

電腦影像處理在樹輪辨識上的應用

鍾智昕¹ 林世宗^{2*} 吳四印²

1.國立台灣大學森林環境暨資源學系

2.國立宜蘭大學自然資源學系

摘 要

藉由影像處理技術，擷取林木圓盤中樹輪的灰階值資訊，在轉換為各種的樹輪特徵值，用以建構林木生長歷史及分析其變動之效應，可提供森林資源永續經營的重要資訊，本研究嘗試建立簡易可行的樹輪辨識系統，系統架構包括基本參數建立、試材影像處理的輸入功能，樹輪影像數位化分析辨識的轉換功能以及分析結果彙整、顯示的輸出功能。本文係針對數位化分析辨識的轉換功能，以電腦影像處理軟體配合 Visual Basic 程式編輯工具，建立電腦化的樹輪辨識技術，作為發展具實用性且功能完整之樹輪辨識系統的基礎。

本研究採用數種台灣主要針葉樹造林木的圓盤作為試驗材料，發展出之辨識原型軟體與技術進行電腦影像分析法作為樹輪定年、年輪寬及春秋材識別及其變動等探討。研究結果顯示，樹輪的春秋材，可藉由影像分割的技術，使其邊界明顯化，以提高自動定年技術的正確率。心材的顏色與影像上的各種雜訊是影響自動定年技術的主要原因。樹齡及年輪寬度等資訊，可藉由辨識系統加以判讀。

由本研究中所發展程式化的電腦影像樹輪辨識技術，配合前級輸入及後級輸出功能的發展，作為森林經營及樹輪物候學的工具，在未來應具有進一步的研發空間與價值。

關鍵詞：樹輪學、影像分析、樹輪辨識系統

Application of Computerized Image System on Tree-ring Measurement

Zhi-Xin Jong¹、Shu-Tzong Lin^{2*}、Shih-Yin Wu²

1. Department of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University

2. Department of Natural Resources, National I-Lan University

Abstract

Digitalized identification system that applied in tree-ring measurement can afford forest sustainable management information by rebuilding tree's history. A complete tree-ring measurement system should include (1) input function that allows the analysis to setup a testing standard and calibrate the image acquisition devices (2) converse function to digitize and analyze the image, and (3) output function to display and backup the measurement information. This study focus on developing a program using Visual basic program for converse system to analyze the tree-ring image. By this pilot program, select Taiwan coniferous planting tree samples in terms of core and disc can be dated easily. In addition, annual ring width, earlywood and latewood information can be obtained as well. The study results show that (1) earlywood and latewood in tree-ring can be identified clearly (2) the boundary of sapwood and heartwood can be distinguished by adjusting the gray value standard, and (3) tree-ring measurement such as dating, annual ring width can be measured by this methods.

The computerized tree-ring image identification system with database could be implement as an effective tool for forest resource management and tree-ring dendrochronology.

Key words : dendrochronology、Image analysis、tree-ring measurement

*Corresponding author E-mail : stlin@niu.edu.tw

前 言

林木樹輪資訊中蘊含著分析林木生長與林分動態的重要基本資料。各國的樹輪研究學者依然陸續的利用各種不同的方法來建立樹木年輪的研究資料庫，在亞利桑那大學地球科學系便設有一個國際性的樹輪年代學研究機構「國際樹輪資料庫」，簡稱 ITRDB (International Tree-Ring Data Bank)。在美國與日本地區年輪物候的研究已經進行了許多年，也有相當豐富的資源及文獻報告 (Laroque and Smith, 1999; Stahle and Cleaveland, 1994; Fritts and Swetnam, 1989; Xiong *et al.*, 1998)。有以軟 X 射線微密度法來建立樹輪密度年表，並探討樹輪之密度變化對氣候的影響 (吳祥定、邵雪梅, 1990)。亦有由穩定同位素變化建立台灣冷杉樹輪同位素組成年表 (邱景星, 1994)。鄒佩姍 (1998) 以用冷杉及紅檜的樹輪寬度來重建台灣山區近五百年的氣候變化。程膺 (1999) 利用棲蘭山紅檜樹木年輪重建氣候。詹明勳 (1999) 則以塔塔加地區之雲杉進行樹輪氣候的研究。闊葉樹方面亦有利用昆欄樹輪對台灣北部氣候因子之反映之探討研究 (張琇慧,

2000)、金門木麻黃生長與氣候關係之研究 (呂志廣, 2001) 及以 Soft X-ray 影像分析法應用於天然林台灣檫、樟樹及烏心石樹輪寬度及密度之分析 (詹明勳等, 2004) 等都以樹輪生長表現探究氣候變遷之物候研究或是由木材組織結構分析各樹種樹輪特徵檢定, Eddy (1992) 曾就各種樹木年輪研究技術匯整與討論其功能, 但因各樹種之樹輪特徵變異多樣, 造成分析技術之困難, 其應用性亦有所限制。

取得樹輪資訊的方法有許多種, 傳統以顯微鏡、攝影機與定位系統來進行樹輪寬度量測的方法、Soft X-Ray 微密度計法 (詹明勳, 1999)、電子阻抗圖譜儀 (Rinn *et al.*, 1996) 與樹輪影像分析方法 (Conner, 1999; Thetford *et al.*, 1991) 等。自樹幹圓盤或樹蕊中提取樹輪寬度、木材密度或其他的資訊, 應用於森林經營、樹輪年代學與氣候環境變遷等的研究。其中影像分析技術在科學、醫學、工業、國防與太空等各領域的應用非常廣泛, 且佔據相當重要的地位。運用影像分析技術來獲取樹輪資訊, 較傳統的方法有效率與精確, 也比使用 Soft X-Ray 微密度計法更節省時間、人力與設備 (詹明勳等, 2004; Clauson and Willson, 1991)。Thetford 等 (1991) 表示運用影像分析技術來量測木材密度與

樹輪寬度，是具有相當大的潛力。目前影像分析的商業套裝軟體，如由加拿大所研發的 WIN-DENDRO、由德國所研發的 Ligno-vision 兩者目前較廣泛的使用在樹輪分析的研究上，但多以溫帶地區針葉樹種樹輪分析為主，闊葉樹種較少，尤其對散孔材樹種或春秋材差異小、樹輪不明顯者仍有甚大的盲點，分析技術系統之建立仍有待克服改善。雖然這類的套裝軟體，改善樹輪分析工作的繁雜與提供一個獲得樹輪資訊的便捷途徑，但許多的技術，因為是屬於商業上的秘密，就算商家提供操作手冊，但是對於其實際的運作原理，仍然是一無所知。

本研究嘗試以台灣現有大面積之人工林樹種如柳杉、杉木及台灣二葉松等，因應森林永續經營之資源調查與管理、碳吸存估算與效益評估等，建立簡易可行之樹輪分析系統為目標，提供一套以電腦影像處理技術進行樹輪影像分析的方法配合林木生長調查技術如樹幹解析、生長分析等運用，提供林業人員操作使用。

材料與方法

一、材料

本研究所使用的材料以針葉樹之人工造林木為主，包括了柳杉(*Cryptomeria japonica*)、台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*) 及台灣雲杉 (*Picea morrissonicola*)。柳杉是採自太平山事業區 71、72 林班 28 年生柳杉人工林。台灣二葉松係採自大甲溪事業區 44、45 林班之 34 年生二葉松造林地。台灣雲杉是採自台灣大學實驗林地東埔山莊 37 年生之台灣雲杉造林地。作為研究之造林木圓盤皆採取自該林木胸高處 (1.3m)，柳杉 2 片、二葉松 1 片及台灣雲杉 1 片，共計 4 片。

二、方法

(一) 試片砂磨處理與影像數化

為求樣片圓盤橫斷面樹輪影像清晰，每片圓盤須經切平氣乾後即砂磨處理，砂磨分三次進行，第一次是使用 100 號砂紙簡單的清理粗造的表面，接

著以 400 號的砂紙砂磨，此時的樹輪已逐漸的清晰可見，最後用 800 號的砂紙細磨，修飾部分較細小不清楚的年輪，以利掃描時可以得到最佳的影像品質。樣木圓盤的掃描數化，是利用 Microtek ScanMaker-5700 高階平台掃描器以 300dpi 的全彩影像 (24bit true color image) 的影像解析度進行掃描數化儲存成 .TIF 並保存原始檔案。

(二) 影像灰階值擷取工具

本研究以 Visual Basic 5.0 程式編輯軟體，編撰一套影像灰階值擷取程式，以擷取影像的灰階值資訊，以利進行樹輪影像分析的研究。這個自行研發的影像分析原型程式，係依據 8bit 灰階影像 (gray image) 將黑色到白色劃分為 256 個灰階值來表現，當灰階值數值為 0 時，即顯示為黑色，若灰階值數值為 255 時為白色。利用這個程式工具，可以影像上之任何位置，設置取樣線，以採取該線段上之灰階值資訊，並儲存成.txt 之文字檔格式，作為後續分析所使用。

(三) 影像處理

林木圓盤上的樹輪，由其木材紋理色澤變化可用肉眼來判釋，但對於數位影像來說，其只不過是一連串的灰階值資訊。因此為了達到可以定年與計算樹輪寬度的目的，必須對圓盤影像先進行初步的影像處理。首先即是將 24bit 全彩的圓盤影像轉換成 8bit 的灰階影像。因為太多的色彩資訊反而會造成影像分割上的困擾，因此必須將原來的全彩影像，以 ImageJ V.1.34 軟體 (ImageJ 是由美國國家健康協會 National Institutes of Health (NIH) 以 Java 程式語言所開發的免費影像處理與分析軟體) 轉換為 8bit 的灰階影像，也就是每一張影像中每一個像素的灰階有 256 階。

為了使圓盤影像中的樹輪邊界更明顯，必須進行影像分割的處理，將具有 256 個色階的圓盤灰階影像，轉換為僅以 0 和 1 表示的黑白影像。影像由高階的灰階值影像轉換為純黑白的影像，是需要一個門檻值作為分割的基準，因此必須對於每一張影像決定一個分割用的門檻值大小。這個門檻值的大小，係使用 Otsu 自動門檻值決定法，Otsu (1979)

所發表的 Otsu 自動門檻值決定法是以統計的概念，計算物件與背景兩者間的灰階值變異數大小，並提出兩個條件，第一個是物件與背景，如本研究之圓盤影像處理是以分割春秋材為主，將顏色較淡的春材視為背景，顏色較深之秋材視為物件，取兩者間的灰階值變異數最大。第二個是物件與背景兩者間的灰階值變異數之和為最小，而門檻值的決定是必須符合兩個條件其中之一即可。ImageJ 影像處理與分析軟體提供許多的外掛方程式，可以用來進行各種的影像處理工作，Otsu 自動門檻值決定法也包含於其中，本研究之目的是著重於應用面，而非影像分析理論的探討，故僅以 Otsu 自動門檻值決定法作為決定門檻值之方法。

(四) 自動年輪計數

經過影像分割後的圓盤影像，每一輪的樹輪變化的清晰可見，並且是以 0 (秋材) 與 1 (春材) 數值表現的黑白影像，為了演算上的方便，令原本是 1 的白色部份，改為 255。黑白影像的灰階值因為只有 0 與 255，計算經過影像分割後黑白影像的每一個像素灰階值與次一個像素灰階值的差異，所以在春材轉進晚材將會出現-255 (0-255=-255) 與秋材轉成早材的境界處為 255 (255-0=255)。最後只要計算灰階值為 255 的即為年輪的數目，每 2 個 255 位置間的距離也就是該年的年輪寬，計算其兩者間像素的數量，即可計算出年輪寬度。

(五) 年輪寬度的計算

點陣式的數位影像係由許多的像素 (pixel) 所構成，而這些像素好比是一個個小型的正方形色塊，經由排列組合而成為一張數位影像。這些像素的大小是可以計算的，其與解析度 (pixel per inch (ppi)) 間有著絕大的關係。我們可以藉由這個關係，計算影像上想要量測的長度或是面積大小。首先要先計算在 1 公分內有幾個像素，以 300ppi 為例，以 300 除以 2.54 (1 英吋為 2.54 公分)，等於 118.1102 個像素。接著在計算 1 個像素的邊長為幾公分，以 1 除以 118.1102 (1 公分內有 118.1102 個像素)，算得一個像素的邊長為 0.008475 公分。如此只要知道欲量測的物件，有多少個像素，即可計

算出以公分為單位的長度與面積。將經由灰階值擷取程式所得到的灰階資訊，匯入 EXCEL 試算表軟體中，進行年輪寬度的計算。其他解析度的單個像素邊長計算公式如下：

$$\text{像素邊長} = 1 / (\text{ppi} / 2.54)$$

結果與討論

一、圓盤試材前處理

為避免與減少因急速乾燥造成木材收縮甚至裂隙現象，影響樹輪分析，不宜久置需即砂磨或以環扣固定圓盤避免開裂。圓盤砂磨的良窳會影響數化後影像的品質，若砂磨的表面不夠平整，則影像上可能會出現許多的雜訊。圓盤上粗造的纖維會造成影像判釋上，無法明確的定位春秋材的境界，因此將會造成年輪寬度上的計算誤差。因為砂磨不平而產生的凹陷也是常見的問題，尤其是在圓盤的邊緣部位，凹陷處位置的部份在影像上將會呈現較模糊的情形，將會嚴重的影響年輪的判釋，因此確保砂磨表面的平整，才能夠精確的定年。污損是影像分析最大的問題，這類的現象在松科樹種最常見，其橫斷面常會有樹脂，而這些樹脂若未完全乾燥，經過高速的砂磨機處理時，常會造成污損的情形，進而影響後續分析的精確性。

二、影像灰階值擷取與影像處理

影像灰階值的序列，是計算後續各項樹輪資訊的主要依據。灰階值資訊是來自經由反射式掃描數化所得到的影像，而這些灰階值的高低代表著顏色的差異。最明顯的即是春材與秋材的顏色差異，在灰階值序列上呈現高低的起伏，而如此的變化是可供作判釋的依據。一般來說春材的顏色較亮，而秋材的顏色較暗，因此秋材的部份在灰階值序列中則是波谷的部份。然而樹輪影像的顏色是一連續變化的序列，若直接以 256 色階的灰階值序列中，進行年輪的判事實屬不易，因此必須進行進一步的影像處理。影像處理的目的，是為使圓盤上的春材與秋材境界可以更清晰的呈現(圖 1-c、2-c、3-c、4-c)。

影像的分割在台灣雲杉與台灣二葉松上並沒有太大的問題，在柳杉的圓盤影像，所出現的問題較前兩者來的複雜，主要的問題即是心材與邊材的顏色差異。顏色的差異會使 Otsu 自動門檻值決定法，所決定的門檻值受到影響，自圖 3 與圖 4，可以清楚的觀察到兩者的差別。當影像的邊心材顏色分布較為漸進時，Otsu 自動門檻值決定法可以良好的分割出春材與秋材（圖 3），而當邊心材的顏色出現明顯的差異時，此時 Otsu 自動門檻值決定法則是將心材的部份當作是一個物件，而此時所分割出來的影像，就會是只有邊心材被分離的黑白影像（圖 4c），邊材被視為背景而心材則被分割為物件，此分割的結果反造成後續之年輪計數之誤判，若將邊心材分別處理，則必須對影像再分離為兩張影像，並分別計算其門檻值，此更增加處理上之困擾。事實上可藉由人為視覺來輔助判釋，在心材中春秋材境界處以人工標示，即可快速改善此問題，而不需繁複的處理影像，此等現象在現有樹輪影像分析軟體亦有相似的輔助功能。但對散孔材樹種或春秋材差異小、樹輪不明顯者仍有甚大的盲點，分析技術系統之建立仍有待研究克服，或採用人工輔助方式改善等，這也是各種樹輪影像分析軟體改良之重點。對不連續年輪、偽年輪等現象因本研究採用試材為圓盤影像，因此在採分析樣線時，可過濾此現象，如各樣線之樹輪計數出現差異等。如以樹蕊為試材時則較不易判別。

