

**Název diplomové práce:** Robustní regrese a robustní neuronové sítě

**Autor:** Patrik Janáček

Diplomová práce pojednává o robustních odhadech parametrů ve dvou různých regresních modelech: v lineární regresi a v nelineárních regresních modelech neuronových sítí. Zatímco robustní odhady v lineární regresi byly v literatuře studovány teoreticky i empiricky, robustní trénování neuronových sítí bylo navrženo jen nedávno a bylo zatím využito jen v drobných numerických studiích. Z toho důvodu musí předložená práce zákonitě vycházet ze dvou odlišných metodologických přístupů: studium lineární regrese je zaměřeno teoreticky, kdežto partie věnované robustním neuronovým sítím se zaměřují na algoritmy a numerické studie.

Kapitola 1 definuje klíčové pojmy a v širším kontextu vysvětluje přístupy statistického učení, tj. statistického odhadování parametrů. Kapitola je formulována jazykem obvyklým v oboru strojového učení. Následně definuje regresní úlohu pro lineární model v kapitole 2. Robustní regresi je pak věnována kapitola 3, kde jsou podrobně rozepsány důkazy jednotlivých tvrzení, zejména pro odhad metodou nejmenších vážených čtverců (LWS). Originálním výsledkem je nové odvození asymptotické normality LTS odhadu (Věta 12) získané z obecnějšího výsledku pro LWS. Mezi další původní výsledky patří testy hypotéz a konfidenční intervaly pro LWS odhad a dále Důsledek 21. Za pozornost stojí i obtížný důkaz Věty 15, kde autor detailněji rozepsal některé kroky z důkazu, který publikoval Čížek (2011); tento důkaz využívá některé výsledky z teorie  $\mathcal{L}^1$ -mixingalů.

Kapitola 4 formálně definuje neuronovou síť (vícevrstvý perceptron) a popisuje obvyklý algoritmus pro její trénování i alternativní verze s robustní ztrátovou funkcí, tj. nelineární období robustních odhadů z lineárního modelu z kapitoly 3. Patrik Janáček věnoval velké úsilí korektní implementaci robustních neuronových sítí tak, aby byly pro každý typ sítě nalezeny optimální hyperparametry. Výsledky výpočtů pro neuronové sítě jsou pak prezentovány v kapitole 5. Robustní neuronová síť založená na LWS odhadu s adaptivními odhady, která dosud nebyla vyzkoušena v literatuře, zde dává nejlepší výsledky ze všech použitých verzí neuronových sítí.

K práci mám tyto drobné připomínky (doplnění):

- Vzhledem k tomu, že práce obsahuje kapitolu 2.2 o kvantilové regresi, bych čekal, že v kapitole 4 bude zmínka o existující kvantilové regresi v kontextu neuronových sítí. Ta byla navržena v práci Cannon A.J. (2011): Quantile regression neural networks: Implementation in R and application to precipitation downscaling. *Computers & Geosciences* 37, 1277–1284.
- Kapitola 4.1. Model dopředné neuronové sítě je popsán korektně, ale bylo by dobré doplnit, že v práci se pracuje s tzv. vícevrstvními perceptrony (jde o nejpoužívanější typ mělkých neuronových sítí).

Předložená práce úspěšně splňuje své zadání. Teoretický přínos vidím v kapitole 3. Zároveň autor nastudoval problematiku neuronových sítí, která se na KPMS nevyučuje, a velké úsilí věnoval korektní implementaci existujících i nových postupů pro robustní trénování. Jsem přesvědčen, že výsledky v kapitole 5 by byly kladně hodnoceny i na katedře informatického zaměření. Patrik Janáček se mnou úspěšně spolupracoval jako člen řešitelského týmu v grantech GA ČR 19-05704S (Analytical foundations of neurocomputing) a 22-02067S (Approximate neurocomputing). Práci hodnotím kladně i z formálního hlediska. Z těchto důvodů doporučuji uznat předloženou práci jako diplomovou práci pro obor Pravděpodobnost, matematická statistika a ekonometrie.

V Praze 18. ledna 2023

RNDr. Jan Kalina, Ph.D.  
KPMS MFF UK  
& Ústav informatiky AV ČR, v.v.i.