

電腦軟體定義向量信號分析儀之研究

蘇建宇、陳棟洲*、李皓
國立彰化師範大學電信工程學研究所

摘要 一由於資通訊技術與半導體科技的快速進步，使得無線網路通訊產業蓬勃發展。每一個網路通訊系統不管是在產學界的研究發展階段，還是產品的開發設計階段，甚至到最後的量產階段，每一階段皆需要進行非常多的系統測試與驗證分析，這些都得藉助量測儀器來完成。然而，大部分的量測儀器都非常的昂貴，而且還常常需要進行儀器的軟硬體更新。本論文將延伸軟體定義無線電技術的概念用於網路通訊系統之量測儀器設備，更進一步將軟體定義的概念從程式化硬體延伸到已經普及的電腦上，善用電腦的運算能力以及顯示終端，探討一個具備高量測彈性與效率的電腦軟體定義量測儀器的可行性。¹

一、簡介

在無線通訊系統的量測中，向量信號分析儀是常用的高階量測儀器之一。以無線區域網路收發器的量測為例，向量信號分析儀便佔有非常重要的角色[1][2]。向量信號分析儀能在時域中處理與分析訊號，量測訊號的時序與振幅。向量信號分析儀也能運用快速傅立葉轉換(FFT)將時域訊號轉換到頻域中來進行訊號的頻譜分析，甚至運用數位訊號處理技術來進行信號調變能力的分析。藉由在時域、頻域與調變域來分析發射器所發射之訊號，以確認發射器的功能是否滿足系統規範的要求。然而，目前市面上在使用的向量信號分析儀都非常地昂貴，帶給產官學界不管是在研究、開發還是量產上的量測設備購置上很大的負擔。

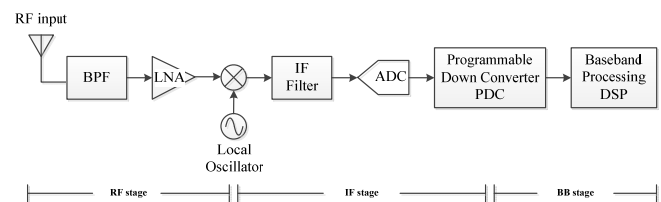
目前系統開發量測與產品量產測試幾乎都是以傳統箱型儀器架構為基礎，但這些儀器設備常常缺少軟體處理與使用者定義界面的彈性，僅能由製造商透過韌體來進行更新。目前系統標準與產品開發的速度很快，變化也很快，不斷地有新的系統標準出現，這些特定儀器便很難被即時更改來進行新產品的量測與測試。我們認為，若要面對以上種種現實的問題，如何捨棄傳統箱型儀器架構的量測與測試觀念，是值得我們去探討與研究的。本計畫將提出一個以電腦軟體定義的量測系統概念，期望能夠有效降低量測與測試的整體成本，亦能夠提升測試系統的量測功能與量測彈性，來克服複雜的系統標準、多樣化的產品功能以及短暫急迫的開發週期等測量困難度與複雜度。本論文便以向量信號分析儀為目標，以電腦軟體定義量測儀器的概念來進行雛型系統的研究。

本文共分四個章節，第二章節介紹一般向量信號分

析儀之系統架構，並針對此系統架構提出使用電腦軟體定義向量信號分析儀之軟硬體系統架構。第三章節描述電腦軟體定義向量信號分析儀之人機界面設計與量測分析功能。第四章節為電腦軟體定義向量信號分析儀之系統平台的測試與驗證。

