

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

高性能矽視網膜感測器及具學習能力之細胞非線性網路晶
片系統設計研究(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2215-E-009-071-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學電子工程學系

計畫主持人：吳重雨

計畫參與人員：鄭秋宏、施育全、林俐如、黃冠勳、江政達、陳勝豪、楊文嘉

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文
國際合作計畫研究心得報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 28 日

高性能矽視網膜感測器及具學習能力之細胞非線性網路晶片系統設計研究（一）

The Researches on High-Performance Silicon Retina

Multi-Sensor and Learnable CNN Chips (1)

計畫編號：NSC 91-2215-E-009-071

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：吳重雨 國立交通大學電子工程系所

E-mail：cywu@alab.ee.nctu.edu.tw

計劃參與人員：鄭秋宏、施育全、林俐如、黃冠勳、江政達、陳勝豪、楊文嘉

一、中文摘要

本計劃旨在建立一個生物式的影像處理系統，此系統包含前端的矽視網膜感測器以及後端的具學習能力及相對記憶體之細胞元化類神經晶片，加上必要之介面電路及處理控制電路，此系統可形成影像分類，辨識等處理系統雛型，並運用於電腦智慧型 I/O 或多媒體資訊處理系統等。

本年度計劃的期中研究成果主要包含兩方面。首先，在具學習能力及相對記憶體之細胞元化類神經晶片方面，藉著加入神經電路的自我迴授後，我們成功的將可被學習、記憶的樣本大幅提高。在矽視網膜感測器方面，我們研究了最新發表的生物視網膜細胞反應，並將其功能成功的以電路實現。

關鍵詞：矽視網膜、影像處理、運動感測、細胞化類神經網路、學習式類神經網路

Abstract

This project is aimed to develop a bio-inspired image processing system. This system includes the frontend silicon retina, and backend cellular neural network (CNN) structure with adjustable layer chips for learning and ratio memory. This bio-inspired image processing system together with the necessary interface control chips will be integrated to form a prototyping system for image pattern classification and recognition. It is expected that the system can be applied to the intelligent computer I/O or multi-media systems.

There are two main research achievements. (1) As to the learnable CNN chips, we proposed a new leaning scheme. In this new scheme, the selffeedback is included so that the learnable patterns are greatly increased. (2) As to the silicon retina, we studied

the newest publications regarding the response of biological retina. Based on these data, we successfully developed a new silicon retina chip mimicking the functions of cells in biological retina.

Keywords: silicon retina、pre-image-processing chip、motion detecting sensor、RMCNN、vBJT

二、計畫緣由與目的

類神經網路係近年重要研究課程。我們在過去的研究計劃中，以載子在雙載子電晶體基極區域的傳輸現象，成功研發神經元雙載子電晶體(neuron-BJT)，並運用 neuron-BJT 實現矽視網膜及大鄰近層連接細胞非線性網路(Large Neighborhood Cellular Nonlinear Network, LNCNN)。而在學習能力方面，我們亦已發展出利用比例式記憶體來記憶所習得之細胞非線性網路的鍵值。

在我們過去的研究成果中，我們已提出將細胞非線性網路當成聯想記憶體以用於學習、辨認及聯想樣本的觀念。圖一應用比例式記憶體之細胞元神經網路之方塊圖，各個細胞元之相互關係經由學習之後便儲存於比例式記憶體之中。在聯想時，若我們從中輸入一含雜訊之樣本，則其他的神經元便會經由類神經網路之聯想而輸出其正確之樣本。然而，現有的版本僅能記憶 3-5 個樣本，因此本計畫的目的在改良學習的法則，使其能夠記憶更多之樣本。

在以往的研究中，我們的矽視網膜晶片，乃在模仿此視網膜的 Photoreceptor、Horizontal、及 Bipolar 這三種細胞三種細胞的反應。但事實上，以往對視網膜的研究，因受限於生物細胞訊號的量測技術尚未成熟，因此對視網膜細胞反應的瞭解並不完整。最近，在視網膜細胞反應的研究上，已有重大突破，許多視網膜細胞的反應已陸續被量測出來。本計畫在矽視網膜的研究目的，在學習並瞭解最新視網膜細胞反應的發現，並利用電路的方法將其實現。

三、結果與討論

在比例式記憶體方面，Matlab 軟體被用來驗證演算法之正確性；之前的版本所習得之模板 A 並不包含自我回授之鍵值，也無含臨界值鍵值之模板 Z；即使將所測試之樣本解析度由 9x9 改為 18x18 後，亦只能記得 5 個樣本，僅較 9x9 樣本可記得 3 個多了 2 個。

在加入模板 A 之自我回授之鍵值後，發現該含比例式記憶體之細胞非線性網路可記得九十八個以上之樣本；圖二(a)為其中的三十個樣本，圖二(b)則為部分相對應之含雜訊的測試樣本；圖二的所有樣本均可被該新型含比例式記憶體之細胞非線性網路辨識並還原回正確的樣本。若再加入含臨界值之模板 Z，發現其對含相同程度之雜訊的測試樣本有較佳之還原率(recovery rate)。另據觀察發現，增強自我回授之鍵值可加快辨識速度，故在新型比例式記憶細胞非線性網路中改以自我回授的鍵值為比例式記憶之分母，以加快辨識速度。

在矽視網膜晶片方面，根據最新視網膜細胞反應的發現，視網膜的 Photoreceptor 及 Horizontal 兩種細胞的反應可以用圖三所示的模型去描述， τ 是時間常數，D 是擴散常數，G 是訊號增益。根據圖三的模式，我們設計出新型的矽視網膜電路，如圖四所示為單一像素的電路，用以模擬 Photoreceptor 及

Horizontal 兩種細胞的反應。我們進一步用此電路建立一個解析度 32x32 的矽視網膜晶片，如圖五所示。在我們所提出的電路架構中，擴散常數可以被 V_G 這個電壓控制。如圖六所示，當 V_G 這個電壓越大時，擴散常數會越大。視網膜的 Photoreceptor 及 Horizontal 這兩種細胞，會對影像同時進行空間上與時間上的處理，我們所提出的矽視網膜電路同樣具有對影像進行空間上與時間上處理的能力，如圖七所示。藉由電路模擬的驗證，我們所提出的新型矽視網膜電路確實和生物的視網膜細胞反應相似。

四、計畫成果自評

在比例式記憶體方面，發現加入自我回授之模板 A 之比例式記憶體細胞非線性網路可記憶超過 98 個樣本，但其可辨識樣本之時間則較短；若是只學 5 個樣本，則其可辨識樣本之時間則與無自我回授者一樣長。若在加入含臨界值之模組 Z，發現不論是學習 5 個或 98 個樣本，其可辨識之時間均同僅含自我回授模板者。其詳細比較數據見表一。

比較其可還原樣本之程度，加入自我回授之模板 A 之比例式記憶體細胞非線性網路其在記憶 98 個樣本後對雜訊為標準差 0.35 的測試樣本之還原能力僅較只記憶 5 個樣本之無自我回授者稍差。若再加入含臨界值之模板 Z，則即使記憶 98 個樣本，其還原能力仍較記憶 5 個樣本之原始比例式記憶體細胞非線性網路稍佳。其詳細比較數據見表二。

並由於取自我回授鍵值為比例式記憶之分母，無須將各鍵值相加當分母的電路，進一步簡化了電路設計，並加快辨識速度。

在矽視網膜方面，我們實現了一個新型的矽視網膜晶片。此晶片根據新近被測得的生物視網膜細胞反應而設計。此晶片模擬 Photoreceptor 及 Horizontal 兩種細胞的反應。經由模擬結果驗證此晶片在空間上與時間上的反應，均能和生物視網膜細胞相符，因此是一成功的設計。

本年度計畫到目前為止執行成果極為豐碩，總計發表國際期刊論文二篇，國際學術會議論文四篇，並列舉如下：

國際期刊論文

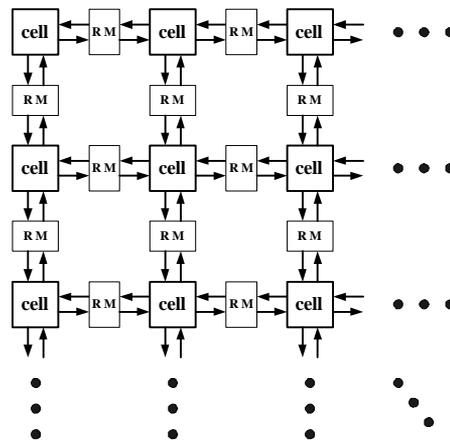
- [1] C.Y. Wu and K.H. Huang, "A CMOS focal-plane motion sensor with BJT-based retinal smoothing network and modified correlation-based algorithm," *IEEE Sensors Journal*, vol. 2, no. 6, pp. 549-558, December 2002.
- [2] C.Y. Wu and C.H. Cheng, "A learnable cellular neural network structure with ratio memory for image processing," *IEEE Transaction on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 49, no. 12, pp. 1713-1723, December 2002.

國際學術會議論文

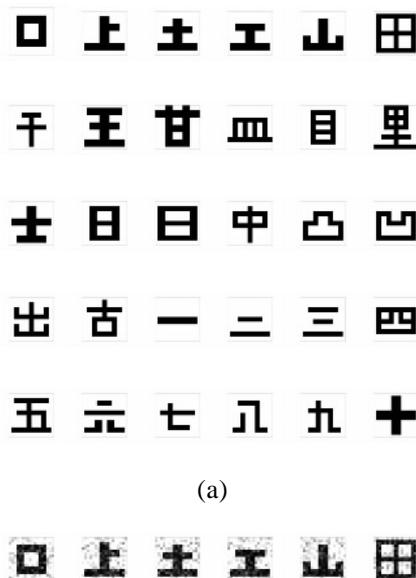
- [1] T.C. Tsai, M. Sun, L.J. Lin, K.H. Huang, C.H. Cheng, and C.Y. Wu, "A new two-layer quantum-dot large neighborhood cellular nonlinear network

(QLN-CNN) using quantum-dot cellular automata, in *Proc. of the 2002 2nd IEEE Conference on Nanotechnology/IEEE-NANO 2002* pp. 355-357, Washington D.C., August 2002.

- [2] W.C. Yang, L.J. Lin, and C.Y. Wu, "The design of a bionic sensory chip based on the CNN model derived from the mammalian retina," accepted by *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2003)*.
- [3] C.H. Cheng, S.H. Chen, L.J. Lin, K.H. Huang, and C.Y. Wu, "A New Structure of Large-Neighborhood Cellular Nonlinear Network (LNCNN)," accepted by *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2003)*.
- [4] K.H. Huang, L.J. Lin, and C.Y. Wu, "A CMOS Focal-Plane Rotation Sensor with Retinal Processing Circuit" accepted by *European Solid State Circuits Conference (ESSCIRC 2003)*.



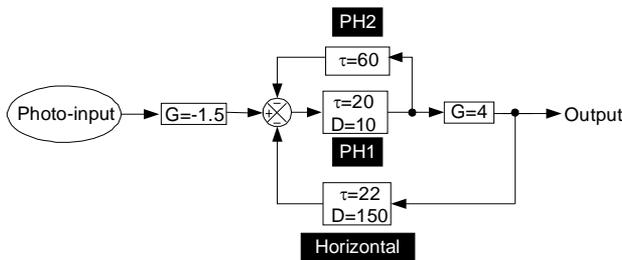
圖一、應用比例式記憶體之細胞元神經網路之方塊圖



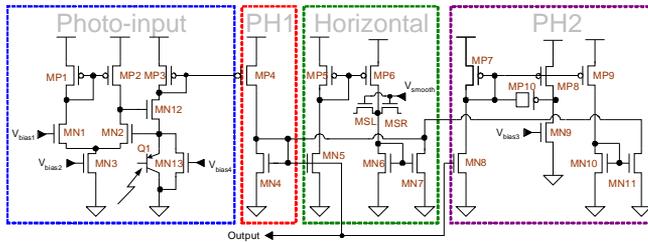
千 王 甘 血 目 里
 士 日 日 中 凸 凹
 出 古 一 二 三 四
 五 六 七 八 九 十

(b)

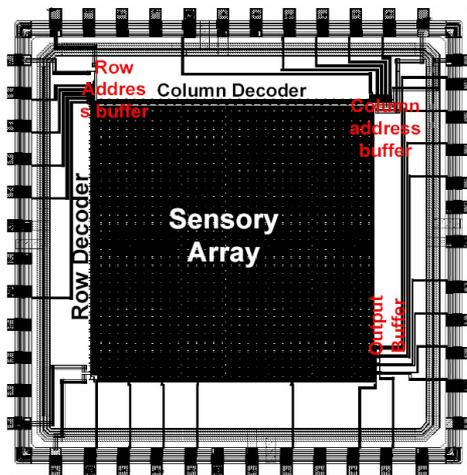
圖二、(a)部分正確樣本輸入 (b)相對應之含雜訊樣本輸入



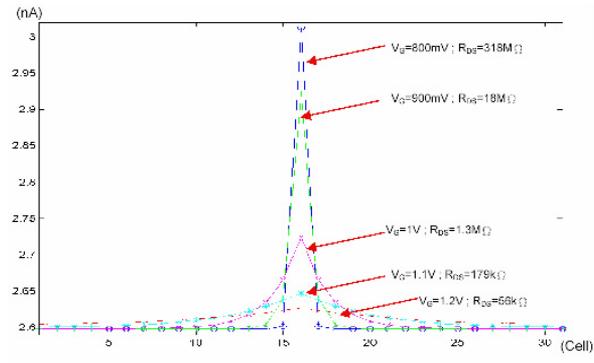
圖三、視網膜模型



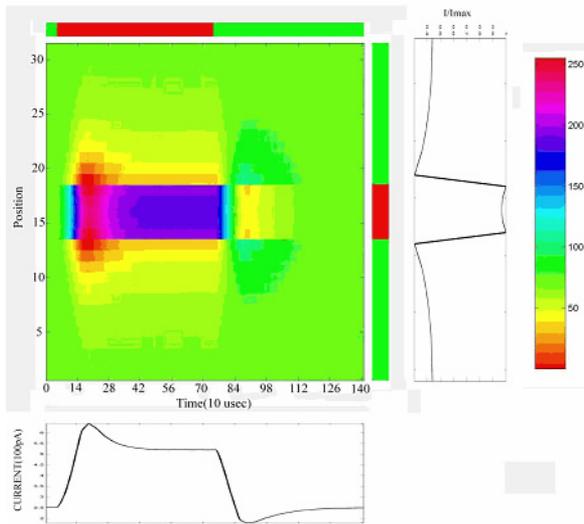
圖四、矽視網膜電路



圖五、晶片佈局圖



圖六、平均化網路模擬結果



圖七、一維矽視網膜對閃光反應之空間-時間圖

	Learned Patterns	Test Patterns	Recognizable Time $T_{ELallmin}$ - $T_{ELallmax}$ (sec)
Original	5	5	1500-2500
S-RMCNN	5	5	1000-2500
	87	87	2450-2500
	31	87	2350-2500
	93	93	2450-2500
SZ-RMCNN	98	98	2450-2500
	5	5	1150-2500
	87	87	2450-2500
	31	87	2350-2500
	93	93	2450-2500
	98	98	2450-2500

表一、可學習樣本個數之比較。

	Learned patterns	Test patterns	Variance = 0.3	Variance = 0.35	Variance = 0.5
Original	5	5	86	53	
S-RMCNN	5	5	100	100	97.4
	87	87	89.8	59.6	
	31	87	89.8	59.6	
	93	93	88.9	54.1	
	98	98	86.9	52.5	
SZ-RMCNN	5	5	100	100	98.4
	87	87	89.8	59.6	
	31	87	89.8	59.6	
	93	93	88.9	54.1	
	98	98	86.9	52.5	

表二、可還原測試樣本之雜訊程度之比較。