

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Vizualizace učení neuronových sítí</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Alikhan Anuarbekov</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Oponent práce:</b>	Jonáš Šerých
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Katedra kybernetiky FEL ČVUT

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání je náročnější - vyžaduje základní pochopení fungování v současnosti používaných architektur neuronových sítí a pochopení nedávno publikované literatury o vizualizaci jejich "loss landscape". Jedná se o vizualizaci funkcí na velmi vysoce dimenzionálních prostorech, ve kterých je obtížné nebo nemožné získat intuitivní představu. Zároveň jsou zkoumané metody vizualizace heuristiky, takže není možné se opřít o teorii.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s menšími výhradami</b>
<i>Posudte, 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>	
Splněno s menšími výhradami - Práce se opírá především o článek Hao Li, Zheng Xu, Gavin Taylor, Christoph Studer and Tom Goldstein. Visualizing the Loss Landscape of Neural Nets. NIPS, 2018. [reference 27]. Rešerše dalších metod vizualizace učení neuronových sítí chybí (s výjimkou krátce zmíněné Grand Tour visualization (sekce 4.1)), poslední dvě reference z doporučené literatury (Loss surfaces, mode connectivity, and fast ensembling of DNNs; Large Scale Structure of Neural Network Loss Landscapes) nejsou vůbec zmíněny.	
V praktické části práce student splnil zadání bez výhrad. Re-implementoval dvě metody vizualizace a provedl experimenty na několika datasetech a architekturách neuronových sítí.	
Student provedl "prozkoumání hypotéz, že některé stávající architektury popsané v literatuře dosahují lepších výkonů právě díky snadněji optimalizovatelné krajině", ale experimenty ukázaly, že použité vizualizační metody neumožňují na tuto otázku uspokojivě odpovědět.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posudte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený postup řešení - re-implementace metody, replikace experimentů z původního článku, provedení dalších experimentů na nových architekturách / datech považují za správný.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Posudte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Student využil poznatky ze současné odborné literatury.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>E - dostatečně</b>
---	-----------------------

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

Práce je psána v anglickém jazyce. I přes občasné chyby je studentova angličtina dobře srozumitelná.

Výrazné mezery sledávám v organizaci textu a formální přesnosti - obojí nezřídka brání porozumění obsahu práce.

Z textu není zřejmá logická návaznost některých částí. Například hned v sekci 1.1 jsou pod definicí machine learning odrážky Example, Features, Result, které se v definici nevyskytují. Optimalizační metody Gradient Descent, Stochastic Gradient descent, Adam optimizer (sekce 1.3) jsou poněkud neintuitivně popsány dříve, než je zřejmé co je neuronová síť a co se v ní optimalizuje (kapitola 2). Všechny sekce kapitoly 3 působí nahodile a moc na sebe nenavazují. Sekce 4.4 Visualisation with PCA components popisuje PCA, bez úvodu o co se jedná a jak to bude použito pro vizualizaci. Částečné vysvětlení se pak objevuje v sekci 4.5.1., ...

Z typografického hlediska bych vytknul příliš časté a nekonzistentní použití šedých bloků. V teoretické části šedé bloky obsahují vzorce, algoritmy a seznamy, ale často jsou do nich přidány další texty, které by logicky spadaly spíše mimo daný blok. V experimentální části je pak v blocích obalena většina textu.

Některé vzorce nejsou očíslovány, například následující dva, ve kterých se navíc vyskytuje chyba: Sekce 2.2 Activation function - popisovaná Exponential Linear Unit se nikde dále v práci nevyžívá (myslím) a je u ní uveden špatný vzoreček (kopie Leaky ReLU).

Sekce 2.4 Cost function - u ztrátové funkce Mean Absolute Error (MAE) je uveden chybný vzoreček (v sumě chybí absolutní hodnota).

Obrázky jsou popsány velmi stručně, z některých popisků není zřejmé, která z vizualizačních metod byla použita a zda jsou hodnoty v grafu zlogaritmované (např. Fig. 6.42). Někdy je místo (části) popisku použit odkaz na jiný popisek - např. Fig 6.21 odkazuje na Fig 6.18 a ta dále odkazuje na Fig 6.14.

Celkově je četba této práce velmi nelineární - pro pochopení je třeba často listovat dopředu a dozadu a konzultovat citované články.

Rozsah práce je odpovídající.  
(český název práce obsahuje chybu)

### **Výběr zdrojů, korektnost citací**

**C - dobře**

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, 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.*

viz. Splnění zadání - práce se zaměřuje pouze na metody popsány v článku "Visualizing the Loss Landscape of Neural Nets", jiné zdroje z oblasti vizualizace učení neuronových sítí zmiňuje pouze okrajově, nebo vůbec neuvádí.

Korektnost citací v pořádku.

### **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.*

Student si poradil s vysokou výpočetní náročností re-implementovaných metod vizualizace pomocí hardware poskytovaném na MetaCentru a platformě Google Colab.

Úroveň přiložených zdrojových kódů: re-implementované funkce jsou poměrně snadno pochopitelné (například `filter_normalization` a `get_random_filtnorm_trajectories`). Chybí použitelné `readme`, vysvětlující co je potřeba ke spuštění trénování / vizualizace (verze použitých knihoven, kam je potřeba postahovat jaká data, jakým příkazem vygenerovat výsledky).

### **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.*

Student re-implementoval dvě vybrané metody vizualizace učení neuronových sítí. Podařilo se mu zreplikovat pozorování z původního článku (skip connections) a provedl experimenty i na dalších architekturách a datasetech. Tyto experimenty ukázaly, že dané metody vizualizace nepomáhají "vysvětlit" odlišnosti mezi některými volbami architektur sítí.

Kladně hodnotím re-implementaci vizualizačních metod a replikaci výsledků z původního článku.

Celkový dojem kazí nižší kvalita teoretické části práce, ze které není dobře zřejmé "co přesně děláme" a "proč to vlastně (/takto) děláme". Odpovědi na tyto otázky čtenář nalezne především v citovaném originálním článku.

Dotazy:

- U všech experimentů zmiňujete potřebný výpočetní čas - obvykle 10-20 hodin na deseti, nebo dokonce dvaceti GPU. Vizualizace je tedy řádově výpočetně náročnější, než kompletní natrénování dané sítě. V čem tkví tato obrovská výpočetní náročnost? Dala by se metoda výrazně zrychlit optimalizací Vašeho kódu? Nebo například použitím podmnožiny dat, na kterých počítáte?
- V prvním experimentu (sekce 6.1) porovnáváte ResNet110 natrénovaný se skip connections a bez nich. Mimo tuto zásadní změnu architektury byly všechny hyperparametry trénování totožné? Byla snaha naléznout hyperparametry vedoucí k úspěšnému (accuracy >> 31%) natrénování Noskip varianty?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm C - dobře.

Datum: 31.5.2021

Podpis: