

應用於電波鐘之濾除雜訊高效能數位濾波器之設計

王春清 黃清標

國立彰化師範大學電機工程系
ccwang@cc.ncue.edu.tw

摘要

在社會進步的同時，人類對於精確的時間越來越重視，因此『時間同步』成了很重要課題。電波鐘是個接收無線電波信號進而取得時間碼(Time code)之設備。在許多較為精細的監控與傳輸中，非常需要精確且相同的時間來做資料的彙整以及同步的處理，例如交通即時監控系統、網路同步系統、國防、衛星、天氣監控系統等，而精準度高又便宜的電波鐘正是最適合的選擇。

目前電波鐘仍不普遍之原因在於接收之信號含有雜訊，降低了電波鐘之接收範圍及效能。本文將針對此一問題，設計一個具有抗雜訊之新式軟體數位濾波器之電波鐘，利用簡易且有效之演算法來濾除雜訊，以提升電波鐘之接收範圍及效能，得以將此技術整合應用到民生及相關領域。

關鍵詞：電波鐘、數位訊號處理、數位濾波器、時間同步

Abstract

Due to the widespread development of technology, people pay more attention to obtain more accurate and standard time. It well known that time is money. Therefore, time synchronization becomes an important issue in recent years.

Radio clock can receive the time code from radio broadcasting station, and then decode the time code as standard time. In many applications such as traffic monitoring, network synchronization need an accurate time for synchronization to control the communication devices. The radio clock is the high-tech and new-generation product. Due to channel fading effect and interference, the modulated signals transmitted from radio broadcasting station always contain much noise in a radio clock receiver. This reduces the radio coverage in the radio clock applications. To solve this problem, this paper focus on designing a new de-noise filter to enhance the receiver sensitivity and performance. Also, the proposed filter using easy and efficient algorithm can be applied to the related industrial applications. The main goal of this project is to provide the market competitions for the cooperation company and the research abilities for those who join this project. This is a win-win situation for the academic team and the joined company.

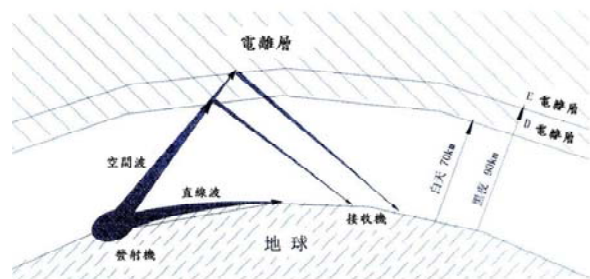
Keywords: Radio clock, digital filter, digital signal processing, time synchronization

前言

電波鐘表[1-4]是人類計時技術發展歷程中，繼沙漏、日晷、機械鐘表、石英鐘表之後的第五代計時器。電波鐘表技術和產品的出現是人類計時史的又一次革命。電波鐘表將傳統鐘表技術與現代時頻技術、微電子技術、通訊技術、計算機技術等多項技術相結合，通過接收授時中心以無線電長波傳送的標準時間信號，經過內置微處理器解碼處理後，自動校準計時器走時，使電波鐘表顯示的時間與國家保持的標準時間自動保持精確同步。電波鐘技術近年來持續受到德、日、美等先進國家之重視，而國內目前尚未有電波鐘之發射系統。本濾波器之進行，正是為我國先進技術開創另一新視野。

電波鐘表技術最先於上個世紀 50 年代出現於德國，80 年代中期在德國得到應用，1986 年德國榮漢斯(Junghans)公司將軍用授時技術推展應用到民用領域，研發推出了世界上第一塊電波鐘。日本於 1999 年 6 月正式開始發射時碼信號，美國、英國也已建立了時碼信號發射台。

