1. Modely předcházející IDM

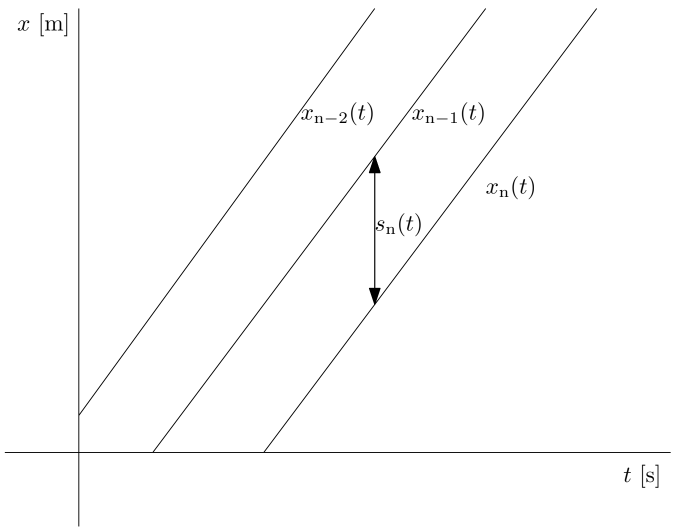
Jednoduše řečeno „Car Following“ modely vycházejí z předpokladu, že pokud n-té vozidlo následuje n-1 vozidlo na homogenní dálnici, trajektorie n-tého vozidla bude stejná jako vozidla před ním (n-1) až na posuny v čase a místě. (Vozidlo bude ve stejném místě jako předcházející v jiný čas a ve stejný čas bude na jiném místě.) Všechny další dispozice jednotlivých modelů v sobě tento předpoklad obsahují.

1.1 Newellův model

Jestliže n-té vozidlo jede za n-1 vozidlem (které jede za n-2 vozidlem atd.), cíl každého Car following modelu je zjistit závislost trajektorie n-tého vozidla $x_{\mathrm{n}}(t)$, jeho pozici v čase t na n-1 vozidle, viz. obrázek 1.1. (To také znamená, že není žádná náhodná spojitost mezi těmito vozidly.) Jestliže se n-1 vozidlo pohybuje konstantní rychlostí v,

$$x_{\text{n-1}} = x_{\mathrm{n}} + vt,$$

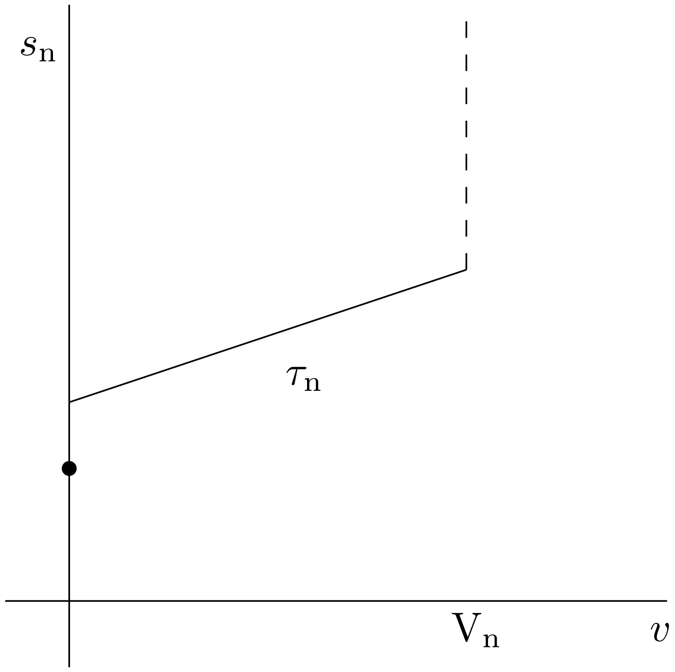
n-té vozidlo také pojede průměrnou rychlostí v. Pokud by n-té vozidlo zrychlovalo, tak by došlo ke kolizi s n-1 vozidlem a naopak pokud by zpomalovalo, tak by se n-té vozidlo neustále vzdalovalo. Totéž platí pro všechna vozidla jedoucí za n-tým. Tento model se nezabývá zjištěním hodnoty rychlosti v, předpokládá se, že je určena buďto na základě omezení rychlosti či možnostech vozidla.



