



Posudek vedoucího bakalářské práce studentky **Terezy Vorlové**
"Rozpoznávání vzorů v časových řadách pomocí hlubokých neuronových sítí"

Úvod. Předkládaná práce se zabývá predikcí vývoje ceny kryptoměn na základě analýzy historických dat pomocí hlubokých konvolučních neuronových sítí (NS), která má představovat jistou alternativu a zobecnění metod technické analýzy. Vzhledem k tomu, že jsem se dosud vědecky a převážně i pedagogicky pohyboval v oboru matematického modelování přírodních a průmyslových procesů, je pro mě jako školitele toto téma odvážným, provokativním a téměř drzým krokem do zdánlivě nesouvisející a nevědecké oblasti. Přesto výzkum v daném směru považuji za relevantní a přínosný, například z následujících důvodů:

- Metody strojového učení a NS zažívají v posledních letech obrovský rozvoj a získat teoretické a implementační dovednosti v tomto oboru je pro studenty velmi cenné. Totéž platí pro nás jako vědce, neboť NS nacházejí čím dál širší uplatnění i v oblastech, kde se dříve uplatňovaly klasické matematické a fyzikální modely.
- Máme k dispozici hardware (superpočítač HELIOS s akcelerátory NVIDIA Tesla V100) a expertní znalosti, které umožňují jeho efektivní využití nejen pro vysoce výkonné vědecké výpočty, ale i pro trénování modelů hlubokých NS. V tomto ohledu zůstával potenciál tohoto systému dosud nevyužit.
- Predikce cen obchodovaných aktiv pomocí matematických modelů je relevantní vědecká disciplína.
- Trh s kryptoměnami je oproti např. akciovým trhům vhodný pro analýzu, neboť potřebná data jsou relativně snadno přístupná téměř v reálném čase. Navíc nebývá tolik ovlivněn fundamentálními vlivy.

Shrnutí odvedené práce. První kapitola se věnuje principu fungování kryptoměn (blockchain atd.) a druhá popisuje obchodování na akciových, komoditních a kryptoměnových burzách. Tyto kapitoly studentka zpracovala velmi samostatně a text prezentuje čtivou a přehlednou formou. Provedenou rešerši považuji za velmi hodnotnou. Porozumění procesům, které se chystáme analyzovat či modelovat, je totiž zcela klíčové pro vhodný návrh modelů a odpovídá inženýrskému nadhledu v matematickém modelování. Třetí kapitola se věnuje popisu základních konstrukčních prvků modelů neuronových sítí s důrazem na konvoluční síť a návrh modelů. Tereza sama vytvořila řadu užitečných schémat a obrázků, které doplňují výklad a činí z něj vhodný studijní materiál pro začátečníka seznamujícího se s NS. Čtvrtá a poslední kapitola popisuje analyzovaná data, návrh různých variant

modelů NS a vyhodnocení jejich úspěšnosti. K implementaci jsou využity jazyk Python a populární knihovny Keras a TensorFlow.

Hodnocení a závěr. Tereza mě velmi mile překvapila schopností formulovat konzistentní a efektivně vedený výklad v kapitolách 1 a 2. Oproti řadě předchozích studentů jsem měl s opravami textu jen minimální práci. Ve 3. kapitole již přece jen potřebovala při popisu algoritmů a pojmů výraznější pomoc. V praktické části práce si vyzkoušela, jak relativně snadno lze implementovat různé modely a řídit jejich trénování a vyhodnocení úspěšnosti, ale jak netriviální a důležitá je přitom vhodná volba metrik a správná interpretace výsledků. Všechny vyzkoušené modely se vztahují k jediné časové řadě ceny ETH oproti BTC a jsou regresního typu, tj. odhadují, o kolik se změní cena v budoucnu na základě známé historie. Tereza si většinu experimentů s modelem naplánovala v podstatě sama a až zatvrzele se bránila některým mým návrhům, např. na práci se syntetickými daty (i když triviální použití syntetických dat je nakonec v práci také). Tím se práce trochu odchýlila od 4. a 5. bodu zadání, avšak množství implementační práce a provedených testů nakonec předčilo mé očekávání.

Výsledky praktické části nejsou překvapivé – žádný z modelů ani zdaleka není schopen predikovat změnu ceny v budoucnu tak, aby byl využitelný ve strategiích automatického obchodování. Zůstává však nezměrné množství možností, jak modely dále rozvíjet a modifikovat, a řady z nich si je studentka vědoma (jak uvádí v závěru). Studentka během práce získala řadu užitečných vědeckých dovedností a k tomu i znalosti z oblasti obchodování. I během náročného období lockdownů a online spolupráce pečlivě a poctivě napsala kvalitní text podložený pracnou rešerší i praktickou prací. Z pozice školitele proto doporučuji práci k obhajobě a navrhuji hodnotit ji známkou

A (výborně).

Praha 12. srpna 2021

Ing. Pavel Strachota, Ph.D.

Ing. Pavel Strachota, Ph.D.

katedra matematiky
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
České vysoké učení technické v Praze
Trojanova 13
120 00 Praha 2

Tel: (+420) 224 358 563

E-mail: pavel.strachota@fjfi.cvut.cz