

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Daty řízený algoritmus pro rozvrhování na jednom stroji
Jméno autora:	Bc. Michal Bouška
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra počítačů
Oponent práce:	Ing. Karel Horák
Pracoviště oponenta práce:	Katedra počítačů

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	lehčí
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání práce po studentovi požaduje navržení data-driven přístupu pro rozvrhování problému 1 $ \Sigma T_j$. Zadání dává studentovi relativně velkou svobodu co se týče zvolených postupů a i výsledné obtížnosti. Vzhledem ke studentem zvolenému přístupu hodnotím zadání jako lehčí.	

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 po studentovi vyžadovalo navržení data-driven přístupu pro řešení rozvrhovacího problému 1 $ \Sigma T_j$. I přes veškeré nedostatky práce se zdá, že tento požadavek student splnil. Drobnou výtku mám k druhému bodu zadání, kde je navrženo použití fundamentálních vlastností řešeného problému. Tento požadavek se zdá, že nebyl splněn (nebo alespoň z práce díky chybějící diskuzi není zřejmé, jakých fundamentálních vlastností bylo využito).	

Zvolený postup řešení	částečně vhodný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Autor využil principu heuristického prořezávání prohledávacího stromu, kdy dochází k expanzi pouze některých následníků aktuálního uzlu. Tyto uzly jsou vybrány na základě kriteriální hodnoty predikované neuronovou sítí. Tento přístup v nedávné době vedl k zásadním průlomům v AI, například při řešení hry Go [Silver et al., 2016]. Zvolený přístup se proto po principiální stránce zdá být vhodným.	
Jako slabinu považuji nedostatečnou argumentaci a analýzu zvolených postupů, která často chybí. Autor například pouze konstatuje, jakou architekturu neuronové sítě zvolil, jaké techniky pro normalizaci vstupů sítě používá. Neposkytuje ale argumentaci, proč jsou zvolené postupy vhodné.	

Odborná úroveň	E - dostatečně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce využívá znalostí načerpaných během studia na OI a z relevantní literatury. Za nešťastný ale považuji způsob jejich prezentace v textu předložené práce. Z práce není zřejmé, zda autor používaným konceptům a technikám důkladně porozuměl (jak bych od studenta oboru Umělá inteligence na OI očekával), nebo jich využívá bez většího porozumění.	
Samotný algoritmický přínos práce je založený na velice jednoduché myšlence, jejíž samotnou aplikaci bych považoval za dostatečnou na úrovni bakalářské práce. Za základní kontribuci práce proto považuji implementaci regresní funkce pro odhad kriteriální funkce podproblémů. V tomto kontextu se zdá být velmi nešťastné, že autor nevěnuje žádný prostor rešerši technik aproximace funkcí, zejména neuronovým sítím. Ze sekce 4.3 (ktera se jako jediná tomuto tématu výrazněji	

věnuje) se zdá, že autor má povědomí o praktických aspektech neuronových sítí, nicméně celá diskuze je velmi povrchní. Autor například vůbec nedisktuje volbu architektury neuronové sítě, nespecifikuje použité aktivační funkce, nedisktuje problematiku overfittingu (a případné regularizace). Text věnovaný neuronovým sítím tak působí spíše jako manuál pro implementaci použité neuronové sítě v některé z knihoven než jako výstup vědecké práce.

V experimentálním vyhodnocení navržené techniky bohužel převažuje kvantita nad kvalitou. Autor reportuje velké množství naměřených grafů, nicméně věnuje minimální prostor diskuzi a dopadům těchto výsledků (často se jedná o popis na úrovni popisku u Figure). Výsledky reportované přímo v textu jsou navíc zjevně nepřesné (například hodnoty *average mean absolute error* reportované v prvním odstavci strany 31 nebo optimální hodnoty instancí v prvním odstavci strany 34, kdy lze pochybovat, že průměrná hodnota instancí je přesně 1 000 000, resp. 50 000).

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

F - nedostatečně

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

S výjimkou prvních dvou kapitol je práce v mnoha pasážích těžce čitelná s velkým množstvím jazykových chyb. Prezentované algoritmy z citované literatury jsou z práce těžce pochopitelné (například popis algoritmu NBR v sekci 3.4 nebo Limited discrepancy search v sekci 4.2.1). Čitelnosti práce nepomáhá ani používání velkého množství zkratk, které často nejsou zavedeny.

Práce je kratšího rozsahu (cca 29 stran bez grafů a prázdných míst). Autor využívá velkého formátu grafů (cca půl strany včetně popisku) a zejména v kapitole 5 věnované experimentálním výsledkům se často vyskytují velké mezery (viz např. strana 43), což působí dojmem umělého prodlužování rozsahu a v každém případě velmi neprofesionálně.

Za další formální nedostatky práce považují například:

- V grafech chybí confidence intervaly.
- Popis grafů často neodpovídá zobrazovaným údajům (například v poslední větě na str. 28 autor uvádí, že ve Figure 5.3 se nachází hodnoty *mean square error* pro parametry 500, 1000, 2000, 10000 samplů – ve skutečnosti je v grafu reportována hodnota *mean average error* pro parametry 2000, 5000 a 10000).
- Použití syntaxe založené na programovacím jazyku Python pro zápis pseudokódů (včetně používání nezadefinovaných funkcí, jako například `right_argmax` v Algoritmu 2, a proměnných, jejichž význam a typ je třeba odhadovat). V Algoritmu 2 je navíc i chyba, neboť v prezentované verzi nebude podmínka na řádku 13 nikdy splněna.
- V tabulce 5.1 chybí jednotky.
- Autor několikrát odkazuje „subsection 4.3“, při čemž podsekcí „Normalization of network inputs“, kam tento proklik v elektronické verzi vede, není očíslovaná.

