

Assignment 2: Motion Control

Low-speed Lateral Control and Additional Plots

Francesco Caligiuri

Matr. 207688

Corso: Platforms and Algorithms for Autonomous Driving

AA 2024/2025 – Consegna: 13/01/2025

Contents

1	Introduzione Generale	2
2	Exercise 1: Longitudinal Control (PID)	2
2.1	Descrizione e Setup	2
2.2	Risultati e Commenti	2
2.3	Conclusioni per Exercise 1	4
3	Exercise 2: Low-speed Lateral Control	5
3.1	Descrizione e Setup	5
3.2	Risultati e Osservazioni	5
3.3	Conclusioni per Exercise 2	6
4	Exercise 3: High-speed Lateral Control	6
4.1	Descrizione e Setup	6
4.2	Risultati e Osservazioni	7
4.3	Conclusioni per Exercise 3	7
5	Conclusioni	7

1 Introduzione Generale

In questo report vengono discussi i risultati relativi all'Assignment 2, incentrato sul *Motion Control* del veicolo. Le simulazioni hanno riguardato in particolare:

- **Exercise 1:** Controllo longitudinale (PID) a velocità costante
- **Exercise 2:** Controllo laterale a 10m/s e 20m/s (Low-speed Lateral Control), in cui si sono sperimentati i metodi **PurePursuit** e **Stanley**
- **Exercise 3:** Controllo laterale a 23 m/s e 25 m/s ed inserimento del curvature-based lookahead

Le simulazioni sono state sviluppate partendo dal modello di veicolo non lineare (single-track) già implementato nel codice `simulation.py`, in cui sono integrati i metodi **RK4** (per la dinamica del veicolo). Per il tracking del path `oval_trj.txt`, si è fatto uso di **PurePursuit** e **Stanley** come controllori di sterzata, con l'obiettivo di mantenere un errore laterale inferiore a 1 m e un errore di velocità finale inferiore al 5% del target.

Di seguito sono riportate le simulazioni e i relativi risultati, suddivisi per esercizio, con i grafici salvati nella cartella `Results/` per facilità di consultazione.

2 Exercise 1: Longitudinal Control (PID)

2.1 Descrizione e Setup

In questo esercizio, l'obiettivo è far tracciare al veicolo una velocità riferimento di 15 m/s (e poi 25 m/s) mediante un controllore PID longitudinale. Si è mantenuta la sterzata a zero, così da osservare soprattutto la dinamica longitudinale.

I parametri PID scelti sono:

- $k_p = 1.5$
- $k_i = 0.6$
- $k_d = 0.06$
- `output_limits` = $[-2, +2] \text{ m/s}^2$ (per antiwindup).

Il tempo di simulazione è di 90 s, con passo 0.001 s (RK4, modello nonlineare).

2.2 Risultati e Commenti

Dai grafici seguenti si nota come il controllore PID adegui l'accelerazione longitudinale a_x (vedi Figure 1) per far convergere la velocità verso il setpoint (vedi Figure 2).

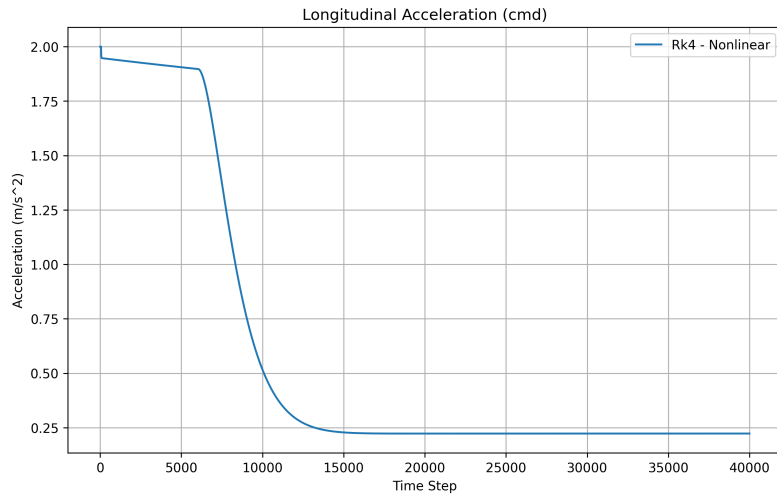


Figure 1: Longitudinal Acceleration Command nel tempo.

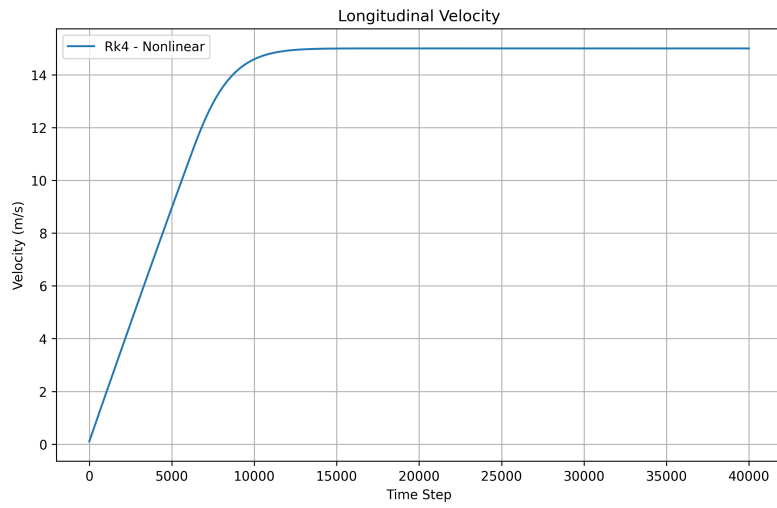


Figure 2: Andamento della velocità longitudinale: si osserva che il PID raggiunge $\pm 5\%$ dell'errore dopo pochi secondi.

Come atteso, il veicolo segue una traiettoria pressochè rettilinea, e il lateral error ≈ 0 m (vedi Figure 3).

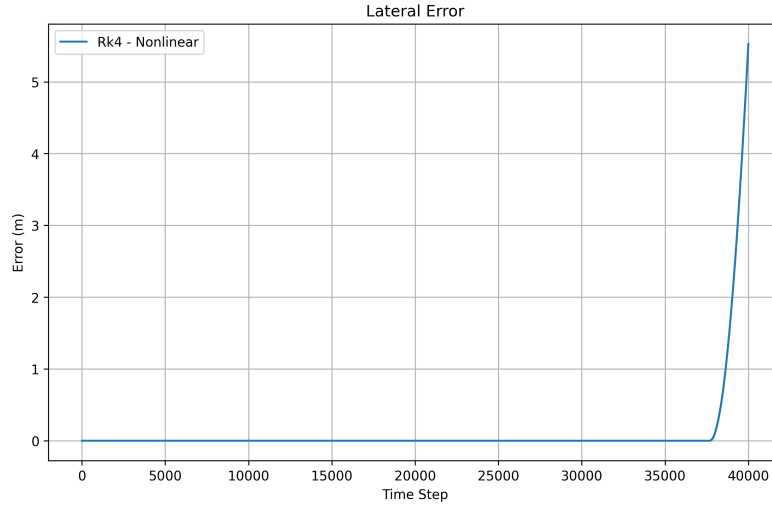


Figure 3: Errore laterale, sostanzialmente nullo poichè lo sterzo rimane a zero.

Per quanto riguarda gli angoli di slittamento (α_f e α_r) e le forze laterali, in assenza di sterzata e con la velocità longitudinale stabilizzata, risultano quasi nulli (vedi Figure 4 e Figure 5).

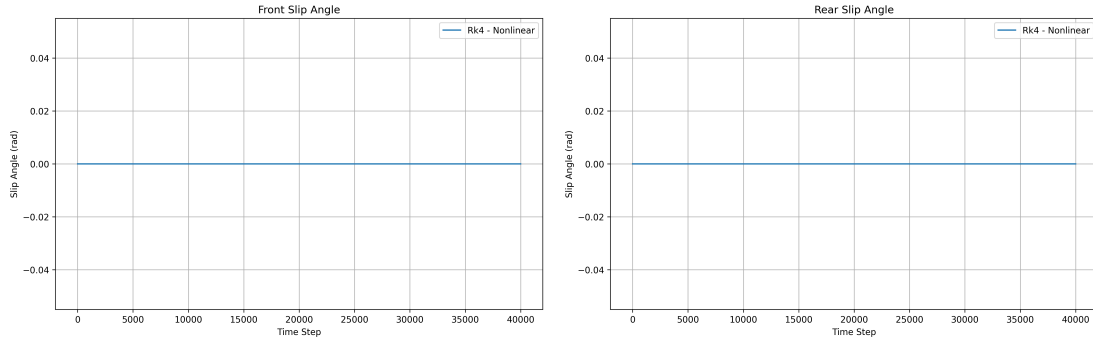


Figure 4: Front e Rear Slip Angles: rimangono pressochè zero.

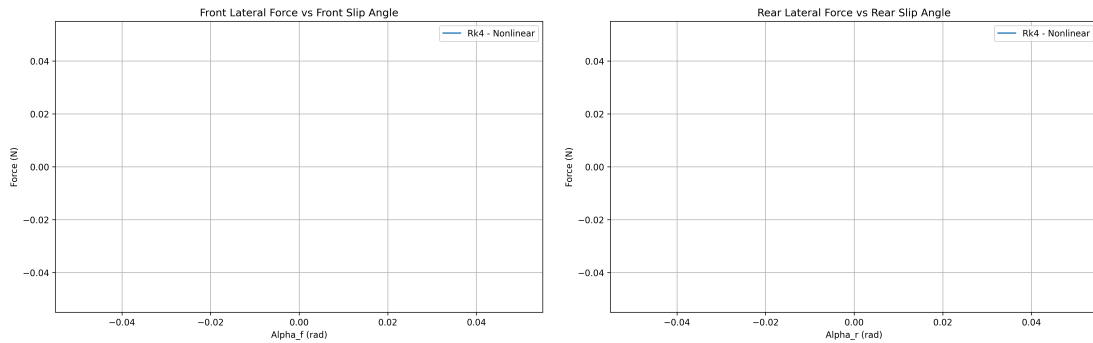


Figure 5: Forze laterali frontali e posteriori in funzione degli angoli di slittamento. Essendo $\alpha \approx 0$, i punti restano vicini all'origine.

2.3 Conclusioni per Exercise 1

Il controllore PID longitudinale, con i parametri sopra, consente di raggiungere la velocità desiderata in modo stabile, rispettando l'errore $< 5\%$. L'errore laterale è irrilevante

(sterzata=0). In definitiva, la strategia di controllo proposta è efficace nel seguire un riferimento di velocità in un contesto stazionario.

3 Exercise 2: Low-speed Lateral Control

3.1 Descrizione e Setup

In questo esercizio, l'obiettivo è testare il controllo laterale a basse velocità (10 m/s e 20 m/s) utilizzando due diversi metodi:

1. **PurePursuit** con parametri $k_{pp}=0.001$ e $look_ahead=2.0$.
2. **Stanley** con $k_{stanley}=1.0$.

I criteri di successo includono:

- Errore laterale < 1 m.
- Errore di velocità $< 5\%$ dopo un tempo di assestamento.
- Completamento del percorso almeno una volta.

3.2 Risultati e Osservazioni

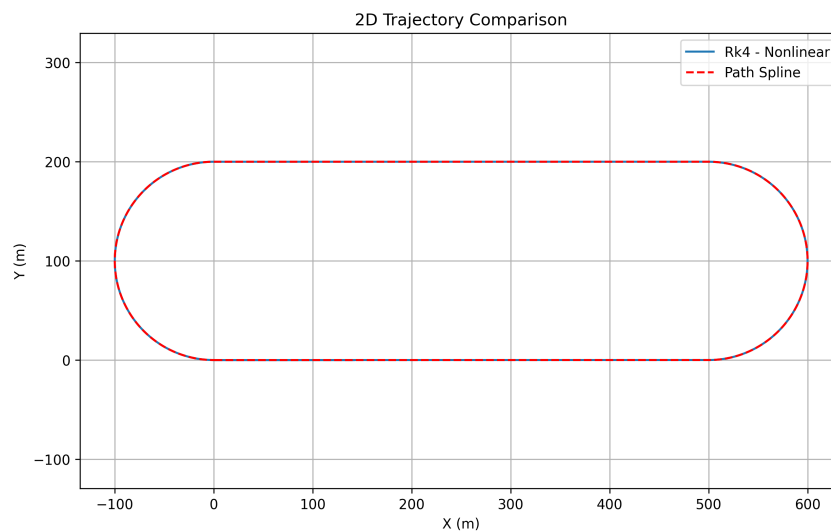


Figure 6: Traiettorie con **PurePursuit** a 10 m/s. L'errore laterale rimane sotto 1 m.

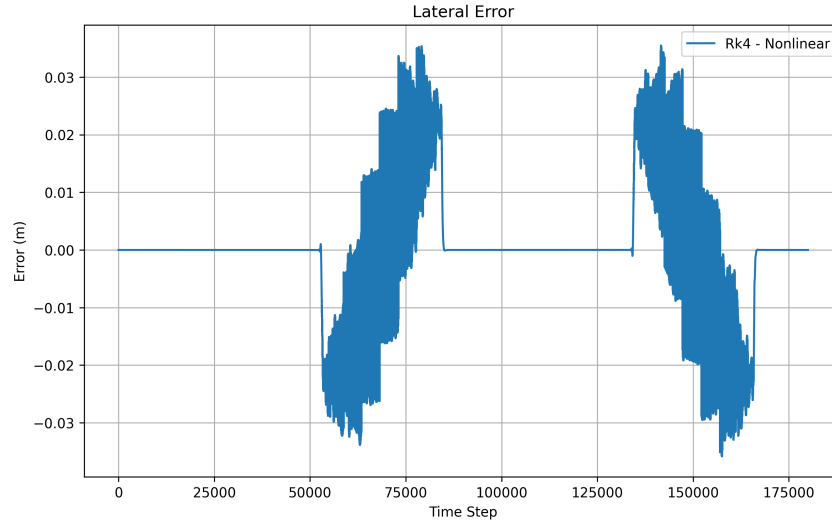


Figure 7: Errore laterale con **PurePursuit** a 10 m/s. L'errore massimo è inferiore a 1 m.

Le simulazioni per Stanley e a velocità di 20 m/s mostrano risultati simili, con oscillazioni leggermente più marcate nel caso di Stanley.

3.3 Conclusioni per Exercise 2

Entrambi i metodi, PurePursuit e Stanley, rispettano i criteri di successo per il controllo laterale a basse velocità, con prestazioni leggermente migliori per Pure Pursuit.

4 Exercise 3: High-speed Lateral Control

4.1 Descrizione e Setup

In questo esercizio, il controllo laterale è testato a velocità più elevate (23 m/s e 25 m/s). Gli obiettivi includono:

- Mantenere un errore laterale < 1 m.
- Minimizzare le oscillazioni del comando sterzante.

4.2 Risultati e Osservazioni

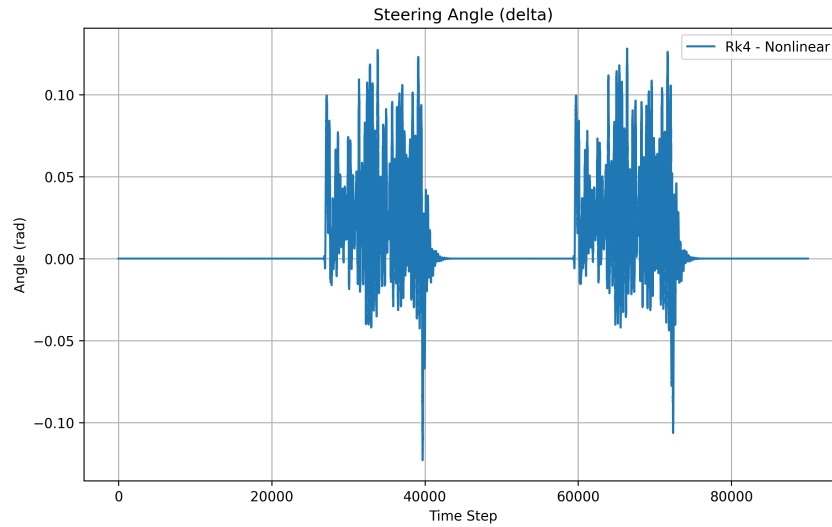


Figure 8: Comando sterzante con **PurePursuit** a 25 m/s. Oscillazioni ampie osservate.

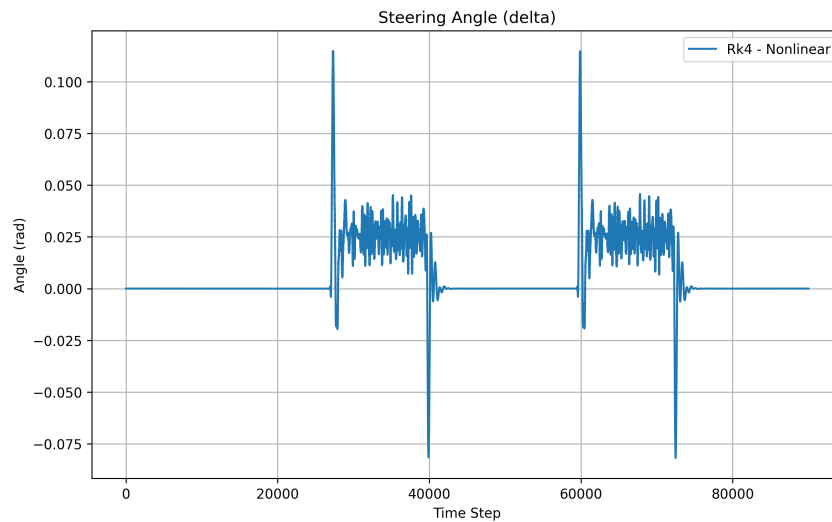


Figure 9: Comando sterzante con **Stanley** a 25 m/s. Oscillazioni più contenute rispetto a PurePursuit.

4.3 Conclusioni per Exercise 3

Alle alte velocità, entrambi i metodi mantengono l'errore laterale sotto i limiti prefissati, ma Stanley presenta oscillazioni minori nel comando sterzante, rendendolo più adatto per queste condizioni.

5 Conclusioni

In conclusione, i risultati mostrano che:

- Il **PID** longitudinale garantisce di tracciare con errore $< 5\%$ la velocità target dopo un transitorio.

- Per la guida laterale a bassa velocità, sia **PurePursuit** che **Stanley** rispettano l'errore < 1 m su tutto il loop.
- A velocità più alta, Stanley potrebbe mostrare oscillazioni leggermente minori nel δ .

Si allegano tutti i plot generati nelle directory **Results/** per consultazioni più dettagliate (front slip angle, rear slip angle, ecc.).