

Frontend per la simulazione di platooning di veicoli

Alberto Del Buono Paolini - Federico Marra

Relatore: Giorgio Battistelli

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica
Università degli Studi di Firenze

Aprile 2024

Tabella dei contenuti

- 1 Introduzione al platooning
- 2 Modellizzazione del platooning
- 3 Tecnologie usate
- 4 Funzionalità e Implementazione
- 5 Risultati degli esperimenti e Demo

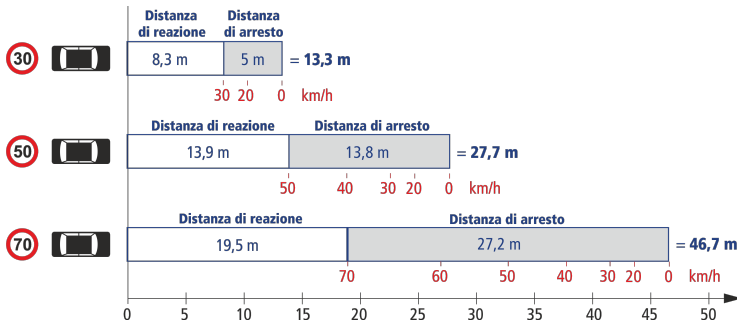
Cos'è il platooning

Il **platooning** o plotonamento è un sistema avanzato di guida autonoma, detto anche **CACC** (*Cooperative Adaptive Cruise Control*) in cui veicoli si muovono in modo coordinato e autonomo, formando un convoglio o plotone di veicoli.

I maggiori **vantaggi** sono:

- Riduzione della distanza tra i veicoli.
- Ottimizzazione del flusso del traffico.
- Aumento della sicurezza stradale.
- Riduzione consumo di carburante ed emissioni.

Distanza di sicurezza



Un essere umano ha mediamente un **tempo di reazione** di 1 s che determina uno spazio di reazione proporzionale alla velocità.
Automatizzare la reazione permette di **diminuire** questa distanza.

Plotone di veicoli

Il sistema si pone di mantenere una **distanza costante** prestabilita tra i veicoli, minore della distanza di sicurezza, le vetture successive si adattano quindi in modo coordinato alle variazioni di velocità del veicolo di testa.

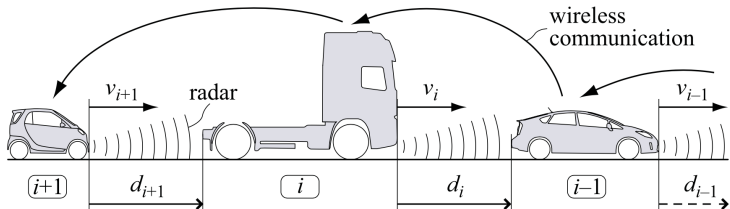
I veicoli per **regolare automaticamente** la velocità e la distanza all'interno del convoglio usano:

- Telecamere
- Radar
- Lidar
- Ricevitore e trasmettitore radio

Tabella dei contenuti

- 1 Introduzione al platooning
- 2 Modellizzazione del platooning**
- 3 Tecnologie usate
- 4 Funzionalità e Implementazione
- 5 Risultati degli esperimenti e Demo

Controllo di crociera adattivo e cooperativo (CACC)



Il primo veicolo è detto **pilota** ed è quello che non è soggetto a controllo, detta lui la velocità del plotone.

A catena ogni veicolo **segue** quello che lo precede (i segue $i - 1$).

Sistema fisico

Consideriamo $d_{r,i}$ come la **distanza desiderata**.

$$d_{r,i}(t) = r_i + h \cdot v_i(t), \quad i \in S_m$$

Definiamo l'**errore** di distanza fra i veicoli i e $i - 1$ come e_i :

$$e_i(t) = d_i(t) - d_{r,i}(t) = d_i(t) - (r_i + h \cdot v_i(t))$$

Legge di controllo

La legge di controllo è basata su un controllore **PD** (proporzionale derivativo) che è presente su ogni veicolo del plotone tranne quello pilota.

