

行政院國家科學委員會專題研究計畫 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

(3/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2313-B-002-292-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物產業機電工程學系暨研究所

計畫主持人：林達德

計畫參與人員：李桂芝，錢中方，王嘉銳

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 11 月 1 日

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(III)

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2313-B-002-292

執行期間： 91年 08月 01日至 92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 92 年 10 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(III)

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

計畫編號：NSC 91-2313-B-002-292

執行期限：91年8月1日至92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是以三年的時間分階段完成。本年度為計畫第三年，順利達成三年計畫的整體計畫目標。而本年度所完成的主要工作分別為整合立體機器視覺系統對多組三視圖植物影像進行特徵抽取與分析，完整建立一套自動化且非破壞性、以結構為基礎的植物特徵數位化量測系統，並以所得到的量測資訊以逆向工程之原理重建多種虛擬植物之靜態模擬與生長模擬。

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 goal of this 3-year project was successfully achieved upon the completion of the project of this year. The major research work done in this year was the complete integration of the machine vision system with the recognition and correspondence algorithms for the orthogonal-view plant images so that plant features can be efficiently and automatically extracted for later 3D reconstruction of virtual plants. In addition, several static and dynamic virtual plant models were built to demonstrate the functions of the developed virtual plant system.

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、生物形態測量學(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)。

植物特徵的抽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, 因此在第二年度之計畫中我們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, 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。本年度計畫中則將軟硬體加以整合, 使系統得以由植物的三視圖影像中自動地抽取特徵, 以提供後端的三維重建系統展現虛擬植物, 同時在虛擬植物的L-system的架構中加入了動態與序率法則, 以更逼真地模擬靜態植物與植物的動態生長。

四、結果與討論

(一) 完整的虛擬植物系統架構

本計畫建構的虛擬植物系統架構圖如圖1所示。整體架構包括機器視覺系統及後處理與展現系統兩大部份。機器視覺部分之主要功能包括：植物三視圖影像之擷取、背景分離與特徵抽取等影像處理程式、特徵值量化分析與資料處理等。在後處理與展現系統部份，主要核心在L系統的字串疊代與解譯引擎，另一方面則在植物構成單元的計算機繪圖模型的建立。在葉片結構的模組建立方面，真實葉片經過葉緣偵測及葉片尖端偵測後，利用兩條貝氏曲線進行迴歸逼近其葉形。貼上事先取得之材質，之後調整左右半葉片夾角，使其呈現三維之結構，即完成葉片部分之重建。所得到的葉片結構資訊轉換成字串，以之置入L系統中，並定義葉片之代換字串，最後以OpenGL三維影像函式庫將之展現。除了葉片外，花瓣與花朵的建立也可以利用類同的方法予以模組化，併入L系統中以字串表示之，最後再透過計算機繪圖展現。

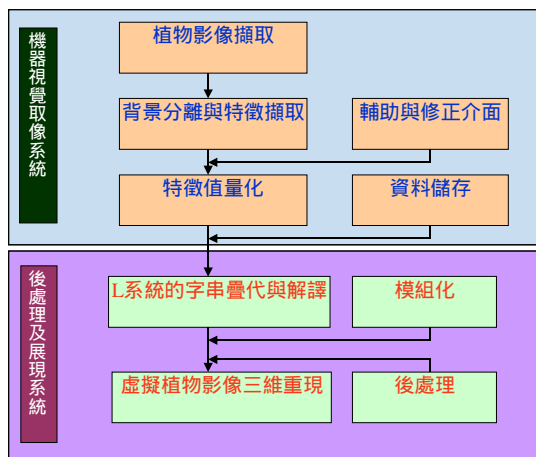


圖 1 虛擬植物系統架構架構圖

(二) 植物影像特徵抽取演算法

在機器視覺特徵抽取的方面，本年度計畫中對於自行發展的IPIMAS軟體原先

利用區塊分析法(blob)來進行上視圖葉片自動標記的方式，加強功能使其利用新開發的橢圓霍氏轉換方法對上視圖進行分析，並且由前視圖及側視圖利用凸面包圍的方式來決定葉身位置，給予上視圖資訊回饋，以判定出實際葉片位置。將如此的方法在不同之旋轉角度重複多組，然後利用投票法則決定最佳的解，定出實際葉片數及位置。圖2中所示即為以甘藍種苗為實驗對象進行三視圖影像特徵抽取與比對的程式執行畫面。圖中之葉片搜尋是以橢圓霍氏轉換達成，所抽取的特徵與三維座標則後續處理提供給計算機繪圖系統展現虛擬植物。

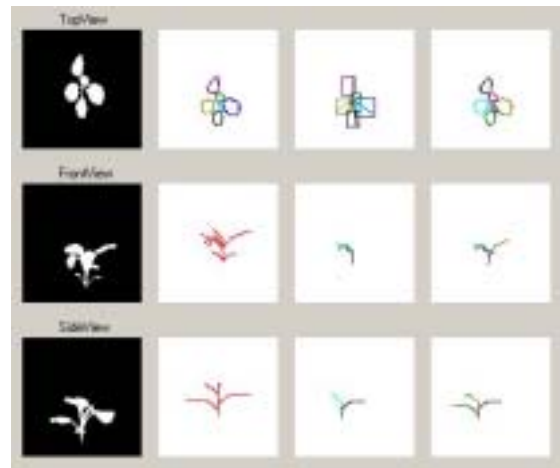


圖 2 甘藍種苗之三視圖影像特徵抽取與比對

(三) 虛擬植物展現

本研究中所發展的系統除了能夠模擬植物靜態的外觀外，也能將動態生長的變化表現出來。我們對於植物外形進行靜態的模擬，如圖3所示的蘭花，此虛擬植物模型可以用很小的資料量記錄，展現時則是以解譯引擎解讀字串並繪出虛擬植物。在模擬動態生長的變化方面，本年度計畫中於L系統中特別加強動態生長模式與序率的演算功能，使生長模擬得更符合植物的實際生長狀況。圖4所示為甘藍穴盤種苗在不同序率條件下，所模擬的結果。



圖 3 蘭花的計算機繪圖模擬



圖 4 穴盤甘藍種苗的序率生長模擬

(四) 多組比對在生長量測之應用

應用多組的三視圖分別進行葉片搜尋後，交叉比對出實際葉片數及位置，可以補足單組資訊之誤差以及降低葉片搜尋演算法上的錯誤。圖 5 所示即為利用此方法進行甘藍種苗連續生長量測的結果，應用此系統所量測得的資料包括了整株植物與個別葉片的生長曲線。

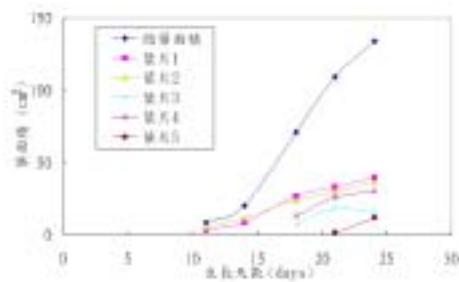


圖 5 甘藍種苗之葉面積生長量測

五、計畫成果自評

本研究依原先計畫之規劃分階段完成各項預定工作，順利達成虛擬植物系統軟體的建構，使植物的生長量測與模擬，得以用較自動化的方法進行，此計畫的研究成果，開創了我國在虛擬植物研究領域

的基礎。在研究成果的發表方面，總計三年計畫中所發表的學術期刊論文有5篇（2篇SCI期刊論文），會議論文有12篇。

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.