二、系統架構

一般向量信號分析儀將接收到的射頻輸入訊號通過一帶通濾波器(Bandpass Filter, BPF)來限制訊號的頻寬，以及利用低雜訊方大器(Low Noise Amplifier, LNA)來放大訊號的增益並有效抑制雜訊的干擾。接著，將訊號經過本地震盪器(Local Oscillator, LO)混頻之後，並利用中頻濾波器(IF Filter)來過濾訊號。在進行向量信號分析的過程中需要將類比訊號轉換為數位訊號，因此需要利用寬頻類比/數位轉換器(Analog to Digital Converter, ADC)來將中頻類比訊號轉換為中頻數位訊號。最後，再將中頻數位訊號利用可程式數位降頻器(Programmable Down Converter, PDC)將中頻訊號降頻成基頻(Baseband, BB)訊號，再利用數位訊號處理技術來進行後端所需要的訊號量測分析。向量信號分析儀之系統方塊圖如圖一所示。

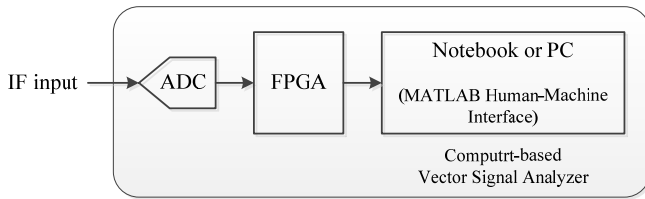


圖一：一般向量信號分析儀之系統架構

除了一般向量信號分析儀的系統架構之外，在不同的儀器設備開發與量產的科技公司中，也分別介紹了不同向量信號分析儀之量測儀器設備與產品的系統架構[3]-[6]。文獻中皆說明了向量信號分析儀是截取一段訊號到記憶體中，然後再進行後段的數位訊號處理和分析，意味著我們也能夠利用一些較簡單的前端射頻電路或儀器將射頻訊號轉換成中頻訊號，在利用類比/數位轉換器搭配記憶體來將中頻訊號擷取到電腦，之後在利用電腦的運算能力來進行後段所需要之數位信號處理和分析。因此，我們所提之電腦軟體定義向量分析儀之系統架構如圖二所示，藉由 ADC 模組來將類比中頻訊號轉換為數位中頻訊號，並且利用 FPGA 發展板來擷取數位中頻訊號並儲存到記憶體中，再透過 USB 來將數位中頻訊號傳送到電腦中，之後便可以利用電腦的高速運算能力來進行後段的數位信號處理和訊號量測與分析。最後，在電腦端則是使用 MATLAB 軟體的圖形化使用者

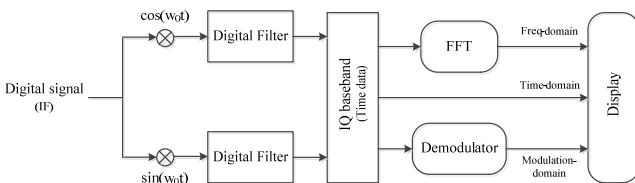
¹ 本研究由國科會贊助，計畫編號 NSC101-2221-E-018-032、NSC102-2221-E-018-027。

界面環境(Graphical User Interface Design Environment, GUIDE)來設計與規劃電腦軟體定義向量信號分析儀之使用者操作的人機界面。



圖二：電腦軟體定義向量信號分析儀之系統架構

擷取到電腦端之數位中頻訊號利用 MATLAB 程式降頻轉換至基頻 I/Q 數位訊號。由於發射器在發射訊號時有將數位調變訊號經過一數位濾波處理，因此我們再將分解後的 I/Q 信號進行數位濾波處理，就可以順利地將訊號解調回時域上之基頻 I/Q 數位調變訊號。之後便可以在時域中處理與分析所接收的訊號，並且能夠量測該訊號的時序與振幅。而電腦軟體定義向量信號分析儀也能夠利用電腦端的 MATLAB 軟體進行 FFT 運算，將時域訊號轉換為頻域訊號，來進行訊號的頻譜分析。此外，我們所設計的電腦軟體定義向量信號分析儀甚至能夠應用數位訊號處理的技術來進行數位解調變的功能，進而對數位調變訊號來進行調變域的訊號量測與分析。電腦軟體定義向量信號分析儀之數位訊號處理架構如圖三所示。



圖三：電腦軟體定義向量信號分析儀之數位信號處理架構

三、人機界面

電腦軟體定義向量信號分析儀之人機界面是利用 MATLAB 軟體來進行使用者操作界面的規劃與量測功能的程式設計。為了方便使用者來使用，我們參考 Agilent 向量分析軟體的使用者界面來規劃與設計，完成之雛型系統的人機界面如圖四所示。其中，使用者量測操作可以分為三大部分，分別為調變解調器參數設定 (Demodulator Properties)、訊號量測分析類型 (Measurement Type) 和訊號誤差總表 (Errors Summary)。為了將數位調變訊號正確的解調回原訊號，在數位調變解調器參數設定中，使用者需要對應於傳送端所傳送之數位調變訊號來設定接收端的解調變類型 (Demodulation Type)、數位濾波器類型 (Filter Type)、滾降係數 (Roll-off Factor)、符元速率 (Symbol Rate) 和顯示符元數量 (Display Symbols)。其中解調變類型分為 BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM 等選項。而數位濾波器類型提供兩個選項，分別為 Raised Cosine 和 Square Root Raised Cosine。接著，在使用電腦軟體定義向量信號分析儀來進行數位調變訊號之量測與分析時，我們針對了一般向量信號分析儀常見的訊號測量項目，進而以此為依據來

規劃與設計電腦軟體定義向量信號分析儀的量測功能。我們所設計的電腦軟體定義向量信號分析儀提供了幾項訊號量測項目，如頻譜圖 (Spectrum)、向量圖 (I-Q Diagram)、星座圖 (Constellation Diagram)、眼圖 (Eye Diagram) 等量測項目。最後，在電腦軟體定義向量信號分析儀中也有增設計算發射器與接收器之間的訊號誤差總表，使用者只需要將數位調變輸入訊號的解調變參數設定完成後，即可計算並分析其誤差總表之測量與分析項目。誤差總表之測量項目分別有誤差向量振幅 (Error Vector Magnitude, EVM)、振幅誤差 (Magnitude Error)、相位誤差 (Phase Error) 和頻率誤差 (Frequency Error)。以下為電腦軟體定義向量信號分析儀的量測操作功能之參數設定，以及數位調變訊號之量測與分析項目：

A. Demodulator Properties:

1.) Demodulator Type:

- (1) BPSK
- (2) QPSK
- (3) 16-QAM
- (4) 64-QAM

2.) Filter Type:

- (1) Raised Cosine
- (2) Square Root Raised Cosine

3.) Roll-off Factor

4.) Symbol Rate

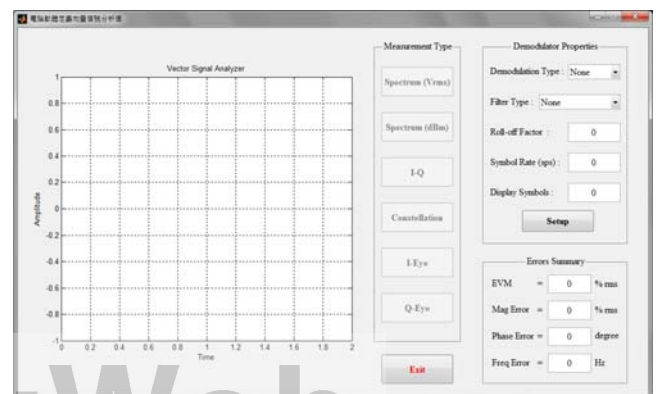
5.) Display Symbols

B. Measurement Type:

- 1.) Spectrum (Vrms)
- 2.) Spectrum (dBm)
- 3.) I-Q Diagram
- 4.) Constellation Diagram
- 5.) I-Eye Diagram
- 6.) Q-Eye Diagram

C. Error Summary:

- 1.) EVM
- 2.) Magnitude Error
- 3.) Phase Error
- 4.) Frequency Error

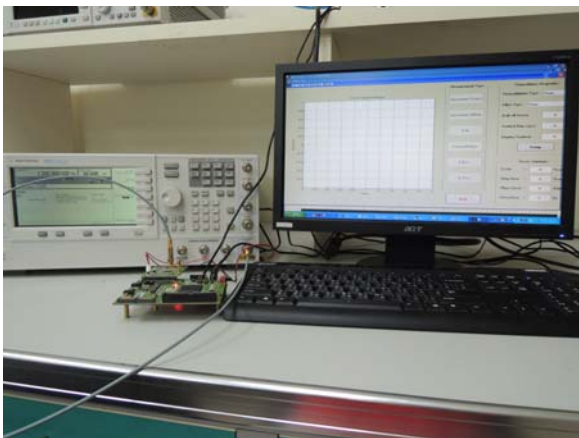


圖四：電腦軟體定義向量信號分析儀之人機界面

四、系統平台之測試與驗證

本論文所提之電腦軟體定義向量信號分析儀的雛型系統是使用 FPGA 發展板 (Spartan-6 XC6SLX150) [7]、

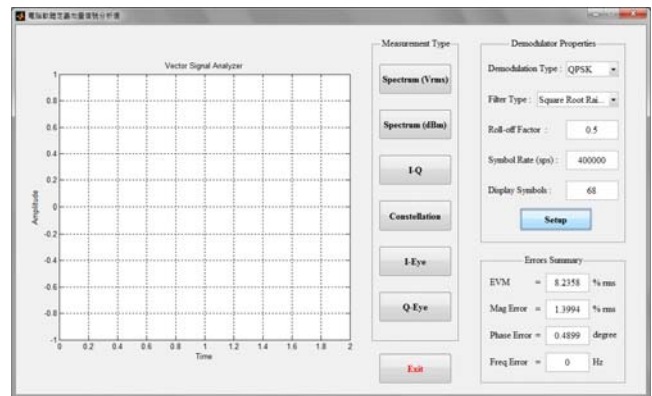
ADC 模組 (ADS62P25)[8] 和電腦來實現，並使用 MATLAB 軟體來完成電腦軟體定義向量信號分析儀之人機界面的設計與量測功能的程式設計。為了進行測試電腦軟體定義向量信號分析儀的訊號量測功能，我們利用一向量信號產生器 (Vector Signal Generator, VSG) 來產生數位調變訊號。數位調變訊號的載波頻率設定為 1.2 MHz，訊號的振幅大小設定為 100 mV，數位調變類型設定為 QPSK，數位濾波器的類型設定為平方根升餘弦濾波器 (Square-Root Raised Cosine, SRRC)，SRRC 濾波器的滾動係數 (Roll-off Factor) 設定為 0.5，數位調變訊號的符元速率 (Symbol Rate) 設定為 400 Ksps。完成向量信號產生器之數位調變訊號的參數設定後，將其輸出的數位調變訊號 (視為接收端之類比中頻訊號) 連接到 ADC 模組上，搭配 FPGA 發展板來擷取訊號，再透過 USB 傳輸介面將擷取訊號傳送至電腦進行訊號處理與量測分析。實驗室中之電腦軟體定義向量信號分析儀雛型系統如圖五所示。



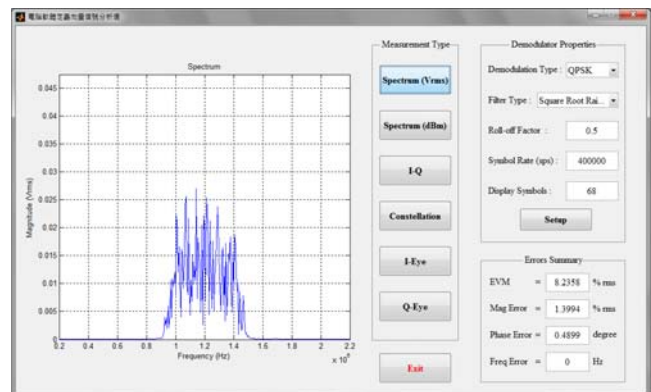
圖五：電腦軟體定義向量信號分析儀雛型系統

使用電腦軟體定義向量信號分析儀來進行訊號量測與分析時，首先需要依據傳送端所傳送之調變訊號參數來進行電腦軟體定義向量信號分析儀的解調變參數設定。依照系統測試所傳送之測試訊號，電腦軟體定義向量信號分析儀之參數設定如圖六所示。

