

Path following and motion control  
Report del quinto assignment di platforms and alghorithms for  
autonomous systems

ALESSANDRO APPIO

Matricola n. 207228  
*corso di laurea magistrale in informatica*  
296403@studenti.unimore.it

# Contents

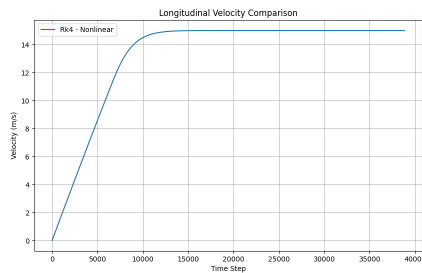
<b>1</b>	<b>Esercizio 1 - controllo longitudinale</b>	<b>3</b>
1.1	Parametri . . . . .	3
1.2	Risultati . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Esercizio 2 - controllo laterale a bassa velocità</b>	<b>5</b>
2.1	Parametri . . . . .	5
2.2	Risultati . . . . .	5
2.2.1	Purepursuit . . . . .	6
2.2.2	Stanley . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Esercizio 3 - controllo laterale ad alta velocità</b>	<b>8</b>
3.1	Parametri . . . . .	8
3.2	Risultati . . . . .	9
3.2.1	Purepursuit . . . . .	9
3.2.2	Stanley . . . . .	10
3.2.3	Top speed . . . . .	11
3.2.4	Purepursuit . . . . .	11

# 1 Esercizio 1 - controllo longitudinale

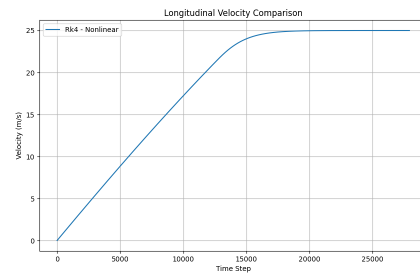
## 1.1 Parametri

- Controllori: PID
- Parametri:
  - Kp: 1.7
  - Ki: 0.7
  - Kd: 0.1
- Velocità 1:  $15 \text{ m/s}$
- Velocità 2:  $25 \text{ m/s}$
- Velocità iniziale:  $0 \text{ m/s}$
- Accelerazione iniziale:  $0 \text{ m/s}^2$
- Time step:  $0.001 \text{ s}$

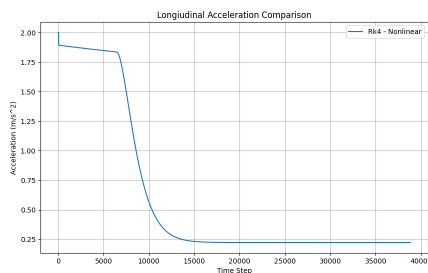
## 1.2 Risultati



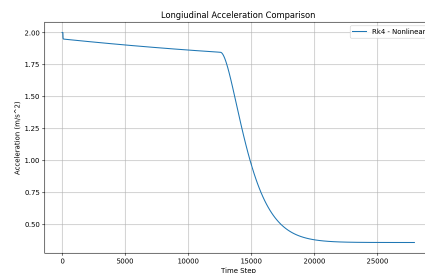
(a) Andamento velocità controllore PID con  $v=15 \text{ m/s}$



(b) Andamento velocità controllore PID con  $v=25 \text{ m/s}$



(a) Andamento accelerazione controllore PID con  $v=15 \text{ m/s}$



(b) Andamento accelerazione controllore PID con  $v=25 \text{ m/s}$

L'obiettivo dell'esercizio è quello di tarare un controllore PID per il raggiungimento di una velocità target e per il mantenimento stabile di tale velocità nel tempo. per il primo test si è utilizzata una velocità di  $15 \text{ m/s}$  e l'andamento della velocità e dell'accelerazione del veicolo sono visualizzabili nei grafici 1a e 2a, mentre per la seconda prova la velocità target è di  $25 \text{ m/s}$  i cui grafici sono visualizzabili alle figure 1b e 2b.