Výběr zdrojů, korektnost citací

B - velmi 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.

Autor korektně cituje předchozí práce. Rozlišení autorovy kontribuce od předchozích prací je zřejmé. Jako nešťastné považují komolení jména jednoho z citovaných autorů (vyskytují se například tyto varianty jména T'kindt: T'kint, Tkindt).

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.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

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

Předložená práce studuje problematiku využití strojového učení pro urychlení řešení rozvrhovacího problému $1| \Sigma T_j$, jehož exaktní varianta je NP-hard. Autor práce mě bohužel ve svém textu nepřesvědčil, že k problému přistupoval systematicky, a zvolené řešení je velmi přímočaré. Autor často prezentuje pouze jediné zvolené řešení bez jakékoliv diskuze, proč je dané řešení vhodné, případně jaké byly k dispozici alternativy. V části věnované experimentálním výsledkům převažuje kvantita nad kvalitou. Autor reportuje velké množství hodnot, nicméně nevěnuje téměř žádný prostor diskusi výsledků (s výjimkou sekce 5.5, kde autor velmi povrchně komentuje experimentální výstupy práce). Některé výstupy této sekce se navíc nezdají být příliš podložené - například první tvrzení, že mean average error neuronové sítě klesá s velikostí trénovací množiny. Toto tvrzení se zdá být velmi silné (v kontextu toho, že autor v práci vůbec nediskutuje problematiku možného overfittingu), navíc se zdá být v rozporu s daty z Figure 5.2, kde síť trénovaná na 10 000 vzorcích má vyšší mean absolute error než síť trénovaná na 5 000 vzorcích.

Práce je velmi rozporuplná po formální a jazykové stránce. Zatímco první dvě kapitoly jsou dobře srozumitelné a psané dobrou Angličtinou, zbylé kapitoly obsahují velké množství jazykových chyb a některé pasáže jsou těžce srozumitelné. Po stránce zpracování práce nepůsobí dobrým dojmem a myslím si, že by bylo vhodnější, kdyby autor věnoval více času sepsání práce (zejména rešerši, diskusi a analýze zvoleného řešení a experimentálních výsledků, typografii a jazykové korektuře) i za cenu pozdějšího předložení práce k obhajobě.

Jako pozitivum práce vidím, že navržený algoritmus poráží state-of-the-art heuristiku NBR na instancích, které mají parametry podobné trénovacím datům. Nejsem si nicméně jistý, zda lze samotné toto porovnání brát jako metriku úspěšného vyřešení návrhu data-driven přístupu pro řešení problému $1| \Sigma T_j$. Nejsem expert v oblasti operačního výzkumu, nicméně předpokládám, že heuristika NBR byla navrhována tak, aby poskytovala dobré výsledky na relativně široké třídě instancí (v porovnání s navrženým data-driven přístupem, který je zacílený na konkrétní typy instancí). Porovnání s hodnotami NBR heuristiky (která navíc pro fungování na velkých instancích nepotřebuje drahé trénování) proto dle mého názoru nevyovídá o absolutních kvalitách navrženého řešení. Tyto kvality je díky chybějící diskusi velice těžké z předložené práce hodnotit.

Pro obhajobu diplomové práce navrhuji tyto body k diskusi:

- 1) Všiml jsem si, že v sekci 5.1 zmiňujete použití trénovacího, testovacího a validačního datasetu. Mohl byste prosím diskutovat, jak jste těchto množin využil v průběhu výběru vhodné architektury neuronové sítě a při jejím učení? Jaké architektury a hyperparametry neuronových sítí jste uvažoval a jaké byly výsledky?
- 2) V sekci 4.1 uvádíte, že jste se rozhodl modifikovat algoritmus založený na Lawlerově dekompozici namísto novějších algoritmů jako např. SDD. Předpokládáte, že by novější algoritmus SDD (který byl state-of-the-art přístupem až do roku 2018, viz sekce 3.2) nedosahoval v kombinaci s heuristickým oraclem kvalit navrhovaného algoritmu Lawler heuristic search (popřípadě nebenefitoval z využití heuristické modifikace), nebo bylo toto rozhodnutí založeno čistě na implementační náročnosti, jak tvrdíte v sekci 4.1?
- 3) Pokud dobře rozumím studovanému rozvrhovacímu problému $1| \Sigma T_j$, úpravou due dates instance na $d_i = \min(d_i, \sum_{j \in J} p_j)$ nedojde ke změně optima problému. Můžete prosím diskutovat navrhované normalizační techniky 1PSMD (kde zohledňujete maximální due date) a NPSOD (kde zohledňujete počet

jobů)? Po modifikaci due dates se zdá, že pro normalizaci do intervalu $[0, 1]$ stačí vstupy vydělit $\sum_{j \in J} p_j$ - při čemž zvolené přístupy 1PSMD a NPSOD mohou v porovnání s prostým vydělením $\sum_{j \in J} p_j$ u modifikované instance používat zbytečně vysokou normalizační konstantu. Toto by mohlo vysvětlovat zhoršující se výsledky přístupu založeného na NPSOD s rostoucím n prezentované ve Figure 5.7 (jelikož normalizační člen je lineárně závislý na počtu jobů).

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **E - dostatečně**.

Datum: 20.6.2019

Podpis: