

PTR3514 - Sistemas Inteligentes de Transportes

Capítulo 11: Car-Following Models Based on Driving Strategies

Grupo 4:

André Lacerda - 9350672

Isabela Malagutti - 9838992

Isabella Soubhia - 9839054

João Vitor Ximenez - 9351203

Mariana Yaginuma - 9350988

Introdução

- Modelos adotados com base em comportamentos reais dos motoristas
- Serão introduzidos dois exemplos:
 - Gipps Model
 - Intelligent Driver Model
- Ambos utilizam as mesmas variáveis dos sistemas de ACC, não características específicas humanas



Model Criteria

1. $\frac{\partial a_{\text{mic}}(s, v, v_l)}{\partial v} < 0$, $\lim_{s \rightarrow \infty} a_{\text{mic}}(s, v_0, v_l) = 0$ for all v_l .
2. $\frac{\partial a_{\text{mic}}(s, v, v_l)}{\partial s} \geq 0$, $\lim_{s \rightarrow \infty} \frac{\partial a_{\text{mic}}(s, v, v_l)}{\partial s} = 0$ for all v_l .
3. $\frac{\partial \tilde{a}_{\text{mic}}(s, v, \Delta v)}{\partial \Delta v} \leq 0$ or $\frac{\partial a_{\text{mic}}(s, v, v_l)}{\partial v_l} \geq 0$, $\lim_{s \rightarrow \infty} \frac{\partial a_{\text{mic}}(s, v, v_l)}{\partial v_l} = 0$.
4. $a_{\text{mic}}(s, 0, v_l) = 0$ for all $v_l \geq 0$, $s \leq s_0$.

Um modelo de Car Following que atenda a esses requisitos é completo.

Gipps' Model

Safe Speed

- Adoção da velocidade de segurança para prevenir acidentes
 - distância até o carro da frente e velocidade dele
- Premissas:
 - desaceleração constante na frenagem
 - tempo de reação constante
 - distância até o carro da frente sempre inferior a s_0



Gipps' Model

Model Equation

$$v(t + \Delta t) = \min [v + a \Delta t, v_0, v_{\text{safe}}(s, v_l)]$$

- Velocidade de segurança como principal componente
- Tempo de atualização igual ao tempo de reação



Gipps' Model

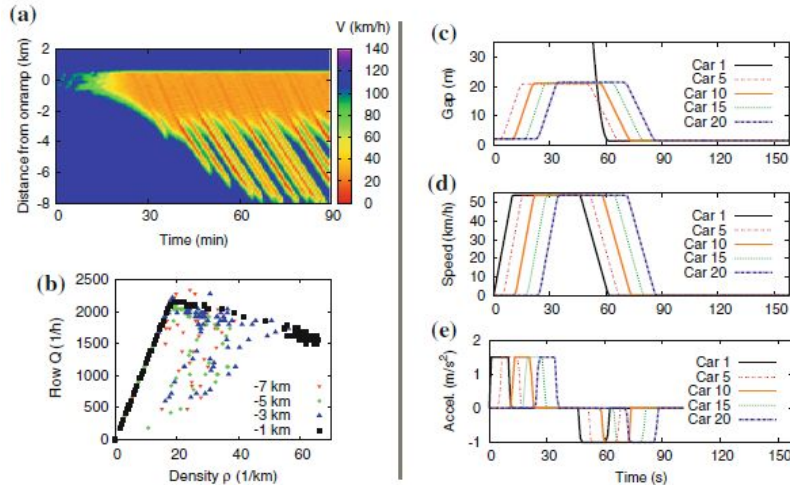
Características do modelo

- Método é derivado de suposições básicas
- Utiliza parâmetros de fácil interpretação
- Robusto
- Realista



Modelo simplificado de Gipps'

Parameter	Typical value	Typical value
	Highway	City traffic
Desired speed v_0	120 km/h	54 km/h
Adaption/reaction time Δt	1.1 s	1.1 s
Acceleration a	1.5 m/s ²	1.5 m/s ²
Deceleration b	1.0 m/s ²	1.0 m/s ²
Minimum distance s_0	3 m	2 m




- Mesmo modelo aplicado para diferentes vias
- Resultados calculados são próximos aos empíricos
- Curvas de acelerações distantes da realidade

Intelligent Driver Model (IDM)

- IDM é o modelo mais simples de direção inteligente
- Criação de perfil realísticos de aceleração.
- Modelo de faixa única.

Requisitos:

- Aceleração segue *Model Criteria*
 - Determinação de distância de segurança
 - Ajuste inteligente de freios.
- 

Intelligent Driver Model (IDM)

Descrição matemática:

- As propriedades requeridas são satisfeitas pela seguinte equação da aceleração:

$$\dot{v} = a \left[1 - \left(\frac{v}{v_0} \right)^\delta - \left(\frac{s^*(v, \Delta v)}{s} \right)^2 \right] \text{ IDM.}$$

- A distância desejada s^* é dada por:

$$s^*(v, \Delta v) = s_0 + \max \left(0, vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}} \right)$$

Intelligent Driver Model (IDM)

Parâmetros:

- Os parâmetros do modelo podem ser interpretados a partir de três situações padrão:
 - Acelerando em uma estrada livre de paralisação
 - Seguindo um veículo líder
 - Aproximação de veículos lentos ou parados
- Cada parâmetro descreve uma propriedade bem definida
- IDM diferencia intervalo de tempo seguro (T), tempo de adaptação à velocidade (τ) e tempo de reação (T_r)

Intelligent Driver Model (IDM)

Parâmetros

- IDM descreve melhor as características da direção semiautomática por controle de cruzeiro adaptável (ACC) do que de um motorista humano.
- A distinção de parâmetros de tempo permite saber a diferença conceitual entre ACCs e motoristas humanos, além de diferenciar estilos de direção.



Intelligent Driver Model (IDM)

Estratégia de Frenagem Inteligente

- Aceleração do veículo ao se aproximar de um veículo mais lento ou parado, ou um semáforo vermelho:

$$\dot{v} = -a \left(\frac{s^*}{s} \right)^2 = -\frac{av^2(\Delta v)^2}{4abs^2} = -\left(\frac{v^2}{2s} \right)^2 \frac{1}{b} \quad \longrightarrow \quad b_{\text{kin}} = \frac{v^2}{2s} \quad \longrightarrow \quad \dot{v} = -\frac{b_{\text{kin}}^2}{b}$$

- Situação crítica: $b_{\text{kin}} > b$.
- Situação não-crítica: $b_{\text{kin}} < b$.

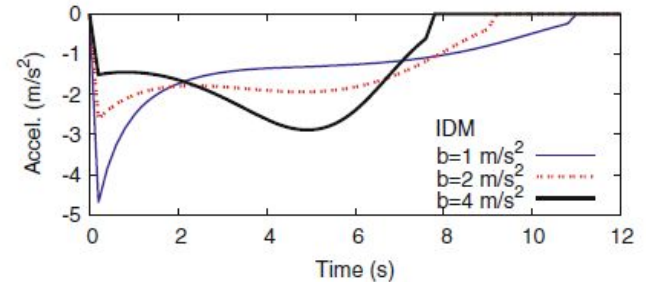
Intelligent Driver Model (IDM)

Estratégia de Frenagem Inteligente

- A estratégia de frenagem é dinamicamente autorregulada em direção à situação em que a desaceleração cinemática se igual à desaceleração confortável.

$$\frac{db_{\text{kin}}}{dt} = \frac{v b_{\text{kin}}}{s b} (b - b_{\text{kin}})$$