Dopo vari test e prove sono stati trovati i valori più ottimali per i parametri di guadagno proporzionale, integrale e derivativo che potessero garantire un output stabile sia per la prima che per la seconda velocità target.

come si può vedere nei grafici il sistema ha un tempo di assestamento di 10 s per la prima velocità target e di 16 s per la seconda velocità target, inoltre il controllore non presenta overshoot e grazie allo step di anti-windup si presenta stabile nel tempo.

## 2 Esercizio 2 - controllo laterale a bassa velocità

### 2.1 Parametri

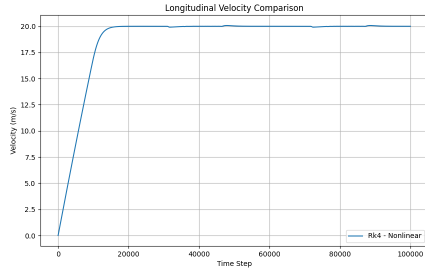
- Controllori: PID, purepursuit, Stanley
- Parametri PID:
  - Kp: 1.7
  - Ki: 0.7
  - Kd: 0.1
- Parametri purepursuit:
  - K\_v: 0.13
  - K\_c: 0.05
  - lookahead: 1.0
- Parametri Stanley:
  - K: 2.9
  - K\_he: 1.1
  - K\_ctc: 2.9
- Velocità 1: 10  $m/s$
- Velocità 2: 20  $m/s$
- Velocità iniziale: 0  $m/s$
- Accelerazione iniziale: 0  $m/s^2$
- Time step: 0.001  $s$

### 2.2 Risultati

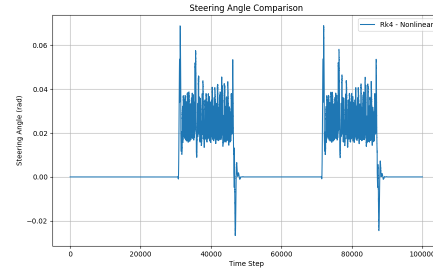
L'obiettivo del second esercizio è quello di implementare un controllore laterale che possa far seguire una traiettoria ovale al veicolo a basse velocità. I controllori utilizzati sono dunque purepursuit e Stanley.

I test per questo esercizio sono stati effettuati a due velocità target: 10  $m/s$  e 20  $m/s$ .

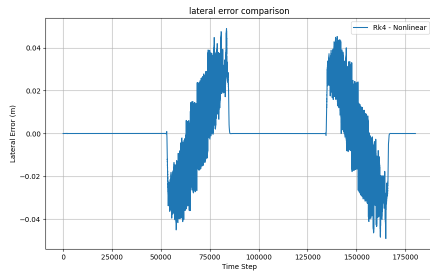
### 2.2.1 Purepursuit



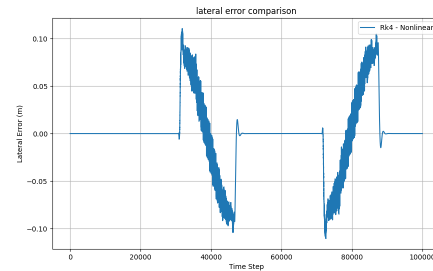
(a) Andamento velocità longitudinale con  $v = 20 \text{ m/s}$



(b) Steering angle calcolato da purepursuit con  $v = 20 \text{ m/s}$



(c) Errore laterale di purepursuit con  $v = 10 \text{ m/s}$



(d) Errore laterale di purepursuit con  $v = 20 \text{ m/s}$

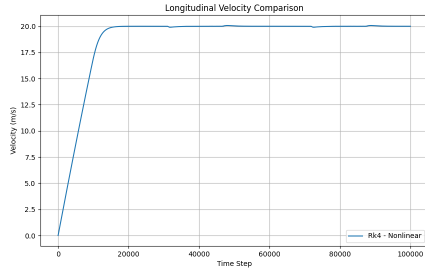
I grafici 7a, 7b, 7c, 3d rappresentano rispettivamente il profilo di velocità longitudinale del veicolo, lo steering angle calcolato dal controllore purepursuit, l'errore laterale commesso ad una velocità di  $10 \text{ m/s}$  e l'errore laterale commesso ad una velocità di  $20 \text{ m/s}$

Partendo dal grafico 7a possiamo notare come la velocità venga mantenuta costante durante tutto il giro di pista, questo per controllare la bontà dei parametri tarati nella sezione 1.

