

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Automatické obchodování na akciové burze založené na fundamentálních datech a algoritmech zpětnovazebního učení
Jméno autora:	Jakub Michna
Typ práce:	bakalářská práce
Fakulta:	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
Katedra:	Katedra matematiky
Vedoucí práce:	Ing. Pavel Strachota, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	KM FJFI ČVUT v Praze

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání a motivace k jeho vypsání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce a krátké průvodní slovo k motivaci pro zadání práce.</i>	
<p>V minulosti jsme v podobě bakalářských prací studentů uskutečnili několik pokusů o predikci výnosu akcií, resp. kryptoměn, které byly založeny na neuronových sítích. Přirozeně jsme nedosáhli žádných v praxi použitelných výsledků, avšak téma studentům dobře posloužilo k seznámení s metodami strojového učení. Zadání této práce se drží dané problematiky, ale z hlediska použitých metod se soustředí na dynamicky se rozvíjející a v poslední době v řadě aplikací mimořádně úspěšné algoritmy tzv. zpětnovazebního učení (reinforcement learning, dále jen RL). Základní myšlenka této metody je sice jednoduchá, ale pochopení a implementace pokročilých algoritmů vyžaduje značné úsilí a schopnosti. Navíc se pohybujeme v problematice, kde většina poznatků pochází z několika posledních let a každým rokem se objevují nové podstatné objevy.</p>	

Splnění zadání	splněno
<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>	
<p>Všechny body zadání byly splněny. V souladu se studentovými zájmy i s tím, jak jsme se společně seznamovali s nejmodernějšími poznatky z RL, jsme přistoupili k systematickému a hlubokému studiu matematických základů i jednotlivých algoritmů, stejně jako k jejich praktické implementaci. Odvedenou práci považuji za mimořádně hodnotnou, takže mi vůbec nevadí, že oproti původnímu záměru došlo k jisté redukci části práce věnující se samotnému obchodování.</p>	

Aktivita a samostatnost při zpracování práce	výborná
<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>	
<p>Student byl velmi samostatný při vyhledávání zdrojů, porozumění problematice i implementaci algoritmů. Vše jsme průběžně konzultovali a s jeho pilnou a soustavnou prací jsem byl nadmíru spokojen.</p>	

Odborná úroveň	výborná
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
<p>Výsledný text je podle mého názoru možná unikátním česky psaným materiálem (pro řadu pojmů jsme museli hledat vhodný český ekvivalent), který shrnuje nejmodernější poznatky z oboru RL, obsahuje hluboký matematický vhled včetně řady důkazů, a navíc je průběžně ilustrován funkčními implementacemi algoritmů v jazyce Python, které jsou zveřejněny i na platformě GitHub.</p>	

Formální a jazyková úroveň	výborná
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	

Jak je mým zvykem, v průběhu psaní textu jsem jednotlivé pasáže po studentovi důkladně kontroloval a pomáhal mu osvojit si některé zvyky běžné při psaní odborného matematického textu. Studentova již na počátku velmi dobrá schopnost psát souvislý vědecký text se dále zlepšovala a výsledný text je na velmi vysoké úrovni. Občas jsme v textu záměrně ponechali méně formální pasáže, které ilustrují tvůrčí přístup studenta a přispívají k příjemnému čtení.

Výběr zdrojů, korektnost citací

výborné

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.

Vybrané zdroje, z nichž student většinu našel samostatně, jsou relevantní a zároveň nutné pro porozumění překotnému vývoji v oblasti RL včetně implementační stránky. Kromě fundamentálních knih a článků je citována dlouhá řada online zdrojů obsahující dokonce i videa. V dané oblasti to však považuji za adekvátní a ve skutečnosti i mimořádně efektivní způsob studia.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Jakub byl na sebe až nadmíru náročný a rozhodl se detailně zpracovat celou řadu RL algoritmů, od základních (dynamické programování, odhadování kvalitativní funkce metodou Monte Carlo) až po ty nejpokročilejší (TD3 algoritmus – Twin Delayed Deep Deterministic policy gradient). Takovou úroveň a hloubku zpracování jsem zpočátku nepředpokládal, což vedlo k tomu, že byl text dokončován na poslední chvíli. Díky Jakubově přístupu však na sebe výklad vhodně navazuje a postupně rozvíjí dříve získané poznatky. Z výsledné podoby textu (zejména kapitoly 1 a 2) jsem nadšený a ani v nejmenším nelituji času, který jsme tématu společně věnovali.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Případně uveďte otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Jak je patrné z mých předchozích komentářů, předkládaná práce je dle mého názoru výjimečné dílo detailně seznamující čtenáře s problematikou RL, a to v češtině a s praktickými ukázkami algoritmů. Samotné aplikaci algoritmů při hledání obchodní strategie je věnována též dostatečná pozornost a získané výsledky jsou dobrým základem pro další rozvoj.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborné**.

Chýně, 4.8.2023

Ing. Pavel Strachota, Ph.D.