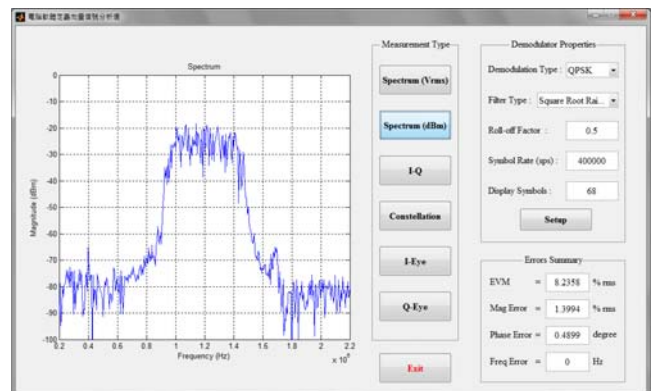
我們利用電腦軟體定義向量信號分析儀來進行頻譜分析，圖七和圖八為量測之訊號頻譜圖。從頻譜量測結果的功率頻譜和頻寬 ($BW = (1 + 0.5)400K = 600KHz$) 可驗證頻譜分析的正確性。除此之外，電腦軟體定義向量信號分析儀還可進行調變域的量測與分析，將訊號解調為 I-Q 向量訊號，並進行相關之量測與分析觀察，如圖九之向量軌跡圖、圖十之向量訊號星座圖、圖十一與圖十二之 I-Q 向量訊號眼圖。從這些向量訊號調變域之量測與分析結果皆驗證我們所提之電腦軟體定義向量信號分析儀之可行性。



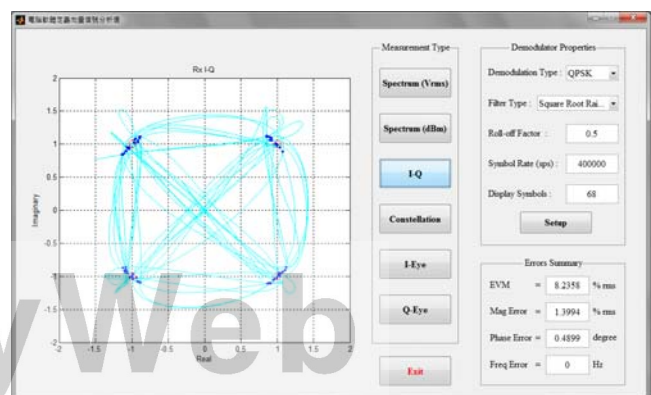
圖六：電腦軟體定義向量信號分析儀之數位解調變參數設定



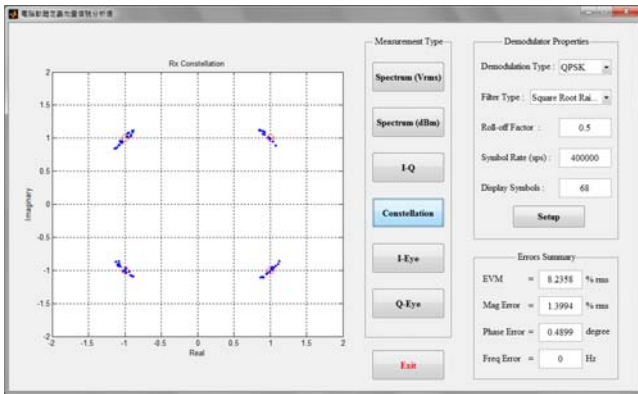
圖七：電腦軟體定義向量信號分析儀之頻譜圖 (Vrms)



