



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 醫療自動化智慧型分析系統之研究與應用

Intelligent analyses of EEG signals and vital signs for medical automation

計畫編號：NSC 90-2212-E-002-182

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：高明見教授（台灣大學醫學院外科教授 兼臺大醫院神經外科主任）

### 一、中文摘要

本計劃是根據現有的環境和設備，配合台大醫學院的醫師，來完成一可攜式腦波監測器、加護病房(ICU)病人之顱內壓(ICP)控制以及麻醉深度預測與控制模擬系統。在子計畫一與子計畫二的技術整合方面，本計畫目的在於利用腦電圖的量測來建立一套具有人工智慧系統的駕駛人喚醒儀，以避免駕駛員昏睡發生危險，礙於多通道腦波機的複雜性及不便性，我們發展出一套可攜式腦波監測器，欲與先前的腦波分析理論做結合，成為完整的監測系統。在子計畫一與子計畫三的技術整合方面，我們應用模糊理論來模擬臨床麻醉醫師判斷和控制病人的麻醉深度(DOA)，以及應用類神經網路理論來預測病人和麻醉氣體蒸發器之趨勢變化，使的整個模擬系統得以完備。最後我們加入雙頻譜分析指標(BIS)腦波監測儀的使用，來建立手術中麻醉病人之監視的智慧型模擬系統，並完成病人之麻醉自動控制系統。在子計畫一與子計畫四的技術整合方面，本計畫採用了自我學習的模糊理論(SOFLC)與傳統模糊理論做顱內壓控制的比較，發現 SOFLC 比傳統的模糊理論控制的更佳。

**關鍵詞：**智慧型模擬系統、腦電圖、麻醉自動控制、腦波監測儀(BIS)、SOFLC、模糊理論

### Abstract

This is the third year of our project, and we will focus on controlling the depth of anesthesia at Operator Room, developing the ICP monitoring system of ICU, and designing the instrument to acquire the brain wave signals. In the research of brain wave signal, we have known that the point of C4-T4 is the best measuring point because it has the least disturbance from noise. Therefore, we combined all of the hardware and software to establish a system for monitoring the drowsy state of drivers. Depth of anaesthesia is much harder to define and not readily measurable. In practice, anaesthetists have a number of clinical signs and on-line measurements which can be used selectively for the determination of the patient's state. In order to simulate the whole operation during inhalational anaesthesia, a four-input and four-output artificial neural network has been designed for patient model. The successful simulation results have given confidence of anaesthetists to perform automatic control of drugs in the operating theatre. Regarding the experimental theories in this study, we use the self-organizing fuzzy logic control (SOFLC) algorithm to control the patients' ICP value instead of the traditional fuzzy logic control (FLC). According to results

of clinical experiments, the SOFLC algorithm was better than FLC.

**Keywords:** depth of anaesthesia, neural network, patient model, SOFLC, FLC, ICP monitoring

## 二、緣由與目的

隨著人工智慧的發展及電腦演算法的進步，醫療不再侷限於純醫學的領域，愈來愈多工程方面的技術在醫學應用上都能有亮麗的表現。因此在智慧工程的研究領域裡，本計劃將以模糊邏輯、類神經網路和遺傳演算法為主要的系統演算核心，利用類神經網路的記憶與學習能力，建立起系統的病患模型，並藉由模糊邏輯在人類處理事物的經驗法則的優勢，作為系統控制器的設計規則。此計畫除了利用控制演算法的理論基礎外，我們希望能配合其他子計劃來開發通用型軟、硬體設施。由於視窗環境的日益成熟，我們在軟體的開發上將朝向視窗介面做為主要的設計重點，希望在未來以視覺化的操作環境，達到醫護人員使用上的便利性。

在子計畫二的研究方面，已知一般用於診斷相關腦病變的腦波機皆屬於多通道的系統，並不適合用運用於駕駛偵測，因此我們設計了一個單通道的可攜式腦波機並配合前兩年的研究成果，以 C4-T4 為最理想的腦波貼點量測位置，當作未來開發駕駛人昏睡喚醒機器的腦波分析訊號來源。

