

開發一個動態輪廓模型技術為基礎之線上觀測平台並應用於植物生長情形監測

蔡哲民¹ 王建仁¹ 賴峻廷¹ 傅耀賢^{2*}

¹崑山科技大學資訊管理系

²高雄醫學大學生物醫學暨環境生物學系

(收稿日期：2007.9.13，接受日期：2007.10.31)

摘 要

本研究運用改良之動態輪廓模型 (Active Contour Model) 演算法來製作一套同時具備即時植物影像追蹤與生長量測記錄之觀測平台，透過本平台可線上針對所欲觀測進行遠距而即時之植物觀察、測量與生長追蹤。此一即時觀測平台使用 CCD Camera 進行影像的擷取，並以 Java 程式開發而成。本系統運作上只需於首度使用時以滑鼠針對植株或標的構造做概略的圈選標示，在完成初步手動標示後，系統隨即利用動態輪廓模型演算法將物件邊緣資訊進行精確之擷取，同時計算並記錄該物件質心座標與輪廓區域之面積，並在植物持續之生長過程中進行長時間的連續追蹤、記錄，並持續更新相關植株生長的量化數據資訊。由於系統運作採用電腦自動化非破壞性量測，故在植物生長觀測過程中可降低人為的干擾與破壞，可提供相關植物生長與發育實驗觀察之遠距教學應用，並提供植物學研究中對於特有物種的控制培育條件之觀察與評估，而系統記錄之量測數據亦可供日後研究人員進行相關影響植物生長因子分析之用。

關鍵詞：動態輪廓模型、即時追蹤、影像標示

緒 言

以往在植物的生長觀測過程中大多採用人工方式，於固定時間間隔針對觀測的植株進行量測或採樣，記錄其生長高度、葉片覆蓋面積等資訊。此一觀測方式如於大量的植株觀察情形下，不但需耗費大量人力，其生長過程中也易受觀測過程過多的人為操作的干擾影響。

為避免上述因觀察方法所衍生之問題，曾有學者提出一套非破壞性的植物影像量測分析系統 (Chi *et al.*, 2003; Chien *et al.*, 2005)，該系統採用監督式的 K-means 演算法，故當使用者欲進行植物生長量測時皆須事先制定影像切割的分群數，因此無法於植物生長過程中進行隨時觀察，並達到自動量測之目的。除此之外，由於該系統為單機的操作模式，故當使用者於異地時將無法進行遠距觀測與記錄。

為進一步改善上述自動化觀測問題，先前我們曾使用傳統動態輪廓模型演算法進行植物生長過程的追蹤 (Tsai *et al.*, 2006)，觀測者僅需於第一次觀測時進行初始輪廓的標示，系統將使用

Sobel 運算子 (Gonzalez and Woods, 2002) 進行邊緣偵測與動態輪廓模型演算法持續追蹤物件輪廓的變化，當植物於生長過程發生變化時系統將隨時修正並更新物件輪廓位置資訊。除此之外，透過 CCD Camera 對欲觀測之植物進行拍攝，並透過網路將即時影像傳送給遠端的觀測者，於是提供觀測者於異地即時進行植物的生長觀測之功能。但受 CCD Camera 進行動態影像畫面擷取中雜訊干擾的影響，常容易造成邊緣輪廓收斂錯誤，除此之外，由於植物的生長觀測屬於長時間的物件追蹤，傳統的動態輪廓模型演算法於長時間的運算後易出現過度收斂的情形。為了改善舊有演算法上的缺點，本研究提出一套改良動態輪廓模型演算法之線上植物影像觀測平台，改良後的動態輪廓模型演算法除了以傳統的動態輪廓模型為基礎外，並且在候選控制點的選擇及移動上加入生物特徵作為考量，以提高輪廓收斂的正確性。本研究亦加入判定輪廓收斂的運算，使系統可依據輪廓控制點的變化量自動判斷標示輪廓是否已完成收斂，完成物件邊緣資訊的搜尋，於判定收斂完畢之後計算並記錄物件質心