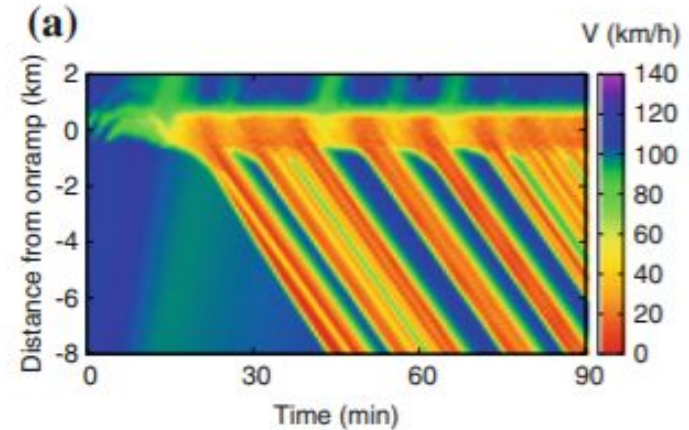
- Como alguns parâmetros foram ignorados na função da aceleração, o valor confortável nunca é de fato realizado



Intelligent Driver Model (IDM)

Propriedades dinâmicas:

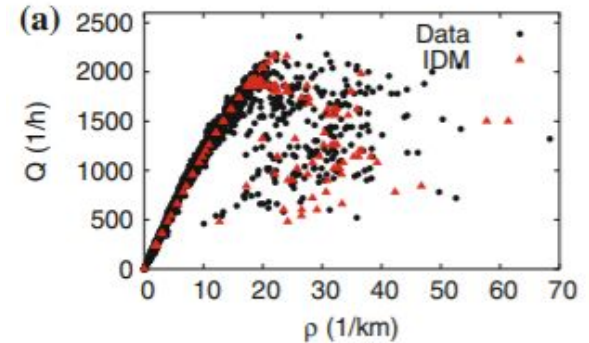
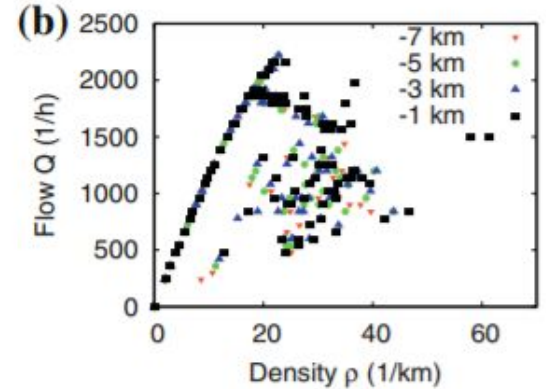
- Highway Traffic:
 - No campo de velocidades, observa-se uma **dinâmica semelhante à encontrada no modelo Gipps**
 - As crescentes ondas de stop-go nas simulações são causadas por uma instabilidade coletiva chamada instabilidade de cordas



Intelligent Driver Model (IDM)

Propriedades dinâmicas:

- Os **pontos de tráfego livre caem em uma linha**, enquanto os pontos de dados de tráfego congestionado estão amplamente dispersos
- Próximo ao fluxo máximo, observa-se que para uma gama de densidades ($\approx 18-25$ veh/h), **tanto estados de tráfego livre quanto congestionados são possíveis**



Intelligent Driver Model (IDM)

Propriedades dinâmicas:

- Comparando os dados do detector virtual com os dados reais é **possível encontrar uma concordância** quase quantitativa do diagrama
- **Ao contrário do modelo de Gipps, o IDM também reproduz corretamente a curvatura do ramo de tráfego livre**, o que permite examinar a natureza da forte dispersão observada dos pontos de dados de densidade de fluxo correspondentes ao tráfego congestionado