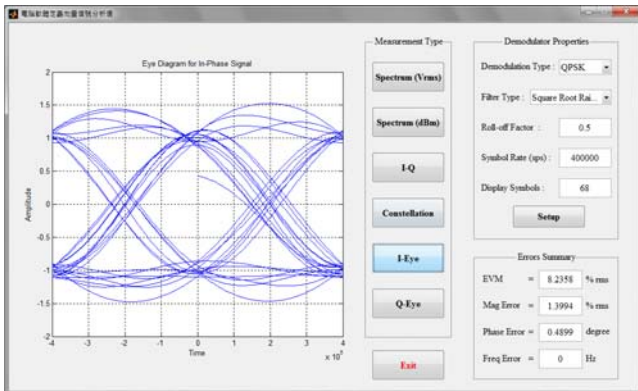
圖八：電腦軟體定義向量信號分析儀之頻譜圖 (dBm)



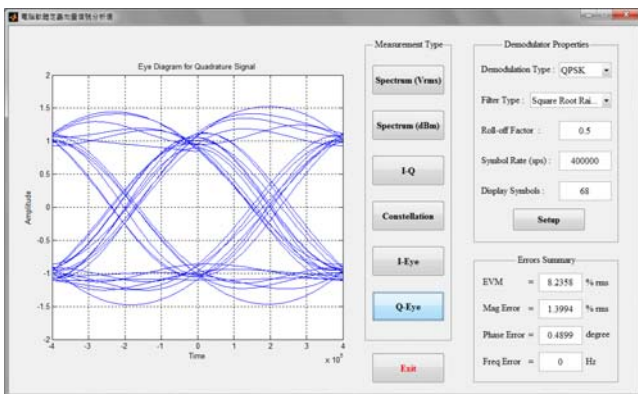
圖九：電腦軟體定義向量信號分析儀之向量示意圖



圖十：電腦軟體定義向量信號分析儀之星座圖



圖十一：電腦軟體定義向量信號分析儀之 In-Phase 眼圖



圖十二：電腦軟體定義向量信號分析儀之 Quadrature 眼圖

結論

本論文提出一電腦軟體定義量測儀器的概念，並使用電腦與電腦軟體以及搭配 FPGA 發展板和 ADC 模組來實現向量信號分析儀的雛型系統，並經由簡單的系統測試來驗證了系統的可行性。雖然是在研究的初期階段，還有很多的問題與挑戰需要再繼續克服與解決，但電腦軟體定義量測儀器的概念具有很大的量測功能設計彈性，相信對於未來將面臨的複雜系統標準、多樣化產品功能以及短暫急迫的開發週期等測量上的困難度與複雜度，可提供一個不一樣的解決思維。

參考文獻

- [1] *IEEE 802.11 a/b/g/n Manufacturing Test with the Agilent N8300A*, Agilent Technologies, Santa Clara, California, Apr. 27, 2009.
- [2] *IEEE 802.11 Wireless LAN PHY Layer (RF) Operation and Measurement*, Agilent Technologies, Santa Clara, California, Apr. 1, 2002.
- [3] *Agilent 89600 Series Vector Signal Analyzer*, Agilent Technologies, Santa Clara, California, July 21, 2003
- [4] *Agilent 89600 Vector Signal Analyzer*, Agilent Technologies, Santa Clara, California, May 28, 2003.
- [5] *Agilent Vector Signal Analysis Basics*, Agilent Technologies, Santa Clara, California, Nov. 21, 2012.
- [6] *Fundamentals of Real-Time Spectrum Analysis*, Tektronix, Oregon, 2004.
- [7] *VeriEnterprise VEX-S150 Hardware Reference Manual*, SMIMS Technology, Apr. 2012.
- [8] *Dual Channel, 12-Bits, 125/105/80/65 Msps ADC with DDR LVDS/CMOS Output*, Texas Instruments, Austin, Texas, Dec. 2008.