*通信作者：傅耀賢 (Yaw-Syan Fu)；FAX：886-7-3227508；E-mail：m805004@kmu.edu.tw

位置及物件輪廓包圍面積，作為植物生長記錄之用。

材料與方法

系統架構與運作

本研究以「園藝植物生長」為例，將植物種植於穩定光源的環境中，以 CCD Camera 作為影像來源與擷取工具。系統架構採用 Open Source 的 Linux 為伺服器架設平台，將影像資料傳回 client 端，而追蹤程式則由 Java 開發而成，系統可由使用者根據所欲觀測植物之生長速率來設定間隔時間進行影像物件的輪廓更新修正以提供植物生長變化的影像追蹤與量測，本研究中暫時設定為每間隔 3 秒執行一次影像物件的輪廓更新修正。系統架構圖如圖 1 所示，硬體取圖環境如圖 2a 所示，系統程式的執行畫面如圖 2b 所示。

影像物件追蹤

本平台在影像物件追蹤上主要是使用動態輪廓模型演算法 (Kass *et al.*, 1988)，又稱為蛇形演算法 (Snake)，該演算法最早於 1988 年由 Kass 所提出。此種演算法近年來常見於醫學影像 (Xu *et al.*, 1999; Davatzikos and Prince, 1995; Sung *et al.*, 2002) 的處理，雖然其特性主要是針對低對比與高雜訊之影像切割與邊緣偵測有較好的處理效果，但在影像雜訊強度較大的情形下仍嚴重影響物件邊緣的收斂效果。除此之外，傳統動態輪廓模型在運算迭代次數上不易明確訂定終止條件。故本系統於動態輪廓模型的候選控制點選取移動分析中加入了生物輪廓特徵的輔助及簡易的收斂條件判斷，以提高物件輪廓收斂的正確性並縮短運算時間。

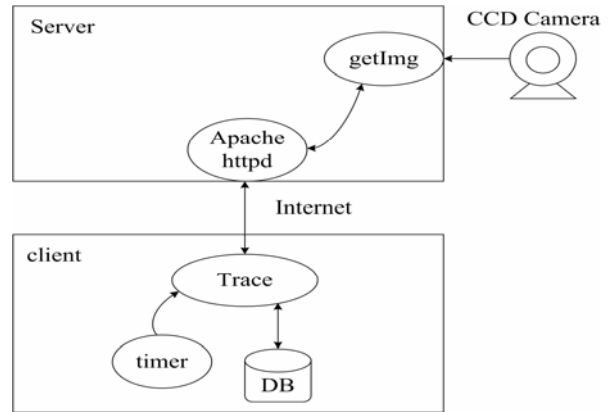
傳統動態輪廓模型演算法

動態輪廓模型演算法主要概念為將擷取之影像中所被觀察之物件輪廓定義為一條封閉曲線，如 (公式 1) 所示，而該曲線方向之變化受到輪廓曲線內部能量與外部能量 (Xu and Prince, 1998) 的影響，如 (公式 2) 所示。

$$v(s) = (x(s), y(s)) \quad (1)$$

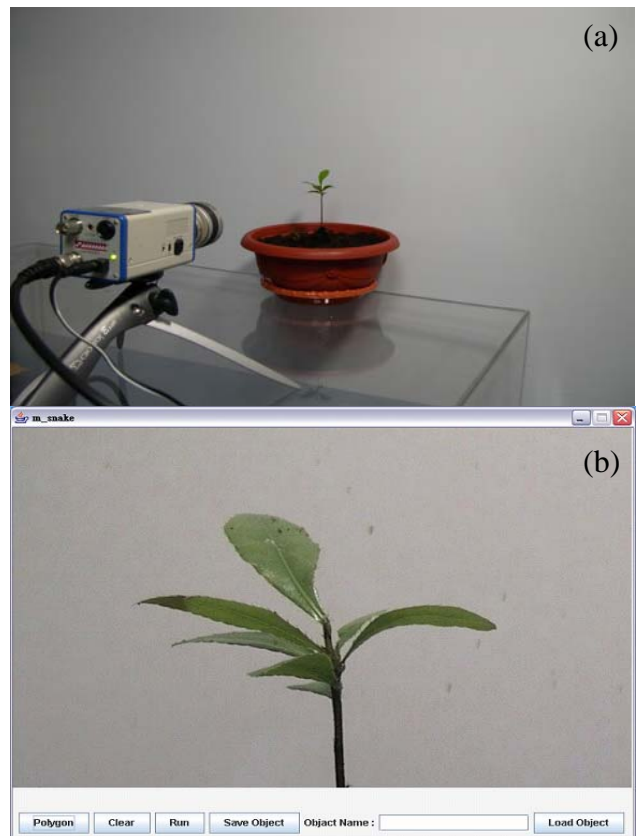
$$E_{total} = \int_0^1 E_{snake}(v(s)) ds = \int_0^1 (E_{int}(v(s)) + E_{ext}(v(s))) ds \quad (2)$$

其中 E_{total} 代表整個輪廓的總能量，而 $E_{snake}(v(s))$ 則為輪廓上某個控制點之能量，而總能量又為內部能量 $E_{int}(v(s))$ 與外部能量 $E_{ext}(v(s))$ 之總和所組成，該演算法目的即在當系統計算求出整個輪廓總能量



圖一、系統架構圖中主要分 CCD Camera、伺服器端及 Client 端等三大部分，其中 Client 端透過網際網路進行觀測與資料收集。

Figure 1. System Structure: This system is organized with three components: CCD camera, Server and Client. The observation and data collection processes are operated by client through the internet.



圖二、為進行本系統開發與測試時之一般室內取圖環境與設備(a)，由 CCD Camera 擷取影像後匯入系統程式之執行畫面(b)。

Figure 2. Figure(a) shows the system hardware and the testing environment. In figure(b), the image displayed on the screen is captured by the CCD camera.

的最小值時即為物件輪廓所在之精確位置。

動態輪廓模型之內部能量

動態輪廓模型演算法中輪廓曲線的內部能量定義為輪廓上各單一控制點所計算出的能量，代表輪廓曲線上控制點分布的相依關係，如(公式 3) 所示：

$$E_{int} = (\alpha |V_s(s)| + \beta |V_{ss}(s)|) / 2 \quad (3)$$

其中 α 與 β 為第一項與第二項的參數，其主要在維持輪廓之線性及平滑度，當 α 越小將導致輪廓的連續性降低， β 越小則輪廓變的更平滑，公式中的 $|V_s(s)|$ 與 $|V_{ss}(s)|$ 則為控制點 V_i 輪廓曲線的一階微分(斜率)與二階微分(斜率變化率)，亦可表示成(公式 4)與(公式 5)。

$$|V_s(s)| = \left| \frac{dv_i}{ds} \right| = |v_i - v_{i-1}| \quad (4)$$

$$|V_{ss}(s)| = \left| \frac{d^2v_i}{ds^2} \right| = |v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}| \quad (5)$$

動態輪廓模型之外部能量

演算法中輪廓曲線外部能量的定義為經由影像資訊所計算出來的能量，當物件輪廓出現位置之影像梯度變化較其鄰近區域大，其運算式如(公式 6)所示。

$$E_{ext} = -\gamma |G(x, y)| \quad (6)$$

式中 $|G(x, y)|$ 為影像的梯度值， γ 為能量的控制參數，外部能量其主要作用在於促使原始輪廓移動並趨近至影像特徵上。本系統中所使用的梯度值取得方法為 Sobel 運算子 (G. R. Gonzalez and R. E. Woods, 2002)，使用水平遮罩 G_x 與垂直遮罩 G_y 對來源影像 $I(x, y)$ 做運算，其運算式如下(公式 7)、(公式 8) 和 (公式 9)所示：

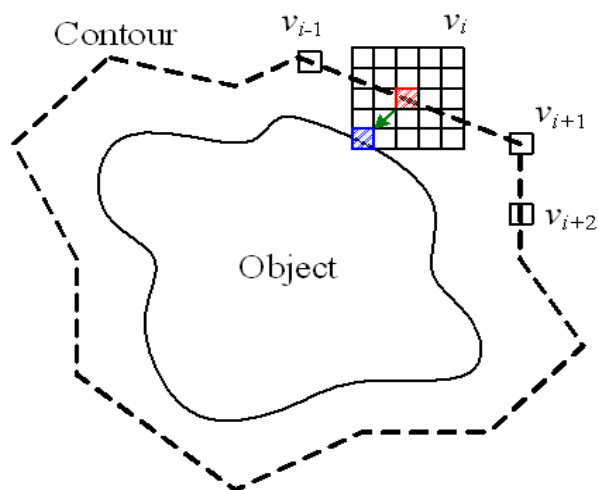
$$G_x(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * I(x, y) \quad (7)$$

$$G_y(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * I(x, y) \quad (8)$$

$$G(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (9)$$

透過由(公式 3) 與 (公式 6)，可進一步將(公式 2) 改寫如下(公式 10)。

$$E_{modr} = \int_0^1 ((\alpha |V_s(s)| + \beta |V_{ss}(s)|) / 2 - \gamma |G(x, y)|) ds \quad (10)$$