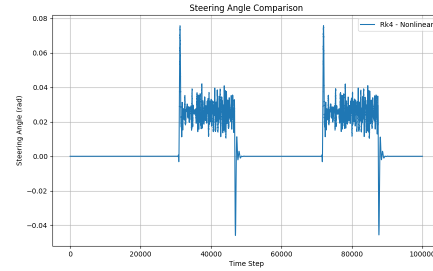
Per verificare la bontà dei parametri del controllore purepursuit invece si possono utilizzare gli altri 3 grafici. Nello specifico dal grafico 7b possiamo verificare quanto il calcolo dello sterzo sia stabile mentre i grafici 7c e 3d possono mostrare qualitativamente quanto il sistema sia in grado di seguire la traiettoria di ground thruth.

in generale possiamo notare come il sistema segua abbastanza fedelmente la traiettoria fornita in quanto l'errore laterale riscontrato è di  $\pm 0.04$  metri per una velocità di  $10 \text{ m/s}$  mentre l'errore sale a  $\pm 0.10$  per i  $20 \text{ m/s}$ . Possiamo affermare che questi errori siano accettabili in quanto non superano una soglia limite di  $\pm 1$  metro.

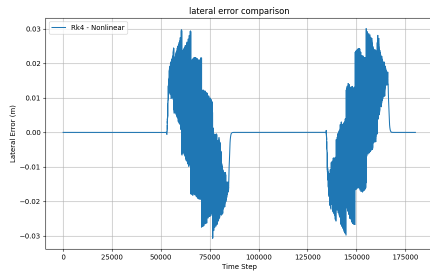
## 2.2.2 Stanley



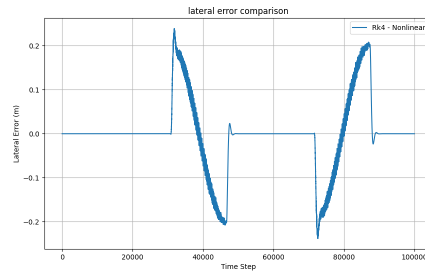
(a) Andamento velocità longitudinale con  $v = 20 \text{ m/s}$



(b) Steering angle calcolato da Stanley con  $v = 20 \text{ m/s}$



(c) Errore laterale di Stanley con  $v = 10 \text{ m/s}$



(d) Errore laterale di Stanley con  $v = 20 \text{ m/s}$

Come nel caso precedente, i grafici 7a, 7b, 7c, 3d rappresentano rispettivamente il profilo di velocità longitudinale del veicolo, lo steering angle calcolato dal controllore Stanley, l'errore laterale commesso ad una velocità di  $10 \text{ m/s}$  e l'errore laterale commesso ad una velocità di  $20 \text{ m/s}$

Per verificare la bontà dei parametri del controllore Stanley invece si può passare ad un diretto confronto con quelli riscontrati nella sezione 3.2.4.

Si può infatti notare che nel caso di Stanley l'errore laterale a  $10 \text{ m/s}$  è di  $\pm 0.03$  mentre a  $20 \text{ m/s}$  l'errore sale a  $\pm 0.2$ , si può quindi affermare da questi risultati che il controllore purepursuit è più affidabile a velocità più alte da la differenza degli errori.

Si può inoltre notare dal grafico 4b come il controllore Stanley sia meno stabile rispetto a purepursuit per quanto riguarda la varianza dei valori di sterzo calcolati, per quanto i valori di picco nel caso di Stanley risultino più alti.