Obrázek 1.1: Trajektorie vozidel s konstantní rychlostí

Vzdálenost $s_{\mathrm{n}} = x_{\text{n-1}}(t) - x_{\mathrm{n}}(t)$ mezi vozidly n a n-1 se může měnit v čase. Pokud je dálnice homogenní, tato vzdálenost zůstane konstantní okolo hodnoty s_{n}. Tato hodnota se mění na základě typu vozidla a také závisí na rychlosti v.

Předpokládejme, že existuje nějaký empirický vztah mezi rychlostí v a vzdáleností mezi vozidly s_{n}. Pokud rychlost v roste, je logické, že řidiči chtějí dosáhnout většího rozestupu mezi vozidly. Tato závislost mezi v a s_n je znázorněna na obrázku 1.2. Každý řidič má svoji preferovanou rychlost $\mathrm{V_n}$. Jestliže tato rychlost je u n-1 vozidla vyšší než u n-tého $v > \mathrm{V_n}$, znamená to, že n-té vozidlo pojede svoji preferovanou rychlostí (na obrázku 1.2 znázorněna čárkovanou čárou) a n-1 vozidlo mu ujede. Hodnota rychlosti v nemůže být záporná a vzdálenost mezi vozidly při nulové rychlosti by měla být níže než polopřímka lineární závislosti, viz černá tečka na obrázku 1.2 při rychlosti $v = 0$.



Obrázek 1.2: Vztah mezi rychlostí v a vzdáleností mezi vozidly s_n

Nyní předpokládejme, že n-1 se vozidlo nějakou dobu t pohybuje konstantní rychlostí v[1] a potom náhle změní rychlost na hodnotu v'. Trajektorie vozidel n a n-1 mohou poté vypadat jako na obrázku 1.3. Z obrázku lze také vypozorovat jak časovou τ_n, tak prostorovou d_n mezeru mezi vozidly n a n-1. Z čárkovaného obdelníku poté dostáváme vztah vzdálenost mezi vozidly před změnou rychlosti s_n a po změně rychlosti s'_n.

$$s_\mathrm{n} = d_\mathrm{n} + v\tau_\mathrm{n}, \qquad s'_\mathrm{n} = d_\mathrm{n} + v'\tau_\mathrm{n}.$$

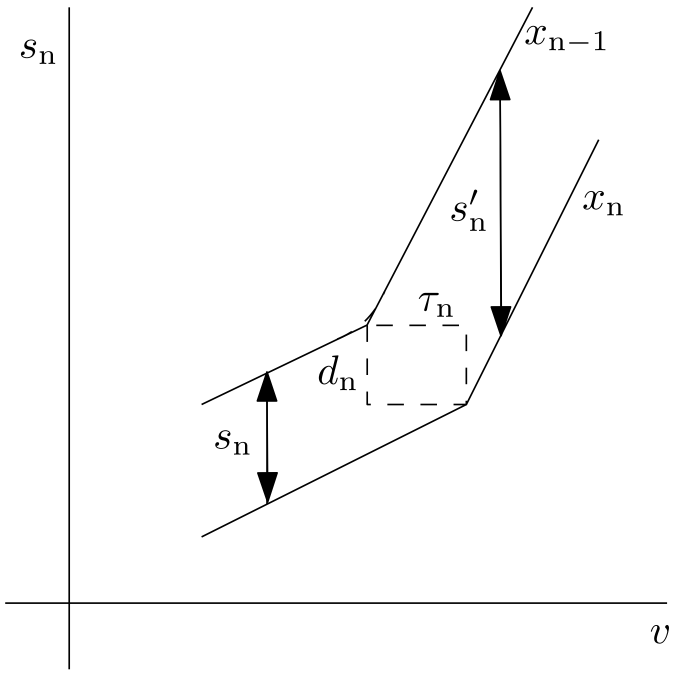
Z toho vyplývá, že pokud leží v a v' na polopřímce z obrázku 1.2, sklon této přímky je právě τ_n a hodnota s_n při rychlosti $v = 0$ je d_n.