在子計畫三的麻醉深度研究上一直是許多研究學者想要努力的方向[1-3]。在手術房中，麻醉深度的判別不單單只是為了知道病人目前現在的麻醉狀況，更是為了進一步能控制病人所需的麻醉藥量，使病人能在最安全的狀態下被完成手術。但是

只靠分析一種生理訊號所得的結果，就要做人體的麻醉藥量控制，其實是非常冒險的，還是必須仰賴病人的其他生理訊號來作更全面性的判別[4, 5]。

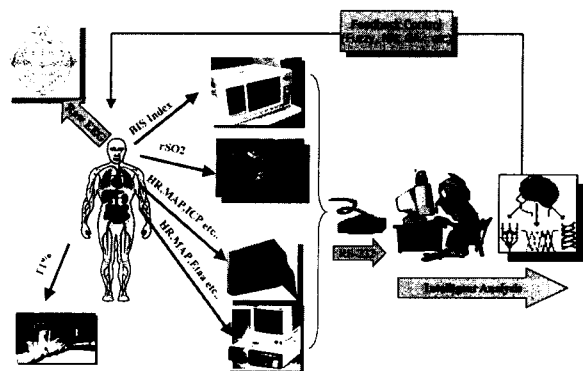
在子計畫四的顱內壓控制研究裡，由於對顱內壓造成影響的因素相當複雜，例如不同的醫療處理動作與藥物治療等都會影響顱內壓值[6]，本研究將以模糊理論來控制顱內壓高低，達到完善的自動化醫療照護。

## 三、研究成果

由於此計畫係屬整合型計劃，底下將針對各子計劃的進度作概略性描述：

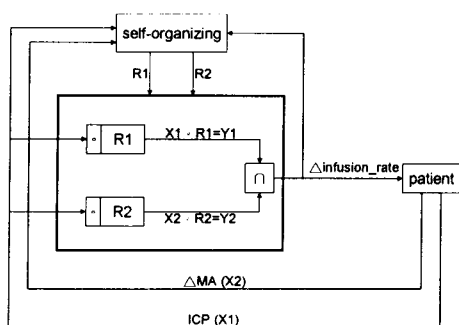
(1)子計劃一：利用腦電圖(EEG)與眼動圖(EOG)信號來發展一個通用型醫療自動化監測與控制演算法則

本計劃主要目的在於設計通用型醫療自動化監控系統與其智慧型理論架構，系統資料主要來自於其他子計劃的臨床環境如圖(一)。其理論應用的領域為手術房麻醉、加護病房的顱內壓監控設備開發以及腦波收集與量測裝置的軟硬體研發等，探討如何利用智慧型分析方法來發展出一套通用醫療自動化監測與控制的演算法則，並將此演算法應用在其他子計畫。

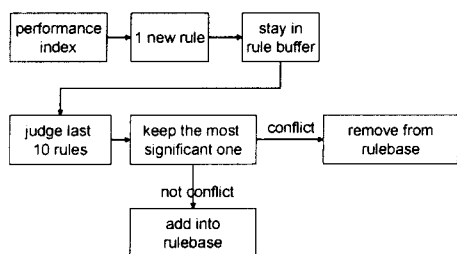


圖(一) 整體系統流程圖

在顱內壓控制方面，本計畫採用了自我學習的模糊理論(SOFLC)與傳統模糊理論做比較，其模糊理論引擎架構如圖(二)，SOFLC 的模糊規則庫判斷流程如圖(三)，而 Performance Index 如表(一)所示，發現 SOFLC 比傳統的模糊理論控制的更佳，以及在腦波的研究中，本研究自從去年得到 C4-T4 為最佳的量測點後，積極的開發以單一通道的可攜式腦波機，其電路如圖(四)所示，期望以此量測機器發展出新的腦波研究成果。最後本計劃希望藉由人工智慧技術的引進，並根據不同醫療環境的生理訊號，發展一個通用型醫療自動化監測與控制系統。



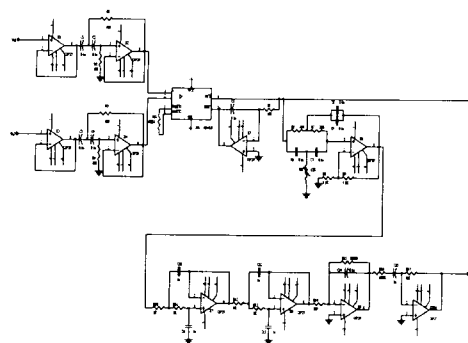
圖(二) 模糊理論引擎架構



圖(三) SOFLC 規則庫之判斷流程

表(一) Performance Index

Error	Change in error						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	
NM	NB	NB	NM	NS	ZE	NS	
NS	NB	NB	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	ZE	ZE	ZE	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PM	PB	PB	PB



圖(四) 腦波量測電路圖

## (2)子計畫二：昏睡與酒醉之腦電圖與眼動圖訊號之基礎研究

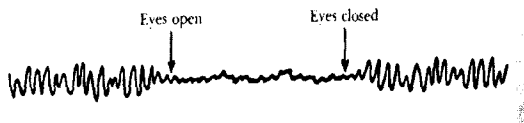
在前兩年的研究中，我們利用非週期波理論的慢波分析、95%頻譜邊緣頻率分析、以及複雜度理論分析等三種數位訊號的方式分析正常人之初期睡眠腦波。並將訊號處理過後的次級腦電圖資料配合專家經驗建立了模糊模型系統規則庫，以建立智慧型腦波意識程度辨識系統。

在去年的研究成果中可知，腦波分析後的模糊推論值經過與實際值相比對的結果，我們發現在實驗過程中會有許多量測誤差產生[7]，在文獻中亦多有所提及。例如正常人在打瞌睡時震動到訊號線，以及眨眼時所產生的眼動干擾，這些干擾必須有效的消除才能得到真正的腦波訊號。其中眨眼是人為表現的自然反應，一分鐘可多達十多次，頻率介於2~3Hz，一般而言清醒的正常人腦電波並不會出現 Delta 波，因此我們使用帶通濾波器，降低眼動干擾影響，而且盡可能使受測者配合以減低錯誤訊號源。

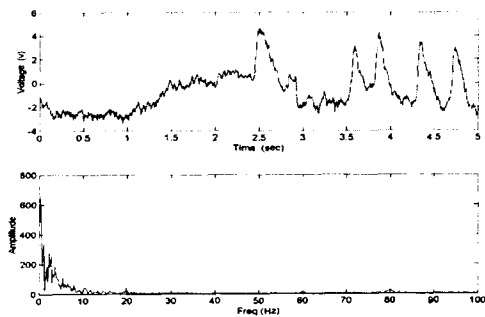
由於腦電圖(EEG)的量測貼點隔著頭皮、顱骨及三層腦膜，所以記錄到的電位很小，因此我們需要使用高倍電壓放大電路，並配合有效的濾波電路將腦電壓放大到示波器及 A/D 卡所能擷取的範圍[8, 9]。

我們將腦波收集裝置的 EEG 訊號與台

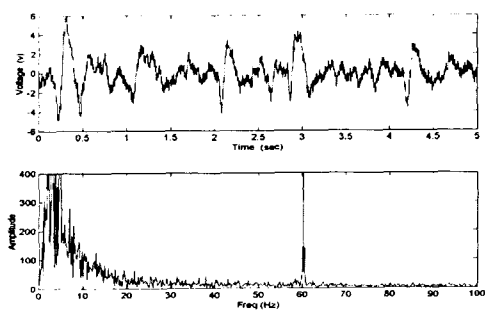
大醫院 Stellate Harmonic 腦波機所得的訊號做時域與頻域上的測試比較。以眨眼測試為例，正常的開、閉眼波形如圖(五)所示，我們可以看到有明顯大於正常腦波的電壓出現，且頻率介於 2~3Hz 之間。這現象 Harmonic (如圖六) 及自組電路 (如圖七) 中都能清楚的看到，由此可知我們的自組電路已可量測到微小的腦波訊號，並且其結果也是正確的。



圖(五) 腦波量測電路圖



圖(六) Stellate Harmonic 眨眼測試

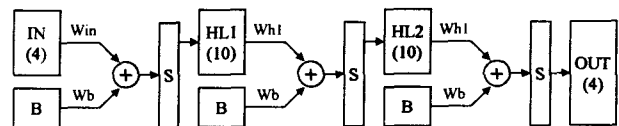


圖(七) 自組電路眨眼測試

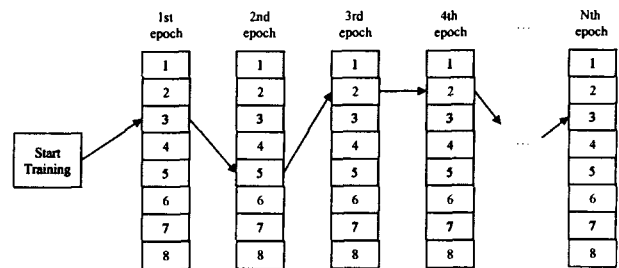
### (3)子計劃三：手術中病人之監視及麻醉自動控制的智慧型系統

本子計劃的麻醉模擬系統，是利用類神經網路的技術建立病患手術麻醉過程的

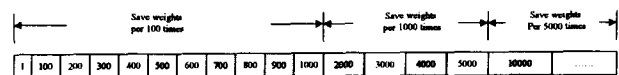
模型，其類神經網路架構如圖(八)所示，因此在手術過程中主要是記錄病患收縮壓 (SAP)、心跳 (HR)、吸入麻醉氣體濃度 (Fiaa)、潮汐末麻醉氣體濃度 (Etaa)、以及來自於 Aspect-1050 腦波儀量測而得的雙頻譜分析指標 (Bispectral Index, BIS)，利用 Fiaa 以及病人特性如性別、年齡、體重等作為類神經網路模型的學習輸入，再以 BIS、Etaa、SAP、HR 等實際病患量測值作為模型學習目標，病人模型的訓練模式如圖(九)，訓練次數和權重值之記錄如圖(十)，而模擬病患手術中的麻醉過程的系統流程圖如(十一)所示。接著利用此模型所得的模擬數據再進行麻醉深度的判斷，在麻醉判斷上以模糊邏輯為根據，並以模擬 BIS、Etaa 判斷主要麻醉深度 (primary depth of anesthesia, PDOA)，再以模擬 SAP、HR 判斷次要麻醉深度 (secondary depth of anesthesia, SDOA)，最後以兩個判斷參數可以計算得到麻醉深度指標 (depth of anesthesia, DOA)。因此系統根據此判斷參數所設定的設定點，可以進行醫療自動化的控制。



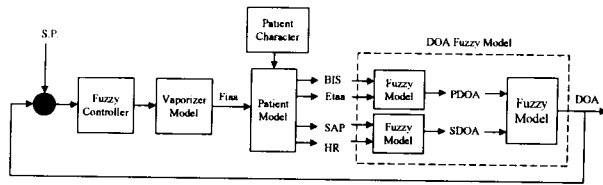
圖(八) 類神經網路架構



圖(九) 病人模型的訓練模式



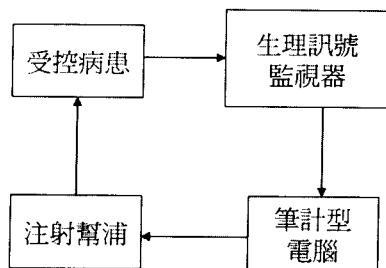
圖(十) 訓練次數和權重值之記錄



圖(十一) 病人之麻醉模擬系統流程圖

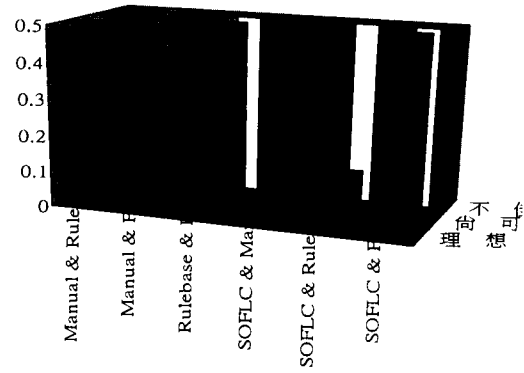
#### (4)子計畫四：神經外科加護病房中的早期警示智慧系統之應用

本研究是以模糊邏輯為理論基礎，經由與醫師確認，排除顱內壓影響因素較為複雜的病患，並固定使用的藥物，使實驗的影響因素降至最低後，尋找出要控制標的「躁動」的訊號模式。而在醫師對於躁動的控制經驗做完善的整理之後，再將病患的狀況透過儀器的監測、系統的判別、再做鎮靜劑量的回饋，並將醫師專業的臨床經驗加以吸收，做條列式的整理，成為可獨立作業的 ICP 控制系統，其控制模組的架構圖如圖(十二)所示，使得加護病房的鎮靜控制方面達到完善的自動化醫療照護。



