



Oponentský posudek doktorské disertační práce Ing. Petra Buriana, ZČU FEL, na téma

Implementation of Selected Bio-inspired Techniques by Programmable Logic Devices

Předložená disertační práce popisuje vybrané techniky genetického programování a evolučních algoritmů při jejich implementaci pomocí programovatelných logických obvodů. Práce je mimo okrajových kapitol rozdělena do tří hlavních kapitol, obsahuje celkem 147 stran a 21 stran příloh. Po úvodu následuje popis současného stavu problematiky v kapitolách evolučních algoritmů a hardware. Dále pak jsou uvedeny kapitoly vlastního řešení práce, jejich zhodnocení, použitá literatura a vlastní publikace a přílohy s uvedenými zdrojovými kódy.

Cíle práce považují za vysoce aktuální a téma práce za disertabilní. Text je psán srozumitelně, dobrou angličtinou, je podložen nezbytnou teorií, přičemž jsou jednotlivé postupy a výsledky dobře dokumentovány.

Vyjádření k práci

Po úvodu, kde je uvedena motivace a cíle práce následují dvě stručné kapitoly s popisem současného stavu – Evoluční algoritmy a hardware. Z popisu je zřejmá dobrá orientace disertanta v daném problému. Jak v tomto popisu, tak i na začátku každé další kapitoly jsou uvedeny relevantní odkazy na použitou literaturu, což je nezbytná podmínka pro kvalitní rešerši současného stavu problematiky.

Další kapitoly jsou věnovány vlastnímu řešení. To obsahuje tři směry – Genetické programování, Evoluční FIR filtr a Rozpoznávání obrazu pomocí n-násobné neuronové sítě. Každé téma je řešeno i na úrovni hardwarové implementace algoritmu pomocí FPGA. Je zřejmé, že rozsah práce je velmi široký. Dizertant řešil několika různých problematik pomocí metod, založených na evolučních principech, což přesně vystihuje i název práce. Vlastní přínos disertanta k dané problematice dokládají jeho publikace, které jsou uvedeny v závěru práce, a které považují za postačující.

Hlavním tématem práce je genetické programování, kde se disertant zabýval redukcí výpočtů účelové funkce. Význam práce pro obor je v modifikaci uvedené metody a zejména pak v hardwarové implementaci různých typů algoritmů založených na evolučních principech a ověření jejich činnosti při řešení soudobých úloh.

Po formální stránce práce odpovídá charakteru tiskoviny daného typu. Je napsána přehledně a srozumitelně. Vyskytuje se v ní minimum překlepů nebo formálních chyb (např. účelová funkce není časově závislá, ale spíše parametrická, apod.). Nesouhlasit lze s použitým větším řádkováním, které zbytečně zvyšuje tiskový rozsah práce. Ten je navíc umocněn i použitým jednostranným tiskem. Pokud by práce měla obsahovat zdrojové kódy, tak pouze u klíčových algoritmů s odpovídajícím popisem. Uvedené zdrojové kódy nepatří do tištěné přílohy práce, ale na vhodný datový nosič (např. CD).

Z věcných nedostatků bych vybral následující témata a otázky, na které by měl disertant při obhajobě reagovat:

1. Část věnovaná evolučnímu návrhu FIR filtrů je obsahově velmi stručná s minimální rešerší stavu problematiky. Uveďte jaké nové výsledky přináší.
2. Definování požadavku na filtr z hlediska časového průběhu výstupní veličiny v ustáleném stavu, jak je uvedený v kapitole 5.3, je přinejmenším zvláštní. Můžete uvést praktické využití tohoto přístupu a porovnat ho s jinými přístupy?
3. Jak byl stanoven řád filtru a jaká je výsledná kmitočtová charakteristika navrženého filtru v příkladu v uvedené kapitole? Byla vůbec zkoumaná?
4. Co vyjadřují dolní křivky v grafech na obrázku 59 a k čemu přísluší měřítko 20 dB/div uvedené v popisu tohoto obrázku?

Závěrem konstatuji, že disertační práce Ing. Petra Buriana splňuje stanovené cíle. Při řešení byly použity moderní metody, které lze považovat za vhodné. Výsledkem jsou modifikace známých algoritmů a původní implementace genetických algoritmů pro FPGA. Konstatuji, že disertant je schopen tvůrčí vědecké práce a jeho disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Praze 28. listopadu 2013



doc. Dr. Ing. Jiří Hospodka

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: **Ing. Petr Burian**

Název práce: **Implementation of Selected Bio/Inspired Techniques by Programmable Logic Devices**

Tématem předkládané disertační práce je studie a vývoj netradičních metod návrhu elektronických systémů. Jedná se převážně o práci teoretickou, podpořenou ale řadou experimentů, které dokumentují potenciál navrhovaných metod a mají přímý dopad na porozumění mechanismům této návrhové strategie.

Předložená disertační práce má 168 stran a je členěna do sedmi kapitol. Úvod do problematiky, podložený celou řadou literárních odkazů, přesvědčivě dokumentuje detailní znalosti autora v problematice evolučních návrhových metod v elektronice.

V odstavci 1.2 autor Ing. Petr Burian definuje tři hlavní úkoly disertační práce, a to analýzu karteziánského genetického programování, demonstraci adaptivního vývojeschopného HW s implementací v FPGA a konečně n-uzlové neuronové sítě, rovněž implementované v FPGA.

Práce tvoří kompaktní vyvážený celek, teoretická část je dokumentována řadou příkladů a experimentů. Dokumentuje rozsáhlé spektrum metod, které student musel zvládnout k dosažení vytyčených cílů a dokladuje jeho široký záběr. Velmi pozitivně hodnotím autorův návrh modifikace genetického algoritmu v podkapitole 4.3, který vede k celkové redukci rozsahu výpočetních nároků metody. Vedle velmi dobrých znalostí elektroniky z oblasti programovatelné logiky autor prokázal, že se dobře orientuje i v oblasti programování při vytváření prostředků, které výše uvedené algoritmy implementují.

Celkově hodnotím práci pro obor za velmi přínosnou, význam práce autora je navíc objektivizován řadou publikací. Ing. Petr Burian publikoval 13 původních prací, z toho jednu v časopise s kvalitním IF, v dalších pak figuruje jako první autor.

Práce je psána angličtinou na velmi dobré úrovni, je přehledná a vhodně strukturovaná, výsledky jsou dobře dokumentovány i v grafické formě. Drobný a nepodstatný „překlep“ jsem našel v její české části.

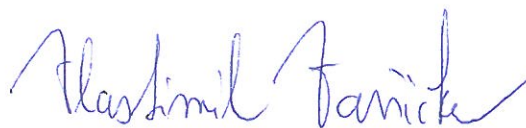
Připomínky k práci:

1. V odstavci 4.2 autor vyhodnocuje vlastnosti stávajících návrhových prostředků pro automatickou generaci zdrojového kódu a zdůvodňuje potřebu vývoje nového, jehož implementaci v další části popisuje. Zajímalo by mne trochu podrobnější vyhodnocení vlastností nového systému v porovnání se stávajícími i z hlediska výsledků, nejen z hlediska uživatelského komfortu.

2. V příkladech byly řešeny úlohy relativně menšího formátu. Zajímalo by mne, zda autor zkoumal trend nárůstu výpočetních nároků (doby výpočtu – popř. evoluce) pro rozsáhlejší úlohy a jaké úlohy jsou s popisovaným prostředím řešitelné. Tím mám na mysli použitou třídu obvodů a i ostatní prostředky.

Závěr:

Předložená práce a výsledky, dle mého názoru, **prokazují tvůrčí schopnosti** autora, a proto na tomto základě v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. a s čl. 107 odst. 1 a 2 Studijního a zkušebního řádu ZČU doporučuji disertační práci **Ing. Petra Buriana** k obhajobě.



Doc. Ing. Vlastimil Vavříčka, CSc.

V Plzni 6. ledna 2014

Evaluation of the Doctoral Thesis

“Implementation of Selected Bio-Inspired Techniques by Programmable Logic Devices”

Candidate: Ing. Petr Burian

Doctoral Thesis Opponent: Doc. Eur.Ing. Bruce Armour Wilkie, Ph.D. C.Eng. MIET

The thesis has a very wide range covering the theory of evolutionary systems and its application to the design and implementation of evolvable filters and image recognition systems. Due to my expertise in the area of pattern recognition, image processing and n-tuple techniques, my main assessment is focused on chapter 6. Consequently, I only give a general assessment of chapters 3, 4 and 5. All sections of the thesis are fairly well presented. Generally, the standard of English is satisfactory apart from a few mistakes (mainly definite and indefinite articles).

Following are my comments.

1. Introduction

The Introduction describes the background motivation, goals of the thesis and organisation of the thesis.

2. Evolutionary Algorithms

Overall, this section provides a comprehensive introduction to Evolutionary Algorithms. On Figure 4, page 11, the colour ‘green’ makes it difficult to see that the mutation is from ‘0’ to ‘1’. Also on page 11 is there a typographic error in equation (1)? Here, $p(x)$ and $f(x)$ are defined below the equation but are not in the equation.

3. Evolvable Hardware

This section provides a concise account of Evolvable Hardware

4. Cartesian Genetic Programming

The initial impression of this chapter is that it is exceedingly long and that some sections could have been presented as separate chapters.

4.1 Background

This is a suitable introduction. However, perhaps Figure 6 could have been given a better description so that readers unfamiliar with the technique would acquire a better understanding of the subject.

4.1.2 Mutation Process

There are no problems with this section although, again, for the uninitiated, the details of Figure 8 might have been explained in slightly more detail.

4.2 Software Design Tool

This section describes both the implemented software tool and effectively a user’s guide as how to use it. Both these parts are important and contribute to the thesis but, arguably, the software user’s guide could have been included in the Appendix. Otherwise, this section is deemed to be satisfactory.

4.3.3 Experiments and Results

In section 4.3.3.1, page 43, reference is made to 2x2b, 3x2b and 4x3b multiplier circuits. However in section 4.2.2.8, page 38, a 3x2 multiplier is cited. Also, on page 53-(first paragraph) 3x2 and 2x2 multipliers are stated. What is the meaning of the suffix 'b'? (i.e., does 'b' mean 'binary'?).

Overall, this section documents interesting and promising experimental results and is deemed to be satisfactory.

4.4 Implementation

This section is extremely complex and, arguably, should have been an extra chapter with the detailed hardware implementation documented in the Appendix. (N.B., this possible criticism is addressed by the candidate on page 5 of the Introduction).

Otherwise, this section is of a significant value to the Thesis and is considered to be satisfactory. has it been realised that confidences can only be improved if very high values of grouping and high values of group thresholds are used.

However, there is a relationship amongst the G1T1, G4T4 and G8T8 responses which has not been considered. This relates to the following approximate response 'R' to an unknown pattern 'S' compared with the 'average' Training patterns., i.e., $R = 100[(S/T)^{GN}] \%$ where G is the group value with the maximum grouping threshold of $G_{th} = G$.

For example, if the result for the G1T1 response (78%) is considered as a reference, then the most likely response (R) for G4T4 is given by:-

$$R = 100(0.78^4) \% = 37\%.$$

Similarly, the most likely response for G8T8 is given by:-

$$R = 100(0.78^8) \% = 13.7 \%$$

(These experimental results tend to confirm the $100[(S/T)^{GN}] \%$ approximation).

5 Evolvable FIR

The chapter appears to be adequate.

6 Image Recognition Based on N-Tuple Neural Networks

6.4 . Background

The Background is comprehensive and concise with 20 suitable references. Other references could have been included but, generally, the number of references is sufficient.

6.5 Hardware Implementation

No apparent problems in this section.

However, the meaning of RAW Figure 67, page 117, is not defined. Does this infer unprocessed (literally 'raw') data?

Also, one disadvantage of the system is that it appears to have no flexibility in terms of choice of image array size (i.e., it only processes 24000 pseudo-randomly mapped pixels from the input image).

6.6 Experimental Results

Suitable training and test sets have been implemented.

Figure 71, page 126 is a good example of the achieved responses of the two closest classes (Class 4 and Class 5.

Figure 72, page 127, showing the responses with grouping and group thresholding is of interest as it illustrates how the use of group thresholding can reduce confidence levels. This is stated on page 128.

N.B., only recently

Figure 73 is quite comprehensive. Unfortunately, as the confidence levels of the G4T1 nets are so low then the colour 'yellow' is difficult to detect against the white paper background.

It is assumed, (because not stated in the thesis) that thresholds were applied to the input images (monochrome or colour?). Was automatic or manual thresholding implemented?

Figure 70 indicates that 11 classes were used, but only the responses for 6 classes are shown.

Was this because classes 7, 8, 9, 10 and 11 were so dissimilar from each other and from the other classes that they could be ignored?

6.7 Comparison with Other Methods and Implementations

It is accepted that comparisons with the n-tuple technique are extremely difficult to assess.

In general, the n-tuple technique is more suitable for the recognition of high resolution, medium spatial images and, without image pre-processing, are either useless (e.g., texture analysis) or poor for low spatial frequency images (e.g., small areas of black on a large white background).

Unfortunately, distance measures, although excellent for the recognition of low-dimensional pattern spaces they are generally unsuitable for high resolution images. Another inherent problem is that of defining which features are to be extracted from an image in order to perform successful distance measurements. This is outlined in the Conclusions, page 135, but should have been stated on pages 130/131. On page 131, it is only stated is that the distance measures were implemented in software by the National Instruments Vision Builder for Automated Inspection (NIVBA1). So what features were extracted?

In this thesis three distance measurements are presented; those of the Nearest Neighbour Algorithm, the Minimum Mean Distance Algorithm and the K-Nearest Neighbour Algorithm. In practice, these techniques are all variations of the same theme and would not be considered as a solution for the documented recognition task.

One possible technique which might have been implemented is that of template matching and calculating the Hamming Distance between each test class and all of the trained classes. In this case, only one training class is stored in memory as a reference and either linear or pseudo-random mapping can be used (either one makes no difference to the resultant responses). For the images documented in this Thesis, compared with the distance measurement algorithms, template matching might just work. However, the confidence levels would be so small that, in practice, such an approach might not be successful. Another major problem with this approach is that only one reference pattern per class can be stored. Consequently, there is no generalisation and the technique degrades into yet another distance measurement scheme.

On Page 131, paragraph 3, the achieved speed is quoted as about 170 fps. Surely this infers a recognition speed (rps) of 170. This comment is made because in standard PAL TV terminology a frame is one complete picture and the frame rate (fps) is 25 per second.

7 Conclusion

Overall, the Sections relating to Cartesian Genetic Programming, Evolutionary Design and Evolvable Finite Impulse Filters are considered to be satisfactory.

N-Tuple Neural Networks

The conclusions briefly describe how a new HW specialised implementation of n-tuple networks, utilising node grouping, has been achieved utilising an FPGA device with a memory organisation which provides high efficiency and high speed recognition performance.

Paragraph 2 states that the overall design enables over 12000 images per second or, at a frame rate of 1fps, 195000 discriminators per second (see page 131, paragraph 3, again the definition of fps is incorrect).

However, the cost of this high speed performance infers that there is no choice in choosing either the size 'n' of the n-tuple or of the number of pseudo-randomly mapped pixels from the input image. Additionally, because the system does not have a fully buffered TV frame store, then there is no flexibility in terms of processing different window positions or sizes.

It is accepted that the presented system has many merits and is much specialised, but the lack of flexibility is a major concern if it were to be used as a 'general' evaluation tool for other pattern recognition applications. (Perhaps this might be considered for future work?).

Parts of paragraph 2, page 135 should have been included in section 6.4 to outline the relative advantages and disadvantages of using distance measures.

Otherwise, apart from these minor adverse comments, the conclusions are totally adequate

In summary:

In my opinion, the candidate contributed to the field of science and technology in several ways. Initially, a great deal of work has been undertaken on FPGA devices to implement Evolutionary Algorithms in Evolvable Hardware, and also on the n-tuple methodology (enabling the grouped-node technique) utilising an optimised memory configuration which achieves very high processing speeds. Also, with a suitable user's guide, an effective software tool the "Evolutional Designer" has been developed.

In terms of results, the major contributions are promising and interesting results were obtained for the multiplier circuits and the Finite Impulse Filters.

In the case of the N- Tuple Networks, the results indicate how the use of 'grouping' improves confidence levels and, for low values of grouping, a lower grouping threshold lowers confidence levels. These are positive results and confirm previous experimental results obtained over the past 25 years. It must be emphasised that these results were not known to the candidate because, until recently, the technique was 'company confidential' and it was protected by a patent granted in 1991(now expired). Consequently, it should be considered that the candidate has made a contribution in this area.

In general, I have few adverse comments on the contribution of this thesis, to the relative field of study, the procedures applied, the achievement of the defined objectives, the results, the contribution of the candidate and the presentation of the thesis. When the candidate gives his defence of this thesis, I assume that my adjudication has been made clear and that he defends some of the comments I have made.

The Author's publications (13) are satisfactory both in their number and in their quality.

After careful evaluation of the submitted thesis, I recommend it for doctoral defence.

B.A. Wilkie

26th November 2013

Doc. Eur.Ing. Bruce Armour Wilkie, Ph.D. C.Eng. MIET