

## Oponentní posudek disertační práce

Název práce: **Metodika využití embedded systémů s nízkým výpočetním výkonem pro neuronové sítě s proměnlivými parametry a topologií**

Autor: **Ing. Matouš Bartl**

Školitel: **doc. Ing. Jiří Skála, Ph.D.**

### **Cíle práce**

Ing. Matouš Bartl ve své disertační práci navrhuje metodu zavedení obecné neuronové sítě do nízkovýkonových mikrořadičů (embedded systémů). Naznačená problematika zahrnuje nejen rozbor neuronových sítí, ale i efektivní řešení potřebných aritmetických operací s ohledem na použitý hardware včetně vhodné reprezentace čísel. Cíle práce považuji za splněné.

### **Význam disertační práce pro obor**

Téma disertační práce spadá do oblasti efektivního využívání architektur mikroprocesorových systémů při řešení konkrétních algoritmů (implementace neuronových sítí). V práci jsou převážně zmiňovány systémy s nízkým výpočetním výkonem a omezenými hardwarovými prostředky, ale výsledky práce lze zobecnit i na jiné výpočetní systémy řešící efektivitu a rychlost realizace zejména aritmetických operací se specifickými datovými typy. Také problematika rychlých umělých neuronových sítí při zpracování a klasifikaci různých typů dat je velmi významná a aktuální. Proto považuji tuto práci za zajímavou a přínosnou.

### **Vyjádření k textu disertační práce**

Práce je kromě Úvodu a Závěru rozdělena celkem vhodně do čtyř kapitol. Samozřejmě součástí práce jsou hned za úvodní kapitolou Cíle disertační práce. Následuje celkem stručná kapitola Současný stav problematiky, která pojednává jak obecně o umělých neuronových sítích a tak o jejich implementacích na low-end procesorech. Možná mohl autor zmapovat (diskutovat) také implementace na jiných platformách (např. na DSP procesorech nebo FPGA obvodech), uvést jejich výhody a nevýhody.

Jako stěžejní z hlediska přínosů disertační práce považuji následující dvě kapitoly. V kapitole Popis obecné metody se doktorand zabývá efektivní implementací neuronových sítí s možností adaptace vah a změnou topologie. První část této kapitoly zavádí spíše pojmy a teorii, na které je dále stavěno. Autor dále zavádí vlastní 24bitový datový typ a zdůvodňuje jeho efektivnost použití v aritmetických operacích na low-end systémech. Pátá kapitola disertační práce pak popisuje návrh speciálního hardwaru na bázi mikrořadiče PIC18Fxx a příslušného softwaru realizující algoritmy popsané v předchozí kap. 4. V závěrečné kapitole jsou pak shrnuty dosažené výsledky a naznačen další vývoj. V příloze disertační práce jsou následně kromě elektrických schémat hardwaru a návrhu desek plošných spojů uvedeny především některé grafy ukazující přesnosti výsledků a výpočetní náročnosti neuronů.

## Formální úroveň disertační práce

Po formální stránce je práce psána v celku přehledně, v práci je pouze malé množství překlepů či gramatických chyb. Bývá zvykem psát různé seznamy zkratk, obrázků či tabulek spíše na začátek práce (v souladu s ČSN ISO 7144) a tyto seznamy nečíslovat jako kapitoly. Názvy tabulek se píše nad tabulku (ne pod tabulku), dále mezi hodnotou a jednotkou je vhodné psát mezeru. Nejspíše vlivem nějaké závěrečné úpravy se stalo, že většina odkazů na literaturu je v práci o jeden odkaz posunuta (v textu je o jedničku vyšší číslo). V práci bych uvítal centrální seznam použitých symbolů - přece jen jich je v práci použito větší množství.

Z konkrétních připomínek bych ještě uvedl:

- Na obrázku 4.2.2 je označován nejnižší řád indexem  $n-1$ , nejvyšší pak nula. Na obrázku 4.2.1 je tomu naopak, což je matoucí. Vzhledem k symbolice ve vztahu 4.2.2 je zde nevhodně střídáno velké a malé „ $n$ “ – nejvyšší řád by bylo vhodné označit „ $N-1$ “.
- Na str. 26 autor na dvou místech píše, že znaménkový bit mantisy je součástí exponentu. To se mi zdá trochu zavádějící – pravděpodobně autor myslel, že znaménkový bit je součástí bytu s exponentem.

## Výsledky práce

Autor navrhnul a realizoval v souladu s vytyčenými cíli implementaci umělých neuronových sítí na nízkovýkonových embedded systémech. Provedl rozbor základních komponent struktury neuronové sítě, definoval vlastní optimalizovaný datový typ s plovoucí řádovou čárkou, navrhnul optimalizaci vybraných hardwarových aritmetických operací a vše implementoval do zvoleného mikrořadiče. Následně zjištěné výsledky práce prokazatelně vedou na výrazně nižší výpočetní náročnost implementovaných algoritmů (neuronových sítí) při zachování přijatelné nepřesnosti výpočtů. Postup řešení považuji za přiměřený a výsledky práce za původní. Vzhledem k rychlému rozvoji embedded systémů se však hranice výkonosti low-end systémů neustále posouvá a zejména 8bitové procesory se stávají neaktuálními pro nové aplikace.

## Vlastní publikační činnost

Autor uvádí 15 svých publikací, zhruba u poloviny z nich je jediným autorem. Z hlediska počtu se jeví publikační činnost přiměřená, některé příspěvky byly publikovány sice na mezinárodních konferencích, ale pouze tuzemských. Uvítal bych příspěvky i v nějakých zahraničních odborných časopisech či konferencích. Po formální stránce bych autorovi vytknul, že žádnou z vlastních publikací v textu práce necitoval.

## Otázky k obhajobě

- 1) Podle mého názoru je ve vztahu 4.3.1 chybně definován exponent  $\text{Exp}$ : suma má být od  $e=0$  až  $E-1$  a odečítaná konstanta má být 127 (lichý aditivní posun). Proto se chci zeptat, jak je definován vlastní datový typ VDT24 ve vztahu 4.4.2 – má zde být v exponentu konstanta 63 nebo 64? V zápise čísla  $C$  je také pravděpodobně překlep u mocniny dvou – má být  $2^m$ .

- 2) Ve vztahu 4.8.1 jsou prvky  $KV_j$  počítány jako suma pro  $j=0$  až  $N-1$ . Nemělo by se sčítat přes index  $i$ ?
- 3) Trh s embedded systémy se neustále vyvíjí, vzrůstá jejich výkon zejména v oblasti DSP, zlevňují se vícebitové procesory. Myslí si autor, že bude dále výhodné pro implementaci real-time aplikací zrychlovat algoritmy zjednodušením výpočetních operací či návrhem vlastních datových typů?

### Shrnutí

Z textu práce je zřejmé, že autor je velmi dobře obeznámen s architekturami embedded systémů, jejich možnostmi a instrukčními sadami; má velké zkušenosti s programováním v programovacích jazycích „C“ a Assembler. Dokáže tak efektivně řešit návrh různých specifických real-time výpočetních struktur do embedded systémů.

Závěrem konstatuji, že disertační práce Ing. Matouše Bartla splnila zadané cíle a přinesla nové poznatky. Autor prokázal jednak znalosti ve svém oboru a jednak schopnost samostatně vědecky pracovat. Práce podle mého názoru splňuje požadavky k udělení akademického titulu Ph.D., a proto ji **doporučuji k obhajobě**.

*Kolář*

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Technická univerzita v Liberci

V Liberci 29. března 2015

Oponentský posudek doktorské disertační práce

**Ing. Matouše Bartla: Metodika využití embedded systémů s nízkým výpočetním výkonem pro neuronové sítě s proměnlivými parametry a topologií.**

předložené na Západočeské Univerzitě, Fakultě elektrotechnické, v Plzni.

Začátkem prosince 2014 jsem byl požádán děkanem fakulty elektrotechnické o vypracování posudku na výše uvedenou disertační práci pana Ing. M. Bartla. To jsem přislíbil a v rozmezí mých časových možností v období zlomu roku a doby vymezené pro vypracování posudku tak tímto činím.

Předložená disertační práce se zabývá závažnou a teoreticky i aplikačně významnou tematikou syntézy umělých neuronových sítí na bázi aliancí jednodušších digitálních systémů s nižším výkonem.

Tato tematika sice není nová a byla již v literatuře, i v práci uvedené, dříve oslovena, panem dizertantem použitý přístup mohu však označit jako původní a přínosný.

Předložená disertační práce má zcela úměrný rozsah 96 stran A4 a je doplněna 11 přílohami.

Má logické vnitřní členění, je zpracována v dobré grafické i stylistické úpravě. Po formální stránce k ní nemám větších připomínek, snad až na některé pro mne poněkud nezvyklé slovní vazby – např. kombinace češtiny a angličtiny (i v titulu práce) či poněkud nadbytečná interpunkce.

Pokud jde o věcný obsah mohu konstatovat, že předložená disertační práce prezentuje velmi značný objem odborných poznatků, které pan disertant v uvedené oblasti získal.

Sama problematika metod syntézy umělých neuronových sítí jako aliance jednodušších systémů – v daném případě digitálních – si obecně zaslouží značné pozornosti, již proto, že, jak novější poznatky o struktuře a funkcích lidského mozku ukazují, odpovídá způsobům, kterými jsou zřejmě vyšší mozkové funkce uskutečňovány. Lze tedy podle mého názoru oprávněně předpokládat, že pomocí metodiky, v předložené disertační práci rozvinuté bude možno nejen některé zajímavé adaptivně se chovající umělé digitální neuronové systémy vytvářet s reálnými praktickými aplikacemi (např. v zabezpečovací a ochranné technice tzv. chytrých (smart) objektů), ale též je využít pro hlubší modelování vyšší mozkové činnosti i pro další rozvoj teorie a aplikací systémových aliancí.

Všechny tyto oblasti jsou sice rozvíjeny již asi několik desítek let, jejich poznání však není ani zdaleka uzavřeno, spíše lze říci, že nástup nových perspektivních technických aplikací, jako je právě syntéza adaptivně (funkčně i strukturálně) se chovajících digitálních soustav se otevírají mnohé další dosud málo propracované oblasti.

Považoval bych proto ze velmi žádoucí, kdyby pan dizertant po své, jak předpokládám úspěšné obhajobě předložené práce měl možnost na uvedené tématu dále pracovat a kdyby mohl pod vedením jeho pana školitele vzniknout tým dalších talentovaných pracovníků touto závažnou tematikou se zabývajících.

Jako celek hodnotím předloženou disertační práci Ing. Matouše Bartla jako vynikající, konstatuji, že plně prokázal svou schopnost k samostatné tvůrčí činnosti, že splnil zákonem stanovené požadavky (par. 47, odst.4, zák. 111/1998 Sb) a po úspěšné obhajobě jeho předložené disertační práce doporučuji, aby mu byl udělen akademický titul „doktor“ (PhD).

Potěšilo by mne, kdyby pan dizertant při obhajobě mohl blíže pohovořit:

- a) o možnostech, přednostech a též o nevýhodách využití vypracované metodiky pro syntézu adaptivně se chovajících digitálních systémů,
- b) o možnostech aplikovat přitom též jiné než vrstevnaté neuronové struktury
- c) zamyslet se nad vlivem přirozených nepřesností a neurčitostí při určování parametrů uvažovaných systémů na spolehlivost jejich funkčních stavů,
- d) posoudit vhodnost uvažovaných metod s hlediska nároků na časovou dynamiku systémů, na něž jsou aplikovány.

V Praze, 10.1.2015

Prof. Ing. Mirko Novák, DrSc.





