

海測軟體研發技術之探討

張逸中*

摘 要

海洋探測工作極端依賴儀器與軟體是不爭的事實，因此追求優勢的探測儀器與資料處理軟體是永無止境的需求。目前國內此項需求多半仰賴國外採購，除需耗費許多資源之外，也因商品系統封裝的特性，常常無法確實掌握資料品質，缺乏系統維護能力，導致許多工作缺乏自主性。作者致力於海測相關軟體之研發多年，體認到由於電腦科技的進步，近年來軟體研發已經主導著海測技術的進步發展，預計此趨勢還會持續多年。值此之際，如能致力於軟體研發必可掌握技術優勢，且投資成本極低；即使研發成果不足以取代商用軟體，仍然可以藉此掌握資料品質並提昇系統維護的能力。本文以個人之實務經驗為基礎，討論研發過程中的幾個技術關鍵；並說明軟體自主後所產生的實際效益，謹供海洋學界與業界參考。

關鍵字：海測、軟體、研發

前 言

數十年來電腦科技引領著海測技術持續進步，包含儀器資訊的：數位化、通訊、顯示、儲存；乃至回到實驗室後的資料處理、編輯與彙整等等，在在都與電腦有著密切的關係，沒有數位資料的儀器系統目前已經完全無法想像。

電腦科技帶來的一個重大改變是系統的封裝程度日益增加，傳統的電路板變成積體電路(IC)；機械操作按鈕或開關變成銀幕上的圖示。在操作方便與維修簡易的同時，我們對於系統的資料品質與運作過程可以檢視與控制的空間也日益縮小。唯一留下的主要操作管道就是軟體設計！所有的工作從資料擷取到最後的資料處理都是由一個個的程式模組完成。系統設計與維修人員不再是提著工具箱的工程師，而是帶著手提電腦的程式師！

在系統封裝程度較低的時代，當我們購買了一部儀器系統，在使用過程中我們多半可以推測了解系統的主要架構與技術，但是現在儀器的使用者越來越不清楚自己操作的系統細節，當然也因此幾乎完全沒有維修的能力。譬如很多人認為“Multi beam”會發出『很多個(窄)波束』事實上卻只有一個(寬)波束！

在以往，系統電路板可以直接檢測維修，設計圖也多半會提供給客戶，但是現在的廠商則不會提供系

統軟體設計的原始程式碼，如能清楚解釋其資料運算法與資料格式就難能可貴了。

因此對於多數的海測儀器系統，我們無法直接檢查資料產生的過程(程式)，完整的出海實測又非常昂貴，多數時候我們只能被動的接受廠商的規格宣告，無法實質驗收；稍後發現問題時也多半缺少足夠的資訊去診斷與解決問題，甚至無法與原廠技師作正確的技術諮詢或溝通。顯而易見的風險是易於出現過於昂貴不合理的採購、多餘的維修與不當的責任歸屬，在資訊不對等的情况下，購買者將永遠居於劣勢。

有鑑於軟體設計是深入了解與控制儀器系統的唯一途徑，如果我們可以提升儀器軟體的設計能力，將可逐步取得海洋探勘科技的優勢。即使未能一舉取代商用軟體，也能在實質驗收以及系統維護能力上獲得進步，縮短與原廠技術知識不對等的劣勢。

本文根據筆者的實務經驗，將以『資料擷取』、『系統通訊』、『視窗程式設計』、『系統執行效能』、『跨平台系統整合』與『資料後處理系統』等幾個軟體研發的關鍵議題提出討論，並舉實例說明。

本 文

資料擷取

儀器系統的最前端通常為感測器(sensor)，包括聲波、磁力或壓力等等目標物理量經過感測器轉化為易於處理的電壓或電流訊號，在進入電腦處理系統之

* 致遠管理學院網路通訊學系助理教授
詮華工程顧問公司海洋測量顧問

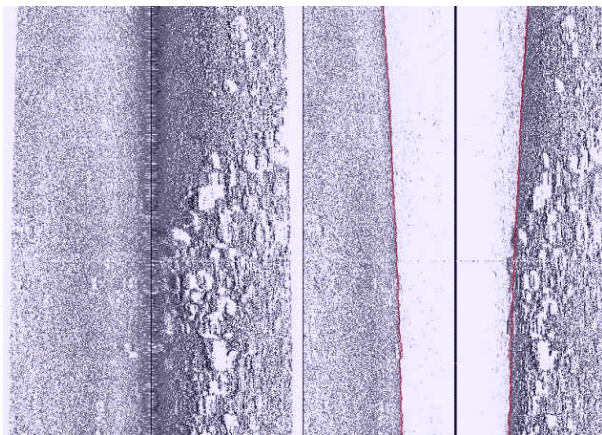
前必須經過數位化(Analogue To Digital, AD)的過程。

在早期的環境，AD 並非一般電腦的預設處理項目，因此這個工作必須由獨立的硬體處理之後以數位傳輸的方式進入電腦，後來我們可以用擴充電腦週邊設備的方式，將 AD 卡或稱資料擷取卡(DAQ)插入電腦主機板，再經過此卡的驅動程式控制完成工作。

比較不便的是這些週邊設備不是一般電腦的標準配備，與作業系統的溝通必須仰賴特定的驅動程式，當電腦作業系統或者使用的程式語言版本升級時都必須此卡的原廠同步提供升級的驅動程式，一旦無法支援，處境將非常尷尬，譬如被迫繼續使用早期的視窗系統(95，98 或 DOS 等)。

另一個 AD 的方式是直接使用一般規格電腦中的音效卡進行，這是電腦系統預設的 AD 模式，穩定性及品質都相當好，而且電腦作業系統升級時必然會得到支援，程式寫作與升級維護都很容易，即使『AD 卡』壞了，也只需購買一般規格的音效卡更換即可。

筆者曾使用此方式設計了一個側掃聲納資料擷取系統(張逸中、田文敏 2000)，當時曾受到部分專業人士質疑，但是實際上的品質還高於當時銷售與使用中的商業系統。且筆者預測使用音效卡進行聲納 AD 不但不奇怪，還會變成儀器生產的主流！目前多數側掃聲納系統都可以在不必另插 AD 卡的筆記型電腦上運作，正是如此。下圖一為筆者使用音效卡錄音，於龜山島附近海域取得的側掃聲納影像片段：



圖一、音效卡錄音取得之側掃聲納影像

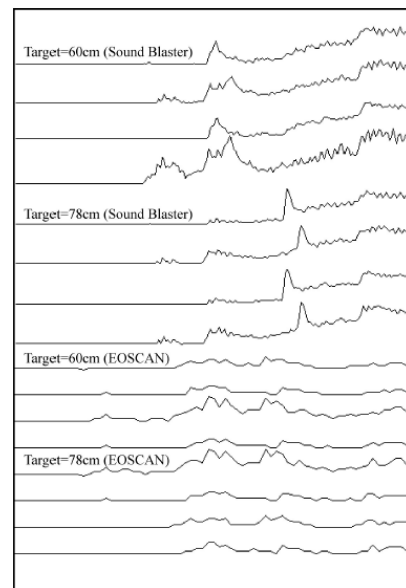
音效卡的一般錄音品質為雙頻道、44kHz 取樣、16 位元品質，對於多數聲納的資料取樣來說已經足夠，且聲納並非大量生產的商品，設計專用 AD 晶片成本太高也無必要，因此從早期的測深聲納開始就是

使用量產的 8kHz / 8bit 語音數位化晶片。我們可以換算一下：對於速率 1500m/s 的水中音訊，以 8kHz 取樣，每一時間間隔內，訊號的移動距離 D 是：

$$D = 1500\text{m} \div 8192 \sim 18.3\text{cm}$$

將此數值除以 2 是聲納訊號折返時可以在接收端辨識的水深解析度(Depth Resolution)，約為 9 公分；如以 44kHz 計算，則為 1.67cm。熟悉聲納產品規格者應該會發現：測深機的深度解析度總是不出 2cm 與 10cm 兩種。可以合理推測，這些產品都是使用量產規格(8 或 44 kHz)的晶片。專業 AD 卡昂貴的主因並非因為 AD 品質的不同，而是它可以適用於專業研究所需的彈性設定，以及產量不大之故，使用於聲納等海測儀器並無特別的優勢。

這個有趣的電腦發展(音效卡)事實上也給了研發者一個低成本測試訊號的方式。筆者的聲納音訊研究多以此為本，也都能得到與正規資料收錄系統相同甚至更佳的结果。圖二是一個音效卡錄音程式與 EOSCAN 側掃聲納商用產品在實驗室中對聲納訊號同步數位錄音的結果比較(張逸中、田文敏，2000)，音效卡的表現明顯較優。



圖二、EOSCAN 系統與音效卡錄音程式效能比較

系統通訊

海測儀器系統通常由一到數個前端儀器整合而成，譬如測深機、衛星定位儀、電羅經或動態補償儀(Motion sensor)等等。這些儀器多半有數位化資料輸出的管道，在軟體設計上的主要工作是正確解讀這些數位資訊以供後續處理。

為了便於此類儀器的整合使用，美國的 **National Marine Electronics Association (NMEA)** 制定了一些標準資料格式(如 **NMEA0183**)，希望各海測儀器廠商能依據這些協定設計其產品的數位輸出格式。以筆者的經驗，所有的 **GPS** 廠商都會提供這類標準格式，其他如聲納等儀器多數還是使用自訂格式，但在其技術手冊中多半有詳細的定義。如圖三為 **SEG-Y** 格式的部分資訊範例，多數廠商提供的資訊都與此類似，比較困難的是：通常它們是二進位(Binary)格式，而非文字檔，程式技巧可以參考您所使用程式語言中介紹二進位或隨機檔案(Random Access File)相關章節。

SEG Y Trace Header		
Byte Number	Type	Standard SEG Y
1 - 4	Integer	Trace sequence number within line
5 - 8	Integer	Trace sequence number within reel
9 - 12	Integer	Original field record number
13 - 16	Integer	Trace number within field record
17 - 20	Integer	Source point number
21 - 24	Integer	CDP number
25 - 28	Integer	CDP sequence number
29 - 30	Flag	Trace identification code: 1 = seismic 4 = time break 7 = timing 2 = dead 5 = uphole 8 = water break 3 = dummy 6 = sweep 9 = option use

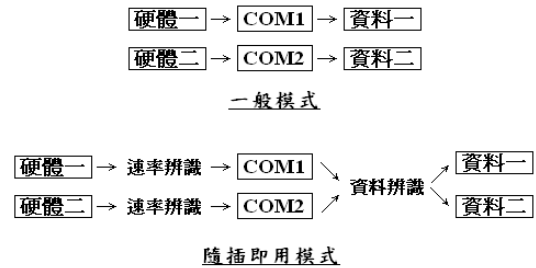
圖三、SEG-Y 格式的部分資訊

在實務上，要設計通訊程式首先必須定義通訊的管道，其次才是數位資料格式。最常見的通訊管道是 **RS-232** 介面，雖然在一般電腦上這種介面已經瀕臨淘汰，但是對於多數海測儀器來說它仍然可靠實用。且更改通訊管道表示必須更新軟體，在專業軟體通常昂貴的情況下，大家都希望盡量延長使用年限，所以截至目前為止 **RS-232** 還是海測儀器通訊的主流。

RS-232 的程式設計相當簡單，主要的參數設定通常只有通訊埠位(COM)以及傳輸率(Baud Rate)。但在實務上海測工作常常需要反覆拆卸與組裝儀器系統以方便運轉，各種儀器通常必須分別插在正確的通訊埠才能運作，與常見的 **USB** 介面可以隨插即用相比稍嫌麻煩。但是如果在接收端改變軟體設計，不以通訊埠位置定義儀器種類，而是辨識傳輸到電腦的資料之後再決定資料屬於哪一種儀器，就可以隨意更換插接的通訊埠了(見圖四)。這其實也是一種網路封包概念的處理方式，就是根據封包本身的特性決定處理方式，而不是它的實體線路來源。

至於傳輸率方面，也可以利用程式軟體本身的偵錯機制，在發現傳輸訊框(Time Frame)錯誤時自動切換到其他的傳輸率(如圖四)。因為目前的海測儀器幾乎沒有例外，都使用 4800 或 9600 bit/sec 兩種傳輸

率，所以搜尋鎖定正確傳輸率的延遲時間極短。筆者正是使用這些軟體上的技術，成功的設計了一個隨插即用的 **RS-232** 通訊程式模組(張逸中，2005)，也成功的應用到筆者設計的導航測深系統，不需任何限制或設定，只要應有的儀器插接齊全，系統即可使用(如圖四)。



圖四、隨插即用通訊埠模組架構示意圖

在此可以看出自行研發的一個主要效益：對於需要多項儀器組合的系統，如能自行設計通訊程式模組，那麼局部更換系統儀器就不再如此困難。通常廠商為了商業利益考量，多半傾向整套銷售，不願支援部份硬體的更換，這常常造成使用者重複的採購。

近年來新興的另一種儀器通訊方式是網路的模式，這種設計具有許多優勢，預期將取代 **RS-232** 成為未來的儀器通訊主流。其特色包括：

- 一、電腦網路是一般電腦的標準配備，系統充分支援，不受限於特殊的硬體或驅動程式。
- 二、網路傳輸率遠高於 **RS-232** 介面，影音訊號傳輸變為可能，增加未來了儀器設計的空間。
- 三、網路封包傳輸模式使多個儀器可以共用同一條實體線路，訊號線可大幅簡化。
- 四、資料的處理端可以放在網路可達的任何地方，遠端監看、處理、分享或儲存都可以輕易實現。
- 五、程式設計上與一般網路程式完全一樣，參考資料豐富，製作容易。

筆者的測深與導航系統也曾配合台北科技大學研發之遙控無人載具(古碧源等，2001)，使用網路通訊模式接收該系統的整合訊號，運作良好。

視窗程式設計

如果您執行海測工作已經超過十年，應該會發現在個人電腦全面進入視窗化時代的前後有個微妙的變化。在 **DOS** 的時代，多數海測單位都有自行開發的資料收錄或資料處理程式，這些軟體雖然簡陋，但

是代表我們對於資料具有直接掌控與處理的能力。

進入視窗時代之後，這些軟體逐漸被外觀漂亮的商用軟體取代，雖然有部分單位持續使用這些非視窗的舊軟體，但是會發現在 Windows 2000 之後的作業系統已經和 DOS 程式不能相容，要繼續使用變得相當尷尬與困難，譬如讓某台電腦只能執行 DOS 系統，或安裝兩個作業系統等等。

在資料後處理方面，我們多半會用 Excel、Surfer 或 GMT 等等軟體輔助，使自己仍然可以明確的直接處理資料；但是前端的資料收錄軟體則不太可能與新的視窗作業系統(Windows 2000, XP...)相容，因此必須有視窗版的新軟體，QBasic 等早期常用程式工具都必須走入歷史了！

要如何才能回到過往的美好時光，讓海測工作者重新享受直接掌握資料的真實感？其實只有一個答案，就是→必須學習視窗程式語言！

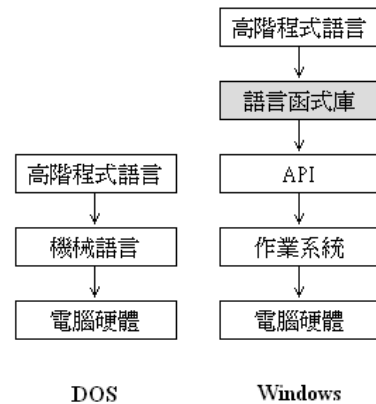
在此，我們應該先探討的是為何早期使用 Fortran, Basic 或 C 語言相當熟練的資深人員多半無法跨越學習視窗語言的障礙，繼續在 Windows 時代寫自用的程式？筆者認為程式邏輯的變化是主要原因。以往的結構化程式有如公式推導，單線進行；現在的視窗設計為物件導向與事件驅動，對於當年連視窗程式使用經驗都很少的人來說，要設計這種程式相當困難。

但是筆者認為目前這種學習門檻正逐漸消失！首先視窗作業系統已經行之有年，目前仍在使用電腦者多半都已經熟知視窗程式的操作方式，要回頭理解事件驅動等等概念會比十年前容易很多。其次近年的程式設計環境 (Integrated Development Environment, IDE)已越來越好，譬如在 Microsoft Visual Studio.NET 架構下的程式語言都有非常完備的工具箱與智慧感知(IntelliSense)等功能，寫程式不再需要記憶很多指令，多數『寫程式』的過程不是使用滑鼠拖曳物件，就是在程式碼區域作指令的『選擇』，不需大量的撰寫。

事實上，我們已經可以看到這種趨勢：年輕學子多半在學校會學到視窗程式語言(VC 或 VB)；資深人員也開始接觸使用 MATLAB 這類準程式語言軟體。必須注意的是：MATLAB，GMT 或 Surfer 之類的軟體並非全功能的程式語言，不論用得如何熟練都不可能成為自用軟體的開發工具，與當年學習 QBasic 或 Borland C 的意義完全不同！

系統執行效能

多數視窗程式設計者都會發現專業軟體與業餘作品的執行效率差異很大，原因可用下圖加以解釋：



圖五、程式與作業系統關係圖

在 DOS 時代程式與硬體間的關係較為單純明確，只要採用正確的編譯方式將高階語言寫的程式編譯成機械碼，各種語言的執行效能都相似。但是到了視窗時代程式在系統中執行的過程複雜很多，於是使用的程式語言和技巧不同常會導致很大的差異。

基本上 Windows 系統不允許直接執行系統以外的機械語言程式，所有的工作都必須經過所謂的 API(Application Programming Interface)函式執行，API 可以說就是 Windows 系統本身唯一直接使用的語言。理論上，如果可以用 API 當作程式語言來寫程式，執行效能會最好；但實務上 API 函式多如牛毛，參數也十分複雜，一般人難以記憶使用。

高階語言用接近人類語言的方式寫作，再經過語言函式庫將指令解析為許多 API 函式與系統溝通。因為不同語言的解譯函式庫內容各異，所以最終的執行效能也不同，通常以 C 語言的執行效能較佳，但 Basic 在使用者介面設計方面佔有優勢，因此多年來視窗軟體設計一直有該使用 Basic 或 C 的兩難爭議。

筆者對此的解決方案是先使用易於設計介面的 Basic 語言設計完成所需的功能介面，再針對程式流程中效能不佳的部分(通常是繪圖)直接以呼叫 API 函式的方式改寫(王國榮，1998)。API 繪圖的執行速度會比使用 VB 指令快上兩三倍，如此即可達到專業軟體的效能水準。

基本上，所有程式效能的追求都是從圖五架構中找到直達硬體的捷徑，在程式師各顯神通之下，常常會破壞 Windows 的正常運作，當機的風險也因此變

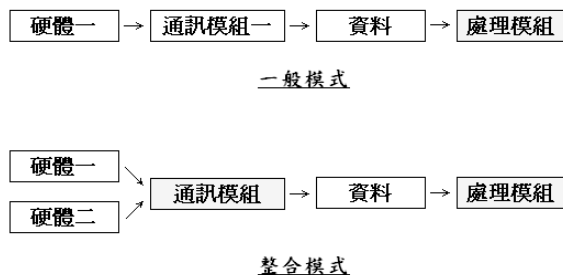
大。在 2002 年微軟公司對此亂象有了積極的作為，就是將圖五中語言函式庫這個層級加以整合，稱為 dot NET Framework，所有的高階語言都使用一致、完整且高效能的 Framework library(彭明柳，2006)。語言選擇不再有效能的差異，以筆者的實作經驗，使用 dot NET 語言的效能與直接使用 API 完全相同。

這些程式語言環境的演化確實曾經使得『專業』程式有一層神秘的面紗，因為多數業餘的作品效能都遠遠不如。原因只是專業程式常常越過 Windows 作業系統，使用一些捷徑巧門直達較低階的硬體，躲過系統管轄取與檢查並獲得優先執行次序。在新的 dot NET 程式架構下，應該不會再有這類迷思。

跨平台系統整合

『系統』兩個字對於國內許多海測單位來說常常是一個不可承受之重！一個系統在探測的前端可能有數個硬體，一個收錄軟體，再加上一個後處理軟體。這些軟硬體只要有一個環節出了問題可能整個工作就面臨停擺，因為系統的封裝以及複雜度使得多數單位自我維護的能力不足，國內代理商的維修能力也多半不如原廠技師。加上基於利益考量，廠商不會考慮採取局部整合的解決方案，譬如某個部分換用另一廠牌機型的儀器等等。

如果我們的軟體研發不是專替某硬體廠商服務，最佳的方向當然是製作可以接受多種硬體，可以跨越廠牌限制整合使用的軟體。筆者的研發泰半以此為基本考慮，希望可以減少重複研發的時程。欲達此目的，技術上的關鍵是通訊模組必須有更多的資料辨識功能，示意圖如下：



圖六、通訊模組的跨平台整合示意圖

在一般模式下，通訊模組只管接受訊號，檢查格式是否正確，隨即組成內部資料送往處理模組，因此只認識一種硬體格式；但是在整合模式中通訊模組可以辨識一種以上的資料格式，譬如不同廠牌的測深機，如果嚐試某種格式失敗，會切換成另一種，直到

找到合理的水深值，再組成內部資料送交處理模組。以筆者製作的導航與測深系統(張逸中，2003)為例，每當必須使用新硬體時，只需找到該硬體技術手冊中的格式資訊(如圖三)，多寫一種辨識格式即可，目前已經可以辨識近 10 種不同廠牌型號的測深儀。

簡單說，跨平台整合性軟體技術的關鍵就是通訊模組與資料處理模組必須獨立，通訊模組必須可以辨識多種硬體傳來的不同格式資訊，解譯成資料處理模組的內部輸入資料。當硬體更換時完全不需修改處理模組，只需增加通訊模組的辨識格式即可。

資料後處理系統

資料後處理(Post-Processing)的主要目的是編修異常資料並製作報告圖表。針對後者多半有許多精緻的出圖軟體，如 Surfer 或 GMT 等等，不需自行開發；但是資料編修部分則與探測資料種類或儀器特性有關，必須量身訂作。一般廠商提供的後處理軟體多半強調訊號的增強、區域性裁切與資料彙整等處理，較少精緻且有彈性的資料比對及刪除的功能，因此搜索並刪除異常資料常常是後處理過程中最耗時費力的工作。

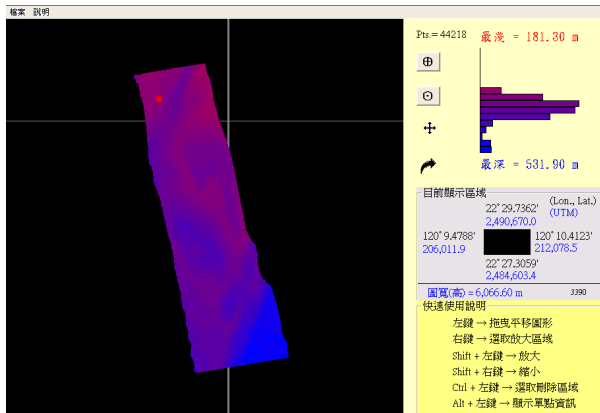
最原始的資料編修方式是以文字檔編輯，不用說這是非常繁重且不可靠的方式，尤其是資料量大的時候；其次是撰寫條件化程式，如超過某臨界值即加以刪除等等，但是沒有經過視覺化的確認總是令人不安。最合理的方式應該是以圖形介面繪製資料，發現異常資料時可以使用滑鼠介面操作剔除，並立即重繪→檢視→直到合理為止。

筆者曾經開發的此類軟體以台大海洋研究所使用中的 Depth II 多音束水深資料編修軟體為代表(張逸中，2004)。此類開發最好由有經驗的資料處理者主導進行，目標是讓編輯者最快速有效的完成異常值編修的工作。程式技術上的挑戰則是介面程式複雜度甚高，資料讀寫以及繪圖速度也都必須很快，否則大量資料湧入使程式執行緩慢會讓操作者感覺不便。

圖七為筆者研發中的另一多音束系統資料處理畫面，圖中顯示資料高達 4 萬多點，深度以紅藍假色變化顯示，最大與最小值並以較大圓形突顯。經過此圖形介面很快的可以鎖定異常資料點的位置，如圖中上方的那個大紅點！操作者可以用滑鼠操作放大顯示，確認目標後決定要刪除或者保留。

在此圖中紅色圓點所以突兀是因為它的深度與鄰近點差異很大；事實上此圖中必然也有一個一樣大

小的藍色圓圈，代表另一個極值，但是它的深度與鄰近點相似，所以幾乎看不到！換言之，凡是與週遭深度不連續的點，顏色都必然突兀，處理者不可能忽略。因此數萬點的資料只需幾十秒鐘即可編修完畢。

