Sistema di anticollisione in ambiente dinamico
- Sistema Lane Keeping Assist

Sviluppi futuri:

- Combinazione in un unico schema di controllo
- Implementazione in ambiente ROS-Gazebo
- Dati reali collezionati dai sensori dell'ATLASCAR2 per testare gli algoritmi



⇒ A. Franco, V. Santos, *"Short-term Path Planning with Multiple Moving Obstacle Avoidance based on Adaptive MPC"*, IEEE ICARSC 2019, Porto, April 24-26

Grazie per l'attenzione!

(Obrigado)