



**Oponentský posudek na doktorskou disertační práci Mgr. Júliuse Štroffeka,
„Activity and Memory in Biologically Motivated Neural Network“**

Oponent:

RNDr. Martin Zápotocký, Ph.D.

Fyziologický ústav Akademie věd České republiky

V předložené disertační práci Mgr. Štroffeka jsou analyzovány mechanismy pro efektivní ukládání a vyvolávání vzorů v umělých neuronových sítích s asociativní pamětí. Navržené mechanismy jsou inspirovány fyziologickými vlastnostmi synapsí v biologických neuronech, konkrétně jejich plasticitou v závislosti na předchozí neuronální aktivitě.

Historicky byl vznik oboru umělých neuronových sítí přímo inspirován neurovědními poznatky. Postupem času se ovšem značná část tohoto oboru prakticky úplně separovala od vztahu k neurofyziologii (mám zde na mysli např. běžně používané klasifikační sítě učící se pomocí „backpropagation“ algoritmů). Vzájemná inspirace mezi umělými neuronálními sítěmi a neurovědami však přetrvává v případě sítí s asociativní pamětí. Práce Mgr. Štroffeka je vysoce původním příspěvkem k této oblasti.

Disertace je předložena ve formě komentovaného souboru 4 vědeckých publikací. Úvod a komentář jsou prezentovány na 55 stranách, a splňují tedy doporučenou délku pro tuto formu disertační práce. Všechny 4 příložené články byly publikovány v mezinárodních časopisech s impakt faktorem, a u 3 z těchto 4 publikací je Mgr. Štroffek prvním autorem. Všechny 4 články se zabývají umělými neuronálními sítěmi a jejich aplikacemi; jedná se tedy o monotematický soubor publikací.

Z formálního hlediska mám ke zpracování disertace pouze menší výtky. Je psaná celkově dobrou angličtinou s občasnými chybami, jako jsou chybějící či nevhodné členy, nebo větná stavba převzatá z češtiny. Text je dostatečně srozumitelný. Popisky k některým obrázkům jsou příliš stručné (např. obrázek 1.6, převzatý z literatury, nelze na základě uvedeného popisku plně pochopit). Některé grafy (obr. 1.2 či 1.3) nebyly dostatečně adaptovány pro tištěnou stránku a jsou ve formátu A4 špatně čitelné.

V úvodní kapitole Mgr. Štroffek podává stručný přehled typů umělých neuronálních sítí a algoritmů pro jejich učení. V části 1.1 jsou shrnuty hlavní matematické modely, používané v literatuře pro popis jednotlivých neuronů. Podrobně je diskutován klasický Hodgkin-Huxleyho model pro akční potenciál. V dalších částech práce je pak pracováno s daleko jednoduššími abstrakcemi neuronu, tak jak je v oboru umělých neuronálních sítí obvyklé. Považuji ovšem za důležité, že v disertační práci obhajované na 1. LF kandidát vyšel z prezentace biologicky realistických neuronálních modelů a základních principů aktivity biologických neuronálních sítí (kap. 1.1 a 1.2). V částech 1.3 a 1.4 pak autor prezentuje Hebbovské pravidlo pro modifikaci synaptických váh a jeho použití pro učení umělých sítí s asociativní pamětí. Kapitola 2 prezentuje cíle práce, ovšem je napsána spíše jako vysvětlení postupu práce než jako přehledné vymezení cílů. V kapitolách 3 a 4 jsou stručně prezentovány hlavní výsledky práce (viz níže), s odkazy na příslušné původní publikace. Souhrnná diskuse těchto výsledků je provedena v kapitole 5.

K tomuto úvodu a přehledu jsou coby součást disertace připojeny 4 publikace, přičemž klíčové jsou zejména první dvě. V prvním článku (*BioSystems* r. 2007) je vyvinut postup pro ukládání sekvenčních vzorů pomocí modifikovaného Hebbovského pravidla. Je ukázáno, že tento postup umožňuje uložit počet vzorů, který výrazně převyšuje kapacitu klasické Hopfieldovy sítě. V druhém článku (*Neurocomputing* r. 2012) je toto schéma rozšířeno o dynamické modifikace synaptických váh během vybavování uložených vzorů. Je ukázáno, že jednoduché pravidlo pro krátkodobou potenciaci synapsí umožňuje dále zvýšit kapacitu sítě, ovšem na úkor toho, že coby vstup musí být dodána celá sekvence cyklického vzoru. Je také spočítána optimální míra potenciace, a je navržen způsob rozdělení ukládaných vzorů na „rychlé“ a „pomalé“. Třetí publikace (*Neurocomputing* r. 2015) podává zevrubný přehled literatury týkající se použití Hebbovských mechanismů učení v umělých neuronových sítích, a uvádí některé výsledky prvních dvou publikací do širšího kontextu. Ve čtvrté publikaci (*IEEE Vehicular Technology Magazine* r. 2010) je umělá neuronální síť použita pro klasifikaci vozidel, vycházejí z dat nasbíraných laserovým snímačem v dálniční mýtné bráně. Pro učení sítě byl v tomto případě použit běžný „backpropagation“ algoritmus, a nikoli Hebbovský mechanismus. V kontextu disertace má tedy tato publikace spíše doplňkový charakter. Prokazuje však schopnost Mgr. Štroffka použít umělé neuronální sítě pro aplikaci v reálném světě, s komplikovanými vstupními daty.

Celkové hodnocení:

Předložená disertace prokazuje způsobilost autora k samostatné tvořivé vědecké práci. Byly formulovány originální metodické postupy pro učení umělých neuronových sítí, byly numericky implementovány a optimalizovány, a byl zevrubně analyzován jejich vliv na kapacitu asociativní paměti. Autor také prokázal schopnost prezentovat své výsledky formou původních článků i formou souhrnné práce. Disertační práci proto doporučuji k obhajobě pro udělení titulu Ph.D za jménem.

Otázky k obhajobě:

1. V kap. 5.2.1 navrhuje postup pro simultánní uložení vzorů s rychlým, resp. pomalým vybavováním. Je v tomto postupu nutnou podmínkou, aby rychlé a pomalé vzory neměly žádný vzájemný překryv?
2. Můžete stručně porovnat způsob, jakým byl proveden matematický odhad kapacity sítě s řídkou aktivitou ve Vašem případě, a v případě předchozí publikace (S. Amari 1989, Ref. 2 v disertaci)?
3. Jak zmiňujete v abstraktu disertace, architektura autoasociativních sítí, které v disertaci studujete, vykazuje podobnosti s biologickými neuronálními sítěmi v hipokampu. Můžete okomentovat, do jaké míry je tato analogie v současné neurovědní literatuře prokázána, popř. jaká má omezení?

V Praze 26.11.2018


RNDr. Martin Zápotocký, Ph.D.

Oddělení početních neurověd
Fyziologický ústav AVČR
Víděňská 1083, 14220 Praha 4
zapotocky@biomed.cas.cz