圖三、候選控制點搜尋移動示意圖，其中 V_i 代表原輪廓之控制點，Object 為被觀測物件之實際輪廓。

Figure 3. An example of the movement of a candidate control point. V_i represents the control point of the original contour. The goal is to move the control points to the boundary of the object.

在影像更新後，當系統運作時藉由上列公式針對原輪廓上各個控制點周圍固定大小區域計算出能量最小出現的位置，並將該控制點移動至該座標位置上，使更新後輪廓逼近新影像物件的邊緣，其示意圖如圖 3 所示。

自動收斂判定

以往在動態輪廓模型運算中大多需以人工檢視的方式來判定輪廓完成收斂與否，並調整收斂運算次數的監督式判定。如用在進行長時間觀測的影像追蹤上，若仍採用監督式判定將耗費大量的人力，而無法符合系統自動化觀測之要求。為在動態輪廓模型演算法中使輪廓能具備有較佳的收斂效果，因此系統在收斂過程中會於等間距的線段上自動產生新的控制點，且當控制點間距離過小時將予移除。因此，實驗觀察發現，演算法執行運算時控制點數量會不斷大幅度變動，惟當曲線收斂愈貼近物件邊緣時而逐漸趨於穩定，且控制點數量僅微量變化。故為使系統具備自動判別輪廓是否已收斂完成，以便進行物件質心及輪廓面積的計算達成自動化觀測的目的，本研究加入了自動判定的機制，該機制是依據觀察演算法執行時輪廓上控制點的變化所制定而成，該機制如(式 11) 所示。式中 N_{pre} 代表前一狀態的控制點個數， N_{now} 代表現在狀態下的

控制點個數， $N_{threshold}$ 代表控制點數量的門檻值， T 代表百分比數。但由於所追蹤的物件有大、小之差異，當所觀測物件較大時應以變動量的百分比來衡量，如物件較小時應以控制點的變動數量來衡量。

$$\begin{aligned} & |N_{pre} - N_{now}| < N_{threshold} \\ \text{or } & |N_{pre} - N_{now}| / N_{pre} < T\% \end{aligned} \quad (11)$$