為什麼需要標準時間?在許多較為細微的監控與傳輸中，例如交通即時監控系統、網路同步系統、國防、衛星、天氣監控系統等，都非常需要精確且相同的時間來做資料的彙整以及同步的處理，而精準度高又便宜的電波鐘正是合適的選擇。電波鐘是一部採用全新技術的鐘表，它具有時間精確、自動調準、沒有累積誤差的特點，是新世代計時工具。電波鐘表利用長波授時技術對鐘表調校，無須人工干預，其工作原理是透過鐘表內置的微型無線接收裝置，接收長波授時台發射的時間信號無線電波，經鐘表內置的微處理晶片解調變，再由自動報時機構自動調節校準鐘表，使所有接收該信號的鐘表能準確地顯示授時台的標準時間。

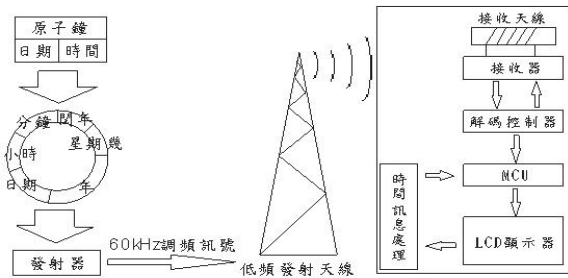


圖一 電波鐘信號傳播示意圖

如圖一，電波鐘信號是透過大地以及電離層之間的空氣進行傳遞，由於日夜溫差變化，雲層之

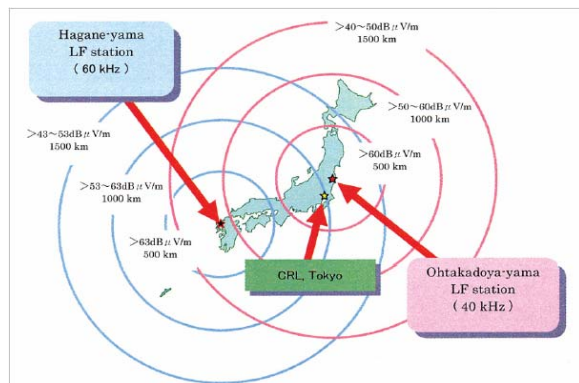
電離層也相對變化，以及地球環境之雜訊，我們在接收到電波鐘信號時，該信號已經相當微弱，且勢必隱含了大量之雜訊，所以本文將提出一個適用於電波鐘之數位濾波器[5-9]，得以濾掉雜訊信號。如此，即可擴大電波鐘的使用涵蓋範圍，亦可提升電波信號的可靠度。

電波鐘之發射系統又稱為授時中心。參考圖二，授時信號的發射部分由原子鐘、時間信號處理器、調變器、振盪器、功率放大器和發射天線組成。其工作原理如下：原子鐘作為標準時間，透過時間資訊處理器，進行編碼和加密等信號處理，形成標準授時信號，再將授時信號送到調變器去調變一個高頻載波，調變完成之信號透過功率放大器，產生數十千瓦的功率由天線向空間發射無線電波。



圖二 授時系統發射及接收架構

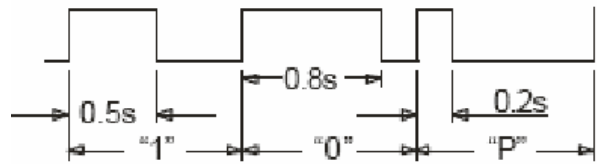
無線電波經過空氣的傳遞散佈到我們的生活週遭，而該電波信號會被接收天線所接收，接收到的電波信號經過接收器做信號放大以及解調變的處理，再經由解碼控制器將PWM信號解出。但由於該PWM信號內含有雜訊干擾，所以在接下來之MCU處理，必須在第一級將輸入之PWM信號做De-Noise的動作，完成後，才能執行PWM解碼的動作，最後，顯示在LCD顯示器上，即可完成整個接收器之動作。而電波鐘表可和原子鐘有相同的精確程度，而且不會有累積性誤差。



圖三 日本授時中心位置圖

本文測試所接收之電波鐘信號來自於日本九州北部 Hagane-Yama LF 電台所輸出的，其場強涵蓋範圍如圖三，選擇此授時中心的原因是因為此電台較接近台灣，方便於接收信號。而此電台的時間基準則為日本通訊研究實驗室(CRL)所輸出的標

準時間(代號 JJY)，表一所列為目前世界各地授時中心發射頻率表。



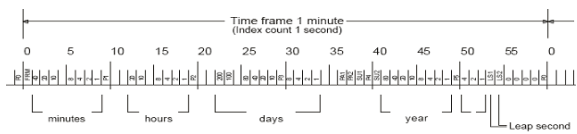
圖四 PWM中的1, 0及P信號

電波鐘之信號是利用脈波寬度調變(Pulse Width Modulation)來決定，以日本 JJY 時碼為例，如圖四以責任週期(duty cycle) 0.8 代表邏輯信號“0”，以責任週期 0.5 代表邏輯信號“1”，以責任週期 0.2 代表定位信號(P)。

電波鐘授時系統其傳送順序如圖五是以PWM的方式1秒鐘傳送1bit，1分鐘1個Frame的BCD碼，裡面包括了：年、一年中的第幾天、時、分、星期幾、閏年資料、同位元檢查碼等。

表一 世界各地授時中心發射頻率表

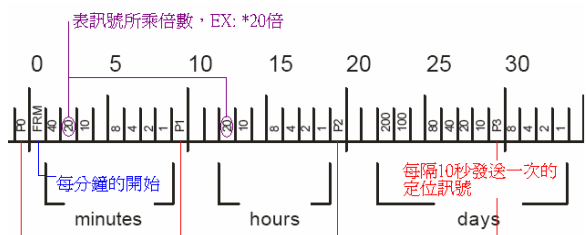
授時中心	時號代碼	發射頻率(Hz)
美國	W W V B	60K
德國	D C F	77.5K
英國	M S F	60K
日本	J J Y	40K
中國	B P C	68.5K



圖五 電波鐘時碼傳送順序

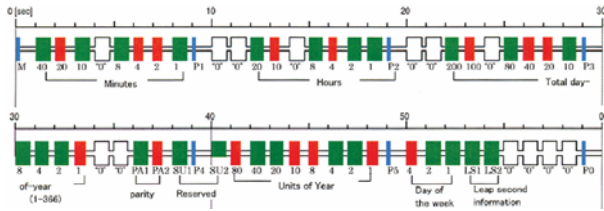
圖六是以日本 JJY 授時中心所發送信號之解碼格式為例，例如代表分鐘的信號位元中，只有20此欄位為邏輯信號“1”，則計算方式為 $20 \times 1 = 20$ 分，代表此時為20分。若是有20和8兩個欄位為邏輯信號“1”，其餘欄位為“0”，則計算方式為 $20 \times 1 + 8 \times 1 = 28$ ，代表此時是28分。

參考圖七，範例圖中所接收到的時間為1999/6/10-14:26 (161th天)。其中：



圖六 JJY授時中心發送訊號之時間解碼格式

FRM：每個 Frame(分鐘)的第 0 秒發送之訊號(P)。
 P0~P5：定位訊號，從第九秒起，每隔 10 秒發送 1 次(P)。
 PA1/2：同位元檢查碼。
 LS1/2：閏年資料。



圖七 電波鐘接收脈波解碼時間範例

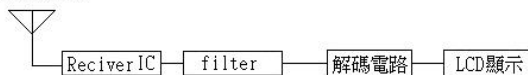
如圖七所示，圖中紅色表示 1，綠色表示 0。
 第 0 秒~第 10 秒：代表分鐘之時碼，20、4 與 2 此三格皆為 1，故所接收的分鐘為 $20 \times 1 + 4 \times 1 + 2 \times 1 = 26$ 分。第 11 秒~第 20 秒：代表小時之時碼，10 與 4 此兩格皆為 1，故所接收的小時為 $10 \times 1 + 4 \times 1 = 14$ 時。第 21 秒~第 34 秒：代表天數之時碼，100、40、20 與 1 此四格皆為 1，故所接收的天數為 $100 \times 1 + 40 \times 1 + 20 \times 1 + 1 \times 1 = 161$ 天。

第 41 秒~第 48 秒：代表年之時碼，80、10、8 與 1 此四格皆為 1，故所接收的年為 $80 \times 1 + 10 \times 1 + 8 \times 1 + 1 \times 1 = 99$ 年（只顯示年的後兩位數字，故 99 代表 1999 年）。第 50 秒~第 52 秒：代表星期幾之時碼，4 此格為 1，故所接收的為 $4 \times 1 = 4$ （代表星期四）。第 53 秒~第 54 秒：代表是否為閏年之時碼，此兩格皆為 0，故代表所接收時碼此年不為閏年。

濾波器演算法

基於電波鐘信號是透過大地以及電離層之間的空氣進行傳遞，由於日夜溫差變化，雲層之電離層也相對變化，以及地球環境之雜訊，我們在接收到電波鐘信號時，該信號已經相當微弱，且該時碼信號已隱含了大量之雜訊，所以本文將提出一個適用於電波鐘之數位濾波器，得以濾掉雜訊信號。如此，即可擴大電波鐘的使用涵蓋範圍，亦可提升電波信號的可靠度。

接收天線



圖八 電波鐘接收器架構

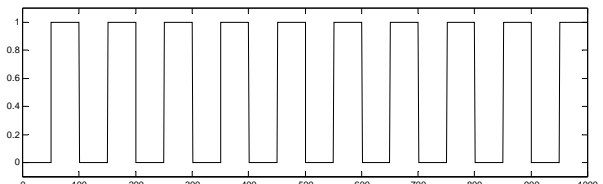
由於接收到之信號相當微弱且含有大量之雜訊，故本文提出一個品質優良的數位濾波器演算法，以微控制器(Micro Controller Unit, MCU)進行程式軟體的方式來設計數位濾波器，再以該濾波器有效的濾除雜訊，並且以 LCD 面板顯示之(參考圖八)。如此，我們即可有效的擴增電波鐘的有效接收範圍。

對於設計一數位濾波器，我們可以建構一數

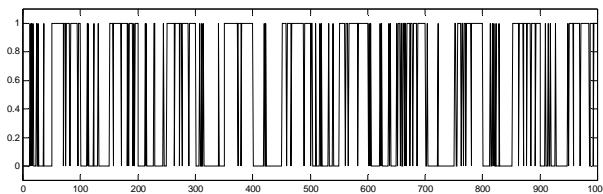
位濾波器模型，如 Eq(1)。

$$F[n] = C_0X[n] + C_1F[n - 1] + C_2F[n - 2] \quad (1)$$

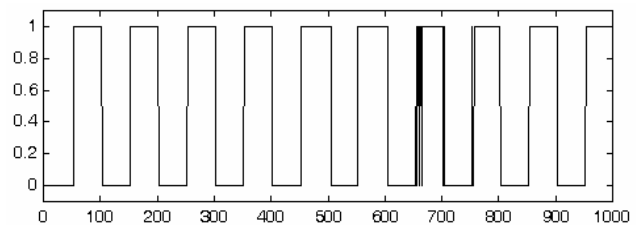
其中 C_0, C_1, C_2 為濾波器係數， $F[n]$ 代表經過方程式運算後之輸出， $X[n]$ 代表輸入之信號。其中，濾波器的係數直接影響到了 De-Noise 之效能，根據每一種參數模型組合，數位濾波器皆有其不同濾波表現。



圖九 未受雜訊影響信號

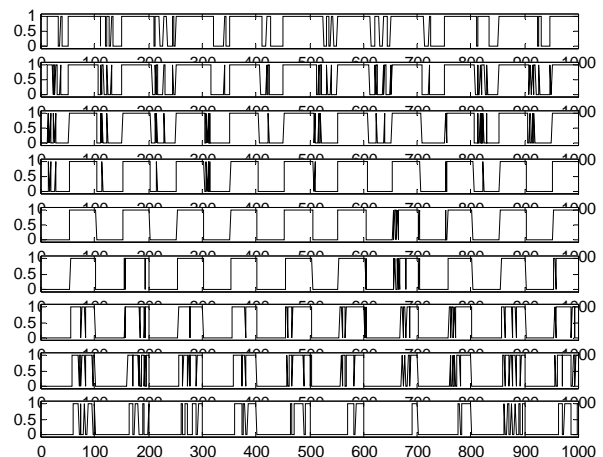


圖十 受雜訊影響信號



圖十一 數位濾波器模擬輸出

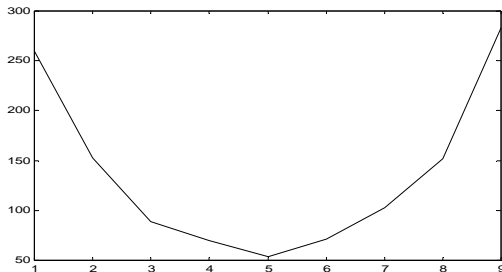
舉例如圖九，即是代表未受到雜訊影響之信號。圖十是代表受到雜訊影響後之信號。圖十一是我們使用 Matlab 軟體模擬數位濾波器出來之結果。但是，只有經過此方程式運算是不夠的，仍需藉由一比較器，將運算出來的數值 $F[n]$ 轉換成邏輯信號“1”&“0”。比較器裡面有一參數門檻值必需事先設定，其運算動作是將 $F[n]$ 和門檻值比較，若



圖十二 線性比率之濾波器門檻值模擬輸出

$F[n]$ 大於門檻值就代表邏輯信號“1”，反之，當 $F[n]$ 小於門檻值，就是代表邏輯信號“0”。

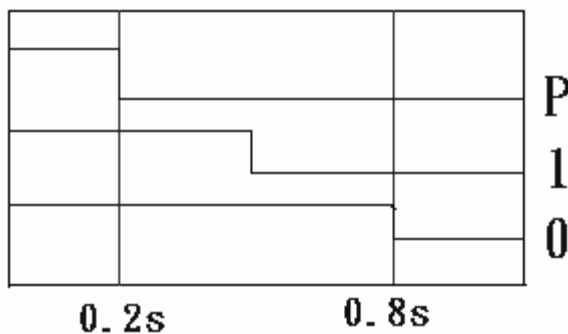
圖十二是採用線性比率之門檻值分析出來之波形，我們大致上可用肉眼看出第五個波形的濾波效果最好。但為了更客觀的分析，我們進行各種濾波演算法之發展及分析各個波形之錯誤率(參考圖十三)，以找出最佳濾波效果。



圖十四 門檻值錯誤率分析

由圖四得知 PWM 只發送三種格式:P、1 及 0，而 PWM 的格式可分析成三部份(參考圖十四):

- (1)前 0.2s 區
- (2)中間(0.2-0.8)s 區
- (3)後 0.8s 區



圖十五 電波鐘 PWM 的信號格式

由圖十四可得知前 0.2s 都是 High，0.8s 之後都是 low，因此只需判斷中間(0.2-0.8)s 區間，如圖十四再將中間(0.2-0.8)s 區分為兩部分各 0.3s，以 10ms 為週期，則 0.3s 會偵測 30 次，設計一計數器，如果偵測為 high，則累加計數器，偵測為 low 則不動作進而判斷計數器數值若大於 15，則判斷該 0.3s 為 high，小於 15 判斷為 low，再依據此判定電波鐘 PWM 的信號如表二。