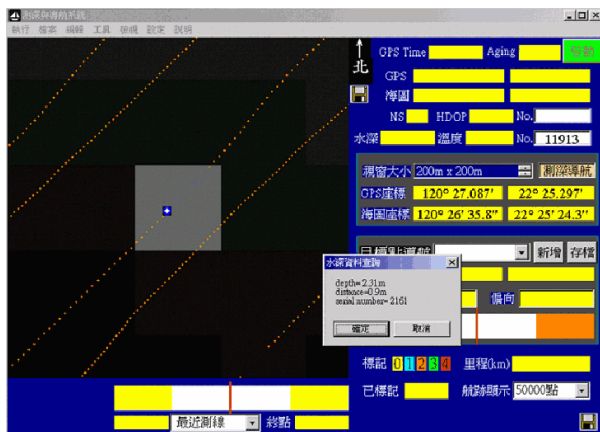


圖七、多音束資料後處理編修畫面

資料處理的步驟通常是必然的，但哪些必須界定為『後』處理並沒有明確界線。理論上，將收錄軟體與後處理軟體結合並同時運作並無不可。但是如圖七的大量繪圖動作可能會讓收錄動作被延遲而造成無法彌補的資料漏失。因此在電腦能力較差時，我們自然的選擇將程式切割，而有了『後』處理的名詞。

以目前的電腦環境來說：一方面電腦效能多半已經足以兼顧收錄與處理；另一方面，新的多執行緒程式設計技術可以將沒有時間壓力的後處理動作放在背景執行，也就是收錄動作優先！有空檔再繼續進行後處理動作式，不會危及資料收錄品質。

以筆者開發的測深與導航系統(張逸中，2003)為例(圖八)。畫面中的點是收錄中的水深點，除了位置顯示，也以網格區塊的方式呈現每個網格的平均水深，圖中有一個水深異常值使得網格呈現與背景不同的灰色，點選後即顯示單點的詳細資料並立即刪除。



圖八、現場異常資料即時編修畫面

討論與結論

以上根據筆者的實務經驗提出海測軟體研發中幾個重要的技術關鍵，並以實例進行深入的探討，可以證明國內自行研發製作相關軟體，在技術上並無絕對的困難，部分成效也已經在使用單位呈現。包括：儀器調度使用更為彈性；資料處理效率提升；資料品質控管更佳等等。

以積極的意義來說，軟體是實現海洋技術研究的必要環節，放棄自行開發的嚐試，也表示我們放棄了在海洋探勘領域獲得領先的機會。以筆者的觀察，國內海洋科技的研發相當積極，這可以從論文數量，以及各類計畫申請競爭之激烈看出。但是多數研究成果無法直接實現於探勘實務，關鍵應該在於軟體設計的能力不足，殊為可惜。

因此，筆者多年來一直致力於國內海測研究領域中軟體研發這個較少受到關注的環節，並願積極提供個人的技術與經驗，供各海測相關之研究單位與業界參考，這也是本文寫作的主要目的。希望對於各位讀者有所助益，並殷切盼望海洋界諸位先進賢達能關注、鼓勵並投入更多的資源於海測相關軟體之研發計畫與工作。

參考資料

1. 王國榮著，1998，Visual Basic 6.0 Windows API 講座，旗標出版社
2. 古碧源、陳崇儒、郭育璋、伊遠慶、林坤政(2001)“無人載具在陸域水體量測之應用”，二十三屆海洋工程研討會論文集，608-615 頁
3. 張逸中、田文敏，2000，以音效卡作為聲納系統數位化介面的研究，第二屆近岸水深量測技術研討會暨交通部委託研究成果發表會論文集，138-142 頁
4. 張逸中、田文敏，2000，側掃聲納影像資料之收錄與處理系統，第二屆國際海洋大氣會議論文集編-海洋篇，286-290 頁
5. 張逸中，2003，即時測深與導航系統之研發，海洋技術季刊，第十三卷第三期 18-24 頁
6. 張逸中，2004，多音束水深資料編修軟體 Depth II，第六屆水下技術研討會暨國科會成果發表論文集，第第三期 315-325 頁
7. 張逸中，2005，RS-232 介面儀器之隨插即用研究，第十五卷第二期—海洋儀器開發與應用
8. 彭明柳著，2006，學好 Visual Basic 2005 Express 的 16 堂課，博碩文化