Ze vztahu mezi v a s_n, jak je zobrazeno na obrázku 1.2, plyne nezávislost mezer d_n a τ_n na rychlostech v, resp. v'. Pokud se tedy změní rychlost z hodnoty v' na v'', d_n a τ_n zůstanou při této změně rychlosti stejné. Lineární trajektorie vozidla $x_n(t)$ potom bude jednoduše posun v čase τ_n a místě d_n.

$$x_\mathrm{n}(t + \tau_\mathrm{n}) = x_\mathrm{n\text{-}1}(t) - d_\mathrm{n}. \tag{1.1}$$

[1] hodnota rychlosti osciluje okolo hodnoty v

U Newellova modelu platí, že n-té vozidlo bude (přibližně) kopírovat trajektorii n-1 vozidla dle vztahu (1.1) při vhodných hodnotách d_n a τ_n. Tím, jak se přesně dokáže n-té vozidlo dodržovat vztah (1.1), se Newellův model nezabývá, pouze předpokládá, že řidič je schopen se tímto vztahem řídit. To není tak těžké, protože pokud se změní rychlost vozidla n-1, n-tý řidič nemusí zareagovat okamžitě, ale může počkat dokud se mezera s_n nezvýší (neklesne) na hodnotu, která odpovídá nové rychlosti vozidla n-1 (viz obrázek 1.2).



Obrázek 1.3: Lineární aproximace při změně rychlosti vozidel

Při pozorování se došlo k závěru, že každý řidič nezkoumá každého jiného řidiče na komunikaci, ale pouze jen vhodnou „makroskopickou“ část. Hodnoty τ_n a d_n jsou přirozené, to vychází ze vztahu (1.1), kde postupným iterováním dostaneme

$$x_\mathrm{n}(t + \tau_\mathrm{n} + \tau_\mathrm{n\text{-}1} + \cdots + \tau_1) = x_0(t) - d_\mathrm{n} - d_\mathrm{n\text{-}1} - \cdots - d_1. \tag{1.2}$$

τ_n a d_n se značně liší mezi jednotlivými vozidly v závislosti na typu řidiče. První skupina řidičů raději jede blíže vozidlu před sebou (n-1) až na minimální bezpečnou vzdálenost, zatímco druhá skupina naopak preferuje delší vzdálenost pro klidnou reakci na nenadálou událost. Je rozumné, aby se hodnoty τ_n a d_n lišily, a to tak, že každému jednotlivému vozidlu budou hodnoty vygenerovány z nějakého pravděpodobnostního rozdělení, jehož variační koeficient se bude blížit jedné. Při generování rychlostí vozidel by naopak měl být variační koeficient zanedbatelný.

Položíme-li

$$\overline{\tau} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\tau_k, \qquad \overline{d} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}d_k, \tag{1.3}$$

kde $\overline{\tau}$ a $\overline{d}$ jsou průměrné posuny v čase resp. místě, potom průměrnou vlnovou rychlost spočteme jako podíl $\overline{d}/\overline{\tau}$.

Literatura

[1] Barceló J, *Fundamentals of traffic simulation*, proceedings, International Series in Operations Research and management science, Springer, 2010

[2] Barrow J, *Nové teorie všeho*, Dokořán, Praha, 2008

[3] Brdička M, Samek L, Sopko B, *Mechanika kontinua*, Academia, Praha, 2011

[4] Haberman R, *Mathematical models: Mechanical vibrations, population dynamics and traffic flow*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1988

[5] Helbing D, Herrmann H J, Schreckenberg M, Wolf D E, *Microscopic Simulation of Congested Traffic* v knížce Traffic and Granular Flow, Springer, Berlin, 2000

[6] Horák J, Krlín L, Raidl A, *Deterministický chaos a jeho fyzikální aplikace*, Academia 2003

[7] Xiaoliang Ma, *A Neural-Fuzzy Framework for Modeling Car-following Behavior* [online], dostupné z `http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2006_08.pdf`

[8] May A D, *Traffic flow fundamentals*, Prentice Hall, 1989

[9] Přikryl P, *Numerické metody matematické analýzy*, SNTL, Praha, 1988

[10] Scholtz M, *Classical mechanics and deterministic chaos* [online], dostupné z `http://www.fd.cvut.cz/personal/scholma1/`

[11] Scholtz M, Vaniš M, Veselý P, Matějka P, *Applied mathematics on Faculty of Transportation Sciences*, vyjde ve sborníku k výročí Fakulty dopravní ČVUT

[12] Treiber M, Hennecke A, Helbing D, *Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations*, Physical Review E, **62** (2), pp. 1805–1824, 2000

[13] Treiber M, *Microsimulation of road traffic flow* [online], dostupné z `http://www.traffic-simulation.de/`

[14] Vitásek E, *Numerické metody*, SNTL, Praha, 1987

Seznam obrázků

1.1 Trajektorie vozidel s konstantní rychlostí 1
1.2 Vztah mezi rychlostí v a vzdáleností mezi vozidly s_{n} 2
1.3 Lineární aproximace při změně rychlosti vozidel 3

Seznam tabulek