灰階值的擷取，通常是擷取取樣線上單一排直線排列的像素，但如此取樣會對在灰階值分序列圖上將會造成影響（Conner, 1999）。單一排的像素取樣線上，只要在取樣線上出現一個極為微小的雜點，即會造成嚴重的影響，進而造成判釋的錯誤。本研究材料除了台灣雲杉外，其他材料的圓盤影像上佈有許多的雜點，如此的影響將會在後續的自動年輪計數作業上，會產生的非常顯著的影響。德國 Lignovision 樹輪影像分析軟體，其取樣線的寬度是可以自行決定的。以解決在單一線上取樣的問題，可以將取樣線索的寬度加寬，並計算同一個位置上的多個像素的平均灰階值，以消除因為突然出

現黑點所造成的影響。

三、自動年輪計數與年輪寬度的計算

圓盤影像進行影像分割時所使用的門檻值大小、經自動計數所得到的年輪數與實際的年輪數，列於表一，顯示自動辨識之年輪數與肉眼辨識之實際年輪數仍有出入。三種樹種造林木於胸高之圓盤影像與灰階值變化圖分別比對的結果（圖 1、2、3 與 4），四片試材皆有不同的表現與問題。台灣雲杉是三中樹種中，圓盤影像經影像分割後，年輪最清晰的，自動計數年輪的部份，除了髓心部位，皆可以確實的掌握每一條年輪的位置。在髓心部位所產生的問題，自經影像分割後的影像觀察（圖 1-c），髓心的部份由許多的小型黑色斑點所構成，由於許多的黑色斑點，使得產生類似春材進入秋材的邊界的效果，因此在髓心部位產生了許多被認為是年輪的位置。

台灣二葉松的影像清晰程度次於台灣雲杉，在全彩的影像上可以清晰的看見許多的斑點（圖 2-a），這些斑點是二葉松林木被切斷後，圓盤表面的樹脂管胞破裂而形成的。這些斑點將會影像到後續影像處理的品質，在經過影像分割的黑白影像上也可以看見許多的小斑點（圖 2-c），而在影像上所進行的取樣是一條通過髓心的直線，而取樣的直線僅是一個像素的寬度，所以這些斑點可能會位於取樣的線上。灰階值分布圖上許多的位置，因為斑點的出現而被誤認為是年輪的位置，如此的情形便會造成年輪計數與樹輪寬度計算上的誤差產生。如何解決這類的問題，第一個可行的方法，是再次進行影像處理，將這些斑點除去。第二個方法，即是以半自動的方法，利用肉眼視覺來判斷是否剔除與修正。人眼對於影像的認知能力非常強，這是影像辨識處理與機械視覺技術所不能及的。目前雖然影像處理的技術與電腦視覺辨識的水平，已經可以解決相當多的問題，但其距離人腦處理影像和視覺的水平仍是差距甚遠（鍾國亮，2002）。

表一 試材圓盤影像分割門檻值、自動計數年輪數與實際年輪數

table1 Threshold value of image division, autocalculated and real tree ring number of sample disc

圓盤編號	樹種	門檻值	自動計數年輪數	實際計數年輪數
Picea	台灣雲杉	139	27	25
Pinus	台灣二葉松	158	46	29
Cryptomeria-1	柳杉	122	34	28
Cryptomeria-1	柳杉	180	23	23

柳杉圓盤影像除了心材顏色的影響外，其與台灣二葉松的例子相似，其圓盤的表現上有許多的雜訊，這些雜訊同樣的影響自動樹輪計數的準確性。柳杉心材與雜訊的問題，若需藉由影像處理的方法來解決，皆會變得相當的複雜難以處理，但是若藉由人類視覺的輔助，可以解決定位錯誤與心材的問題。無論電腦的速度與影像處理的技術如何進步，以人工的方式來輔助量測樹輪，是比自動量測來的

