

出國報告(出國類別：進修)

赴美國匹茲堡大學進修電機工程博 士心得報告

服務機關：國防部軍備局第二〇二廠

姓名職稱：林文祺中校

派赴國家：美國

出國日期：102年8月26日至106年8月11日

報告日期：106年9月15日

摘要

本次進修係奉國防部 102 年 7 月 08 日國人培育字第 1020009521 號令核定赴美國匹茲堡大學(University of Pittsburgh)進修電機工程博士 4 年，進修期間自 102 年 8 月 26 日至 106 年 8 月 25 日止，職於 4 年進修期間內取得博士學位，並發表 4 篇國際研討會論文、乙篇書章論文(Book Chapter)及乙篇期刊論文等，另獲選為美國科學研究會會員。職於 106 年 8 月修業期滿前二周返國報到，於 8 月 11 日返抵國門，於隔一工作日(8 月 14 日)向軍備局第二 0 二廠辦理報到手續。本心得報告係以職在美國期間對於進修過程、論文研究及學習心得等作一報告，報告格式分摘要、目的、過程、心得與建議及參考資料來源等項。

目次

壹、目的.....	2
貳、進修過程.....	2
參、心得與建議.....	21
肆、參考資料來源.....	22
伍、附件.....	23

壹、目的

職奉國防部 102 年 8 月 2 日國力培育字第 0980001928 號令，赴美國匹茲堡大學（University of Pittsburgh）進修電機工程博士 4 年，研究方向以影像處理及模式鑑別演算法為主，進修期間自 102 年 8 月 26 日至 106 年 8 月 25 日止，並於 106 年 8 月份完成所有學位要求後取得博士學位後，於核定之修業期限期滿二周前返廠辦理報到手續。

本報告係依據「行政院及所屬各機關出國報告綜合處理要點」相關規定撰擬，旨在提供個人進修經驗、論文研究重點與心得，提供相關人員參考運用。

貳、進修過程

一、進修學校簡介

匹茲堡大學為美國排名前 24 名之公立大學，為美國歷史上 10 所建校時間最為悠久的大學之一，屬於世界聞名的頂尖大學並為美國學院與大學協會（AAU）成員之一。每年就讀的大學學生及研究生總計超過三萬多名，目前設有 134 種學士學位，116 種碩士和 83 種博士學位。匹茲堡大學圖書館的大學圖書系統除豐富的電子書外，藏書量超過 570 萬冊，館藏甚豐，並藏有遠東地區書籍如大量的中文圖書及日本與韓國等亞洲國家的書籍及期刊，於美加地區屬於大型學術圖書館，相關館藏書籍可透過線上圖書館系統調借至任意系所圖書館借閱及歸還，非常便利。學校學術資源提供各種學術期刊、論文研討會及館際合作的服務，學生可利用電腦教室電腦所安裝的各式應用軟體或自學校網站下載安裝使用，對於研究工作的進行有明顯的助益。

二、修業規定：

匹茲堡大學對博士學程所律定的進修期程，主要項目概分為課程學分取得、先期口試(Preliminary Exam)、論文撰寫學分修習、彙總考試(PhD Comprehensive Exam)、論文計畫提報(Dissertation Proposal Exam，亦即博

士候選人考試)、最終口試(Final Oral Exam)與論文提交。依匹茲堡大學電腦及電機工程學系針對電機工程博士的修業規定,博士畢業所需完成的學分數至少為 72 個,其中包含碩士班應完成的 30 個學分,24 個專業課程學分以及 18 個論文研究課程學分。現就各主要期程分述如后:

(一)課程學分取得:

為使博士生具備足夠的基礎研究能力,同時拓展其研究涵蓋程度,電機及電腦工程學系要求博士生必須要修習滿 42 個課程學分,其中 15 個學分須以電機工程學門為主,主要涵蓋下列不同學門。

- 1、電腦工程
- 2、控制
- 3、電子
- 4、影像處理/電腦視覺
- 5、電力
- 6、信號處理/通訊

另可副修對主要進修學程有明顯助益之課程,如計算機科學系開設之課程等。職修習列於控制、影像處理/電腦視覺、信號處理/通訊等學門下的課程,包括最佳化方法(Optimization Methods)、最佳控制(Optimal Control)、適應性控制(Adaptive Control)、小波轉換應用(Applications of Wavelet Transforms)、信號處理與通信特別專題:信號處理方法及應用(Special Topics: Signal Processing and Communication: Applications of Signal Processing Methods)等課程,而副修則為計算機科學系開設之機器學習(Machine Learning)及軟體工程(Software Engineering)等課程。

美國研究所課程,一學期共計須舉行期中考及期末考等至少 2 次筆試、不定期的隨堂考試、數個到十數個專題實作及報告、十數次作業(每週 1 次)、專題期末口頭及書面報告報告等要求。歷次大小考

試、專題實作及作業均列入期末成績計算，因此，任何一項作業及大小考試要求均需悉心完成，學期結束時方能獲得良好的成績評等。換言之，於美國研究所修課必須戮力以赴，才能順利完成所有課業要求。有關課程選修的規定，目前美國研究所嚴格管制研究生選修課程清單必須先獲得指導教授的同意，系上才會解除學生選修帳戶裡的選課管制(Hold)。另指導教授亦會針對研究方向建議或指定應選修的課程。若選修口試委員所教授的課程，必須獲得 A 以上，職的指導教授始同意該位口試委員列入口試委員名單。

(二) 先期口試 (Preliminary Exam)：

本項考試目的是要求研究生展現獨立研究的能力，研究生須針對與論文研究有關的內容進行資料分析及實驗設計，於彙整結果後向口試委員提報論文內容、未來研究方向與進度規劃，且必須要能逐一回答 3 位(至少)口試委員的提問，先期口試結果會由口試委員投票決議通過與否。如未通過，則學生最快必須於三個月後才能重新安排先期口試。

(三) 論文撰寫學分修習：

本項共計須修滿 24 學分。在此階段博士生必須針對論文撰寫與發表進行準備，並針對研究方向及所掌握的資料，廣泛涉略基礎理論、研析可運用的方法及歸納出能於相關研究領域作出卓越貢獻的課題，並著手博士論文計畫的撰擬及研提，本項要求由學生的指導教授全權處理，而指導教授會根據學生的數理能力規畫相關課程及研究要求。由於職的研究方向與小波轉換的理論有關，其中涉及小波(Wavelet)、向量空間(Vector Space)及泛函分析(Functional Analysis)等數學基礎理論，因此，職前往數學系研習了三門與小波有關的泛函分析課程，得以對小波轉換有更深一層的理解，並對抽象數學產生興趣。

(四) 博士論文計畫研提(博士候選人)及最終論文口試：

博士生須與指導教授討論訂定論文計畫的內容，並初步完成所設計

的實驗與論文初稿撰寫，經口試委員會審查並通過論文計畫口試(Dissertation Proposal Exam)後，成為博士候選人，工程學院會於博士生通過資格考後正式承認並授予博士候選人證明信函，於取得博士候選人資格後，至少必須註冊秋季班及春季班，並完成 18 個論文研究課程學分，方能申請進行博士學位口試(Final Oral Exam)。為求公開及公正，博士論文計畫研提及最終論文口試除口試委員會必須出席外，均開放校內各學系教授、老師、博碩士生及行政人員參加與提問，過程儼然類似一論文研討會。