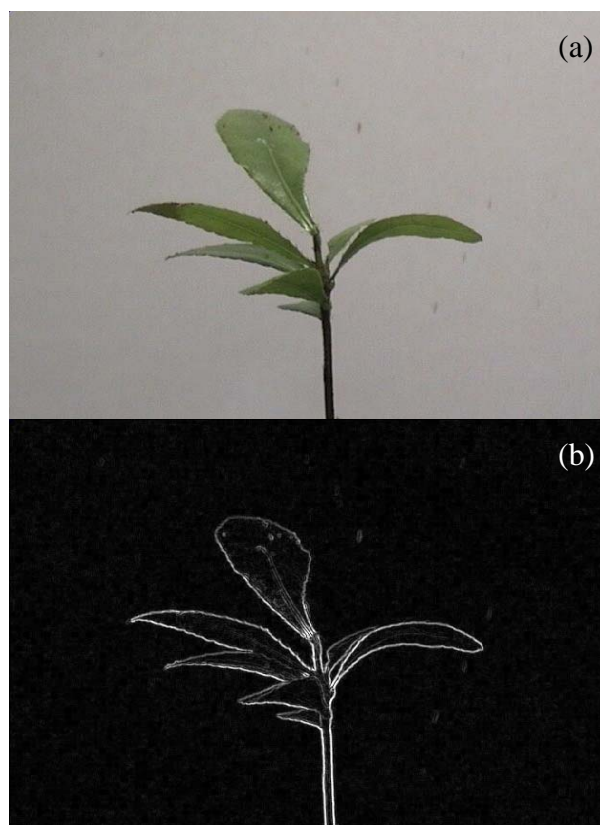
生物輪廓特徵之判斷

由於影像背景中可能包含各種雜訊梯度的存在，這樣的背景梯度將可能使得物件輪廓在更新修正時受到雜訊的干擾而產生輪廓追蹤上的錯誤。本系統為修正此問題除了透過濾波器將背景雜訊加以濾除降低其影響外，亦加入生物輪廓特徵的判斷以減少輪廓追蹤錯誤的發生。生物輪廓判斷主要依據的準則在於一般自然界中非人為的物體其輪廓曲線之斜率較少出現非連續性大幅度變化之曲折的現象，故在執行動態輪廓模型演算法過程中，輪廓候選控制點的搜尋及移動時預先進行角度的運算，當運算結果判定出現大幅度曲折時，系統初步先認定該候選控制點的選取是不合理的，遇有此情形時便放棄該候選點並重新進行能量的運算，挑選符合條件之新候選點以供系統檢核，如結果還是一樣則系統接受該選取之控制點，判斷式如 (式 12 所示)，式中 v_c 代表候選控制點。

$$|v_i - v_{i-1}|^2 + |v_c - v_{i-1}|^2 > |v_c - v_i|^2 \quad (12)$$

結 果

本研究以「園藝植物生長」為例進行系統研發與測試，實驗平台採用配備 Intel Core 2 Duo 1.83GHz CPU、2GB RAM 之 PC，觀測平台遠端即時取得之植物影像如圖 4a 所示，圖 4b 為將所取得之原始影像轉成灰階影像後經過 Sobel 演算法經邊緣偵測之結果，可見除植株影像之輪廓外，包括背景、雜訊甚至葉脈等存在較大幅度影像梯度變化之非標的物件資訊。在改採動態輪廓模型演算法來進行被觀察植株或構造之邊緣偵測時，首先，觀測者以人工方式進行粗略之初始輪廓定義 (圖 5a)，如僅採用傳統動態輪廓模型演算法所得之植物輪廓追蹤結果 (圖 5b)，可發現運算所得之物件輪廓並未完全貼合影像輪廓而出現明顯偏差。在圖 4b 可看出原始影像中所包

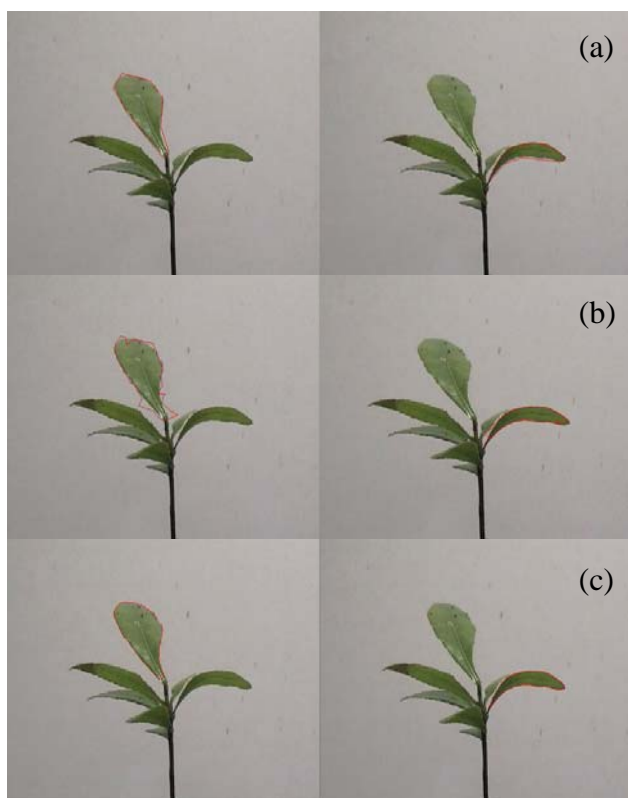


圖四、由 CCD Camera 所擷取之原始影像(a)，圖形灰階化後經由 Sobel 梯度運算的物件輪廓與背景雜訊結果(b)。

Figure 4. Figure(a): The original image captured by the CCD camera. The color image is first transformed into gray-level image. Then, Sobel gradient operator is applied to derive the contour. The result is shown in Figure(b). Some background noise can be observed in Figure(b), too.