## Posudek dizertační práce

Doktorand: Ing. Matouš B a r t l  
Téma dizertační práce: *Metodika využití embedded systémů s nízkým výpočetním výkonem pro neuronové sítě s proměnlivými parametry a topologií*  
Školitel: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická  
Doc. Ing. Jiří Skála, PhD., Západočeská univerzita v Plzni  
Oponent: Prof. Dr. Ing. Miroslav Pokorný, FEI, VŠB Technická  
univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky

Předložená dizertační práce o rozsahu 96 stran textu je rozdělena do 6 pracovních kapitol, doplněných přílohami a doprovodným CD-R.

Téma dizertační práce je zaměřeno do oblasti zvýšení efektivity vestavěných řídicích a informačních systémů. Cílem práce je vývoj a implementace metody, umožňující implementaci obecné neuronové sítě s možností on-line učení a adaptace topologie i vah bez zásahu do firmware vestavěného systému, vyznačující se dosažením dostatečně nízkých nároků na výpočetní výkon a vyhovující přesnosti výpočtu při využití mikroprocesorů nižší třídy.

V této souvislosti je třeba poukázat na skutečnost, že zadání cílů s použitím termínů „obecná neuronová síť“ a „možnost on-line učení“ je nevhodně vágní a ztěžuje konstatování o stupni jejich splnění.

### Zhodnocení významu pro obor

Práce přináší obohacení oboru rozšířením typů výpočtově náročných úloh, implementovatelných ve vestavěných systémech s mikroprocesory nižší třídy. Tato skutečnost přináší zvýšení jejich efektivity a kvality. Teoreticky je významné toto řešení v případě, že navržená metoda je aplikovatelná na celou třídu mikroprocesorů a třídu vestavěných systémů.

### Postup řešení problému, metody a splnění cíle

V dizertační práci je především řešena problematika snížení výpočtové náročnosti matematických procedur, nutných k výpočtu vnitřního potenciálu neuronu a jeho aktivační funkce. Dále jsou řešeny postupy a algoritmy vygenerování vícevrstvé neuronové sítě s požadovanou topologií a on-line adaptace (modifikace) její topologie a parametrů.

V rámci řešení byla rozpracována a realizována metoda on-line modifikace dopředné neuronové sítě a jejích parametrů, implementovatelné do vestavěného systému. Náplní řešení tématu bylo hlavně hledání efektivních algoritmů potřebných matematických operací. Byla řešena problematika výpočtu vnitřního potenciálu a aktivační funkce neuronu (tzv. kompletní výpočet neuronové jednotky), problematika vytvoření kompletní neuronové sítě a problematika její modifikace (podle autora adaptace) v pracovním režimu on-line (podle autora za běhu). Procedura jejího on-line učení je v práci pouze zmíněna, avšak řešena není.

Bylo provedeno ověření navržené metody – vygenerování čtyř dopředných vícevrstevných neuronových sítí s náhodnými klidovými potenciály a váhami. Výsledky jsou dokumentovány histogramy jejich přesnosti a výpočtové náročnosti.

Při posouzení přístupu doktoranda k řešení tématu je třeba především uvážit, jak dalece je vhodná jako základní literatura pro řešení tématu dizertační práce jiná dizertační práce. Rovněž posouzení řešení s ohledem na řešení v jiné obdobné dizertační práci není obvyklé.

V práci jsou použity neobvyklé odborné termíny, jako např. implementace bodů v ukázkovém systému (str.9), víceprvková neuronová síť (str.12) nebo navázání neuronové sítě do systému (str.49).

### **Výsledky a konkrétní přínos práce**

Základními výsledky řešení je definice vlastního datového typu proměnné s plovoucí řádovou čárkou (VDT) a odvození algoritmu optimalizovaného výpočtu vnitřního potenciálu neuronu a aproximace tangenciální aktivační funkce (HINT16). Tyto procedury byly programově implementovány a testovány.

Naproti tomu on-line metoda modifikace neuronové sítě je v závěru práce označena pouze jako návodná, i když je programově realizována.