Final Oral Defense 經表決同意通過後，賡續依口試委員的建議與指導教授修訂意見進行論文修訂後，由口試委員再次審查。經各委員審查通過與簽名後，論文循系統呈予系主任、工程學院院長及相關行政部門，審查論文內容與格式，俟所有項目全部審核通過後，博士候選人方得以被授予博士學位證書。

二、研究方法：

傳統多重解析度影像處理方法運用小波轉換，針對影像特性提供基於像素的奇異值有效率的分析，例如相連接的物體影像邊緣像素及像素灰階強度所提供的紋理元素。

曲波轉換為近期發展的方法，它係基於線段的奇異特徵，可為許多需要方向性多重解析度的影像處理任務提供更為稀疏的呈現，例如去除噪音以及紋理分析。本研究的目的是在於發展一多類別的鑑別器並基於曲波的紋理分析方法。曲波在一給定的地點的奇異值是透過求取各方向曲波係數的最大值而獲得，該奇異值便代表了影像結構中短的線段。此稀疏的表現大幅的減少了原來曲波轉換的係數數量。曲波的統計紋理特徵係從各尺度曲波係數抽取出來。本研究設計了一 2 階層 4 個類別的鑑別器，以模仿人類專家的決策過程。鑑別器中包含了 2 個高斯支援向量機，每個支援向量機並耦合了一個投票機制，能針對多個 2 維窗函數所擷取的影像進行鑑別分

類並產生該影像最終的分類結果。經實驗驗證，本研究方法可針對複雜紋理影像進行有效分類並獲得高度的準確性。

為落實研究成果能於相關領域有卓著的貢獻，本研究從文獻探討、理論分析與研究及實作驗證等方法，以針對曲波轉換應用於影像處理作理論基礎與實務應用的探討與研究。現就各研究要項概略如下：

(一) 導論 (Introduction)：

為完備背景資訊與研究方向，並且發掘目前研究的不足之處，提出創新方法予以改進俾對相關學術研究領域做出貢獻，遂針對運用小波及多重小波進行影像紋理分析的相關文獻進行蒐整、比較及研析，小波轉換能夠充分的捕捉到跨越多重尺度由時域及頻域提供的複雜紋理資訊，因使能進行多重解析度的分析作業。儘管如此，基於小波的方法具有一共同缺點，即是自轉換係數抽取的特徵值方向性非常有限，僅能捕捉到點奇異值。

研究過程中涉略數百篇以上研究論文並結合專題研究、專題報告及國際電子及電機工程師研討會論文發表等相關作業，以撰寫 Matlab、Java、OpenCV、C++及 Python 等程式方式驗證相關的方法。

在先進的影像處理及鑑別的方法中，由 Candes 和 Donoho 發展的第二代曲波轉換屬於小波轉換的泛化能針對具有曲線奇異性的連續方程提供最佳的稀疏性表現，例如，沿著曲線存在有限曲率的不連續性。雖然曲波轉換的基本概念已初步運用至相關應用領域，但使用全部的曲波係數將導致高度的冗餘，於抽取判別資訊時需有效地減少相關係數的數目。尤其是當欲判別的影像與 2 個類別有關聯時，係數數目減少作業必須仔細地進行以獲得良好的正確性。

本研究目標為探討使用最具顯著性的曲波係數以達到精簡及實際的影像特性再呈現，研究的影像為複雜的紋理影像，並且設計一鑑別器以提供電腦輔助鑑別，利用基於曲波的紋理特徵及鑑別器設計策略，達

成一高度可靠的鑑別準確度。

(二) 曲波轉換方法

小波轉換及其相關衍伸方法已成為多重解析度分析的重要關鍵應用，多重解析度的影像分析將影像投射至多重尺度(解析度)上並允許吾人於特定尺度上進行有效率的分析、量測及儲存作業。一個小波函數是構建多重解析度的一個基本函數，一個點奇異代表於鄰近像素間存在一不連續的顯著改變，例如 2 維影像的一個邊緣像素。在影像分割、形成紋理元素或在微觀及宏觀或在一複雜的背景中，每個像素必須適當的予以連接以獲得物體的邊界資訊。

一般說來，一 2 維小波係兩個 1 維小波的張量積結果，因此，小波可以察覺出點奇異性，例如毫無困難的偵測跨越一邊緣像素的不連續性，然而，其有限的方向選擇性僅限於水平、垂直及對角線等三個方向。脊波轉換及曲波轉換係小波轉換近期的延伸，主要是考量線段及曲線的奇異性而發展。

1. 脊波轉換

Candes 和 Donoho 發展了一具有各向幾何異性的小波，稱之為脊波，以克服標準 2 維小波轉換的限制性。脊波轉換係一種多尺度具方向選擇性的轉換方法，利用具備高度方向選擇性的脊波為基礎元素。脊波轉換首先針對影像資料進行不同徑向、區域的線積分以獲得 Radon 轉換結果，再對 Radon 轉換係數進行小波轉換以便在 Radon 域中掌握尖銳的點奇異值，這些值便反映了在影像相關位置存在的線段奇異性。脊波轉換提供了一個有效的方法以進行稀疏方向分析。脊波相較於小波轉換，能針對 2 維影像的紋理特徵提供較佳的稀疏特性呈現。

第一代的曲波轉換是脊波轉換的普遍化，有鑑於一般影像邊緣係以曲線方式呈現而較少以直線狀態存在，在足夠精細的尺度

內，一曲線線段在此範圍內將會非常接近直線，因此，在 2 維影像中分析曲線的奇異性，一個直覺的方式便是將影像平滑分割為許多小區塊，並對每個影像次區塊進行脊波轉換，此區塊脊波的概念便形成了第一代的曲波轉換。在此，曲波係由不同長度及寬度的函數支持以重疊方式呈現曲線，並遵守拋物線尺度法則，也就是寬度大約等於長度的平方。第一代曲波轉換概分為下列數個程序：

- (1) 次頻帶分解(影像濾波成次頻帶)
- (2) 平滑區塊分割(每個次頻帶以平滑的窗函數區分為適切的正方形尺寸)
- (3) 重新正規化(每個方塊重新正規畫為單位尺度)
- (4) 脊波分析(每個區塊進行脊波轉換)

為獲得高方向敏感度及各向異性，第一代曲波轉換存在 $16J+1$ 的冗餘， J 為次頻帶分解所使用的尺度，因其需先平滑分割再進行局部脊波轉換，而導致其受限於準確性的問題。

2. 曲波轉換

第二代曲波轉換係利用同心楔形方塊於頻域構建而得到一緊框架(frame)以提供於時間域低冗餘的函數表現。一曲波係定義於該楔形內並具有三個參數：尺度、方向及時間域位置。曲波轉換係映射一多變量函數至一由多尺度及方向曲波所展開的空間，它為具有曲線奇異性但平滑遠離(Smooth Away)所跨越的曲線的函數提供一有效的表現。在曲波域中，有關影像具有的顯著邊緣的資訊或曲線元素被包裹至小數目的係數中，因此，此轉換可能供一個非常稀疏的影像表現。

一曲波 $\varphi(x_1, x_2)$ 可視為一定義於 x_1 及 x_2 2 維空間變數的基礎函數，於時間域中具有一細長的支持區域，並遵守拋物線尺度規

則，其寬度尺度為長度尺度的平方，在尺度為 j ($j \geq 0$) 時，其寬度尺度為 2^j 而長度尺度為 $2^{j/2}$ ，當它平移至位置 (k_1, k_2) 並旋轉 θ_l ，此時曲波被定義為

$$\varphi_{j,\theta_l,k}(x_1, x_2) = 2^{3j/4} \varphi(R_{\theta_l} [2^j(x_1 - k_1), 2^{j/2}(x_2 - k_2)]^T) \quad (1)$$

圖 1(a)描繪了曲波於時間域的支持而圖 1(b)則為曲波於頻率域的支持。集合 $\{\varphi_{j,\theta_l,k}(x_1, x_2)\}$ 構成一緊框架並可用於呈現函數。

當一影像以此緊框架 $\{\varphi_{j,\theta_l,k}(x_1, x_2)\}$ 呈現時，此影像可以曲波

$\{\varphi_{j,\theta_l,k}(x_1, x_2)\}$ 與

$$f = \sum_{j,\theta_l,k} c_{j,\theta_l,k} \varphi_{j,\theta_l,k}(x_1, x_2) \quad (2)$$

的線性集合來表示。

曲波係數 $\{c_{j,\theta_l,k}\}$ 可透過影像和曲波函數的內積來獲得

$$c_{j,\theta_l,k} = \langle f, \varphi_{j,\theta_l,k} \rangle \quad (3)$$

曲波係數可由頻率域的極楔形並透由 Plancherel 定理於頻域中計算獲得其內積結果

$$\begin{aligned} c(j, l, k) &:= \frac{1}{(2\pi)^2} \int \hat{f}(\omega) \overline{\hat{\varphi}_{j,\theta_l,k}(\omega)} d\omega \\ &= \frac{1}{(2\pi)^2} \int \hat{f}(\omega_1, \omega_2) U_j(R_{\theta_l} \omega) e^{i(k_1\omega_1 + k_2\omega_2)} d\omega_1 d\omega_2 \end{aligned} \quad (4)$$

曲波係構建於頻域中一楔形區域中因此具有緊湊的支援，其於時域中則具有無限的支援，因此，在頻域中平滑分割曲波函數對時域支持快速平滑下降有很大的影響，有鑑於此，第二代曲

波轉換利用梅爾小波(如圖 2 所示)進行平滑的頻率資訊分離，並針對分割後的頻率元件進行正規化，此正規化為統一分區 (Partition of Unity)所需程序，使得後續反轉換及分析作業變得更為便捷。

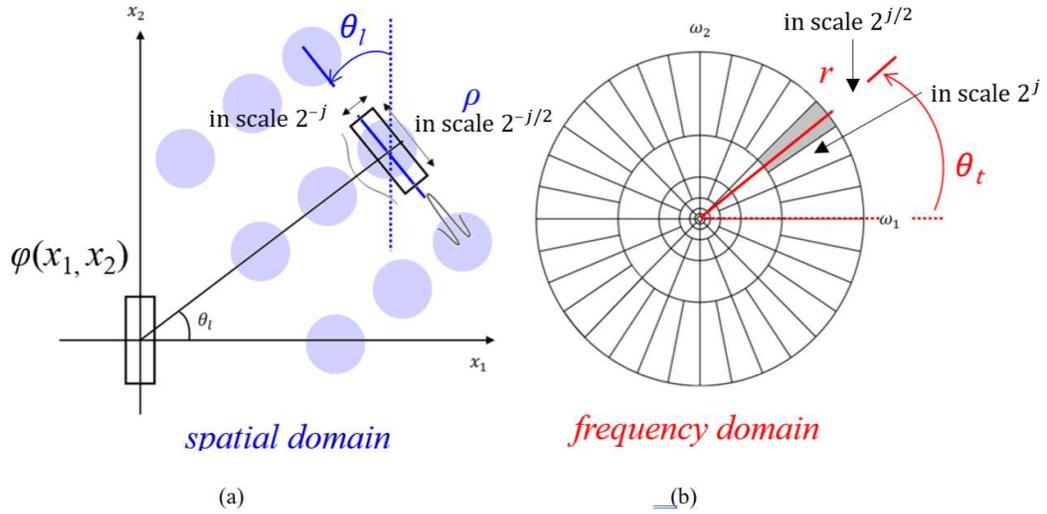


圖 1：曲波於(a)時間域及(b)頻域

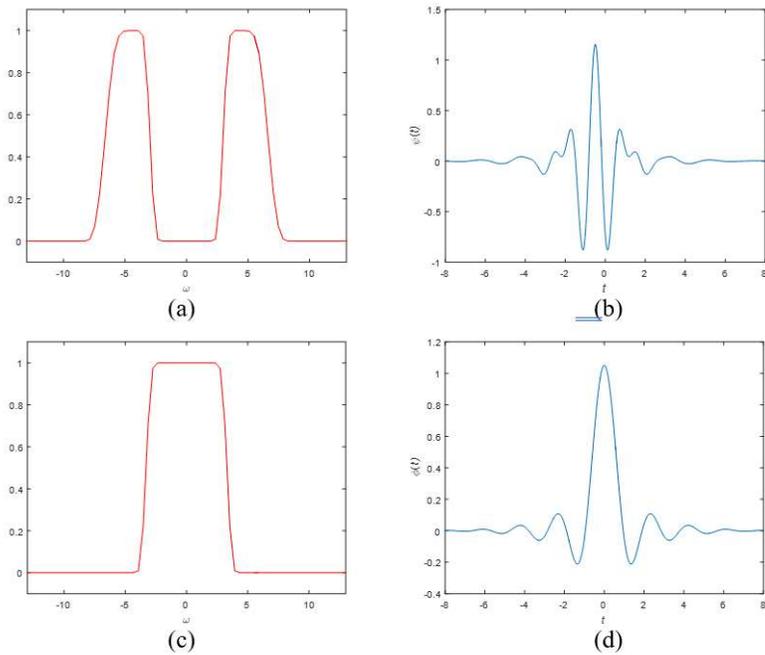


圖 2：梅爾小波的小波函數及尺度函數於(a)(c)頻域及(b)(d)時域

圖 3 為梅爾小波於頻域中構建的情形，梅爾小波可以從單一的尺度函數中構建獲得。圖 4 為針對一 256×256 大小影像進行曲波轉換的概要流程圖，由於利用時頻域能量守恆定理及採用再正規化統一分區方法，曲波反轉換可以很簡單的利用正轉換的逆向程序完成，相關重新建立的時域信號亦可以經過直接疊加獲得。