含的許多背景雜訊及由圖 5b 所呈現之物件邊緣追蹤結果，可知這些雜訊可能對於使用傳統的動態輪廓模型在運算上形成極大的干擾，並造成物件輪廓搜尋的錯誤。

以本研究運用生物輪廓特徵判斷之動態輪廓演算法實驗結果如圖 5c 所示，可見運算所得之物件輪廓幾乎完全貼合影像之實際輪廓，可有效消除原始影像中背景雜訊對於動態輪廓演算法之干擾並減少在輪廓搜尋與運算上的錯誤。此外，為測試系統在連續觀測之穩定性，實驗中針對觀測的植物進行 48 小時長時間之連續追蹤的測試結果如圖 6a、6b。在經過 48 小時的連續追蹤觀測後，系統所追蹤與運算之輪廓依然與實際物件輪廓準確密合，可見本系統對於物件形態之動態追蹤與紀錄功能在應用於長時間的連續觀測時具備高度的穩定性與準確性。



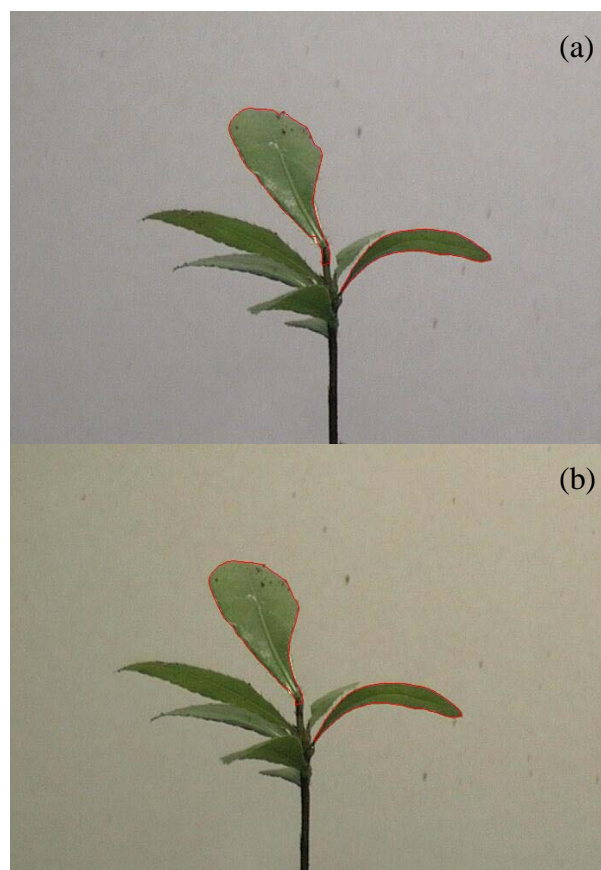
圖五、以人工方式定義不同被觀測物件之初始輪廓(a)，以傳統動態輪廓模型追蹤結果(b)，以及利用本研究結合生物輪廓判斷之改良式動態輪廓模型運算結果(c)。

Figure 5. Figure(a): The initial contour marked by the observer. Figure(b) shows the converged contour using original active contour model. Figure(c) shows the converged contour using the proposed modified active contour model.

在本研究之實驗中，以傳統動態輪廓模型進行動態輪廓追蹤其每次運算所需之平均時間約為 $276\text{ms}\pm 23\text{ms}$ ，而本系統平均時間則約為 $385\text{ms}\pm 31\text{ms}$ 。相較於傳統動態輪廓模型演算法，本文所提之改良式動態輪廓模型結合生物輪廓特徵作為候選控制點選擇的依據，雖然本系統所新增特徵判斷運算增加每次運算所需時間約 109ms 。但本研究中另外加入自動化之輪廓追蹤工作完成的終止判定條件，系統藉由觀察運算過程中控制點逐漸逼近並落於實際輪廓的過程中，由不斷變動而達穩定狀態的特性，來提出簡易的系統中止輪廓追蹤工作的依據與判定標準，以達自動化的目的。

討論

本研究以「園藝植物成長」為例，應用動態



圖六、左邊為第一次觀測之情形(a)，右邊為 48 小時後追蹤情形(b)。

Figure 6. Figure(a) shows the converged contour of the first tracking. Figure(b) shows the converged contour after 48 hours observation.