La **legge del sistema a ciclo chiuso** a tempo continuo è descritta dalle seguenti equazioni:

$$\dot{x}_i = \begin{bmatrix} \dot{e}_i \\ \dot{v}_i \\ \dot{a}_i \\ \dot{u}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -h & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\tau} & \frac{1}{\tau} \\ \frac{k_p}{h} & -\frac{k_d}{h} & -k_d & -\frac{1}{h} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_i \\ v_i \\ a_i \\ u_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{k_d}{h} & 0 & \frac{1}{h} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_{i-1} \\ v_{i-1} \\ a_{i-1} \\ u_{i-1} \end{bmatrix}$$

Parametri di controllo

- **Time Headway** (h) o tempo di separazione, rappresenta il tempo di reazione del veicolo.
- **Tau** (τ) è il fattore esprime un ritardo meccanico dovuto alla trasmissione del veicolo.
- **Kp** (k_p) è il fattore per il controllo proporzionale.
- **Kd** (k_d) è il fattore per il controllo derivativo.

Discretizzazione

Per implementare in un sistema informatico è necessario **discretizzare** le equazioni da tempo continuo a tempo discreto.

Per fare ciò usiamo una frequenza di campionamento di 30 Hz corrispondente a un *frame rate* di 30 fps .

Usiamo il **metodo di Eulero**:

$$x_i(t) = x_i(t - 1) + \frac{\Delta x_i(t - 1)}{F_s}$$

Stabilità di stringa

La **stabilità di stringa**, estensione della stabilità di Lyapunov, è prettamente legata alle distanze lungo un unico asse, come accade nella nostra simulazione. Quindi consideriamo il sistema stabile se:

- In **condizioni stazionarie**, con velocità del primo veicolo **costante**, le distanze tra i veicoli rimangono consistenti nel tempo:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_i(t) = 0 \quad i \in S_m$$

- In **condizioni non stazionarie**, con velocità del primo veicolo **variabile**, le perturbazioni di velocità e distanza non si amplificano nel plotone.

Tabella dei contenuti

- 1 Introduzione al platooning
- 2 Modellizzazione del platooning
- 3 Tecnologie usate**
- 4 Funzionalità e Implementazione
- 5 Risultati degli esperimenti e Demo

Stack delle tecnologie

Stack

- **React:** Libreria popolare di rendering UI e di gestione dello stato locale.
- **Next.js:** Framework specializzato nel rendering lato server che offre prestazioni ottimali e una struttura di sviluppo solida.
- **p5.js:** Framework grafico utilizzato per la creazione del canvas di simulazione.
- **Chart.js:** Libreria per il rendering dei grafici per fornire una visualizzazione chiara delle informazioni.
- **ParaglideJS:** Libreria per la gestione e il mantenimento dell'internazionalizzazione.

React

Abbiamo scelto *React* come libreria di rendering per il *frontend* e per la gestione dello stato locale. E' stata usata l'API React per la gestione del **contesto locale**, questa include un **provider** e un **hook** (`useContext`) per consumarlo nei vari componenti sottostanti.

Contesto locale

```
// DataProvider.tsx
export const DataContext = createContext({
  graphData: [[]] as DataType[][],
})

// GraphSliver.tsx
const { graphData } = useContext(DataContext);
```

Next.js

Abbiamo usato le *Dynamic Routes* per creare **dinamicamente** percorsi nel server per ogni lingua, rendendo facile l'aggiunta di nuove lingue. Oltre a questo, tutte le pagine del sito sono mantenute in **cache** sul server, velocizzando i tempi di caricamento.

Routing dinamico

```
const Home: NextPage = () => {  
  const router = useRouter();  
  setLanguageTag(router.query.locale as  
    AvailableLanguageTag ?? "en");  
  
  return <HomePage />;  
};
```


p5.js

L'utilizzo di *p5.js* ci consente di ottenere una **simulazione** ad alto *frame rate*, garantendo una rappresentazione fluida del platooning da cui poi campioniamo i dati per generare i vari grafici.

Questa libreria si interfaccia con *React* usando un **wrapper** per essere aggiornata ogni volta che lo stato locale dell'applicazione cambia.