正確(Conner, 1999)。因此有許多的樹輪分析系統，並不是全自動的，多以半自動的方式來標定樹輪位置，以確保可以正確的標定每一樹輪之位置。

將經過初步自動計數年輪的資訊，再以人工判釋的方法加以修正，並以年輪寬度的計算式，將像素轉換成公分單位，如此即可得到每一年樹輪寬度的資訊(圖5)。

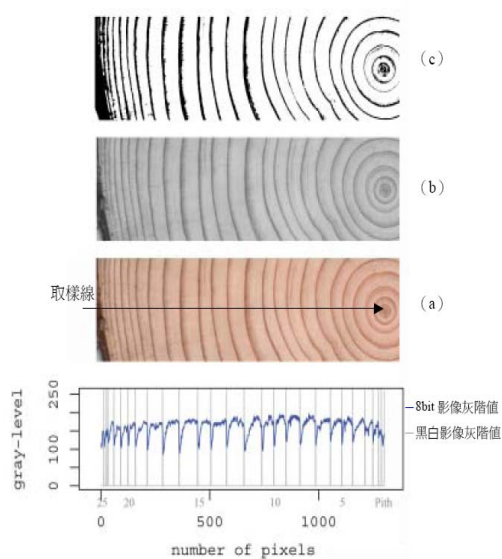


圖 1 台灣雲杉樣木圓盤影像部份解析 (a) 24bit 全彩原始影像 (b) 8bit 灰階影像 (c) 經過影像分割後之黑白影像。

Fig1 Image analysis of Taiwan spruce disc (a) 24bit true color image, (b) 8bit gray image, (c) black-white image after divided

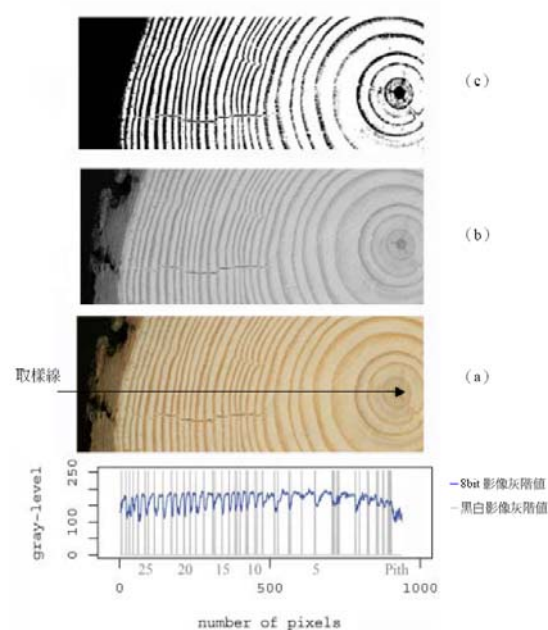


圖 2 台灣二葉松樣木圓盤部份影像解析 (a) 24bit 全彩原始影像 (b) 8bit 灰階影像 (c) 經過影像分割後之黑白影像。

Fig2 Image analysis of Taiwan red pine disc (a) 24bit true color image, (b) 8bit gray image, (c) black-white image after divided

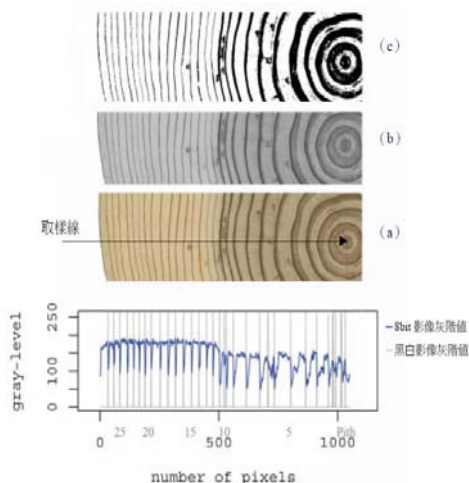


圖 3 柳杉 1 樣木圓盤部份影像 (a) 24bit 全彩原始影像 (b) 8bit 灰階影像 (c) 經過影像分割後之黑白影像。

Fig3 Image analysis of Japan cedar disc 1 (a)24bit true color image, (b) 8bit gray image, (c) black-white image after divided

