

V Praze, dne 16.8.2021

**Věc:** Posudek oponenta bakalářské práce Terezy Vorlové *Rozpoznávání vzorů v časových řadách pomocí hlubokých neuronových sítí.*

Bakalářská práce se zabývá aplikací konvolučních neuronových sítí na predikci budoucích cen kryptoměn, konkrétně kryptoměnového páru Ethereum / Bitcoin. V úvodní teoretické části autorka nejprve popisuje fungování finančních a kryptoměnových trhů, následně představí i fungování konvolučních neuronových sítí. V praktické části aplikuje konvoluční neuronové sítě nejprve na generovaná data, později na data z kryptoměnové burzy. Ze zadání tak splnila body 1-4.

V kapitole 1 autorka stručně popisuje fungování kryptoměn a jejich principy. Pro úvodní přehled je takový popis dostačující, ale autorka se bohužel nevyvaruje neúplných informací (u pojmu *studená peněženka* opomíjí možnost uložení zcela mimo jakýkoliv hardware či software například na papíře či v lidské paměti) či informací zavádějících („Náklady na samotné transakce jsou potom trvale udržovány velmi nízko“; aktuální náklady na jednu BTC transakci jsou cca \$2.5 a historicky se pohybovaly i v řádu desítek USD).

Ve druhé kapitole autorka vysvětluje celou řadu odborných termínů z oboru finančnictví. Některé body jsou zpracovány kvalitně, u jiných je autorčina formulace trochu kostrbatá a problematiku neznalý autor by měl zřejmě s pochopením takového výkladu problém. K tomu přispívá i občasné použití zkratk či odborných termínů bez jakéhokoliv vysvětlení, stejně jako někdy ne zcela vhodné použití českých překladů běžně používaných anglicismů. Opět jsou některé informace trochu zavádějící („Obchodování s futures kontrakty tedy umožňuje ovládat mnohonásobně větší objem podkladového aktiva, než na který stačí obchodníkům kapitál“ – ano, ale ne nutně, i s futures lze obchodovat bez páky, naopak na páku lze obchodovat i s jinými instrumenty; „Měnové futures (podkladovým aktivem měna jejíž cenový pohyb je vztažen k pohybu amerického dolaru)“ – určitě existují i futures na měnové páry bez USD). Autorka také často využívá a kombinuje různá synonyma pro popis konkrétního jevu aniž by tato synonyma uvedla, což text opět značně komplikuje pro problematiku neznalého čtenáře.

Největší slabostí prvních 2 kapitol práce je jejich nestrukturovanost a absence jakéhokoliv konceptu. Jediné, co všechna uvedená fakta spojuje, je téma finančních a kryptoměnových trhů. Chybí zde jakékoliv logické vysvětlení, proč si autorka k popisu vybrala právě tuto podmnožinu fungování finančních a kryptoměnových trhů. Uvedené pojmy se nikterak nevztahují k praktické části ani spolu netvoří ucelený celek. Vzhledem k velmi volné formulaci zadání (bod 3) a oboru studia autorky bych v této části očekával spíše představení „matematických“ částí dané domény, jako je například oceňování opcí či fungování hashovacího algoritmu. Možná by též stálo za zmínku uvést porovnání kryptoměnových a klasických finančních trhů a jejich postupné propojování (nedávné IPO Coinbase, různé krypto-fondy nabízené bankami či investičními společnostmi, expozice velkých hráčů do krypto, (ne)regulovatelnost kryptoměnových trhů apod.).

Třetí kapitola je věnována principu fungování neuronových sítí, zejména pak sítí konvolučních. Podobně jako v předchozím textu, i zde jsou některé části zpracované kvalitně, jiné by zasloužily více péle. Opět se zde vyskytuje volné používání synonym („bez učitele“ a „bez dozoru“) a odborných termínů („rychlost učení“) bez předchozího vyjasnění. Stejně jako v celé práci je i v této kapitole velké množství překlepů a pravopisných chyb (zejména v interpunkci). Zatímco ve volném textu lze překlepy snadno opravit, překlepy a chyby ve vzorcích či indexech proměnných vyžadují pro jejich pochopení netriviální úsilí (označení pořadí vrstev na přechodu stránek 29-30, dimenzionalita vrstvy dole na straně 30). Do této sekce by bylo vhodné zařadit i vysvětlení pojmů, se kterými autorka pracuje v následující kapitole (epocha, dropout, dávková normalizace, MaxNorm regularizace).

Konečně poslední kapitola práce se věnuje aplikaci neuronových sítí. Autorka se nejprve pomocí konvolučních neuronových sítí snaží predikovat následující člen aritmetické posloupnosti, následně podobný postup aplikuje pro predikci cenového rozdílu páru ETH/BTC. Tento problém sám o sobě je poměrně komplexní a rozsahem jistě překračuje rámec běžné bakalářské práce. Není proto divu, že se autorce nepodařilo nalézt žádné v praxi použitelné výsledky. Na druhou stranu k tomu určitě přispěla možná trochu nešťastně formulovaná úloha, kdy se autorka snažila na základě 10 po sobě jdoucích minutových cenových hladin odhadnout cenový rozdíl za dalších 10 minut (tedy s přeskočením dalších 9 dostupných minutových cen). Je velice pravděpodobné, že zvolená data zkrátka potřebné informace neobsahují a daná predikce z nich tak není vůbec možná. Důvod, proč byla úloha formulovaná právě takto, v práci vysvětlen není. I vzhledem ke komplexnosti problému by v tomto případě možná bylo vhodnější omezit se na predikci syntetických dat a pokusit se neuronovou síť optimalizovat tak, aby alespoň na těchto syntetických datech dosahovala relevantních výsledků (uváděná chybovost 10+ % je pro daný typ úlohy opravdu velká).

V kapitole 4 nadále přetrvávají neduhy z předchozího textu – překlepy a použití objektů bez předchozího vysvětlení. Nejzásadněji se to projevuje ve vzorci 4.1, respektive 4.7, kde (jak plyne z kontextu a přiloženého zdrojového kódu) chybí absolutní hodnota v čitateli a kde se bez dalšího vysvětlení objevuje parametr  $\epsilon$ . V kapitole 4.6.4.1 pak autorka nejprve zmiňuje (strana 45) že dochází k přetrénování sítě, ale o pár řádek dál (již strana 46) uvádí pravý opak.

K práci autorka připojuje i ukázkou zdrojového kódu. Z něj je patrné, že autorka bude programovací dovednosti teprve získávat, ale podařilo se jí zprovoznit základní nástroje, čímž splnila bod 2 zadání.

Autorka uvádí celkem 77 zdrojů. Bohužel v cca 90 % případů se jedná pouze o nerecenzované internetové zdroje (zejména stránky investopedia.com, binance.com, ale též alza.cz či lynxbroker.cz). Tyto zdroje mohou jistě dobře posloužit pro úvodní seznámení se s problematikou, ale pro vědecké bádání je více než vhodné vycházet z ověřených zdrojů, nejlépe z recenzovaných publikací. Na zvolenou tematiku takových článků existuje více než dost. O to větší je škoda, že z 5 v zadání doporučených zdrojů autorka využívá pouze jediný.

Prezentovaná práce na velmi moderní a jistě zajímavé téma je celkově zpracovaná obstojným způsobem, je patrné, že se autorka snažila problematiku detailně nastudovat a získané informace přehledně sepsat. Bohužel velké množství nepřesností a drobných chyb zhoršuje kvalitu celé práce a sráží její potenciál. Kompletní seznam připomínek je nad rámec tohoto posudku, ale rád jej na vyžádání dodám. Práci celkově doporučuji k obhajobě a navrhuji známku

**D (uspokojivě).**

Otázky k obhajobě:

1. Jakou roli má parametr  $\epsilon$  ve vzorci 4.1 respektive 4.7 a jaká je jeho hodnota?
2. Co je to „hyperparameter tuning“ a jak se vztahuje k prezentované práci?
3. Pokud by teoreticky jedna z architektur zkoušených a prezentovaných v kapitole 4.6 dávala perfektní výsledky s chybou blízkou nule, bylo by vhodné ji použít pro reálnou praxi (reálné obchodování)? Proč (ano či ne) a jaké další experimenty by bylo případně pro získání relevantní odpovědi nutné uskutečnit?

**Ing. Tomáš Kouřim**

CEO



+ 420 723 927 536

[tomas.kourim@mild.blue](mailto:tomas.kourim@mild.blue)

<https://mild.blue/>