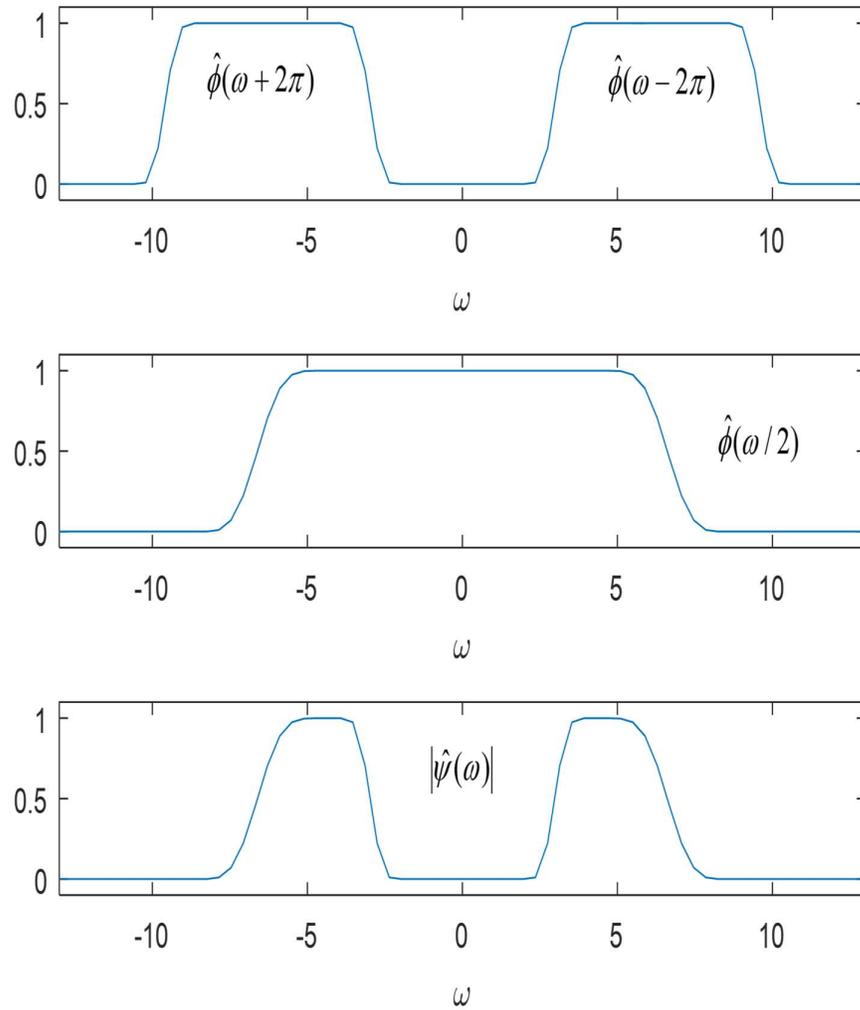


圖 3：梅爾小波於頻域構建情形

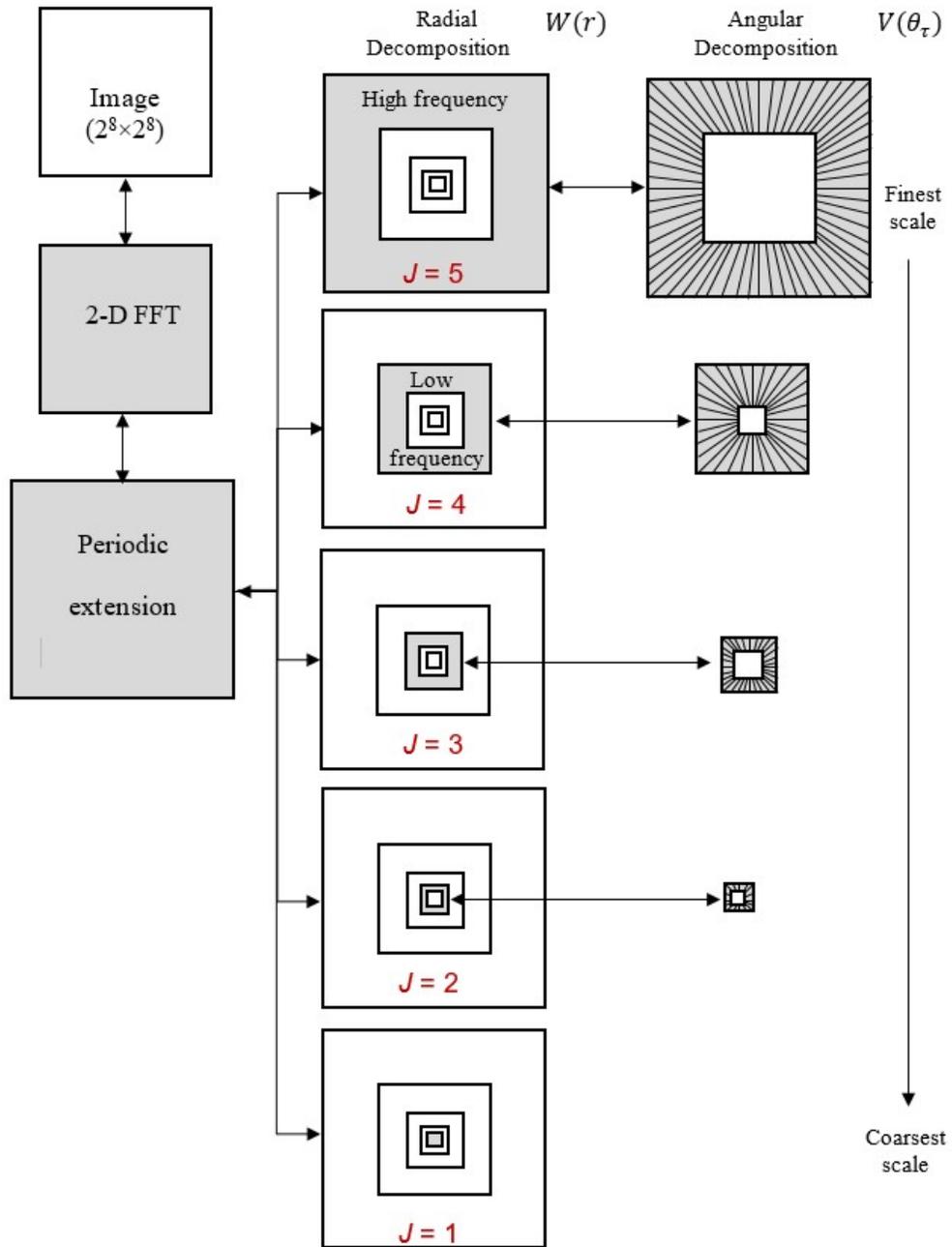


圖 4：曲波轉換概要結構圖，此為 5 個尺度，次尺度設為 16 的分解。
雙箭號表示相關的轉換可進行反轉換

為避免分離極楔型窗而於曲波轉換時導入過多的高頻成分，曲波轉換的頻域元件(Frequency Component)分離係透過梅爾小波或平滑的窗函數進行，圖 5 所示為 5 個次頻帶分解的曲波轉換與相關的梅爾小波(圖 5 下)。圖 6 為比較直接分離頻域元件與平滑分離的反轉換結果。

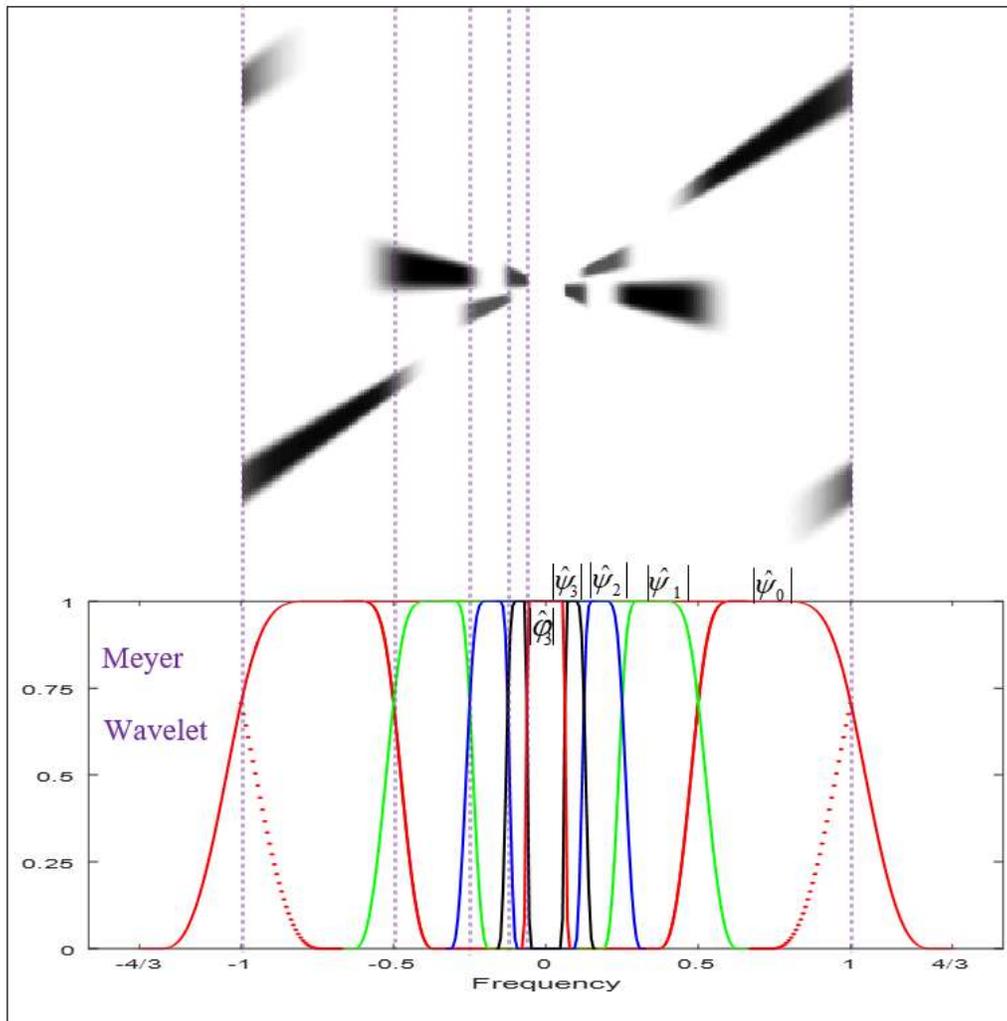


圖 5：曲波於徑向頻域 5 個次頻帶及不同方向(上圖)，其相關聯的梅爾小波函數及尺度函數顯示於下圖

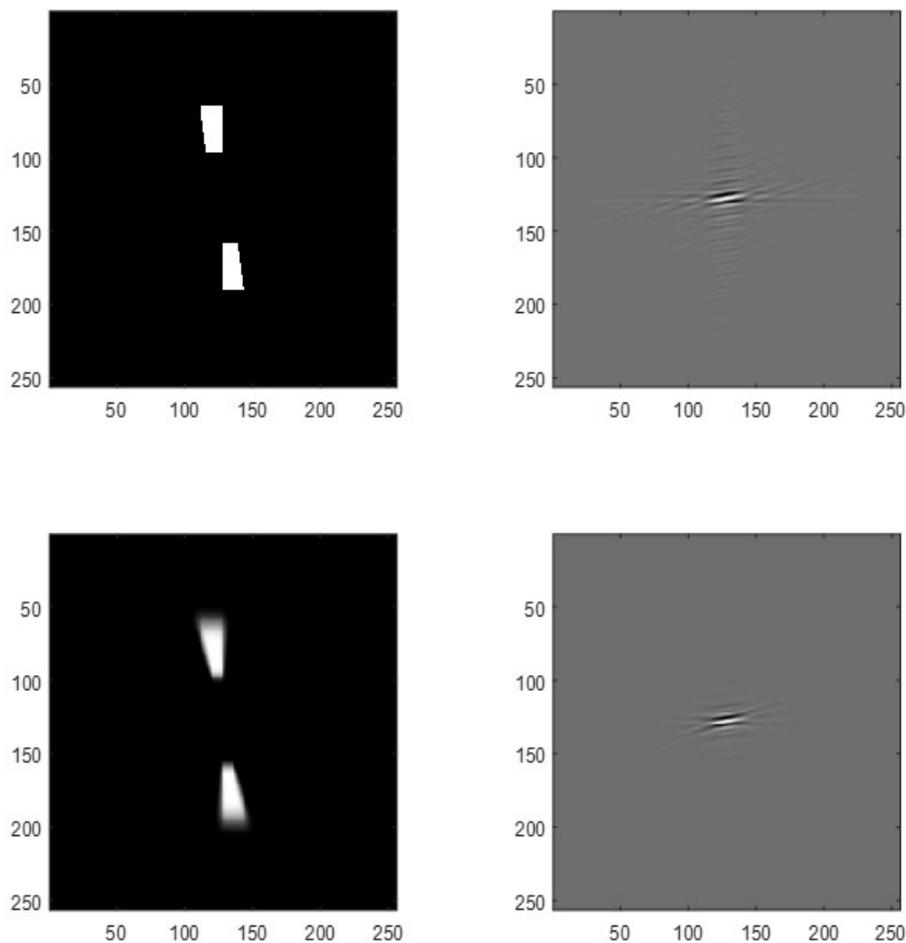
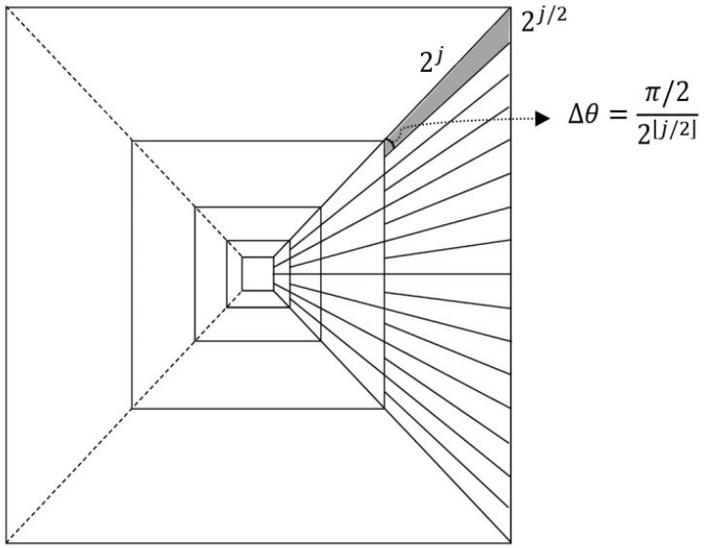
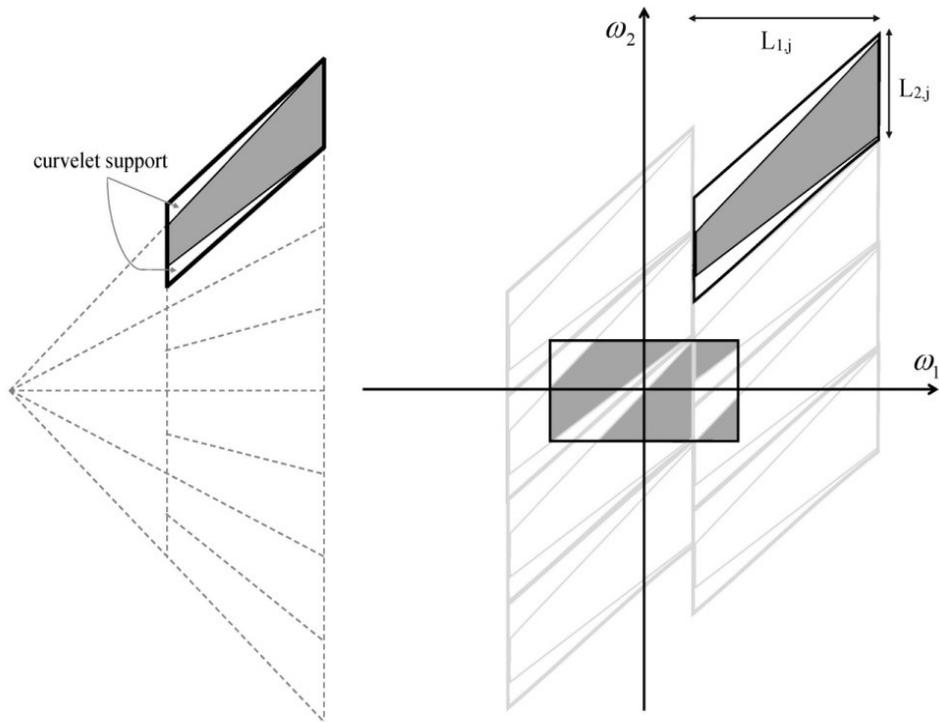


圖 6：比較曲波經由頻域(左圖)直接分割(上圖)及平滑分割(下圖)於時域(右圖)的差別。平滑分割的曲波由於具有平滑的頻率元件分離，因此於時域中能快速地衰減而不會因納入過多高頻元件所產生的擾動情形。

如圖 7(a)所示，由於曲波於頻域的支援構建為一楔形窗，無法直接進行反轉換，為克服此限制，利用傅立葉變換乃基於信號為週期性信號的基礎下，將楔形窗的支援與影像頻域元件相乘後所獲得的結果，經由重新索引的方式，於頻域上周期性的複製相關頻域元件，並於原點附近針對與楔型窗相同尺寸的長方形區域的頻率元件進行傅立葉反轉換，以獲得曲波係數(如圖 7(b) 所示)。由於曲波具有各向異性的特性，因此反轉換後的顯著係數值就代表了於該方向(與頻域楔形窗方向垂直 90 度)的特定位置可能存在顯著的曲線線段。



(a)



(b)

圖 7：曲波轉換經由頻域包裹的情形

(三) 基於曲波的紋理特徵

由於第二代曲波轉換(快速離散曲波轉換)具有 $16J+1$ 的冗餘,轉換後的係數值較原有影像像素值達 7 倍多,因此利用全部的曲波係數進行分析及特徵抽取並不實際,有鑑於現有已發表的論文均未針對此現象探討與研究出可行方法,僅利用全部的曲波係數進行特徵值抽取,並不符合原有曲波發展的目的在同一個地點獲得一稀疏(各方向)的表現。

由圖 8(a)可知,曲波支持楔型窗在同一個位移點 k 其於各方向最強的係數值即代表著於時域中(如圖 8(b) 所示)垂直於該方向存在一明顯線段。本研究特別從曲波係數的物理意義著手,並整合各個方向的曲波係數值,求取影像中各個位置最顯著的曲波係數值,使得冗餘大幅度的降低至 0.3142,可有效地運用於工程領域各種應用開發。

此最大曲波係數亦即代表影像的紋理特徵,可透過曲波的時域支持來表現,此方法可非常快速有效地捕捉影像中存在的線段紋理特徵,並可提供後續的特徵值抽取,提供鑑別器進行學習與判別。

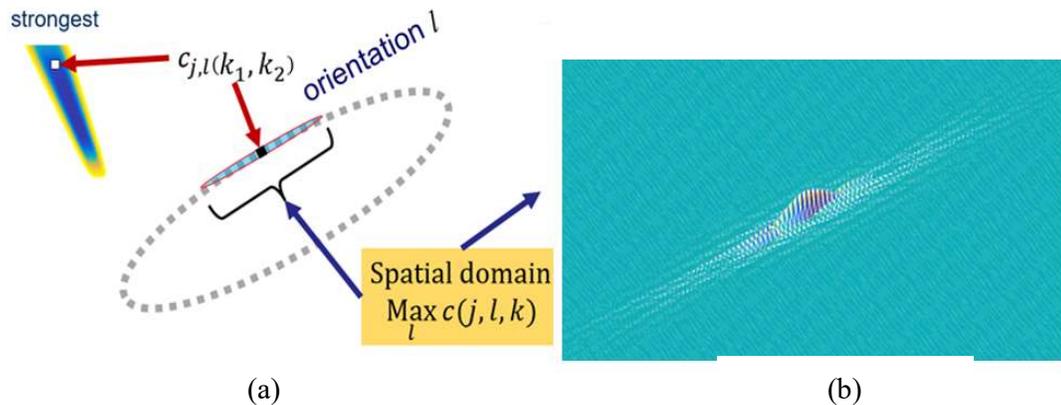


圖 8：各方向中最強的曲波係數值代表著於時域中，其垂直方向存在著一顯著的曲線線段

下列為求取影像中特定平移地點 k 、全部方向 θ 中，最大曲波係數的公式，曲波轉換的係數經由下列公式計算後，便可非常有效率地進行統計特徵值抽取及鑑別器訓練及鑑別

$$c_j^*(k) = \max_{\theta} |c_j(k, \theta)| := \max_{\theta} \{c_j(k, \theta) \mid c_j(k, \theta) \in c_j^N(k, \theta) \cup c_j^E(k, \theta)\}.$$

Maximum curvelet coefficient $c_j(k) = \max_{\theta} |c_j(k, \theta)|.$

圖 9 列示了在一給定的尺度中，自 -315 度至 45 度不同方向曲波於時域中相對應位移點 k 存在不同大小的係數值，本研究方法是比較選取其中最大強度的係數值以代表該 k 點的係數，其餘方向微弱的係數因無法提供有效的分辨資訊，故不予以採用。

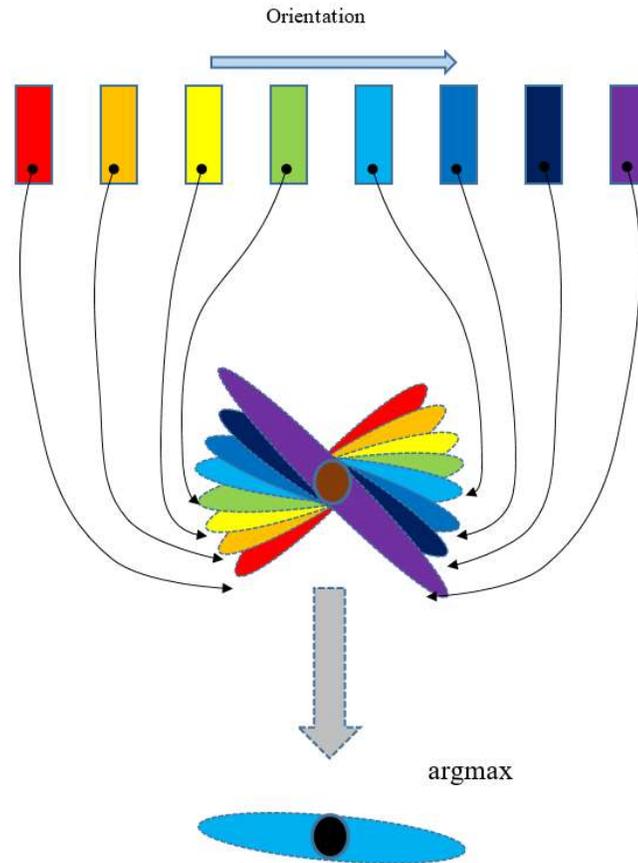


圖 9：於一給定尺度曲波係數中各方向中選取最強的曲波係數值

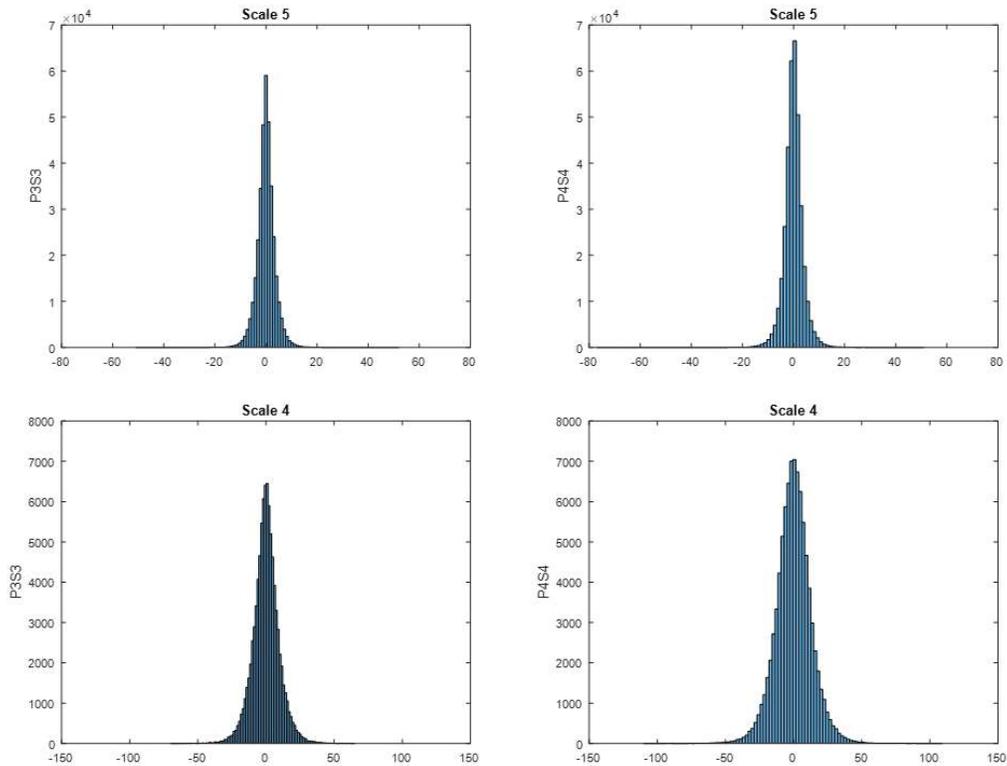


圖 10：曲波轉換係數尺度 4 及 5 的統計直方圖

圖 10 所示即為曲波轉換後於尺度 4 及尺度 5 的統計直方圖，有別於自然信號通常呈現高斯常態分布的情形，因小波轉換的係數僅少數係數值具有較強響應，因此其統計直方圖呈現泛化高斯分布，其特徵是大多數非常微弱的係數值使得分布圖呈現一尖銳的尖峰，而兩端則外延伸。

經過求取各尺度每個平移點、不同方向的最大曲波係數值之後，由於原本係數分布中，相對微弱的係數已被有意義地剔除，其統計直方圖如圖 11 所示，將呈現 2 個接近對稱的尖峰分布，這是由於曲波的時域支援形狀所致。由圖可知，經過轉換的係數值數目大幅度地減少。

為利後續統計特徵值求取，本研究將兩個波峰係數值予以合併，除了有效減少特徵值維度之外，本方法並具有平移及旋轉不變的優點，有利於不同工程領域的應用。

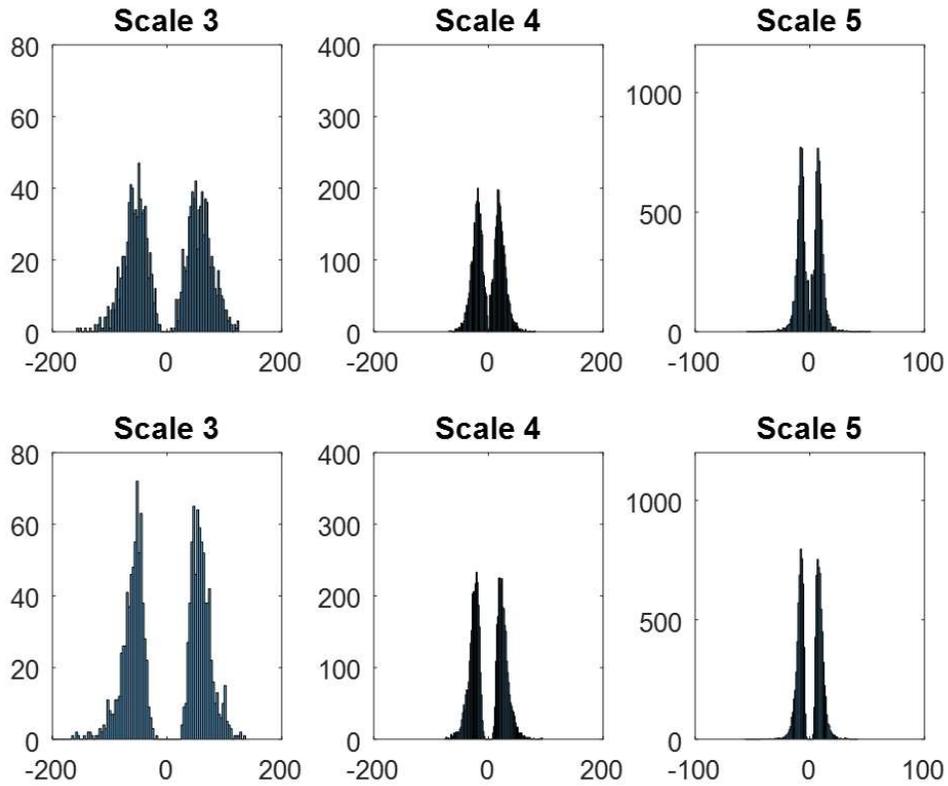


圖 11：最大曲波轉換係數分布情形呈現 2 個波峰

(四) 多類鑑別：

為了驗證本研究所發展的方法能有效區分複雜的影像紋理特徵，故針對關鍵性具有複雜影像紋理特徵的不同主要類別及次要類別設計了一樹狀結構的多類別鑑別器，以模仿人類專家的決策過程，當次要類別與主要類別之間存在關聯性時，一般的影像分割或二進制鑑別器便難以進行有效的區分判別。

圖 12 列示了此二階層樹狀結構的鑑別器，每個階層設計有一高斯核的支援向量機，並結合本研究發展的移動窗函數方法，能針對一給定

影像的不同區域進行曲波轉換、最大曲波係數求取、統計特徵值抽取及判別，最後經過投票機制，以獲得壓倒性的投票結果類別為最終主要類別，第一層係針對主要類別進行判別，若投票結果顯示局部區域存在不同類別的影像次區塊，則該影像則全部送至下一階層續行判別，若全部區域皆為單一類別影像，則逕行歸類為該主要類別。第二層的鑑別器則根據第二次識別結果，區分次要類別為何，並將結果輸出至終端。