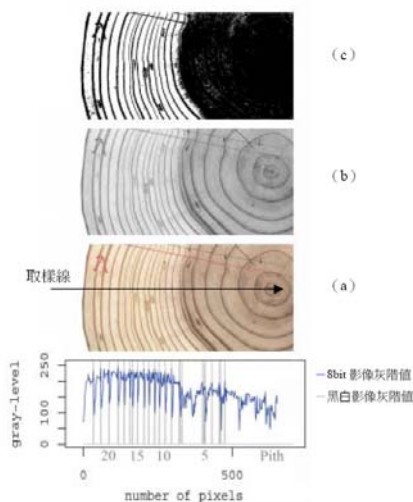


圖 4 柳杉 2 樣木圓盤部份影像 (a) 24bit 全彩原始影像 (b) 8bit 灰階影像 (c) 經過影像分割後之黑白影像。

Fig4 Image analysis of Japan cedar disc 2 (a) 24bit true color image, (b) 8bit gray image, (c) black-white image after divided

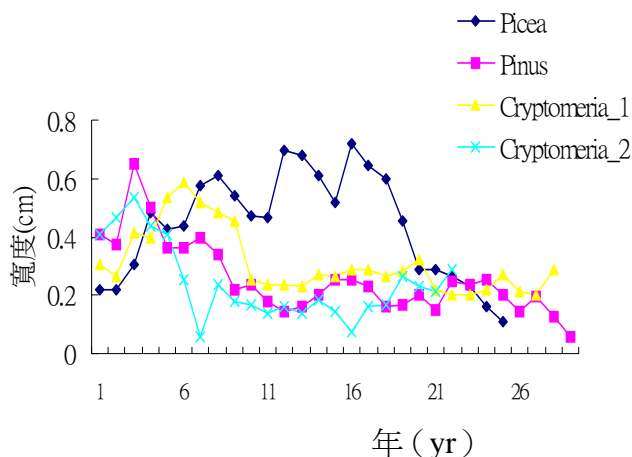


圖 5 四個圓盤試材每年樹輪寬度。

Fig5 Annual tree-ring width of 4 sample disc

結 論

以電腦影像處理為基礎，對於林木樹幹圓盤影像進行樹輪分析之研究，是具有高度的可行性。現今電腦運算速度、硬體設備與影像處理的技術，對於大量的資料與圖像資料處理更快速，並改善以往必須耗費大量的時間與人力，才能獲得樹輪資訊的障礙。

本研究是以台灣造林樹種，尤其是春秋材明顯之樹種為對象嘗試建立簡易可行的電腦化樹輪辨識系統架構（圖 6）。自影像中提取灰階資訊，並針對樹輪春秋材的特性，進行影像分割、灰階值變化圖與影像比對及人工的輔助判釋，可以快速的掌握每一個樹輪的邊界位置，並可進一步的計算樹輪寬度序列。對於計算林木連年生長量、定期生長量與總生長量等有相當大的助益，並可提供森林經營、育林措施效益評估及森林生態學上之研究一個獲取樹輪資訊的途徑，本研究所建立之簡易式樹輪影像分析系統已可順利運用台灣二葉松、雲杉及柳杉等樹輪較明顯樹種操作使用。

