

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

醫療儀器推動小組：臨床超音波診斷儀之開發與臨床評估 子計畫四：超音波成像技術研究(II)

Researches on Ultrasonic Imaging Techniques

計畫編號：NSC 87-2213-E-002-074

執行期限：86 年 8 月 1 日至 87 年 7 月 31 日

主持人：曹建和 台灣大學電機系副教授

一、中文摘要

本計畫為有關超音波成像技術的研究，目的在於開發成像技術，以改進國產第一部醫用超音波掃描儀的品質，並協助產業界開發第二代醫用超音波掃描儀。

本年度的主題為相位陣列成像技術研究。目前已完成一個具有 32 個發射陣元，單一接收通道的凸型陣列影像掃描系統。

利用這套系統，我們已進行下列實驗並獲得成果：波束場型量度、陣列之軸向響應量測、B-mode 成像、諧振成像。

關鍵詞：成像技術，系統設計，超音波影像，醫用超音波

Abstract

This is a project for doing researches on ultrasonic imaging techniques. Its main purpose is to develop imaging techniques for improving the image quality of the first ultrasound scanner built by ITRI two years ago. Another purpose is to assist the industry in the developing of the next-generation scanner.

The major efforts are developing phased array imaging techniques this year. A convex array scan system with 32 elements in transmit and single element in receive is established.

With this system, several experiments are performed and some results have been achieved: beam-pattern measurement, array axial response measurement, B-mode imaging, second harmonic imaging.

Keywords: Imaging Techniques, System Design, Ultrasound Imaging, Medical Ultrasound

二、緣由與目的

本計畫為國科會醫療儀器推動小組所規畫之臨床超音波診斷儀推動計畫底下的一個子計畫[6]，主題為超音波成像技術研究，在三年當中循序建造機械式與相位式陣列成像系統[5]。本年度的主要工作是建立一相位式陣列成像系統。

目前由工研院所開發的超音波診斷儀，為僅具原始形式的 B-mode 掃描儀，其只適用於腹部超音波，面對目前日以精進的超音波儀市場，若不再擴充其功能，實難以滿足市場需求。反觀國外發展，美、日、德等國在醫用超音波診斷儀的研發，均已具三十年以上的歷史，且已開發出十幾代以上的機種了；即使中國大陸亦具二十年的產品開發經驗；韓國亦已有三代以上的產品，且目前不但有都卜勒系統，更已開發出全數位的機種。是以在醫用超音波掃描儀的發展上，我國實在落後非常多，為能儘快趕上各先進國家的技術水平，本計畫乃以系統實作為基礎。進行本研究所需的資源，部分來自於工研院量測中心超音波開發部。

為期有效配合第一代機商品化過程中的技術需求，以及在整體計畫內提供各子計畫在系統實施方面的技術，本計畫的目的有三：

- 1.開發後續產品：由於國內在醫用超音波方面並未建立適當的研發環境，因此隨著第一代機的推出，馬上要面臨的是一個競爭激烈的市場，然而由於國內長期缺乏足夠的研發成果，因此一個急待解決的問題是如何推出後續機種，且其品質必須能達到滿足醫師們臨床需求的境地，才能確保產業的生存與發展。相位陣列探頭為心臟超音波的主要探頭[1-4]，其能提供較佳

的影像解析度，進而可提高影像在橫向角的取樣密度，以改進影像的品質，這是目前第一代機與後續機型必須具備的性能。

2.改進系統設計能力：成像系統為一非常複雜的機器，唯有長期培育系統設計人才，方能確保產品的品質。本計畫將建立一套可供研究系統設計問題的相位陣列系統實驗床，接收部份採用數位化硬體架構，一方面支持日後更先進的成像技術研究，另一方面則希望能培育具完整觀念的系統人才。

3.支援其他子計畫在系統實施方面的技術需求：提供其他子計畫一個能將其研究成果予以實現的機會。

三、陣列成像系統之功能

目前已完成之陣列系統方塊圖如附圖所示。在 Clock Generator 中，提供整套系統所需要的頻率，同時為了增加系統的彈性，使用鎖相環(PLL)電路配合上可程式積體電路來控制中心頻率，讓系統往後能夠容易地更新其頻率以提升功能。此外，可以利用開關的切換，依照實驗性質的不同選取所需要的脈衝重覆頻率(PRF)，而每一次脈衝重覆頻率的信號便相當於一次的觸發。由於在目前系統的接收部份中，每個陣元需要分別接收，可以透過電腦控制的方式，決定觸發的輸出，讓電腦完成讀取資料的動作後，再產生下一次觸發的產生，以避免系統誤動作的發生。

發射波形以及每個陣元的時間延遲都事先存放在 EPROM 當中，經由電腦的控制或是開關的控制，可以選取所需要的發射波束方向、聚焦深度、發射信號的中心頻率、發射波形，再透過 Waveform Generator 的控制，可以經由外部開關調整發射信號的周期數，進而調整發射信號頻寬。最後存入 FIFO 準備發射，以確保每一陣元的同步，此外，利用 FIFO 的功能，在都卜勒的系統中，可以避免重覆讀取 EPROM 的資料，進一步可以提升系統的速度。

在 TGC 曲線的控制方法上，是將不同的曲線事先存放在 EPROM 中，透過開關

的控制，選取適當的曲線傳至 FIFO 存放等待送出，在接收的時候再送至 D/A Converter，使用 FIFO 做為中間緩衝的目的是希望在接收時候避免產生過多數位信號干擾，進而影響信號取樣的正確性。

Control Unit 為整個系統的核心部份，控制系統各部份所需要的時脈，以完成一次觸發所需要的動作，其完整的過程包括了：首先將發射信號波形所存放的 EPROM 資料經過 Waveform Generator 選擇發射頻寬後再寫入 FIFO，當寫入動作完成後將資料讀出送至高壓電路便開始發射。在接收部份的時脈控制上，則是先把選擇過的 TGC 曲線資料由 EPROM 寫入 FIFO，配合經由外部開關所控制的信號取樣時間範圍，將資料送至 D/A Converter 產生 TGC 曲線。同時在這段取樣範圍之內，讓 ADC(類比數位轉換器，analog/digital converter)後端的 FIFO 開始動作，將此時 ADC 所取樣到的信號寫入 FIFO 中，當 FIFO 寫滿之後，再透過電腦控制將資料讀入電腦之中，當資料完全讀出後便再產生下一次的觸發，如此便是完成一次觸發的動作。

接收部分主要包含多工器(multiplexer)、前置放大器(pre-amplifier)及 ADC。由於接收電路中的前置放大器及 ADC 只有一組，亦即接收器只有單一通道，故在探頭(transducer)和前置放大器間需要加上多工器，以便在不同時間將不同陣元所接收的信號送入 ADC 取樣。此處用的前置放大器屬於低雜訊放大器，可將微弱的超音波回波信號放大 50dB 以上，以便做後級的處理，其增益可由使用者控制。目前的 ADC 取樣率為 30MHz，若將時脈改變，可以調整到 40MHz，對現今超音波儀通用之中心頻率(約 2~10MHz)而言，這個取樣率已足夠。ADC 的 resolution 有 10bits，可提供足夠的動態範圍(dynamic range)。將類比信號轉換數位信號後，不但可減少因使用太多類比電路所造成的信號誤差，並可透過數位信號處理來執行精確的波束成形(beamforming)[7-9]及合成數位濾波器等。全數位系統最大的好處，就是

可程式化，便於發展理論及演算法[10-17]。

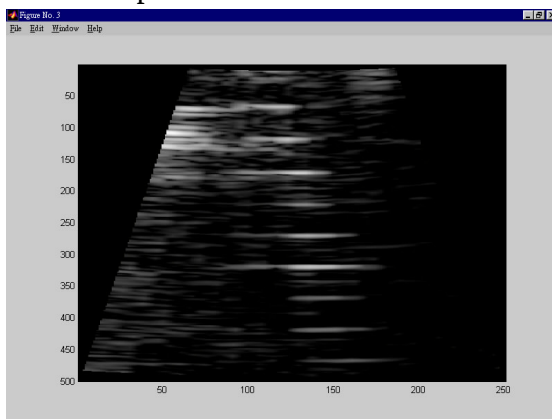
本計畫原擬購買一支相位陣列探頭，但因後來經費不足，所以探頭便改為使用工研院提供之凸型陣列探頭。凸型陣列探頭在使用上不如相位陣列探頭方便，尤其在調整波束的方向上。然而由於目前的電路設計留有足夠的彈性，所以一旦取得相位陣列探頭後，便可將探頭更換，系統也可轉換為相位陣列成像系統。

四、結果與討論

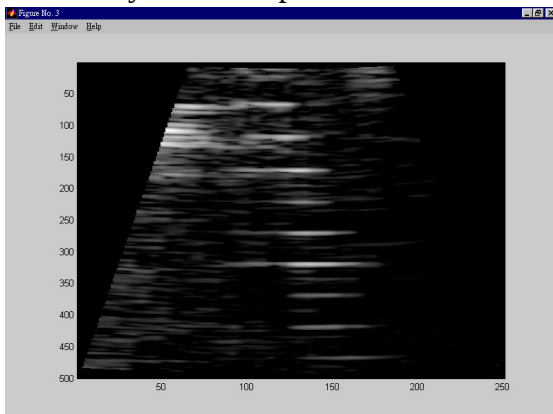
使用目前的系統，可以進行的研究有：基礎的 A-scan 及 B-scan；由於探頭有足夠的頻寬，也可進行諧振成像(harmonic imaging)；量測不同探頭的波束場型(beampattern)；發展數位波束成形的演算法等。

利用這套系統，我們已獲得下列實驗成果(另有彩色都卜勒成像能力，惟限於篇幅，不予詳述)：

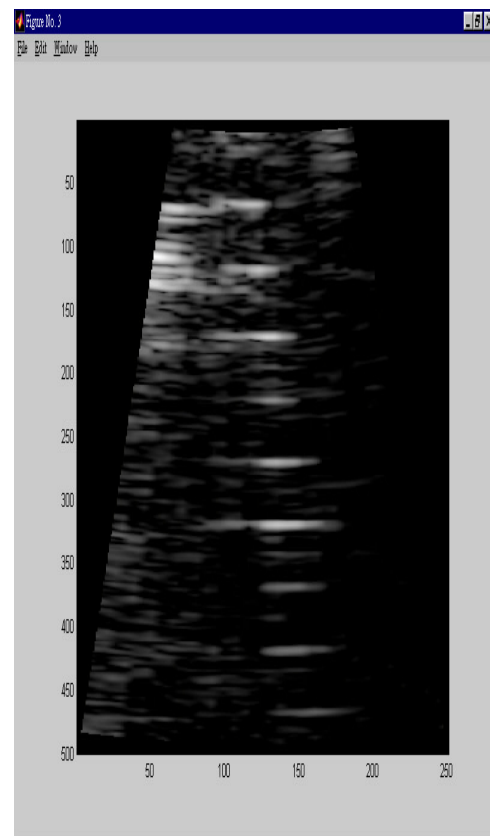
1. Beampattern 量測



2. Array Axial Response



3. B-mode 成像



五、計畫成果自評

目前之系統已具有良好之成像能力，且由於其為數位式成像實驗系統，故具有極高之彈性，易於控制及修正以便進行其他的實驗，亦可支援其他子計畫之研究。

六、參考文獻

- [1] H. Feigenbaum, Echocardiography, Lea & Febiger, Philadelphia, 1981.
- [2] D. T. VonRamm and F. L. Thurston, "Cardiac imaging using a phased array ultrasound system," Circulation, 53:258, 1976.
- [3] R. C. Eggleton and K. W. Johnston, "Real-time mechanical scanning system compared with array techniques," IEEE Proc. Sonics Ultrasonics, Catalog No. 74-Ch 0896-1, pp. 16, 1974.
- [4] J. A. Kisslo, O. T. VonRamm and F. L. Thurstone, "Dynamic cardiac imaging using a focused phased-array ultrasound

- system,” *Amm. J. Med.*, 63:61, 1977.
- [5] C. L. Morgan, et al., “Principles and applications of dynamic focused phased array real time ultrasound system,” *J. Clin. Ultra.* 6:385, 1978
- [6] 國科會醫療儀器推動小組, 醫用超音波診斷儀計畫草案 85.1.8
- [7] B. D. Steinberg, *Principles of Aperture and Array Design*, N.Y. Wiley, 1976.
- [8] A. Macovski, “Ultrasonic imaging using arrays,” in *Proc IEEE*, vol. 67, pp. 484-495, 1979.
- [9] J. F. Havlice and J. C. Taenzer, “Medical ultrasound imaging: An overview of principles and instrumentation,” in *Proc. IEEE*, vol. 67, pp.620-641, 1979.
- [10] R. G. Pridham and R. A. Nucci, “Digital interpolation beamforming for low-pass and bandpass signals,” in *Proc. IEEE*, vol. 67 pp.904-919, 1979.
- [11] D. A. Linden, “A discussion of the sampling theorem,” in *Proc. IRE*, vol. 47, pp. 1219-1226, 1959.
- [12] O. T. Von Ramm and S. W. Smith, “Beam steering with linear arrays,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol.30, pp.438-452, 1983.
- [13] M. O'Donnell *et al.*, “Real-time phased-array imaging using digital beamforming and autonomous channel control,” in *Proc. 1990 IEEE Ultrason. Symp.*, pp. 1499-1502, 1990.
- [14] R.M. Lutolf, A. Vieli, and S. Basler, “Ultrasonic phased-array scanner with digital echo synthesis for Doppler echocardiography,” *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.*, vol. 36, pp.494-506, 1989.
- [15] D. K. Peterson and G. S. Kino, “Real-time digital image reconstruction: A description of imaging hardware and an analysis of quantization errors,” *IEEE Sonics. Ultrason.*, vol. 31, pp.337-351, 1984.
- [16] G. Manes. *et al.*, “Synchronous dynamic focusing for ultrasound imaging,” *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.*, vol.35, pp. 14-21, 1988.
- [17] B. D. Steinberg, “Digital Beamforming in ultrasound,” *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.*, vol. 39, pp.716-721, 1992.
- [18] D. Zhao and G. E. Trahey, “Comparisons of image quality factors for phase aberration correction with diffuse and point targets,” *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.*, vol. 38, pp. 125-132, 1991.
- [19] 馮若主編, 超聲診斷設備原理與設計, 中國醫葯科技出版社, 1993.

System Block Diagram