表二 電波鐘 PWM 的信號判斷圖

前 0.3s	後 0.3s	判斷結果
L	L	P(定位訊號)
H	L	1
H	H	0

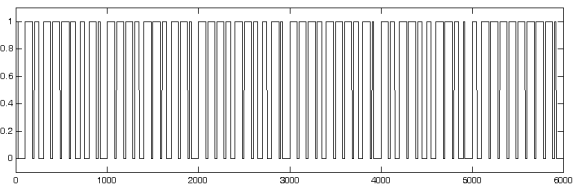
模擬結果

本文所提出之數位濾波器之設計主要用於濾除電波鐘信號所含之雜訊，在驗證的部份，為了能夠確實掌握雜訊的分布量，以及信號的正確性，我們採用 Matlab 來進行模擬驗證，一方面可以探討濾波器全面之響應，另一方面可以藉軟體模擬的快速特性，來分析最佳實驗參數。本文提出了一個簡易的數位濾波器設計，在此，主要探討最佳實驗參數以及濾波之效果。

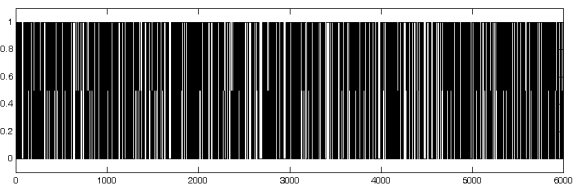
首先，以文中舉例之數入信號為例，輸入信號如圖十五，所代表的為文字信號。將其根據 PWM 定義轉換為波形如圖十六所示，若將其加入雜訊，則受到影像後之波形如圖十七所示，可很明顯的看出雜訊的影響程度相當嚴重。

```
p01000110p000100100p000100110p00
0100010p010011001p100000000p
```

圖十五 電波鐘傳送文字信號

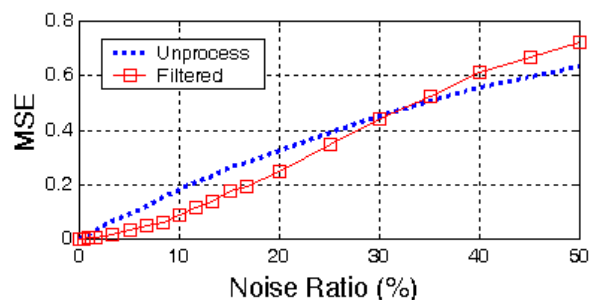


圖十六 電波鐘傳送信號波形



圖十七 電波鐘受雜訊影響信號

接下來進行訊雜比與失真程度之分析。在此是使用 60 位元的信號輸入，信號取樣率為 100Hz。

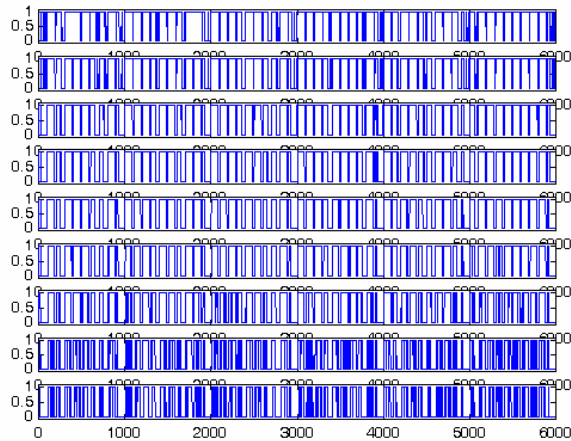


圖十八 電波鐘雜訊量與 MSE 之關係曲線

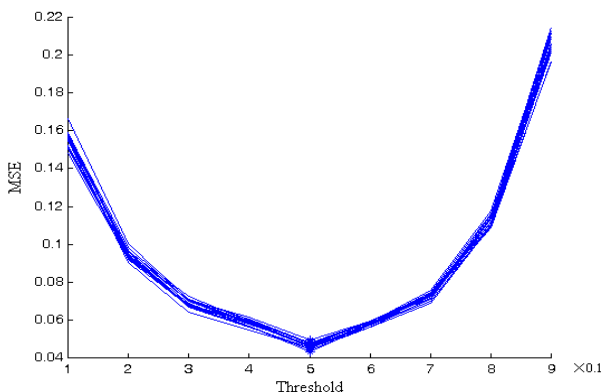
如圖十八所示，是顯示雜訊量影響的程度，以及濾除的效果。其中，MSE(Mean Square Error)的公式如 Eq.(2)所示，用來評估信號的失真程度。