### 3 Esercizio 3 - controllo laterale ad alta velocità

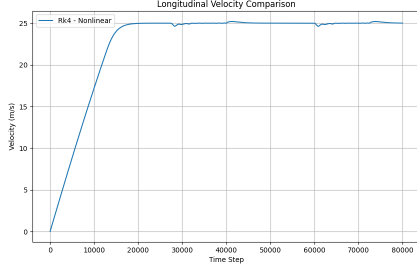
#### 3.1 Parametri

- Controllori: PID, purepursuit, Stanley
- Parametri PID:
  - Kp: 1.7
  - Ki: 0.7
  - Kd: 0.1
- Parametri purepursuit:
  - K\_v: 0.13
  - K\_c: 0.05
  - lookahead: 1.0
- Parametri Stanley:
  - K: 2.9
  - K\_he: 1.1
  - K\_ctc: 2.9
- Velocità 1: 25  $m/s$
- Velocità massima: 28  $m/s$
- Velocità iniziale: 0  $m/s$
- Accelerazione iniziale: 0  $m/s^2$
- Time step: 0.001  $s$

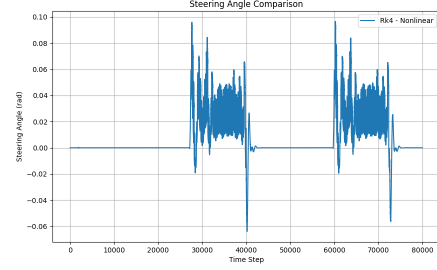


## 3.2 Risultati

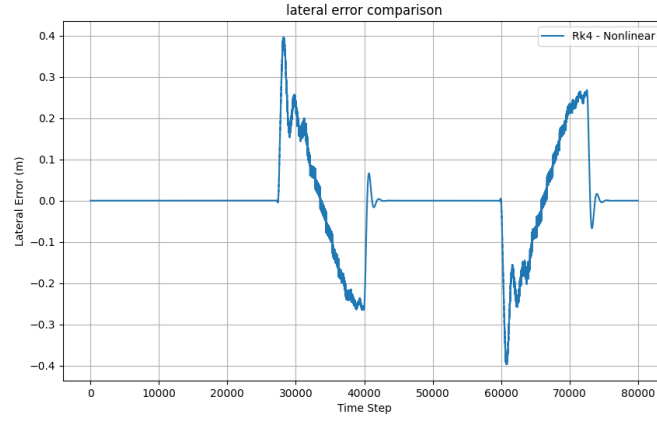
### 3.2.1 Purepursuit



(a) Andamento velocità longitudinale con  $v = 25 \text{ m/s}$



(b) Steering angle calcolato da purepursuit con  $v = 25 \text{ m/s}$

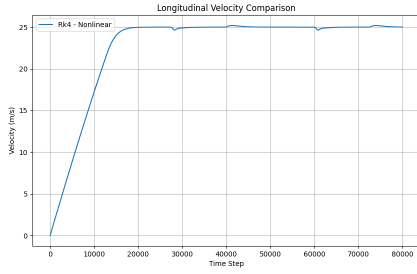


(c) Errore laterale di purepursuit con  $v = 25 \text{ m/s}$

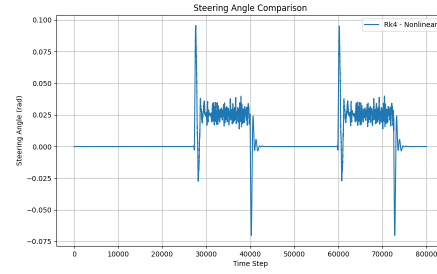
Con l'aumentare della velocità gli output del controllore longitudinale e laterale risultano più instabili, come mostrato nei grafici 5a e 5b. Inoltre il controllo laterale risulta commettere un errore più ampio  $\pm 0.4$ .

Nonostante questo però, il veicolo continua ad eseguire correttamente la traiettoria e gli errori mostrati non invalidano la resa del sistema autonomo.