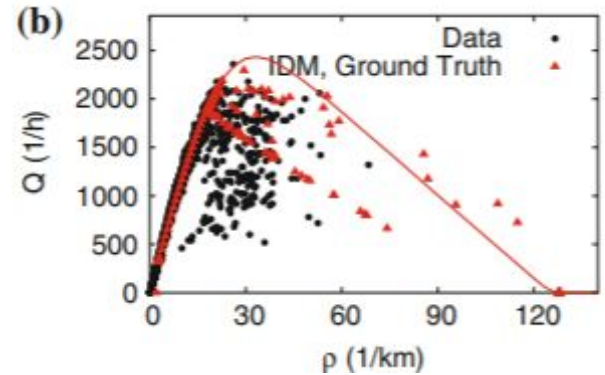
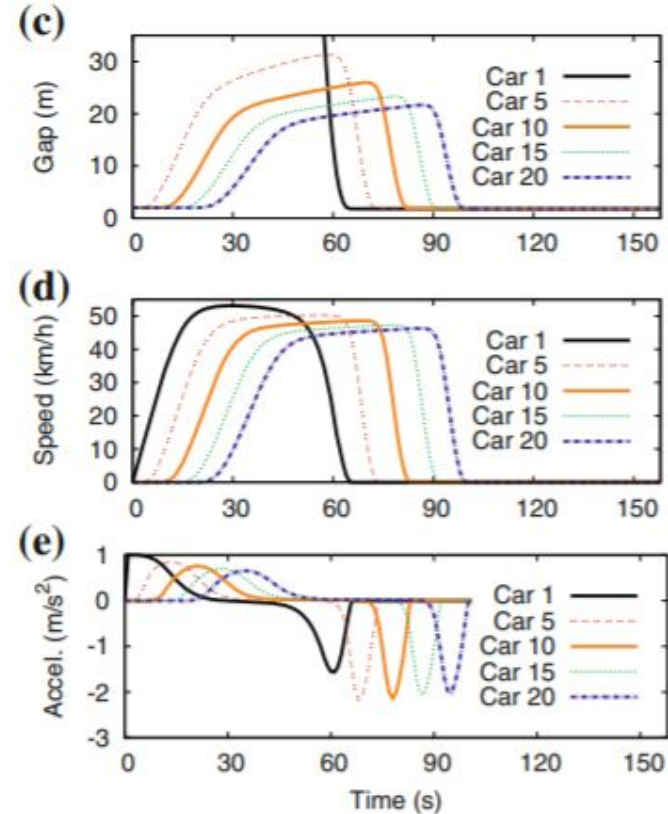


Diagrama de densidade de fluxo com os mesmos dados empíricos, mas usando a real densidade (local) para a simulação IDM em vez da densidade derivada dos detectores virtuais

Intelligent Driver Model (IDM)

Propriedades dinâmicas:

- City Traffic:
 - Na simulação do tráfego da cidade vemos um **perfil de aceleração/desaceleração suave e realista**, com exceção de pelotões de veículos com velocidade próxima a v_0 , onde a distância real de equilíbrio em estado estacionário é maior



Intelligent Driver Model (IDM)

Função de aceleração melhorada

- Para aprimoramento do processos de modelagem vamos eliminar deficiências e manter características boas e bem testadas, usando o IDM como exemplo, sendo este, **irrealista nos seguintes aspectos**:
 1. Se a velocidade real exceder a velocidade desejada, a **desaceleração é irrealisticamente grande**
 2. Perto da velocidade desejada v_0 , o intervalo de tempo estável torna-se muito maior que $s^*(v, 0) = s_0 + vT$, e o **parâmetro T do modelo perde seu significado como o intervalo de tempo desejado**
 3. Se o intervalo real for consideravelmente menor do que o desejado, a **reação de frenagem para recuperar o intervalo desejado é exagerada**



Intelligent Driver Model (IDM)