Canvas di simulazione

```
<NextReactP5Wrapper  
  sketch={sketch}  
  // Altre impostazioni per la simulazione ...  
  resetCanvas={resetCanvas}  
  togglePlay={togglePlay}  
</>
```

Chart.js

Chart.js ci permette di integrare facilmente grafici interattivi nella UI dell'applicazione, includendo anche animazioni all'aggiunta di nuovi dati. Usiamo un **grafico interattivo** che modifica lo stato *React* per la selezione delle velocità della macchina iniziale del convoglio.

Esempio di grafico

```
<Line
  data={{
    labels: graphData[velocityChartIndex].map((d) => d.time),
    datasets: [{
      data: graphData[velocityChartIndex].map((d) => d.
        velocity),
    },],}}
/>
```

ParaglideJS

Usiamo `paraglide-js` per gestire i vari file `json` che contengono le chiavi per le **traduzioni**. Questa libreria offre anche la gestione per lingua selezionata dall'utente sul *frontend*, esponendo nello stato locale solo le traduzioni corrispondenti alla selezione corrente.

Esempio di configurazione

```
// project.inlang.json
{
  "sourceLanguageTag": "en",
  "languageTags": [ "en", "it", ... ],
  "plugin.inlang.messageFormat": {
    "pathPattern": "./translations/{languageTag}.json"
  }
}
```

Pubblicazione automatica

Questa applicazione può essere **pubblicata**, come qualsiasi altro progetto *Next.js*, tramite *Netlify*, *AWS Amplify* o *Vercel*.

Abbiamo optato per *Vercel* dato che offre **integrazione/distribuzione continua** (CI/CD) per il rilascio dell'app ogni volta che viene eseguito un *commit* o una *pull request* sulla *repository Github*, offrendo anche *deployment* di anteprima non disponibili al pubblico.

Tabella dei contenuti

- 1 Introduzione al platooning
- 2 Modellizzazione del platooning
- 3 Tecnologie usate
- 4 Funzionalità e Implementazione**
- 5 Risultati degli esperimenti e Demo

Parametri di simulazione

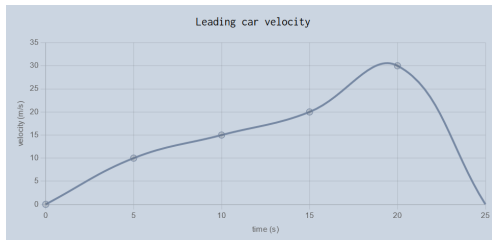
- **Numero di veicoli (m):** il numero di veicoli presenti nel plotone.
- **Distanza tra le vetture da ferme (r_i):** detta anche *standstill distance*, che definisce una distanza fissa da mantenere in più a quella dipendente dalla velocità della vettura precedente.
- **Ritardo di comunicazione ($Delay$):** è il ritardo che avviene nella comunicazione dei dati di velocità, accelerazione e controllo tra il veicolo precedente e quello successivo.

Parametri di simulazione interattivi



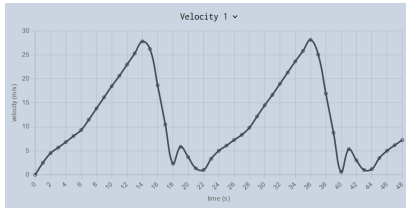
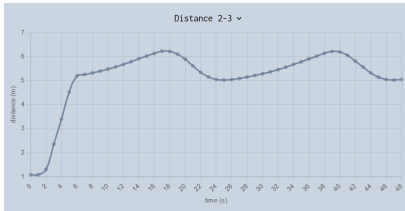
- Impostazioni per i **parametri del controllo**: *Time Headway, τ , K_p e K_d .*
- Regolazione dei **parametri della simulazione**: *Numero di veicoli, Distanza Obiettivo e Delay.*

Parametri di simulazione interattivi



- Interfaccia per la regolazione della **velocità del primo veicolo** del convoglio, l'utente può disegnare il grafico per punti che si ripetono periodicamente.

