Verkehrsdynamik und -simulation

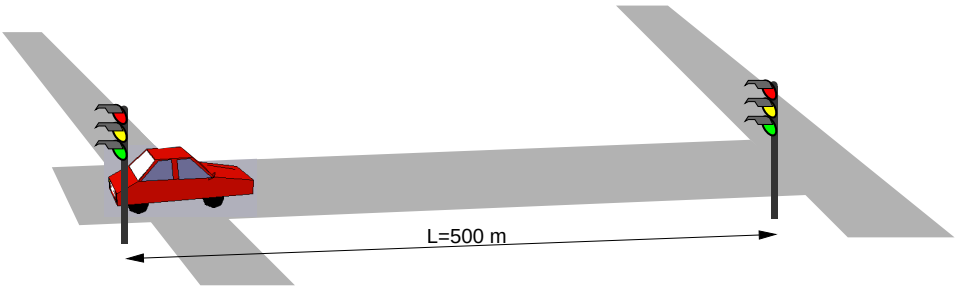
Sommersemester, Übung Nr. 9

Aufgabe 9.1: Beschleunigen und Bremsen zwischen zwei Lichtsignalanlagen

Das Anfahren an einer grünen Ampel und das Anhalten an der nächsten roten Ampel (vgl. Abbildung) soll mit Hilfe eines Fahrzeugfolgemodells mit folgender Beschleunigungsgleichung modelliert werden:

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = \begin{cases} \frac{v_0 - v}{\tau} & \text{falls} \quad \Delta v \leq \sqrt{2b(s - s_0)} \\ -b & \text{sonst,} \end{cases} \qquad \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = v.$$

Hierbei ist s der Abstand zum nächsten Fahrzeug bzw. der nächsten roten Ampel und $\Delta v = v - v_l$ die entsprechende Annäherungsrate.



(a) Was bedeuten die Modellparameter v_0, τ, s_0 und b? Wie sieht qualitativ die Beschleunigungsphase und das Abbremsen vor der nächsten roten Ampel aus? Welche vor allem beim Anfahren wesentliche menschliche Eigenschaft wird in diesem Modell nicht berücksichtigt?

(b) Die erste Ampel schaltet zum Zeitpunkt $t = 0$ auf Grün und das betrachtete Fahrzeug fährt von der Position $x = 0$ los. Die zweite Ampel ist und bleibt zunächst grün. Berechnen Sie, ausgehend vom Geschwindigkeitsverlauf $v(t) = v_0(1 - \exp(-t/\tau)$ (entspricht der Lösung der Aufgabe 8.4), den Ort des Fahrzeuges unter der Anfangsbedingung $x(0) = 0$ durch Integrieren der Geschwindigkeit für zunächst allgemeine Werte von v_0 und τ. Zeigen Sie, dass dies auch als $x(t) = v_0 t - v(t)\tau$ geschrieben werden kann.

(c) Es sei nun $s_0 = 2$ m und $b = 2\,\mathrm{m/s^2}$ und die zweite Ampel sei nun rot. Das Fahrzeug nähert sich mit $v = v_0 = 50\,\mathrm{km/h}$ der nächsten roten Ampel. Wieviel Meter vor dieser Ampel beginnt der Fahrer zu bremsen? Wie hoch ist die Bremsverzögerung? Wieviel Meter vor der Ampel kommt der Fahrer mit dem Fahrzeug zum Stehen?

(d) Es sei nun außerdem $\tau = 5$ s. Geben Sie die Trajektorie und den gesamten Geschwindigkeitsverlauf des Autos für die 500 m lange Strecke für den Fall an, dass die zweite Ampel "rot" anzeigt.

Hinweis: Sie müssen zunächst den Ort und den Zeitpunkt der ersten Reaktion des Fahrers auf die rote Ampel bestimmen. Nehmen Sie näherungsweise an, dass das Fahrzeug an diesem Ort die Wunschgeschwindigkeit bereits erreicht hat und verwenden Sie die bei (b) angegebene Lösung für den ersten Teil der Trajektorie.

Aufgabe 9.2: Full Velocity Difference Model

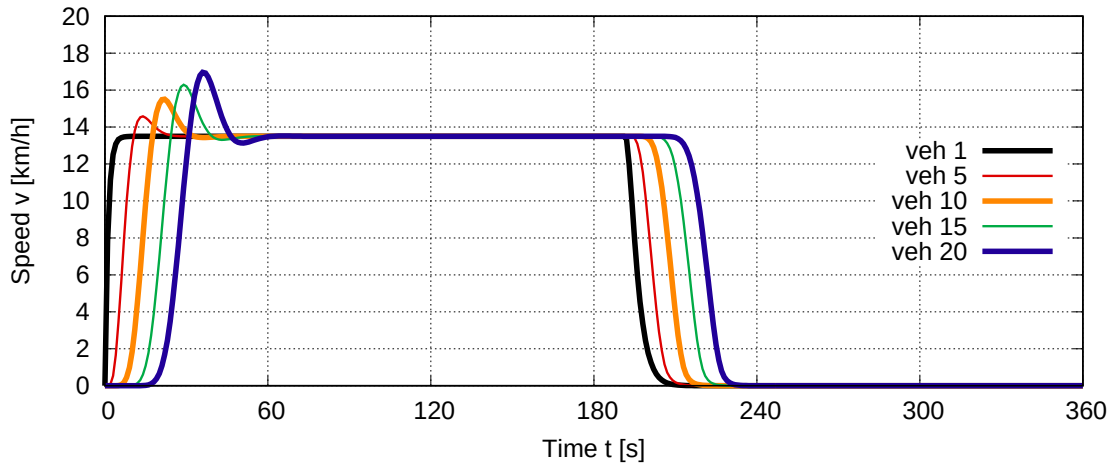
Betrachten Sie nun als erweitertes OVM das *Full Velocity Difference Model* (FVDM) mit den Modellgleichungen

$$\dot{v} = \frac{v_{\text{opt}}(s) - v}{\tau} - \gamma \Delta v$$

für das dreieckige Fundamentaldiagramm

$$v_{\text{opt}}(s) = \min\left[v_0, \max\left(0, \frac{s - s_0}{T}\right)\right]$$

Das FVDM fügt zum OVM eine Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsdifferenz $\Delta v = v - v_l$ mit positivem Sensitivitätskoeffizienten γ hinzu. Beim Beschleunigen und Bremsen eines Fahrzeugpulks zwischen zwei Lichtsignalanlagen (LSA) ergibt sich für die Modellparameter $v_0 = 54\,\text{km/h}$, $\tau = 5\,\text{s}$, $T = 1.2\,\text{s}$, $s_0 = 2\,\text{m}$ und $\gamma = 0.6\,\text{s}^{-1}$ folgende Trajektorie:



(a) Beschreiben Sie kurz die Situation und schätzen Sie den Abstand zwischen den beiden LSA ab.

(b) Die Fahrzeuge kommen nicht auf 54 km/h, obwohl dies die Wunschgeschwindigkeit ist und auch genügend Abstand zwischen den Ampeln zum Erreichen dieser Geschwindigkeit besteht. Was ist die Ursache dafür? Wie hoch ist die maximal erreichbare Geschwindigkeit, wenn in beliebiger Entfernung eine durch ein stehendes virtuelles Fahrzeug modellierte rote LSA existiert? Berechnen Sie das Ergebnis allgemein und für die obigen Parameterwerte.

Aufgabe 9.3: Reaktion auf einscherende Fahrzeuge und auf eine rot werdende Ampel

(a) Durch Spurwechsel eines anderen Fahrzeugs (Geschwindigkeit gleich der bisherigen Gleichgewichtsgeschwindigkeit) wird der Gleichgewichtsabstand kurzfristig um 50% unterschritten. Bestimmen Sie die gemäß dem Gipps-Modell (mit $\Delta t = T = 1\,\mathrm{s}$, $b = 2\ \mathrm{m/s^2}$) und dem IDM resultierende Bremsverzögerung, falls $a = 1\mathrm{m/s^2}$, $\delta = 4$ und alle beteiligten Fahrzeuge mit konstanter Geschwindigkeit $v = v_0/2 = 72$ km/h fahren (weitere Parameter des Gipps-Modells oder des IDM werden prinzipiell nicht benötigt; nehmen Sie dennoch ggf. $T = 1\,\mathrm{s}$, $b = 2\,\mathrm{m/s^2}$, $s_0 = 2\,\mathrm{m}$ an, wenn es die Überlegungen vereinfacht).

(b) Eine Ampel wird vor einem im Stadtverkehr ($v = 54$ km/h) fahrendes Fahrzeug rot und der Fahrer hat seine Reaktionszeitphase mit dem Ergebnis "Bremsen" abgeschlossen , als er einen Abstand von 50 m hat. Wie hoch ist die anfängliche Bremsverzögerung beim Gipps-Modell ($\Delta t = 1$ s, $b = 2\ \mathrm{m/s^2}$) und beim IDM ($T = 1$ s, $s_0 = 2$ m, $a = 1\ \mathrm{m/s^2}$, $b = 2\ \mathrm{m/s^2}$)?

Aufgabe 9.4: Siehe engl. Aufgabenstellung