輪廓模型結合生物輪廓特徵判斷進行植物生長過程的追蹤觀測。利用平均濾波器搭配生物輪廓特徵的運算，可有效的降低雜訊干擾的情形，提升輪廓收斂的正確性。雖然本文所提之方法每次平均運算時間為 385ms ，相較於傳統演算法多了 109ms ，但利用收斂條件的制定，系統將可自動判斷輪廓是否完成收斂達到穩定的狀態，於運算穩定後自動計算物件的質心與輪廓面積並加以記錄。在自動終止條件的判定上，本研究首度採用計算控制點變化量的方式作為評估依據，此方式僅統計輪廓上的控制點個數以避免複雜的計算，可減少系統用於判斷輪廓收斂完成所需運算量、提升單位時間內的運算次數，並藉此縮小運算間隔時間中物體影像的變化程度，進一步提高連續追蹤時動態輪廓模型收斂的正確性。對於移動速度慢且需長時間追蹤的條件下，本系統可達自動化的追蹤、觀測與紀錄之實驗要求，降低人力的耗費。

除此之外，本系統結合 CCD Camera 與網頁伺服器的運用，觀測者可透過網際網路於異地即時觀測植物生長之情形，期能進一步對於生物學上相關植物的教學、研究提供實驗設計上更為靈活與便利的應用性與助益。

誌 謝

本研究之完成受國科會計畫 (NSC 96-2520-S-168-001) 之經費支持，並感謝崑山科技大學資訊管理學系與高雄醫學大學生物醫學暨環境生物學系在研究相關空間與設備之提供。

參考文獻

- Chi YT, Chien CF and Lin TT. 2003. Leaf shape modeling and analysis using geometric descriptors derived from Bezier curves. *Trans. ASAE*. 46(1) :175-185.
- Chien, CF and Lin TT. 2005. Non-destructive growth measurement of selected vegetable seedlings using orthogonal images. *Trans. of the ASAE*. 48(5) : 1953-1961.
- Davatzikos CA and Prince JL. 1995. An active contour model for mapping the cortex. *Medical Image, IEEE Transactions*, 14(1) : 65-80.
- Gonzalez GR and Woods RE. 2002. *Digital image processing*, 2nd ed., Prentice-Hall, New Jersey.
- Kass M, Witkin A and Terzopoulos D. 1988. Snake: Active contour model. *Intern. J Comp. Vis.* 321-331.
- Sung YJ, Chien SC and Chen JC. 1992. Segmentation of visible human data using gradient vector flow deformable model. *J. Med. Bio. Eng.* 22(S) : 61-67.
- Tsai JM, Fu YS, Chou HH and Lai GT 2006. A plant image teaching platform with ability of marking and tracking objects. *Proc. of TANET 2006*, N1419.
- Xu C and Prince J L. 1998. Generalized gradient vector flow external forces for active contours. *Sign. Proc.* 71(2) :131-139.
- Xu C, Pham DL, Rettmann ME, Yu DN and Prince JL. 1999. Reconstruction of the Human Cerebral Cortex from Magnetic Resonance Images. *IEEE Trans. Med. Imag.* 18(6) : 467-480.

Developing a Web Based Observation Platform Using Active Contour Model Technique and Applying to Plant Growth Observation

Jer-Min Tsai¹, Chien-Jen Wang¹, Jiun-Ting Lai¹, Yaw-Syan Fu^{2*}

¹Department of Information Management, Kun Shan University
Tainan, Taiwan

²Faculty of Biomedical Science and Environmental Biology, Kaohsiung Medical University
Kaohsiung, Taiwan

(Received: 13 September 2007, accepted: 31 October 2007)

ABSTRACT

In this paper, we describe a remote plant growth observation system. This system has the capacity to on-line measure and record the data of plant growth. The tracking mechanism is based a modified active contour model. Users just need to roughly mark the target plant to be the initial contour. The system will continuously track the plant growth. The area encircled by the contour and the corresponding mass center will be computed and recorded automatically. This system is developed using Java language. Images are caught by a CCD camera and sent to the server through internet. Since only images are used in analysis, the plants and the environments won't be destroyed and the growth of the plants won't be disturbed. In addition, due to the ability of remote observation and data measurement, this system can also serve as a botany teaching platform.

Key words: active contour model, on-line tracking, object marking