

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※

※

以機器視覺與計算機繪圖學為基礎的 虛擬植物系統之建構(II)

※

※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2313-B-002-264

執行期間： 90年 08月 01日至 91年 07月 31日

計畫主持人：林達德

研究助理：李桂芝

研究生：錢中方

研究生：王嘉銳

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學生物產業機電工程學系

中華民國 91 年 05 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫執行進度報告

以機器視覺與計算機繪圖學為基礎的虛擬植物系統之建構(II)

Development of a Virtual Plant System Based on Machine Vision and Computer Graphics (II)

計畫編號：NSC 90-2313-B-002-264

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：林達德 國立臺灣大學生物產業機電工程學系

一、中文摘要

本研究之目的為建構一個以機器視覺與計算機繪圖學為基礎的虛擬植物系統。在此系統中，我們應用機器視覺自動擷取植物的特徵，再依植物特徵建立植物之基本結構模式與生長模式，進而以三維計算機繪圖的技術展現植物外觀或植物發展的過程。虛擬植物系統中將包括以下幾個子系統：(1)植物特徵自動量測系統，(2)植物結構模式，(3)植物生長模式，(4)虛擬植物之幾何模擬模式，(5)計算機繪圖函式庫元件與模擬軟體。虛擬植物系統之建構規劃以三年時間分階段完成。本年度為計畫第二年，所完成工作重點分別為建立應用於植物葉片特徵描述與辨識之軟體，發展與改善計算植物結構之演算法，以及建立植物構成單元與器官的幾何模擬軟體，以達成建構虛擬植物系統第二階段的工作。

關鍵字：虛擬植物、機器視覺、計算機繪圖學、植物結構、生長模式

Abstract

The objective of this research is to develop a virtual plant system based on machine vision and computer graphics. This virtual plant system allows for automatic extraction of plant features using machine vision. The plant features are inputs to the model building process for plant architecture and growth models in the system. Combining the plant models, 3-dimensional computer

graphic visualization can be achieved to display plant structure and dynamic development. The virtual plant system includes the following sub-systems: (1) The automatic feature measurement system. (2) The plant architecture model. (3) The plant growth model. (4) The geometric model for virtual plants. (5) The simulation software and components of computer graphics library. The research tasks achieved during the second year of this 3-year project were the implementation of a software for leaf feature description and pattern recognition, the development and modification of algorithms for plant structure reconstruction, and the development of a software for computer graphic simulation of plant unit modules and plant organs.

Keywords: Virtual plant, Machine vision, Computer graphics, Plant architecture, Growth model

二、緣由與目的

虛擬植物系統的應用相當廣泛(Room et al., 1994)，除在學理上可據以探討植物生長型態與結構分析外，在農業生產的應用上，結合植物生長模式的虛擬植物系統可用以預測與展現環境條件對於作物生長的影響(Pasian and Lieth, 1994; Fisher et al., 1996)，在病蟲害防治的應用方面，則常用於模擬植物與昆蟲間的交互影響。虛擬植物系統的建立亦有助於在植物生理方面瞭

解植物的發展過程及各種假說的測試，例如植物開花的控制與複雜的植物分枝結構分析(Janssen and Lindenmayer, 1987; Prusinkiewicz et al. 1988; Honda 1971; Borchert and Honda, 1984)。此外，虛擬植物系統的另一個重要應用領域則是在景觀設計以及電腦輔助教學的應用上(Jaeger and de Reffye, 1992)。

一般而言，虛擬植物系統的建構必須包括以下幾個重要的過程：(1)植物特徵量測，(2)植物結構模式的建立，(3)植物生長模式的建立，(4)虛擬植物之幾何模擬模式的建立，(5)應用計算機繪圖之視覺化過程。因此，這是一個跨領域的研究，其核心包括了植物學、模式分析、資訊理論、計算機繪圖學、生物型態測量學(Morphometrics)、數理生物學等領域的綜合應用。透過計算繪圖的技術來展現植物外觀或植物發展的過程，由於其背景有理論模式的依據，因此模擬的結果不僅可以使研究工作者更直觀地瞭解植物之空間結構與動態變化，更可以將研究過程之數值或概念直接與真實的自然界現象互相對照與驗證(Prusinkiewicz, 1997)。

植物特徵的擷取與量化是建構虛擬植物系統的一個重要課題，依據量化特徵及適當的植物結構與生長模式所展現的虛擬植物，才具有生物學上的意義。以往的許多相關研究，有關植物特徵的量測資料相對較少，且多是以人工方式量測，相當耗時費力，在本研究中，我們則應用機器視覺的技術，建立三維植物特徵量測的演算方法，達到快速與非破壞量測的目的。在植物結構模式的建立方面，本研究是以Lindenmayer systems (L-systems)為核心，針對種苗與花卉作物，建立個別的結構模式(Lindenmayer, 1968; Herman and Rozenberg, 1975; Prusinkiewicz and Lindenmayer, 1990;

Hanna, 1992)。至於虛擬植物的視覺化部分，則以OpenGL繪圖函式庫為核心，發展程式元件，進行三維計算機繪圖及併入光影效果。

三、研究設備與方法

本研究於計畫第一年度發展了一套採用雙CCD攝影機的機器視覺系統，分別由植物上方與側方擷取影像，擷取影像時將植物置於一自動旋轉機構上使之能原地旋轉，以便CCD攝影機能擷取各角度的影像，旋轉機構乃以步進馬達置於一套軸中並連接一旋轉平台而成，步進馬達的旋轉則是以個人電腦透過單軸定位卡與驅動器進行控制。影像擷取後再進行彩色影像分割去除背景，以分析與計算特徵三維座標。

在植物結構之建立與基本量測方面是應用L-system的基本架構，建立植物的基本結構，本年度之研究重點是透過影像處理的方法建立植物構成的單元如葉片與花瓣等，進而再依植物結構模式組成植物器官或植株本體。有關計算機繪圖的部分，是採用OpenGL繪圖函式庫為發展基礎。我們是在個人電腦Windows作業系統環境下以Borland C++ Builder進行機器視覺系統與計算機繪圖功能的整合與建立軟體使用者介面。

四、結果與討論

(一) 植物葉片特徵描述與辨識

葉片為構成植物體的重要單元，本年度計畫中以影像處理的方式，先擷取與分析多種植物葉片與蔬菜種苗葉片的形狀，以兩段Bézier曲線來表示葉片的形狀，以達到以少量資訊即能準確地描述葉片的形狀。同時由曲線配適所得之幾何模擬Bézier曲線推導出適用於植物葉片特徵描述與分類的特徵描述子，如葉尖角、葉基角、逼

近誤差、控制線長比等。圖1所示即為以杜鵑花葉片為對象進行影像處理所得到的配適曲線與特徵描述子。

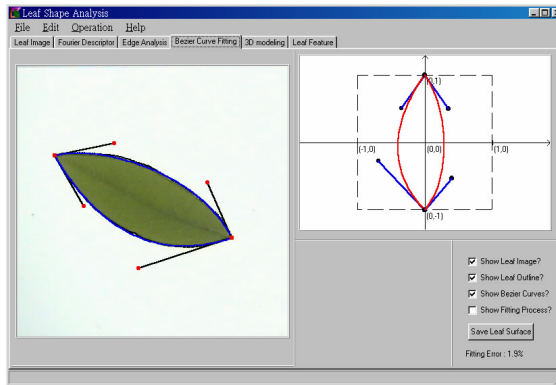


圖 1 以 Bèzier 曲線描述植物葉片型態同時計算其特徵值

圖2所示則為以四種蔬菜種苗葉片為對象進行葉片特徵的分析，由圖可以看出所推導的葉尖角與葉基角為適用於分類的植物葉片幾何特徵。

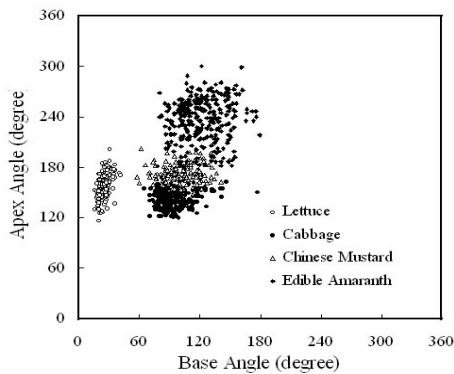


圖 2 以葉尖角與葉基角特徵對四種蔬菜種苗的葉片進行分類

求得葉片型態及其幾何模擬參數後，該葉片可以進一步輸出為計算機繪圖的模組，亦可以於軟體視窗中進行形狀的修改與調整，最後再輸出至以L-system為基礎的虛擬植物模擬軟體中，進行計算機繪圖模擬。圖3所示為杜鵑花葉片經過圖1所示的步驟後所產生的計算機繪圖單元，以及進行形狀修改的軟體。結合影像處理的方法

與植物構成單元編修軟體，可以快速且正確地重建如葉片、花瓣等植物單元。

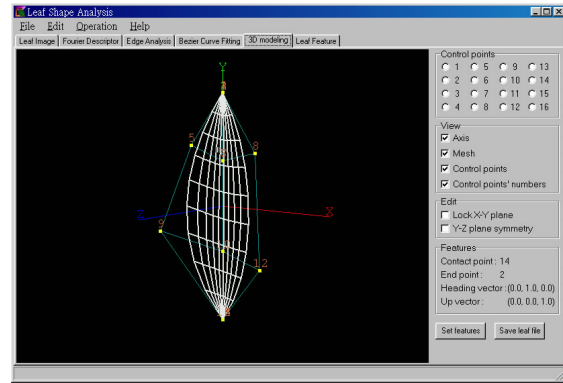


圖 3 植物構成單元編修軟體

(二) 植物構成單元幾何模擬

在本計畫中我們設計了一套植物結構L系統，此套L系統主要是由參數型L系統再加入括弧型L系統的觀念演變而來，具有根、莖與葉三種植物元件、多層分支的結構與生長變化的能力。進行計算機繪圖時，根代表繪製植物時的起始點。莖則是利用可彎曲的圓柱體表現。葉子的繪製分成葉柄與葉面二個部分。根莖葉三部分，以葉片的繪製較複雜，可分長方形葉片、橢圓葉片與Bèzier曲線葉片三種繪製方法。

本年針對植物單元與器官（如花與果實）加以擴充其語法，同時探討花與果實的結構及計算機繪圖方法。以花葉(phyllotaxis)為例，花朵中鄰近兩圈的花葉數常與Fibonacci序列有關，而且其兩數之間的比例大約收斂於黃金分割比例。而Fibonacci角度則約近似於 137.5° 。因此若我們讓L-systems照著 $\theta = n \times 137.5^\circ$ ， $r = c\sqrt{n}$ ，n是花葉的個數，r是各花葉到花中央的距離， θ 則是每個花葉繞行的角度。以4種不同的Fibonacci角度（ 137.5° 、 137.3° 、 136.0° 、 150.0° ）可以得到如圖4所示的四種不同花朵結構。同樣，其他型態的花朵也可以用相同的方法加以模擬。

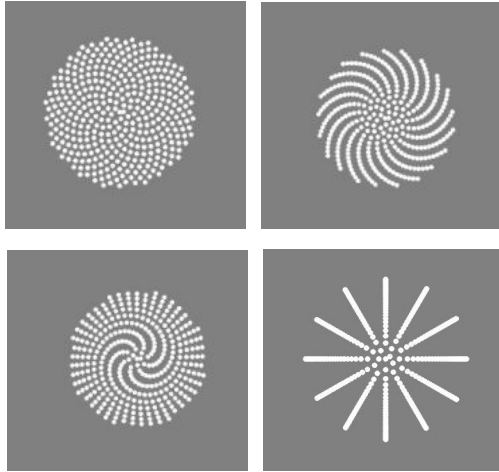


圖 4 以不同 Fibonacci 角度所計算出來的四種花朵結構

(三) 構成單元與器官的幾何模擬

圖 5 所示為綜合影像特徵擷取與擴充 L-Systems 語法以計算機繪圖所模擬的蔓藤與花。此類虛擬植物的型態，可以輕易地在目前所完成的軟體中，進行參數或指令的調整而加以模擬與分析。

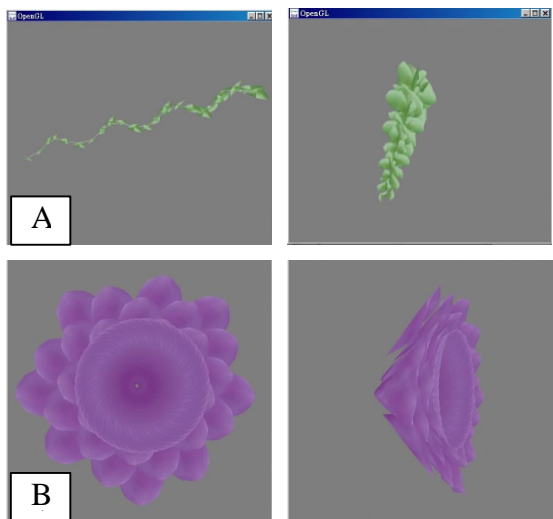


圖 5 以計算機繪圖所模擬出來的虛擬植物(A)蔓藤(B)花

五、計畫成果自評

本研究依原先計畫之規劃分別完成各項預定工作。在植物構成單元方面，建立了由影像直接進行特徵抽取與建立繪圖模組之軟體，同時對於虛擬植物的計算機繪圖演算法也加以擴充功能。部分的成果已

於2001年7月ASAE學會年會中發表，同時亦投稿至Transactions of the ASAE。

六、參考文獻

- [1] Borchert, R. and H. Honda. 1984. Control of development in the bifurcating branch system of *Tabebuia rosea*: a computer simulation. *Bot. Gaz.* 145:184-195.
- [2] Fisher, P.R., J.H. Lieth and R.D. Heins. 1996. Modeling flower bud elongation in Easter lily (*Lilium longiflorum* Thunb.) in response to temperature. *HortScience* 31(3):349-352.
- [3] Hanan, J.S. 1992. Parametric L-systems and their application to the simulation and visualization of plant development. Ph.D. thesis. University of Regina.
- [4] Herman, G.T. and G. Rozenberg. 1975. *Developmental Systems and Languages*. North-Holland:Amsterdam.
- [5] Honda. H. 1971. Description of the form of trees by the parameters of the tree-like body: effects of the branching angle and the branch length on the shape of the tree-like body. *J. Theor. Biol.* 31:331-338.
- [6] Jaeger, M. and P.H. de Reffye. 1992. Basic concepts of computer simulation of plant growth. *J. Biosci.* 17:275-291.
- [7] Janssen, J.M. and A. Lindenmayer. 1987. Models for the control of branch positions and flowering sequences of capitula in *Mycelis muralis* (L.) Dumont (Compositae). *New Phytol.* 105:191-220.
- [8] Lindenmayer, A. 1968. Mathematical models for cellular interaction in development. Parts I and II. *J. Theor. Biol.* 18:280-315.
- [9] Pasian, C.C. and J.H. Lieth. 1994. Prediction of flowering rose shoot development based on air temperature and thermal units. *Sci. Hort.* 59:131-145.
- [10] Prusinkiewicz, P. 1997. In search of the right abstraction: the synergy between art, science, and information technology in the modeling of natural phenomena. In: Sommerer, C., Mignonneau, L. (Eds), *Art at Science*. Springer-Verlag, Vienna.
- [11] Prusinkiewicz, P. and A. Lindenmayer. 1990. *The Algorithmic Beauty of Plants*. Springer-Verlag, New York. With Hanan, J.S., Fracchia, F.D., Fowler, D.R., de Boer, M.J.M. Mercer, L.
- [12] Prusinkiewicz, P., A. Lindenmayer and J. Hanan. 1988. Developmental models of herbaceous plants for computer imagery purposes. In *Proceedings of SIGGRAPH'88*, Atlanta, Ga., August 1-5, 1988. Edited by J. Dill. *Comput. Graphics* 22(4):141-150.
- [13] Room, P.M., L. Maillette and J.S. Hanan. 1994. Module and metamer dynamics and virtual plants. *Adv. Ecol. Res.* 25:105-157.