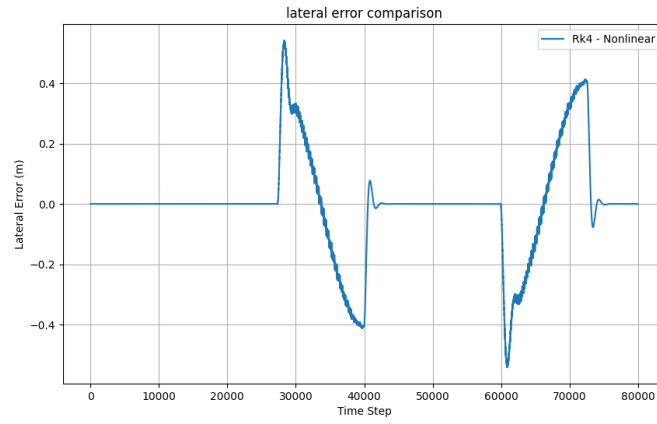
### 3.2.2 Stanley



(a) Andamento velocità longitudinale con  $v = 25 \text{ m/s}$



(b) Steering angle calcolato da Stanley con  $v = 25 \text{ m/s}$

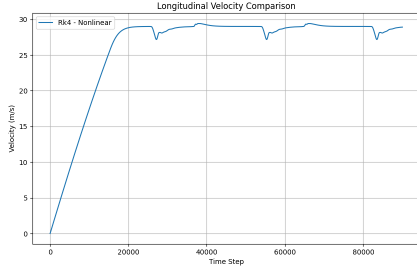


(c) Errore laterale di Stanley con  $v = 25 \text{ m/s}$

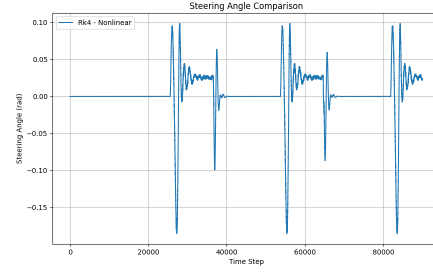
facendo un confronto tra Stanley e purepursuit a queste velocità possiamo notare, come descritto alla sezione 2.2.2, che purepursuit si riconferma più stabile ad alte velocità rispetto a Stanley. Come ppirma però, gli errori riscontrati non invalidano la bontà del controllore, che ha eseguito correttamente la traiettoria.

### 3.2.3 Top speed

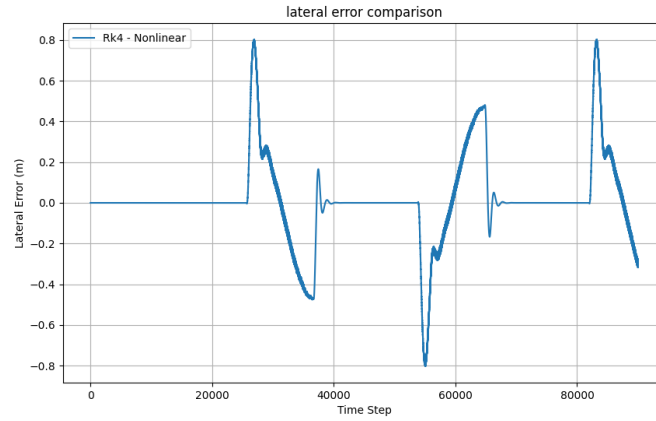
### 3.2.4 Purepursuit



(a) Andamento velocità longitudinale con  $v = 28 \text{ m/s}$



(b) Steering angle calcolato da purepursuit con  $v = 28 \text{ m/s}$



(c) Errore laterale di purepursuit con  $v = 28 \text{ m/s}$

La velocità più alta simulata durante i test è stata con il controllore purepursuit e si sono raggiunti i  $29 \text{ m/s}$ , con un errore laterale di  $\pm 0.8$ . A questa velocità, il controllore sia longitudinale che laterale però dimostrano un notevole aumento dell'instabilità nel mantenimento della velocità target e nel calcolo dello sterzo e dunque suggerisce la necessità di utilizzare sistemi più complessi per il controllo ad alte velocità.