FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI

STUDENTSKÁ VĚDECKÁ KONFERENCE 2018

Návrh optimálního řízení RC modelu auta pomocí dynamického programování

Jakub Matoušek[1]

1 Úvod

Autonomní řízení osobních i nákladních automobilů v současnosti přitahuje čím dál větší pozornost. Velké společnosti jako Google nebo Tesla investují nemalé prostředky na vývoj těchto autonomních řídících systémů. Za zjednodušenou úlohu zabývající se tímto problémem může být považováno řízení modelu RC auta bez lidského zásahu.

Cílem této práce je využít dynamického programování při hledání optimálního řízení RC auta. Zadání úlohy je navrhnout řízení, které umožní RC modelu auta projet z bodu A do bodu B a vyhnout se při tom překážkám, jejichž umístění je známo.

2 Řešení

Nejprve byly zjištěny základní parametry reálného modelu RC auta, pro použití v simulaci. Dalším krokem bylo nalezení vhodného matematického modelu popisujícího pohyb RC auta. Vzhledem k tomu, že se tato práce zaměřuje pouze na simulační vyhodnocení, postačuje i přibližný matematický model uvedený Rajamani (2012), odpovídající modelu jízdního kola. Dále bylo porovnáno několik základních metod diskretizace. Pro tuto práci byla, vzhledem k výše zmíněným důvodům, zvolena ta implementačně nejméně výpočetně náročná - Eulerova diskretizace. Poté bylo nutno kvantizovat stavový prostor, aby mohla být jednodušeji reprezentována Bellmanova funkce. Hlavním kritériem při implementaci kvantizace byla opět rychlost výpočtu. Nakonec bylo třeba nalézt samotné optimální řízení pomocí dynamického programování, které popisuje například Frank et al. (2012).

Cíl řízení a překážky byly, pro účely dynamického programování, reprezentovány ztrátovou funkci $L_k^c(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k)$, $L_k^c : \mathcal{X} \times \mathcal{U} \mapsto \mathbb{R}^+$, určující ztrátu, která vznikne při použití řízení $\mathbf{u}_k$ ve stavu $\mathbf{x}_k$. Mějme následující kritérium kvality řízení

$$J(\mathbf{x}_0, \boldsymbol{\gamma}_0^F) = \sum_{k=0}^{F} L_k^c(\mathbf{x_k}, \mathbf{u_k}), \tag{1}$$

které hodnotí regulátor na konečném časovém intervalu. Optimální strategie řízení je potom dána řešením Bellmanovi rovnice optimality

$$V^\star(\mathbf{x}_k) = \min_{\overline{\boldsymbol{u}} \in \mathcal{U}} \left\{ L^c(\mathbf{x}_k, \overline{\boldsymbol{u}}) + \eta V^\star\big(\mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \overline{\boldsymbol{u}})\big) \right\}, \tag{2}$$

kde $V^\star : \mathcal{X} \rightarrow \mathbb{R}$ je Bellmanova funkce. Vztah (2) je nelineární funkcionální rovnice, jejíž řešení lze exaktně nalézt pouze v některých speciálních případech. Pro diskrétní $\mathcal{X}$ a $\mathcal{U}$ se dá

[1] student bakalářského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika a řídící technika, e-mail: matoujak@students.zcu.cz

nalézt numerické řešení pomocí několika metod: iterace váhové funkce, iterace strategie a zobecněná iterace strategie. V této práci je využita iterace váhové funkce, která je dána vztahem

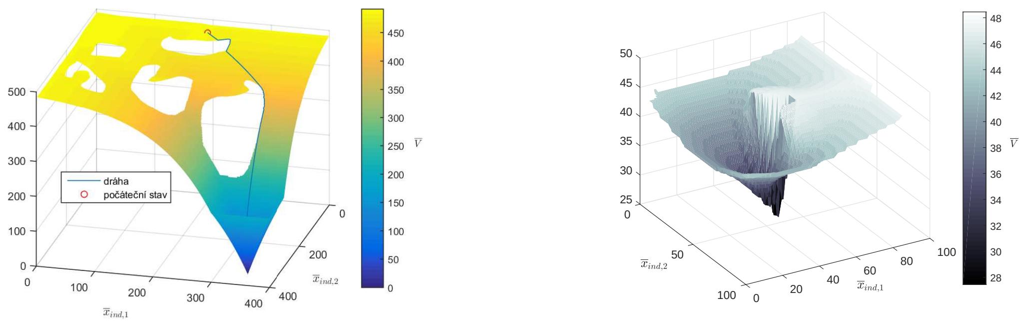
$$\overline{V}^{(i+1)}(\overline{\mathbf{x}}) = \min_{\overline{\boldsymbol{u}} \in \mathcal{U}} \left\{ L^c(\overline{\mathbf{x}}, \overline{\boldsymbol{u}}) + \eta \overline{V}^{(i)}\left(\mathbf{f}(\overline{\mathbf{x}}, \overline{\boldsymbol{u}})\right) \right\}, \tag{3}$$

kde $i = 0, 1, ...$ je iterační index a $\eta \in (0, 1)$ je diskontní faktor, který redukuje důležitost budoucích ztrát. Počáteční funkce $\overline{V}^{(0)}$ může být zvolena jako identicky nulová, nebo, pokud máme k dispozici nějaký odhad Bellmanovy funkce, může být tento použit jako počáteční podmínku pro iteraci váhove funkce. Algoritmus iterace váhove funkce je ukončen po splnění ukončovací podmínky.

3 Simulační experimenty

V prvním experimentu, zatím bez dynamiky RC modelu auta, je uvažována šachovnice 400x400 políček s překážkami. Možná řízení jsou pohyby v osmi směrech a žádný pohyb. Bellmanova funkce pro tento experiment je graficky zobrazena na obrázku 1a. Hodnota funkce roste ve všech směrech od cílového bodu a v místě překážek má hodnotu ∞. Dráha má pro názornost přidanou třetí dimezi rovnou hodnotě Bellmanovy funkce v každém konkrétním bodě.

Druhý simulační experiment již využívá kinematický model pohybu modelu RC auta. Obrázek 1b zobrazuje Bellmanovu funkci pro úhel natočení osy RC auta od x-ové osy $0°$. Lze na něm vidět jak ohodnocení Bellmanovy funkce směrem k cíli klesá pouze z jedné strany. To je způsobeno omezením pohybu RC auta, které je dáno kinematickým modelem. Skok v hodnotách Bellmanovy funkce vzniká ve chvíli, kdy je RC auto již moc blízko cíli a nedokáže do něj zatočit přímo, ale musí se vrátit.



(a) Bellmanova funkce

(b) Bellmanova funkce s dynamikou RC modelu

Obrázek 1: Bellmanovy funkce

Literatura

Draguna, V. and Frank, L. and Vamavoudakis, G. (2012) Optimal Adaptive Control and Differential Games by Reinforcement Learning Principles. *The Institution of Engineering and Technology*, Heidelberg, London, United Kingdom. ISBN 978-1-84919-489-1

Rajamani, R. (2012) Vehicle Dynamics and Control. *Mechanical Engineering Series*. Springer, Heidelberg, Germany chapter 2. ISBN 978-1-4614-1433-9