圖(十二) 實驗控制模組架構圖

其次，為了節省藥劑支出的成本，如何針對所使用藥物劑量進行適量的施打也是重點課題之一，希望能夠以最少的藥量達到臨床上可接受的控制效果，進而節省整體醫療成本。最後將針對本子計畫所提之各控制方式，與原本加護病房中的手動調整藥量的方式，對病患的躁動抑制所產生的效果與影響，應用統計學的 t 檢定做分析與比較可得圖(十三)，觀察在療效與節省藥劑成本的考量之下最佳的控制模式。



圖(十三) 各控制器兩兩相比之 t 檢定

#### 四、計畫成果自評

在智慧型理論的研究上，本計畫在三年中，已經廣泛的應用模糊理論與類神經網路的理論在建立病人的模型與模擬控制等，並且由各子計畫的研究成果可得知，利用智慧型理論分析醫療訊號是適合的。在腦波的研究方面，目前已完成單一通道的可攜式腦波離型機如圖(十四)所示，在從清醒進入昏睡腦波的分析亦有初步的成果。往後將結合筆記型電腦的記錄分析，繼續尋找出更適合的腦波分析理論。



圖(十四) 單一通道的可攜式腦波離型機

在麻醉深度的預測與控制方面，根據原始臨床數據，可利用 Fiaa 值區分出麻醉三時期的各階段筆數，並進階求出在麻醉

維持期之麻醉氣體使用量，因此模擬系統之完成，可對日後實際控制時有增進控制時之安全性。

最後由加護病房的臨床實驗中，本研究已歸納出躁動的時間及行為模式，可提供未來相關研究之參考，並且在臨床的控制上，由藥量的控制結果得知，因為 SOFLC 具備自動產生規則的特性，所以控制的效果比傳統的 FLC 好。

## 五、參考文獻

- [1] D. A. Linkens, "Fuzzy Control For Muscle Relaxation in Anesthesia," Biomedical Engineering-Applications, Basis & Communication, Vol. 9, No. 1, Feb., pp. 67-73, 1997.
- [2] T. Gansler, M. Hansson and G. Salomonsson, "A System for Tracking the Depth of Anaesthesia," IEEE-EMBC and CMBEC, 1995.
- [3] R. Christopherson, N. J. Glavan, E. J. Norris, C. Beattie, P. Rock, S. M. Frank, S. O. Gottlieb, PIRAT Study Group, "Control of Blood Pressure and Heart Rate in Patient Randomized to Epidural or General Anesthesia for Lower Extremity Vascular Surgery," Journal of Clinical Anesthesia, Vol. 8, Nov., pp. 578-584, 1996.
- [4] J. Muthuswamy, R. J. Roy, "Bispectrum Analysis of EEG of A Dog to Determine the Depth under Halothane Anesthesia," Bioengineering Conference, 1993., Proceedings of the 1993 IEEE Nineteenth Annual Northeast, pp. 5-6, May 1993.
- [5] R. J. Gajraj, M. Doi, H. Mantzaridis, G. N. C. Kenny, "Analysis of the EEG Bispectrum, Auditory evoked potential and the EEG Power Spectrum During Repeated Transitions from Consciousness to Unconsciousness," British Journal of Anesthesia, 80:45-62, 1998.
- [6] Spitzfaden, A. C., Jimenez, D. F, "Propofol for sedation and control of intracranial pressure in children." Pediatr-Neurosurg. Vol. 31, pp. 194-200, 1999.
- [7] J. Wu, E. C. Ifeachor, E. M. Allen, S. K. Wimalaratna, "Intelligent artifact identification in electroencephalography signal processing." IEE Proc.-Sci Meas. Technol., Vol. 144, No. 5, pp. 193-201, Sep 1997.
- [8] 楊武置編著，運算放大器電路設計全華科技圖書股份有限公司，民國 81 年 7 月。
- [9] 陳文山、郭青池編著，電子學（三）全華科技圖書股份有限公司，民國 85 年 8 月