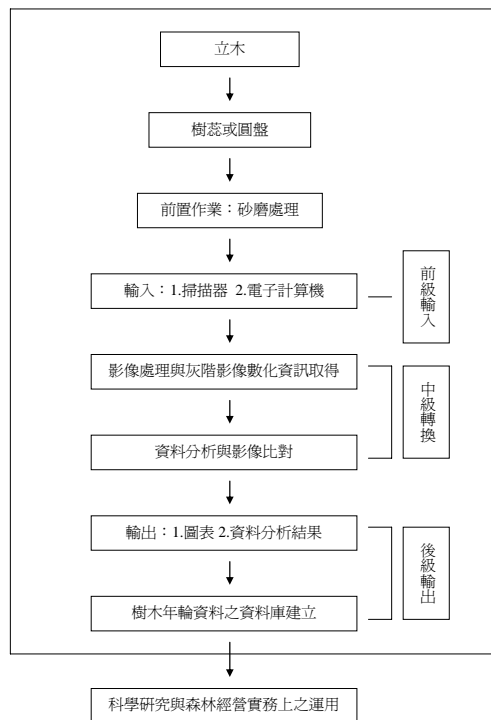


圖 6 電腦影像辨識樹輪系統完整架構圖。

Fig6 Frame of Computerized Image System on Tree-ring Measurement

參考文獻

邱景星。1994。台灣玉山冷杉樹輪中穩定同位素組成變化之初步研究。國立中山大學海洋研究所碩士論文。高雄。

呂志廣。2001。金門地區木麻黃生長與氣候關係之研究。國立東華大學碩士論文。花蓮。

吳祥定、邵雪梅。1990。樹木年輪與氣候變化。北京出版社。共 369 頁。

張秀慧。2000。台灣北部昆蘭樹樹輪對氣候因子之反映。國立台灣大學地質研究所碩士論文。台北。

程膺。1999。棲蘭山區樹木年輪和氣候關係之研究。國立東華大學碩士論文。花蓮。

詹明勳。1999。軟 X-射線-微密度計應用於台灣雲杉立木年輪寬度及密度曲線分析之探討。中華林學季刊 32 (4) : 555-567。

詹明勳、王亞男、王松永。2004。Soft X-ray 影像分

析法應用於天然林台灣檫、樟樹及烏心石樹輪寬度及密度分析之研究。中華林學季刊 37 (4) : 379-392。

鄒佩姍。1998。台灣山區近五百年來的氣候變化：樹輪寬度的證據。國立台灣大學地質研究所博士論文。台北。

鍾國亮。2002。影像處理與電腦視覺。台灣東華書局股份有限公司。P.83-108。臺北。

Clauson M. L. and J. B. Willson 1991. Comparison of video and x-ray for scanning wood density. Forest products journal. 41 (3) : 58-62.

Conner W. S. 1999. A computer vision based tree ring analysis and dating system. A thesis of department of electrical & computer engineering of the university of Arizona in the graduate college. p.10-20.

Eddy, A (ed.) 1992. The Pages project proposed implementation plans for research activities. GlobalChange Report 19, Stockholm. 110ppp

Fritts, H.C. and T.W. Swentnam. 1989. Dendroecology : A tool for evaluating variations in past and present forest environments. Advance in ecology research Vol.19 : 111-188.

Laroque, C. P., D. J. Smith. 1999. Tree-ring analysis of yellow cedar (*Chamaecyparis nootkatensis*) on Vancouver Island, British Columbia. Can. J. For. Res. 29 : 115-123.

Otsu, N., 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Trans. Systems Man Cybernet. 9 (1) 62-69.

Rinn F., FH Schweingruber, E. Schar 1996. RESISTOGRAPH and X-RAY density charts of wood comparative evaluation of drill resistane profiles and X-ray density charts of different wood species. Holzforschung 50(4):303-311.

Stahle, D. W., and M. K. Cleaveland. 1994. Tree-ring reconstructed rainfall over the Southeastern U.S.A. during the medieval warm period and little ice age. Climate. 26 : 199-212.

Thetford R. D., R.D. D'arrigo, and G.C. Jacoby, 1991.

An image system for determining densitometric and ring-width time series. Can. J. For. Res. 21 : 1544-1549.

Xiong, L., N. Okada, T. Fujiwara, S. Ohta, and J. G.

Palmer, 1998. Chronology development and climate response analysis of different New Zealand pink pine (*Halocarpus biformis*) tree-ring parameters. Can. J. For. Res. 28 : 566-573.

95年08月15日投稿

95年12月06日接受