圖 13 列示了移動窗函數方法，利用上述方法，研究人員可針對大尺寸的影像進行局部分析及整體判別，並可針對複雜及具關聯性的影像進行快速的影像特徵分析及判別。實驗結果顯示本研究發展之方法可獲致良好的準確度，並可應用至廣泛的光電工程領域。

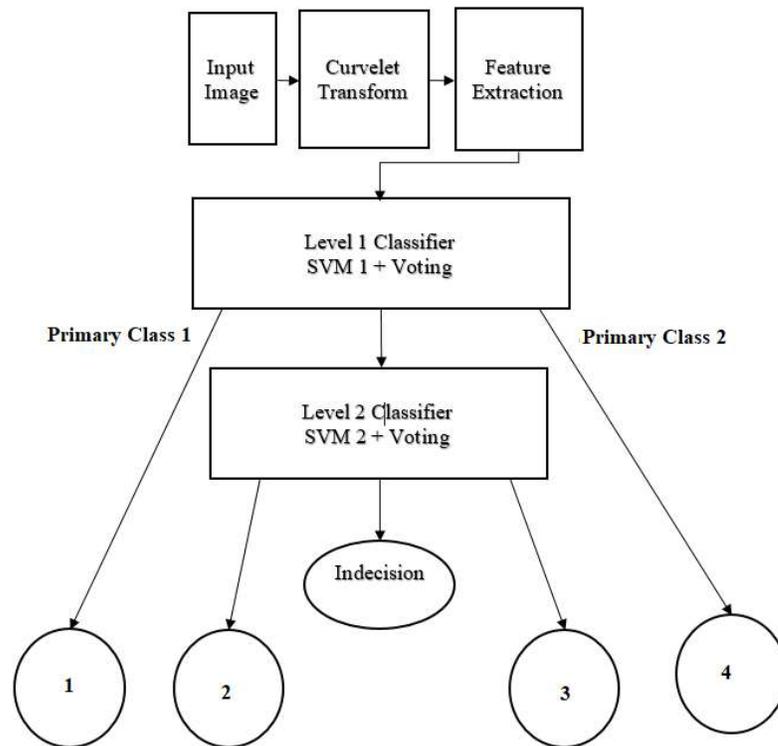


圖 12：樹狀二階層鑑別器

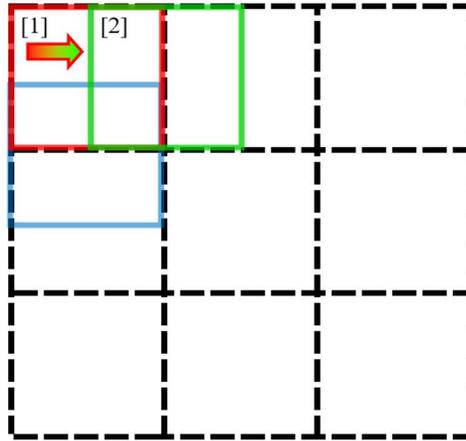


圖 13：移動窗函數局部影像分割方法

參、心得與建議

一、專業網絡

課業繁重為匹茲堡大學為促使學生於短時間內大量吸收知識、即學即用以及作好時間管理的方法之一，學生除了要能專注於學業及研究工作之外，亦必須與其他同學、教授研討互動，甚至合作發表論文，因此有意義並適切地維持專業網絡(Networking)亦屬學術研究的一環。另學校的國際學生辦公室會定期舉辦課餘活動，如健身課程、萬聖節鬼屋體驗、聖誕節餐會、社區公益、滑雪及研討會等，使國際學生能夠維持身心健康、適時地體會當地文化及融入相關專業社群中。

二、鼓勵創意與表現

美國不論對赴學校就讀或家庭學校(Home School)的學生，從小便著重於思想的啟發及鼓勵個人意見的表達，授課教師對於本身的工作都能秉持敬業的精神，對學生表現出如同朋友一般的態度，對於學生的課業及學校適應問題均竭盡所能予以協助，令人感到佩服。從小學乃至研究所，課堂上學生發問情形非常踴躍，各項專題及考試亦均能自動自發認真完成，於此學風自由又鼓勵表達個人意見的環境中求學，對激發創新研究的風氣頗有助益，並進而帶來良好的整體學術表現。

畢業校友經創業成功後，經常對學校進行大額經費的捐贈，如 ANSYS 公司的創辦人約翰·埃·斯旺森(John A. Swanson) 先生為匹茲堡大學校友，對校方工程學院捐贈超過 1 億美元進行軟硬體設施的提升。由此可見學校教育對個人專業發展及社會進步的重要性，建議在我們的學術及工作環境中，尤其是從事生產及研發作業的人員，可適時地鼓勵其思考、吸收新知及轉換環境以學習新的技能，俾個人及團體均能持續進步，保有良好的競爭力。

三、基礎研究及編程之重要性

不論是課堂上教授講授課程、作業、專題研究或指導教授對研究的要求，均對基礎理論的定義、理解及推導非常注重，從職研習的最佳化法則、最佳控制、機器學習及軟體工程等不同課程與論文研究過程中，均深刻體認到人工智慧將會對人類的未來造成深遠的影響，以最佳化法則及機器學習兩門課程為例，各式各樣繁複的人工智能演算法、計算機越發強大的資料處理及計算能力與機器人的普遍化，從對原本由專業人員負責的分析歸納工作到高替代性的勞力加工作業，均能扎實地予以取代，鑑此，強化數理等基礎研究能力與培養程式撰寫技巧已刻不容緩，亦為科學研究之重要基礎。建議有心從事工程科系博士進修的學員，除語文能力外，須不斷地充實工程數學之外的數理能力及提昇程式撰寫能力，俾於有限的時間內完成博士學程各階段考試的要求及完成學位。另建議應廣泛地接觸與研究領域有關的背景資料，深入了解研究主題，俾利創新與實踐。

肆、參考資料來源

1. E. J. Candes, L. Demanet, D. L. Donoho, and L. Ying, "Fast Discrete Curvelet Transform," *Multiscale Modeling & Simulations*, vol. 5, no. 3, pp. 861-899, 2006.
2. 匹茲堡大學網站，<http://www.pitt.edu/>。

3. 維基百科，<http://wikipedia>。

伍、附件

1. Sigma Xi: The Scientific Research Honor Society 美國科學研究學會會員證書
2. 博士學位畢業證書(已由駐紐約台北經濟文化辦事處完成認證)





The University of Pittsburgh

JOHN A. SWANSON SCHOOL OF ENGINEERING

UPON RECOMMENDATION OF THE FACULTY,
AND BY AUTHORITY OF THE BOARD OF TRUSTEES, CONFERS UPON

WEN-CHYI LIN

THE DEGREE OF

DOCTOR OF PHILOSOPHY

WITH ALL THE RIGHTS, PRIVILEGES AND RESPONSIBILITIES PERTAINING THERETO.
IN WITNESS THEREOF, THE SEAL OF THE UNIVERSITY AND THE SIGNATURES
OF THE AUTHORIZED OFFICERS ARE AFFIXED AT PITTSBURGH, PENNSYLVANIA.
AUGUST 12, 2017



Eva Taraskey Blum
CHAIRPERSON, BOARD OF TRUSTEES

Pete E. Be...
PROVOST

Patrick...
CHANCELLOR

John A. Swanson
DEAN, JOHN A. SWANSON SCHOOL OF ENGINEERING