Na str.75 je konstatováno, že propojovací matice (reprezentující aktuální topologii sítě – Obr.5.7.7) musí být přístupná i pro funkce realizující učení sítě a adaptaci topologie. Naskytá se otázka, kde a jak je procedura učení realizována? V práci dále chybí porovnání obdobných (horších) řešení z hlediska přesnosti a nároků na výpočtový výkon. Považuji proto za nedostatek stávajícího řešení, že nejsou alespoň uvedeny a principiálně rozpracovány postupy on-line modifikací aktuální topologie sítě a jejích parametrů, zmíněných na str.50. Je otázkou, které procedury bude možno realizovat v obvodech vestavěného systému a které bude třeba delegovat do nadřazených výpočetních úrovní.

Naskytá se rovněž otázka, čím je způsobena polymodalita histogramů, uvedených v přílohách C až F.

### **Formální úprava a jazyková úroveň**

V práci se vyskytuje řada formálních nedostatků. Jsou neobvykle použity kulaté závorky odkazů na literaturu – běžně používané pro označení formálních výrazů. Složitá forma označování těchto vztahů v textu obyčejným bold-písmem je rovněž neobvyklá, neodpovídá formě proměnných a konstant v editoru rovnic (kurzíva). V textu se vyskytuje řada gramatických chyb, jsou nedostatky v grafické úpravě (obrázek - str. 25). Nepozornost nebo časová tíseň jsou také asi příčinou chyb ve vztazích. V práci jsou také špatné odkazy na literaturu – např. stěžejní odkaz [9] není dizertační prací.

### **Publikace doktoranda**

Doktorand uvádí seznam svých 14-ti publikací (všech ve formě referátů na domácích univerzitních konferencích), dílem autorských a dílem společných. Jde o

- 6 čtyřstránkových statí ve sbornících pravidelných konferenci doktorských prací ZČU (obvykle pro doktorandy povinných) a
- 8 příspěvků do sborníků konference Electric Power Engineering, pořádaných pravidelně buď VUT Brno, nebo VŠB Ostrava.

Jedná se vesměs o *domácí konference* a – což je podstatné - *žádná z publikací se netýká tématu dizertační práce*. Publikace v odborných časopisech zcela chybí, rovněž tak zcela chybí publikace na mezinárodním odborném fóru. To je v současné době u doktorských dizertačních prací výjimečné.

Těmito skutečnostmi není splněna podmínka znění par. 47 odst. 4 Zákona 111 o vysokých školách, který vyžaduje nutnost uveřejnění původních výsledků řešení.

## Závěr

Předložená dizertační práce pana Ing. Matouše Bartla je středně náročná. Z jejího obsahu plyne jeho dobrá orientace v problematice řešení problémů algoritmizace matematických procedur s minimalizovanou výpočtovou náročností i v problematice implementace výpočetních procedur neuronových sítí. Pan Ing. Matouš Bartl prokázal dobrou úroveň teoretických znalostí a schopnost samostatné tvůrčí práce i aplikace jejích výsledků při řešení praktických problémů. Závažným problémem je – z hlediska jak požadavků zákona, tak i běžné úrovně zveřejňování průběhu a výsledků řešení - úroveň publikací doktoranda. Uvedená odborná fóra jsou na základní úrovni, téma řešení není v žádném referátu prezentováno, zcela chybí publikace časopisecké a zvláště zahraniční. Přitom je třeba zdůraznit, že kvalita výsledků řešení a zvláště úroveň jejich publikací je při hodnocení kvality doktorského studia na vysokých školách akreditační komisí přísně sledována.

Z důvodu nesplnění požadavku výše uvedeného par.47, odst. (4) Zákona 111 o vysokých školách obhajobu dizertační práce pana Ing. Matouše Bartla proto v předložené formě

**n e d o p o r u č u j i .**

Pro dosažení potřebné úrovně dizertační práce je - podle mého názoru - nezbytné, aby doktorand *publikoval* výsledky jejího řešení, a to *takovým způsobem*, který by vyhověl zákonným požadavkům na udělení akademického doktorského titulu.



Prof. Dr. Ing. Miroslav Pokorný

V Ostravě, 20.1.2014