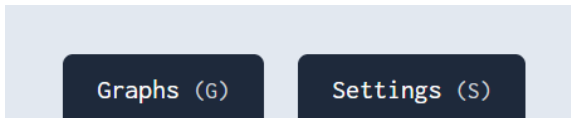
Visualizzazione dei dati campionati



- L'utente può navigare i **grafici** contenenti i dati campionati dalla simulazione su:

- **Distanza** tra due veicoli
- **Velocità** di un veicolo

Scorciatoie da tastiera



- L'interfaccia è navigabile anche usando delle **scorciatoie** da tastiera:

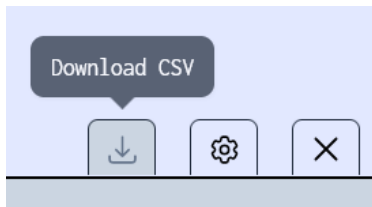
G: attiva/disattiva la sezione grafici

S: attiva/disattiva la sezione impostazioni

SPAZIO: riproduce/mette in pausa la simulazione

R: ferma e reimposta la simulazione

Download dei dati campionati



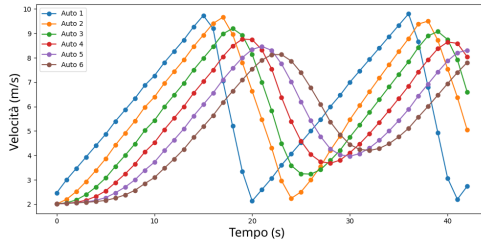
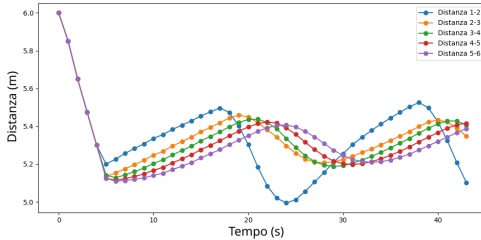
- L'utente può anche **scaricare i dati** come csv col seguente formato:

```
car,  
time(s),  
distance(m),  
velocity(m/s)
```

Tabella dei contenuti

- 1 Introduzione al platooning
- 2 Modellizzazione del platooning
- 3 Tecnologie usate
- 4 Funzionalità e Implementazione
- 5 Risultati degli esperimenti e Demo**

Modello stabile di esempio

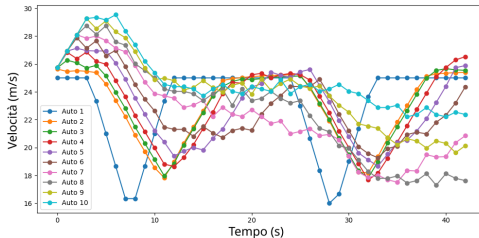
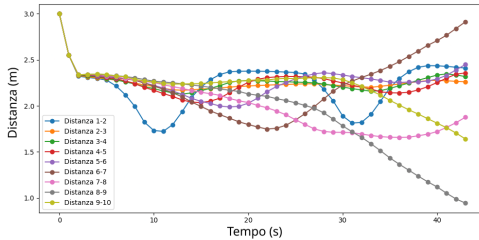


N° auto	Distanza Iniziale	Distanza Obiettivo	Ritardo
6	6.0m	5.0m	0.2s
Time Headway (h)	Tau (τ)	k_p	k_d
0.5s	0.1	0.2	0.7

Velocità t_1	Velocità t_2	Velocità t_3	Velocità t_4	Velocità t_5
2 m/s	4 m/s	6 m/s	8 m/s	10 m/s

Questa simulazione è stata usata come punto di partenza per poi valutare **singolarmente** l'impatto delle variazioni di ogni parametro.

Modello instabile di esempio



N° auto	Distanza Iniziale	Distanza Obiettivo	Ritardo
10	3.0m	2.0m	0.2s
Time Headway (h)	Tau (τ)	k_p	k_d
0.1s	0.1	0.2	0.7

Velocità t_1	Velocità t_2	Velocità t_3	Velocità t_4	Velocità t_5
25 m/s	25 m/s	15 m/s	25 m/s	25 m/s

Con tanti veicoli, tempo di separazione e distanza obiettivo ridotti, il modello non mantiene sempre la **stabilità**.

Conclusioni degli esperimenti

I parametri del modello che più influenzano la stabilità della simulazione sono il ***time headway*** (tempo di separazione tra i veicoli) e il ***delay*** (ritardo di comunicazione).

Oltre a questi, anche una variazione significativa della **velocità del veicolo pilota** può portare il sistema all'instabilità, essendo una perturbazione esterna al modello stesso.

Demo

platooning-simulation.vercel.app