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x - \hat{x})^2 \quad (2)$$

其中， N 是代表取樣信號長度， x 和 \hat{x} 分別代表原始信號以及加入雜訊之信號。其中藍色虛線代表未經過濾波器處理，而紅色實線表示經過濾波器處理後，我們可以看出，當訊雜比在約 32% 以下，本文所提出之濾波器可以改善雜訊，並根據濾波器係數的調整，具有不同的濾波效能。



圖十九 電波鐘信號採用多門檻值判讀



圖二十 電波鐘信號採用多門檻值結果

另外，我們針對門檻值設定進行分析。我們使用 60 bit 的信號輸入，訊雜比為 0.1，然後採用多門檻值去進行判讀，再根據其 MSE 去判斷門檻值的設定，如圖十九所示為採用門檻值從 0.1~0.9 去判讀，我們從其中可以發現當門檻值大約在 0.4~0.5 具有比較好的濾波效果，但是若只從波形來判讀則不盡完美。

圖二十是由多個門檻值所判讀出來之結果 MSE 所繪製而成，並重複執行數十次之結果。其中可以很明顯的看到，門檻值為 0.5 時之濾波效果最為理想。固在此實驗過程中，門檻值的設定採用 0.5 可以達到最佳之濾波效果。

結論與討論

在本文進行了一系列評估設計之後，可以發現該數位濾波器雖然可以達成濾除雜訊之目的。但是濾波器必須經過方程式、比較器來運算，勢必也造成了 MCU 的運算負擔。所以未來可以嘗試簡化濾波器之設計，例如將其方程式降至一個 $F[n-1]$

的回授方式，或是改變其方程式結構等等，來達到 De-Noise 功能，這些都將是欲所探討之問題。

本文之關鍵技術在於數位濾波器之研究與應用，因為降低了雜訊的含量，所以可以進而增加電波鐘之可使用範圍，若再與相關產品結合應用之後，可提升該產品之可靠度、減小失真，因此提升產品之附加價值。本文之濾波器應用，將使電波鐘的效能改善，且因為電波鐘的成本便宜、準確等優點，使得電波鐘在國內也能普遍發展，進而提升國際競爭力。

在技術發展成熟後，電波鐘技術必須朝向輕薄短小來發展，以及應用的層面來發展，例如將電波鐘用在通訊上面的標準時間，或者應用在軍事備上的同步應用，甚至其餘之民生家電用品之信號校準等等，而產業界也會因為此技術備廣泛應用，而開始重視電波鐘這個新興領域。

誌謝

本研究之進行要感謝國科會之計畫進行經費及各協辦單位之經費補助，讓本研究得以順利進行。國科會計畫編號: NSC 94-2622-E-018-003-CC3

參考文獻

- [1] <http://www.c-maxgroup.com>
- [2] <http://wiki.java.net/bin/view/Projects/DIYRadioClock>
- [3] http://www.interq.or.jp/japan/se-inoue/e_pic6_d.htm
- [4] <http://www.tristate.ne.jp/rf-clock-v2.htm>
- [5] 高頻通訊電路設計 袁帝文/王岳華/謝孟翰/王弘毅編著 高立出版
- [6] “DSP FIRST: A MULTIMEDIA APPROACH” James H. McClellan
- [7] 數位信號處理應用於 MATLAB 蒙以正著 旗標出版
- [8] 訊號處理 - MATLAB 的應用 羅華強 編著 全華科技圖書出版
- [9] DSP 程式設計 陳宏宇 編著 松崗出版
- [10] 國家時間與頻率標準實驗室 <http://www.stdtime.gov.tw/chinese/home.htm>
- [11] 建立及維持我國時間與頻率國家標準計畫--智慧型電信主參考時鐘系統製作報告，計畫編號: TL-001-P201(88)，中華電信研究所，張清濠。