Função de aceleração melhorada

- Para melhorar o comportamento para $v > v_0$:
 - **Desaceleração máxima não pode exceder a confortável** b se não houver interações com outros veículos ou obstáculos
 - **Parâmetro δ deve manter seu significado** também no novo regime
 - A função de aceleração livre $a_{\text{free}}(v)$ deve ser continuamente diferenciável, e permanecer inalterada para $v \leq v_0$
- Para a $v > v_0$, **não há uma distância de seguimento estável**, e se combina a aceleração livre a_{free} e a aceleração de interação $a(1 - z^2)$ tal que a frenagem desaparece para $z \leq 1$ e a função de aceleração resultante é contínua diferenciável

$$a_{\text{free}}(v) = \begin{cases} a \left[1 - \left(\frac{v}{v_0} \right)^\delta \right] & \text{if } v \leq v_0, \\ -b \left[1 - \left(\frac{v_0}{v} \right)^{a\delta/b} \right] & \text{if } v > v_0. \end{cases}$$

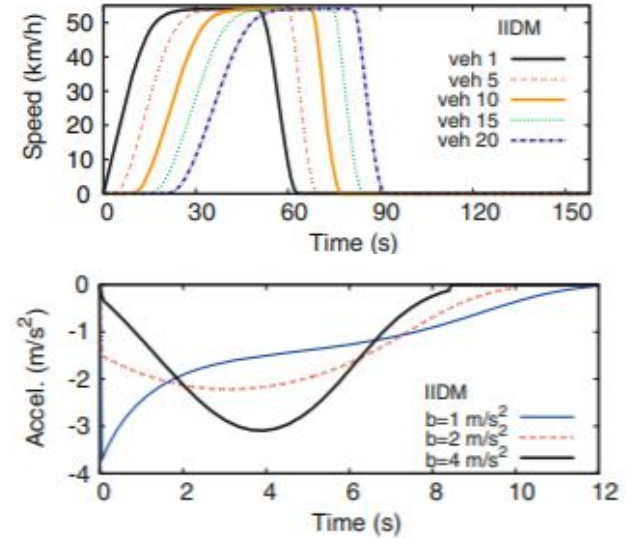
$$\left. \frac{dv}{dt} \right|_{v > v_0} = \begin{cases} a_{\text{free}} + a(1 - z^2) & z(v, \Delta v) \geq 1, \\ a_{\text{free}} & \text{otherwise.} \end{cases}$$



Improved Intelligent Driver Model (IIDM)

IIDM

- Modelo usa o **mesmo conjunto de parâmetros do modelo IDM** e produz o mesmo comportamento, exceto quando veículos se seguem próximos da velocidade desejada ou quando um for mais rápido que esta
- **A simulação do cenário de tráfego padrão da cidade** mostra que todos os veículos do pelotão agora aceleram até a velocidade desejada
- A estratégia de frenagem auto-estabilizadora e a observância de uma desaceleração confortável ainda estão em vigor



Adaptive Cruise Control

Reação mais razoável para mudanças súbitas de pista (passiva ou ativa)

IDM e IIDM consideram *pior cenário possível* - parada total

Método mais realista: *Constant-Acceleration Heuristic (CAH)*:

- Aceleração do veículo da frente não se altera no instante seguinte
- Sem necessidade de *gap* de segurança (tempo) ou distanciamento mínimo
- ACC reage sem *delay* - 0s de reação



Adaptive Cruise Control

CAH é *indicador* - modificando IDM apenas em casos não realistas de desaceleração

- α_{ACC} nunca é menor que α_{IDM} (sem acidentes)
- Se $\alpha_{IDM} = \alpha_{CAH}$, α_{ACC} também é igual
- Se α_{IDM} extrema e α_{CAH} confortável (menor que b): $\alpha_{CAH} < \alpha_{ACC} < b$
- Se α_{IDM} e α_{CAH} extremas (maiores que b):
 - situação crítica - $\alpha_{ACC} = \min(\alpha_{IDM}, \alpha_{CAH})$



Adaptive Cruise Control

"Coolness factor"

O modelo ACC "puro" provoca comportamento inconsequente

Parâmetro "c" imputa uma fração do modelo IIDM | $(1-c)$

~1% de contribuição traz bom equilíbrio | $(c = 0.99)$

