

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

| | |
|------------------------------------|--|
| Název práce: | End-to-end control on F1/10 Autonomous Car using Neural Network |
| Jméno autora: | Bc. Marek Žuffa |
| Typ práce: | diplomová |
| Fakulta/ústav: | Fakulta elektrotechnická (FEL) |
| Katedra/ústav: | Katedra počítačů |
| Vedoucí práce: | Ing. Jaroslav Klapálek |
| Pracoviště vedoucího práce: | Katedra řídicí techniky |

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

| | |
|---|-------------------|
| Zadání | náročnější |
| <i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i> | |
| Cílem práce bylo nastudovat použití metod posilovaného učení pro tzv. „end-to-end“ řízení aut. Pomocí řešerše pak vybrat, implementovat a naučit ve vhodném simulačním prostředí dvě různé metody využívající posilované učení – jednu bez modelu (tzv. model-free) a druhou využívající model (tzv. model-based). Následně pak tyto metody přenést na reálný model autonomního auta F1/10, na kterém je otestovat a porovnat s klasickým reaktivním plánovačem. S přihlédnutím k tomu, že se zadání této práce rozpíná mezi více obory a vyžaduje nejen testování v simulaci, ale i na reálném hardwaru, jej celkově hodnotím jako náročnější. | |

| | |
|--|------------------------------------|
| Splnění zadání | splněno s menšími výhradami |
| <i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i> | |
| Zadání bylo splněno. Výtku si zaslouží chybějící dokumentace celkového řešení. | |

| | |
|--|------------------|
| Aktivita a samostatnost při zpracování práce | C - dobře |
| <i>Posuďte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posuďte schopnost studenta samostatné tvůrčí práce.</i> | |
| Student pracoval samostatně a na konzultace, které probíhaly podle aktuální potřeby, chodil připraven. Celkové organizaci a zpracování práce by prospělo, kdyby student namísto samostatného (a mnohdy zdlouhavého) řešení problémů využil možnost konzultace. Častějšími konzultacemi by bylo možné předcházet časovému presu v závěru psaní práce, který bohužel vedl i k tomu, že některé části práce jsem si měl možnost přečíst až v odevzdané verzi. Některé připomínky k práci tak nebyly (dostatečně) reflektovány. I přesto lze konstatovat, že je student schopen samostatné tvůrčí práce. | |

| | |
|--|-----------------------|
| Odborná úroveň | D - uspokojivě |
| <i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i> | |
| Student ve své práci popsal metody posilovaného učení použitelné pro „end-to-end“ řízení aut, pomocí dvou vybraných metod naučil agenty projet závodní dráhu ve vybraném simulačním prostředí a pak je experimentálně vyzkoušel i na platformě modelu autonomního autíčka F1/10. V průběhu celé práce je znát, že student vychází nejen ze znalostí získaných studiem a z odborné literatury, ale i z vlastních zkušeností; avšak občas svá tvrzení nevysvětlí a tím může čtenáře (přinejmenším neinformovaného) nechat na pochybách o jejich pravdivosti. Kromě toho student používá termíny, které nejsou v práci přesně definované, příkladem může být „optimal“ (od str. 4; kde není jasné vůči jakému kritériu), nebo „safety“ (bezpečnost použití neuronové sítě na str. 5 x nekolidování se stěnami na str. 6). Teoretická část práce, která je zaměřená na přehled použití metod posilovaného učení na řízení auta, má velký potenciál, bohužel však není dobře dotažena a je na ní vidět, že se jí student věnoval v časovém presu. Přestože je zprvu prezentována jako „theoretical basics to help explain and understand the methods used to solve the given task“ (str. 2) není teoretická část samostojná a místy vyžaduje další znalosti z oblasti strojového učení. Praktická část práce je velmi minimalistická, ač nad implementací a zprovozňováním metod strávil student velké množství času – např. řešením různých softwarových problémů způsobených nekompatibilními knihovnamy, nebo odlišnou verzí ROSu. | |

Ve výsledcích pak student píše, že ve své práci úspěšně naučil obě metody, nicméně tyto závěry nejsou plně podpořeny prezentovanými výsledky. Minimálně bych předpokládal, že každý agent bude schopný úspěšně projet v simulaci tu trať, na které se učil. V případě, že tomu tak není (a nejde o příliš krátkou dobu učení) bych očekával vysvětlení, nebo alespoň studentovu úvahu.

Na druhou stranu student úspěšně demonstroval obě metody přímo na modelu F1/10. Jak sám uvádí, autoři většiny zdrojů testovali své přístupy pouze v simulaci. Lze očekávat, že již takto dobré výsledky by se správně naučeným agentem byly ještě o něco lepší.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

E - dostatečně

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce je napsána poměrně dobře čitelnou angličtinou s jen malým množstvím gramatických chyb. Čitelnost textu je snížena nejen občasným použitím nevhodných větných konstrukcí, ale také tím, že student předpokládá na začátku některých sekcí konkrétní znalosti z předchozího textu. Orientaci ve výsledcích by usnadnilo, kdyby student zopakoval části obrázků či sekcí namísto odkazu, který vede až několik desítek stran zpět.

Bohužel typografická stránka práce je na nižší úrovni. Student se dopouští hrubých chyb v sazbě rovnic (chybějící operátory a indexy), v zavádění proměnných (které občas nejsou vysvětlené, např. ρ na str. 26) a definování jejich domén (které buď nejsou uvedené vůbec – např. r na str. 17, nebo chybí jejich význam – např. S^+ na str. 20), ale především pak ve značení proměnných budoucích stavů, kde se objevují jak apostrofy, tak i notace „t+1“ (např. Algoritmus 3). Součástí studentovy práce by mělo být i sjednocení značení mezi použitými zdroji, což v práci bohužel chybí. To pak vede na zmatení čtenáře. Drobné nekonzistence se pak objevují u použití velkých písmen a spojovníků, případně pak u jednotek veličin.

Výběr zdrojů, korektnost citací

C - dobře

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Studijní materiály si student získával aktivně a samostatně. Zdroje se skládají především z konferenčních příspěvků. Ovšem forma citací je velmi nevhodná – více než polovina všech referencí je neúplná (chybějící jména konferencí [13], dat přístupu k internetovým zdrojům [10], apod.) či nekorektně formátovaná (např. „et al. Richard“ [34]). V některých případech student cituje verzi na arXivu [38], i když je dostupná ve vědeckém časopise.

V případě, že se v textu objevuje např. výčet algoritmů (Sekce 2.1.1), student cituje pouze některé z nich. Při odkazování na soutěže (Kapitola 1) by bylo vhodné přiřadit odkazy na internetové stránky.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení.

Student ve své práci úspěšně implementoval dva přístupy pro „end-to-end“ řízení modelu autonomního autíčka F1/10. S využitím simulačního prostředí naučil neuronové sítě, které pak přenesl na fyzický model, kde je přímo i otestoval. Přestože to není v práci specificky uvedeno, i s využitím již existujících částí řešení musel student bojovat s různými softwarovými problémy způsobenými např. nekompatibilními knihovnamy, odlišnou verzí ROSu, a v neposlední řadě i odlišnými architekturami a systémy jednotlivých počítačů. Za ocenění tedy stojí i množství času a úsilí, které student vložil do řešení těchto problémů.

Věřím, že spousta výtek v hodnocení by mohlo být vyřešeno včasným psaním samotného textu. Na druhou stranu student své zadání splnil, a i když výsledky nejsou přesvědčivé (alespoň co se týče naučení agentů), tak ukazují, že použití „end-to-end“ řízení místo reaktivního plánovače představuje směr, který stojí za to prozkoumat hlouběji.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Datum: **13. června 2024**

Podpis: