

研究報告

整合地理資訊與3D視覺化技術於森林步道 景觀動態模擬

汪大雄¹⁾ 謝漢欽^{1,6)} 江昱仁²⁾ 楊蓓涵³⁾ 陳財輝⁴⁾ 吳俊賢⁵⁾

摘要

近年來各種3D景觀動態模擬技術快速發展，由於能事先模擬各種景觀設計方案，已是景觀規劃過程中不可或缺的工具。本研究以林業試驗所蓮華池試驗林轄區為試驗研究的範圍，從試驗林多樣森林步道中選擇5種不同類型森林步道，使用空載光達高解析度數值地形模型及正射數位航拍影像當作3D地形基底。應用SketchUp 3D模型建構工具製作建物及設施的3D模型，運用Xfrog專業植物3D模型建構工具建立步道兩旁植物3D精緻模型；將森林步道相關地理資訊及各項3D模型整合在LandSim3D 3D景觀場景建置平台上，除可動態模擬現有森林步道景觀，並進一步模擬步道兩旁植物及相關設施配置改善方案。結果顯示透過本研究森林步道景觀視覺數位3D景觀場景建置系統平台，森林步道管理者協同景觀設計專家，可在平台進行森林步道不同場景設計之模擬和評估。此外本研究成果藉由專屬網站與公眾分享及推廣，亦可提供國內森林遊樂區於改善現行森林步道景觀及新設步道景觀規劃參考。

關鍵詞：地理空間資訊、森林步道、3D視覺化、森林景觀規劃。

汪大雄、謝漢欽、江昱仁、楊蓓涵、陳財輝、吳俊賢。2017。整合地理資訊與3D視覺化技術於森林步道景觀動態模擬。台灣林業科學32(1):15-30。

¹⁾ 林業試驗所森林經營組研究員，10066台北市南海路53號 Scientist, Division of Forest Management, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

²⁾ 國立臺東大學文化資源與休閒產業學系副教授，95092臺東市西康路二段369號 Associate Professor, Department of Cultural Resources and Leisure Industries, National Taitung Univ., 369, Shikang Rd., Sec. 2, Taitung 95092, Taiwan.

³⁾ 南台科技大學休閒事業管理系助理教授，71005台南市永康街一號 Assistant Professor, Department of Leisure, Recreation and Tourism Management, Southern Taiwan Uni. of Science and Technology, 1 Yuan-Kang st., Tainan 71005, Taiwan.

⁴⁾ 林業試驗所森林育林組研究員，10066台北市南海路53號 Scientist, Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

⁵⁾ 林業試驗所研究員兼主任秘書，10066台北市南海路53號 Chief Secretary, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei 10066, Taiwan.

⁶⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail: mickey@tfri.gov.tw

2016年2月送審 2016年3月通過 Received February 2016, Accepted March 2016.

Research paper

Integration of Geographic Information with 3D Visualization Technologies for Dynamic Simulations of Forest Trail Landscapes

Dar-Hsiung Wang,¹⁾ Han-Ching Hsieh,^{1,6)} Yu-Jen Chiang,²⁾
Pai-Han Yang,³⁾ Tsai-Huei Chen,⁴⁾ Chin-Shien Wu⁵⁾

【 Summary 】

In landscape planning, simulation of the landscape is a powerful tool for public understanding. In the simulation, the reality of the simulated image is very important and recent progress in computer graphics enables very precise simulation of landscapes. A walk-through simulation is a new technique for accurately analyzing landscape resources and assessing visual impacts of proposed plans. In this study, we integrated GIS and 3D animation techniques to develop an animation system to show the landscape visualization of 5 types of forest trail in the Lienhuachi Research Center, Taiwan Forestry Research Institute. Digital terrain models in the research area were built using Lidar image. 3D object models were simulated using SketchUp 3D software, and delicate 3D plant models were constructed through Xfrog plant models. Then, simulated information was displayed in the LandSim3D platform for walk-through images of forest trails. Moreover, scenario designs on improvements to trail scenery for 2 forest trails selected were also animated. Results show that the great applicability of the animation system can provide an efficient way to communicate with the public about scenario designs of forest trail planning. It is expected that the 3D animation technique developed in this study can be used in forest trail management in forest recreation areas.

Key words: geospatial information, 3D animation, forest trail, forest landscape planning.

Wang DH, Hsieh HC, Chiang YJ, Yang PH, Chen TH, Wu CS. 2017. Integration of Geographic Information with 3D visualization technologies for dynamic simulations of forest trail landscapes in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 32(1):15-30.

緒言

森林步道能引導遊客通達主要景觀和吸引力的據點，使遊客在步道上能體驗森林並認識和瞭解大自然景象，進行享受感性、知性的旅遊(Lin 1990, Huang 1996, TFB 2003)。森林步道除可提供民眾休閒健身、舒解壓力、增加民眾自然體驗及環境教育之機會外(Liaw et al. 2009)，環境優美的森林步道對民眾休閒遊憩欣賞森林美景亦有其不可忽視的重要性(Hull et al. 1987,

Bishop et al. 2001, Hu 2007, Chiang et al. 2010)。森林步道如果能夠透過良好美學基礎的規劃管理，則民眾得以親近和感受步道兩旁森林美感之體驗。森林步道雖有提供賞景審美之機會與價值，但若直接冒然進行改造，具有高度生態環境不可回復性之風險(Liu et al. 2004)，如能事先透過視覺模擬，則可預先審視多種規劃結果，透過遊客或專家評估，找出最適規劃方案。

景觀視覺模擬(landscape visual simulation)是指將景觀物體，經過電腦影像處理技術後，將物體模擬影像表達出來之方法與過程。此個體可以是由真實世界所觀察到的真實物體或是透過計算過程產生的虛擬物體(Orland 1994, Nuhar 2001)。換言之，視覺模擬是對一物件或設計，做一真實或創造的照片、影像或模型，來表真實或推測、規劃後的情形(Sheppard 1989, Hou and Yang 2007)。視覺模擬之目的在於讓觀賞者在非實際之環境下，能夠接受到與實質環境相同的視覺訊息(Lange 2001)。森林步道景觀視覺模擬是指在森林步道兩旁遊客視域可及之環境下，透過實體或抽象之影像將實物或虛擬物體之形體利用電腦繪圖技術模擬後表達出來之方法與過程。由於透過景觀視覺化模擬技術，能有效模擬各種行動方案產生之景觀改變的功能，森林步道景觀視覺化處理具有利於專業人員和民眾之溝通與討論的優點。

景觀視覺化(landscape visualization)所用之技術、方法與工具隨著資訊科技之突飛猛進，已從過去類比影像之處理，進步到應用電腦數位影像處理技術(Shuttleworth 1980, Lange 2001, Lim et al. 2009, Honjo et al. 2011)，其中3D電腦繪圖、動畫模擬實物與景觀技術，目前已成為各類景觀規劃中不可或缺的工具(Bergen et al. 1995, Tang and Bishop 2002, Parrp 2006, Friese et al. 2008)。

景觀視覺化常用在都市或園林設計規劃和評估，例如Honjo and Lim 2001使用虛擬實境模式語言VRML (Virtual Reality Modeling Language)，透過單機或網際網路進行3D園林景觀視覺互動模擬(Honjo and Lim 2001)和後續透過標籤式語言(Keyhole Markup Language, KML)與Google Earth結合發展出供園林進行景觀漫遊模擬之景觀視覺系統(Honjo et al. 2011)。景觀視覺化用在森林經營管理層面，是從早期發展的3D森林景觀模擬軟體SmartForest開始，然當時因受電腦軟硬體的限制，僅能以簡單幾何體描述林木模型，展現林分的空間分佈(Orland 1994)。後來McGaughey (1998)從林分尺度觀點發展出能實現森林動態的林分

視覺系統(Stand Visualization System, SVS)。SmartForest與SVS雖可作為森林經營者、研究者的森林視覺化工具，但僅能展現平面2D空間的林木位置分布，無法表現複雜的山區地形，與真實感程度仍有相當大之差異。

Wang et al. (2011)和Hsieh et al. (2015)以林業試驗所六龜試驗林為例，使用Google Earth和遊戲引擎Unity發展出景觀視覺系統，開起國內森林領域從事森林景觀視覺處理之研究。該等研究顯示發展出之3D森林景觀視覺動態模擬技術，日後可供國內森林景觀相關規劃時和民眾互動交流，從中獲取意見，改善現有森林景觀。

雖然國內有森林景觀視覺化之研究(Wang et al. 2011, Hsieh et al. 2015)，但尚未有探討以森林步道兩旁遊客視域可及環境下為背景之視覺化研究，因此，本研究以林業試驗所蓮華池試驗林為試驗區，選擇各種具代表性森林步道，整合運用蓮華池試驗林的多元地理空間資訊、3D建物模型建構工具、專業植物3D模型建構系統，模擬步道兩旁植物3D模型。將森林步道相關地理資訊及各項建置完成的3D模型整合在3D景觀場景建置系統上，模擬步道兩旁植物及相關設施配置方案，以利於森林步道不同場景設計之模擬和評估。期望本研究所開發工具整合技術能提供國內森林遊樂區於改善現行森林步道景觀或新設步道景觀規劃的參考。

材料與方法

一、研究試區

為便於不同類型林道兩旁景觀調查，本研究選擇在南投縣魚池鄉林業試驗所蓮華池研究中心所轄試驗林為範圍。將研究中心轄區內道路依道路兩旁景觀特質的差異性，選取(一)產業道路、(二)新山林道、(三)苗圃步道、(四)油茶步道和(五)肖楠步道5種具代表性林道，作為森林步道景觀動態模擬的對象，5種林道在蓮華池試驗林位置分布圖如Fig. 1所示，圖中紅色粗線為模擬的路段，黃色線為縣道，細灰色線為試驗林土地利用型區塊界線。

二、研究材料

(一) 地形資料

蓮華池試驗林轄區以往進行試驗林經營管理所採用數值地形資料，係由內政部衛星測量中心提供。該資料使用2005年航照立體測繪方法製作，最高空間解析度為 5×5 m，包含了數位高程(digital elevation model, DEM)模型及數位表面高(digital surface mode, DSM)模型。本研究為了模擬林道及林道兩旁景觀，顯現其所在的微地形，特地於2012年以飛機航拍的空載雷射掃瞄(airborne laser Scanning, ALS)方式製作，完成試驗林模擬林道所在基本圖圖號，具有 1×1 m空間解析度數位高程及表面高模型兩種光達(light detection and ranging, LiDAR)資料，當作模擬步道景觀3D地形的依據。

(二) 地表覆蓋資料

本研究以試驗區域數位正射航照影像當作地表覆蓋地理資訊圖層，影像係由2012年於空載光達資料掃瞄時，同步由飛機上的高精度Trimble Aerial Camera P65+航測專用數位相機所拍攝。透過航線規劃、選取特徵點、航空攝影、地面控制點量測、空中三角測量、立體測繪、正射影像糾正、正射影像產生、以及影像分幅輸出之標準化正射影像製作流程，產製圖精度達1:2500正射影像，影像的空間解析度可達 25×25 cm。

(三) 地理資訊

本研究使用的地理空間資訊包含林業試驗所蓮華池研究中心的1996年製作林班圖及水系圖、2011年製作道路、2007年核定地籍圖、2012年更新造林圖及2009年更新土地利用型圖。

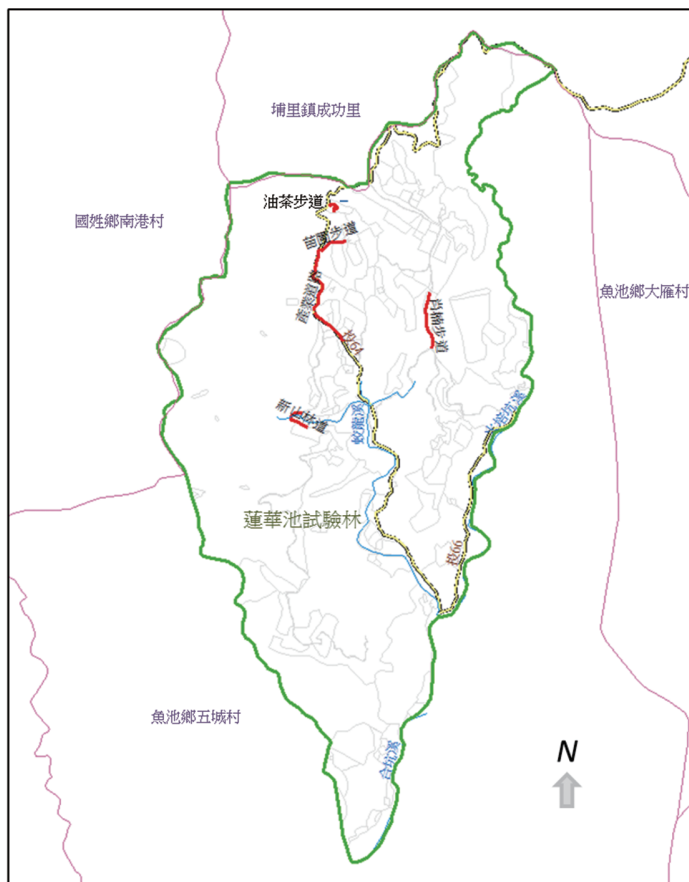


Fig. 1. Spatial distribution map of 5 types of forest roads in the Lienhuachi Research Center.

(四) 建置工具

所使用的建置工具包括ESRI ArcGIS 10.0 地理資訊系統、Google SketchUp 7.0版3D景觀模型建立工具、Greenworks Xfrog 3.5版3D樹木模型建立工具、法國Bionatics LandSim3D 3D 4.2版景觀動態模擬場景建置系統，以及Autodesk 3dMax 2012版3D模型材質編輯系統。

三、研究方法

視覺模擬在操作上有一定之原則與程序，Sheppard(1989)提出視覺模擬的基本原則必須具備有五項原則，包括代表性、正確性、清晰度、趣味性及合理性。整個模擬分析之程序則應包括：(1)針對計畫內容回顧，充分瞭解計畫內容，與確定模擬目的。(2)決定模擬的方法與範圍，確認模擬景觀的位置、數量與內容。(3)收集資料，包括環境現況及計畫內容的資料與影像。(4)決定模擬方式與技術：靜態或動態模擬。(5)展示模擬結果。(6)分析觀賞者對模擬結果所產生的反應，並判斷對計畫結果可能的視覺影響。本研究依循上述原則進行森林步道景觀視覺化動態模擬，研究的建置方法流程圖如

Fig. 2所示，每一步驟方格的中間表示使用的地理資訊、材料或對象，下方表示出使用的建構工具或網址。茲將建置過程分項說明如下：

(一) 步道景觀微地形模擬

將1 m空間解析度LiDAR數位高程模型及同步拍攝的正射數位航照影像輸入ArcGIS地理資訊系統，以數值高程模型當3D地形基底，上面套合航照當地表覆被；以之模擬步道本身及步道兩旁視域範圍之3D微地形。若於動態模擬時遇到步道兩旁有設施或建物時，需依據建物が在航照所占的地基範圍最小地形高修整地形，使之平整載負建物，可避免建物陷入斜坡面。若步道兩旁有邊溝及擋土牆一併修整其DEM資料，以展現更貼切的步道兩旁的微地形。後續可將修整後數位高程模型連同航照輸入LandSim3D當作3D地形基底，以利於後續步道景觀場景的動態模擬。

(二) 建築物及設施3D模型製作

有關步道兩旁出現的建物、解說牌、擋土牆、柵欄或其他人工造景等設施，由於具有規

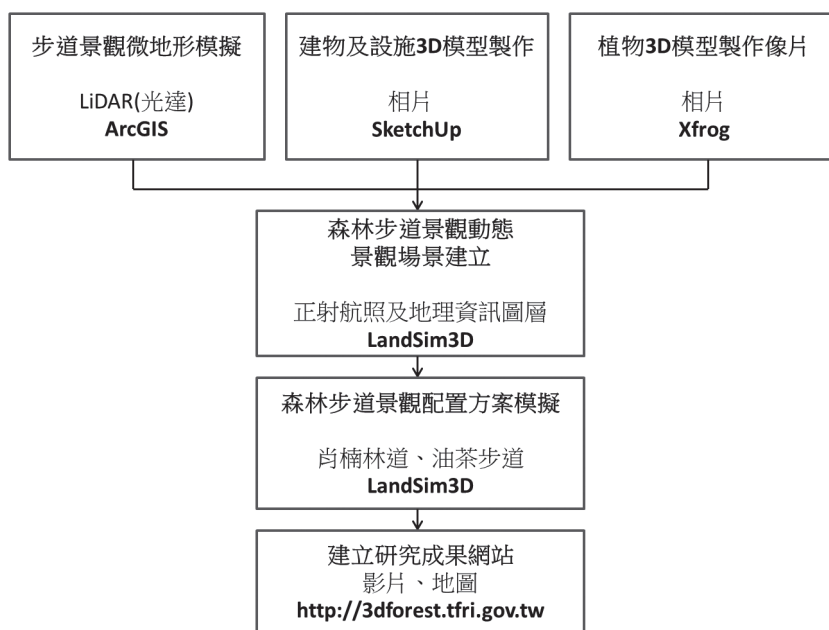


Fig. 2. Flowchart of building the forest trail landscape visualization system.

律的幾何形狀，在盡量在不失真的考量下，為了能快速3D建模、貼上實物的照相材質，本研究採用2012年尚屬Google公司的SketchUp 3D物件建置工具，進行建物及設施3D模型製作。

為使模擬之建築物在比例上與外觀上接近實體，本研究於現場景觀調查時，對建個別建築物或設施之實體，進行GPS定位和高度、長及寬度等精密測量；並針對單一實體不同組成部位，以數位單眼相機拍攝材質照片。拍攝物實體的材質時照相機距離實物的距離設定包括了近、中、遠三種，其中近程約1~2 m、中程4~5 m、遠程約8~10 m尺。每一部位的材質照片張數至少5張，對每一材質拍攝的仰角以一般人行高度仰角為基準，拍攝角度盡量採取正面角度，有利於3D模型建置時，有適合尺度的材質可選擇，並能減低後續透視校正失真的程度。

(三) 樹木及植物3D模型建置

最接近森林步道兩旁的景觀物件的主角莫過於步道兩旁的眾多的樹木與植物了，由於本研究步道景觀模擬是以步道行走中的遊客或汽車駕駛人為視角，屬於近距離3D樹木模型模擬。當模擬遊客動態行進時，至少要能顯示出每一樹種的從整體樹形、樹幹、樹枝、分枝、葉柄到個別葉子(乃至於個別植物花與果實)的細

節特徵與變異。本研究對Xfrog 3D、AMAP、ONYX Tree-Pro 3種(<http://xfrog.com>, <http://www.treegenerator.com>, <http://www.onyxtree.com>)3D樹木模型建置工具的比較後，由於Xfrog 3D植物模型建置系統具有多項植物生長特性的參數供建構者調整，利於模擬上述單棵植物的各個部位細部特徵的功能(建構程序如Fig. 3)，因此本研究採用Xfrog作為精緻樹木模型的建置工具。

本研究於景觀調查階段，針對5種類型步道兩旁最常出現且分布眾多的樹種，優先選擇台灣杉、台灣肖楠、杉木、烏心石、檸檬桉、肯氏南洋杉、桂竹、變葉木、紅竹、杜鵑、油茶、山茶、桃實百日青、桑寄生及軟樹蕨15種植物進行3D模型。為顧及各樹種型態的變異性，參考景觀調查時拍攝兩旁植物的照片及行進間全程錄影的影片，針對每一樹種分別建置3個型態差異大的樹木3D精緻模型。

在製作樹木3D精緻模型前，必須於現地景觀調查時，針對樹木外觀整體架構、樹幹、枝、花、葉等部位進行細部量測及多尺度拍照，從中選擇合適的照片加以影像去背處理，當作模型外部的材質(如Fig. 4)。Xfrog模型建立過程係依照樹狀層次式架構(如Fig. 5)，透過個別層級物件進行多項參數(包括各種葉形分布、

森林步道樹木模型建置(Xfrog)

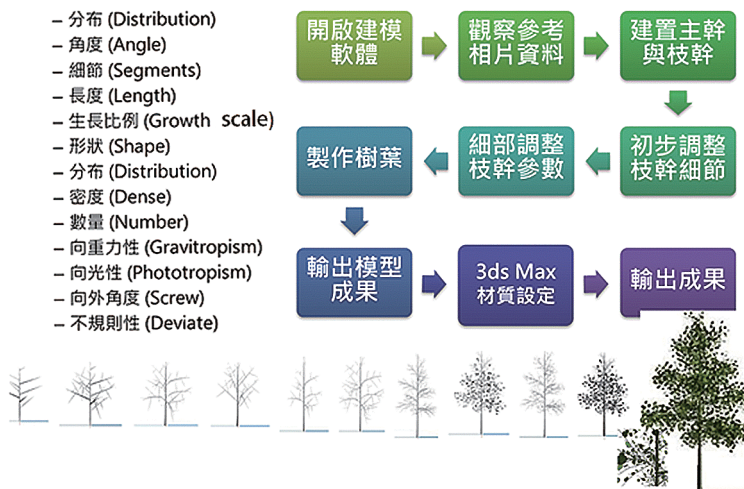


Fig. 3. Diagram of building a delicate tree 3D model using Xfrog software.

分枝密度，個別層次的比例、角度、曲率、向光性及向地性程度等），參數的獲取與決定係依照現場實務調查採取標本及樹形拍攝的照片及影片進行調整即決定。整個建構程序係由下而上，陸續由幹、枝、葉順序建立3D模型後，之後可再依據現場景觀調查照片進行比對，微調各部位相關參數，使得3D模擬樹木模型能更貼近真實。其餘次要樹種則向Xfrog Inc.使用該公司已建置的亞洲3D樹種模型套件，從中選用相似的樹種，進行模型參數與材質的修改，以利於後續步道景觀動態模擬場景建立時，補充更多精緻3D樹種與植物模型。

(四) 步道景觀動態模擬場景建立

本研究整合地形、航照、步道、溪流和土地利用相關地理空間資訊圖層，當作森林步道景

觀動態模擬場景的基底後，再於基底上置入建物、設施及眾多的精緻樹木或植物的3D模型。

步道景觀動態模擬場景建立程序(如Fig. 6)，首先將數值地形模型網格式資料(raster data)匯入 LandSim3D系統，建立景觀模擬場景3D地形，再於3D地形上套繪各項地理資訊圖層向量檔(vector data)形成模擬場景的基底；之後將步道兩旁的具有地理座標定位的建物和設施，以及經GPS定位植物3D模型，置入場景的基底上，初步完成自建3D物件的空間配置。

事實上LandSim3D場景也是一個3D的地理資訊平台，因此為模擬更多步道兩旁的樹木及植物，可配合景觀調查時沿著步道兩旁的照片或相片得知相關樹種及相對空間分布位置。為了彌補其他植物的空缺，本研究從Xfrog的亞洲樹種套件(Xfrog Bundle: Asia)內找尋樹形及葉

9.烏心石

7 m/1.65 m/5.35 m/19 cm



10.桂竹

7 m/3 m/4 m/4.4 cm



11.變葉木

1.3 m/30 cm/1.25 m/6 cm



12.紅竹

1.43 m/0.98 m/0.45 m/1.1 m



Fig. 4. Plant 3D model textures for investigation of 4 species.

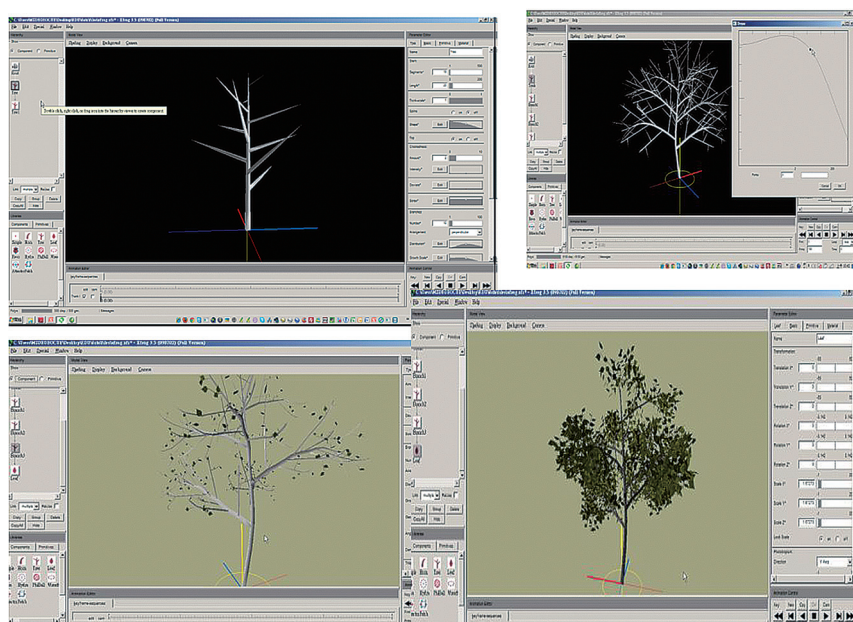


Fig. 5. Hierarchical structure of Xfrog in building a 3D tree model.

形相近的樹種替代(選取的替代物種包括林下灌木、樟樹、楠木等闊葉及鋪地的地被花草等植物種類),以自定單點空間位置種植法或隨機塊狀(土地利用型多邊形)點群或線狀規律間隔重複種植法,將樹種模型入步道兩旁。

由於使用航照25 cm空間解析度當步道及步道兩旁的地被無法顯現細緻的地被紋理,本研究於步道兩旁採用LandSim3D內建的適合地被材質,步道本身的材質則取用現地照相的材質,可更貼近真實。

完成了步道兩旁的近景景觀場景後,遠景山丘覆被可使用航照本身當材質;有關位於中景的森林,為節省電腦顯示記憶體,則不必過於詳實,採用單木交叉面之簡易3D模型重複配置顯示。最後加入場景的時間太陽光照角度與方位(依蓮華池研究中心位置及年曆日期決定),天候狀況(譬如風向、風速、雲霧氣分、日照強度等),樹木模型是否隨風速而擺動、溪流水流速度等參數設定,逐步完成步道景觀互動場景的建立。

本研究的目的是在於動態模擬人行(walk through)與車行(drive through)森林步道景觀呈

現,因此於LandSim3D動態瀏覽設定,將人行視角設在離地150 cm的平視視域,步行時速設為3~4 km之間。將駕車駕駛人的視角設在15°~30°範圍,車速設定在時速15~30 km之間。再於LandSim3D場景設定預定導遊路線,除可自動地動態展現森林步道景觀,更可由使用者自行運行滑鼠或鍵盤控制人行及車行的速度、視角及方向進行導遊。最後為利於成果透過網路分享,可將動態導遊過程所呈現的步道景觀錄製成影片,經過影片編輯加上背景音樂及字幕解說發布。

(五) 步道景觀配置設計方案模擬

為改善現有森林步道兩旁景觀的視覺效果,本研究選擇5類步道中之肖楠森林步道及油茶栽植區步道為景觀配置設計方案模擬對象。其中,肖楠步道一旁為擋土牆,另一旁為鬱閉的肖楠木與其他樹種的混合林相,步道景觀略顯陰暗且多由綠色植物主宰。為了改善步道景觀的親和性、顏色與結構多樣性,本研究基於初步研究試驗考量,因此請具有景觀設計背景的兩位大學老師,於電腦前面在進行肖楠步道人景觀互動模擬過程時,提出改善目前景觀

森林步道3D模擬場景建置

- 計畫區3D景觀模擬平臺
 - 5種步道：產業道路、苗圃步
- 導覽影片
 - 車行(時速15-20公里、仰角15-30度)、人行(時速3-4公里、平視)

互動導覽設計
• 人車導覽路徑模擬
• 時間序列變化

成果發佈
• 靜態影像
• 動態影片



Fig. 6. Process of forest trail 3D simulation.

親和性的建議。所提出的建議為：於步道兩旁栽植會開有顏色花的灌木或草本植物(紅萹草、黃花醉漿草、紫花醉漿草、西施花、毛地黃、野牡丹、石竹)，並加設路途休息用公園條凳式座椅及漫畫式路標解說牌等(包含設置的位置及栽植密度)。本研究將上述推薦植物及設施的3D模型置於步道兩旁，動態模擬改善後的步道景觀，並與改善前的動態景觀進行比較。

油茶步道貫穿多個坡度起伏很大的坡面，目前路面鋪設不整齊的木樁，不利遊客通行；當遊客沿現有步道行進時，會通過油茶健全生長、寄生感染區及枯木區3種不同生長狀況區，因此，提出的改善建議為：以遊客進入本區遊覽的觀點，改善原有步道為依地形等高線呈S形設計，盡量避開枯木區，並將步道寬度增加至120 cm；於較平坦區的路面鋪設碎石，在油茶健全生長區地被種植假儉草，步道兩旁增加栽種穗花木藍、馬齒牡丹、毛地黃、黃花和紫花醉漿草、西施花、紅果金束蘭及紅鶴蘭，採用點綴式，長

條狀(10~15 m)或短條狀(5~10 m)栽植。處於同一等高線之路段，栽種地被植物種類2~3種，不要過於複雜；此外於眺望視野好的高處平坦區設置2個涼亭。本研究將上述推薦植物及設施的3D模型置於步道兩旁，動態模擬改善後的步道景觀，並與改善前的動態景觀進行比較。

(六) 建立研究成果網際網路分享網站

將本研究的計畫目的、試驗地點、方法及5種森林步道動態模擬成果，在林試所的網頁伺服器上，建立「森林步道視覺數位化處理技術之研究計畫成果網站」專題網站，以利於與一般大眾分享及技術推廣。

四、結果與討論

(一) 步道景觀微地形模擬

以LiDAR 1 m空間解析度DEM及同步拍攝的正射數位航照影像先行輸入ArcGIS地理資訊

系統，以航照覆蓋當作地表，數值高程當3D地形基底，模擬步道本身及步道兩旁視域範圍之3D微地形，例舉產業道路模擬結果如Fig. 7，圖中左上圖為涵蓋產業道路的彩色正射數位影像，右上圖為模擬太陽入射的2D光達地形，下圖為結合兩者在地理資訊系統完成的為3D地形模擬結果。

由於本研究模擬森林步道可達單木尺度，若以航照覆蓋當作林道鋪面尚無法顯示細緻路面；因此後續將DEM輸入LandSim3D模擬場景地表時覆被時，必須使用個別林道現場拍攝路面影像當作林道鋪面的材質，以貼近真實狀況。

(二) 3D建築物及設施模型製作

本研究有關步道兩旁出現的建物、解說牌、人工造景或柵欄等設施採用SketchUp 3D物件快速建置工具，進行建物及設施3D模型製作結果如Fig. 8中所例舉的兩個小木屋。本研究使選用SketchUp 7.0版本，一方面可以節省建置成本，另一方面對初學3D模型建置者亦能達到容易學習，快速上手之效。本研究於景觀調查階段皆經過實物量測，所以放入整個模擬場景時比例不失真；此外採取多距離及角度拍攝建物及設施照片當外表鋪面的材質，除了建物架構外，多使用影像處理後的影像代替SketchUp內建材質的方式來表達，所以能更貼近模擬建物的真實狀況。

(三) 樹木及植物3D模型建置

植物是森林景觀組成之重要份子，因此，植物影像之產生是整個影像視覺處理過程中重要之一環。植物電腦影像(植物模型)之真實性之高低直接影響視覺化處理結果之品質。早期之植物模型(如SmartForest)是使用簡單之物體如角錐、圓錐和立方體來描述植物體之形像，方式雖然簡單容易處理，但其所產生之影像與植物實體之形像差異甚大(Honda 1971, Orland and Uusitalo 2001)。對植物拍照，使用兩張相同之植物2D照片，進行影像透明色處理產生圖檔，再進行兩平面十字交叉之billboard法，因每株植物所需之檔案小，電腦處理快，所須時間短，在實物上可以

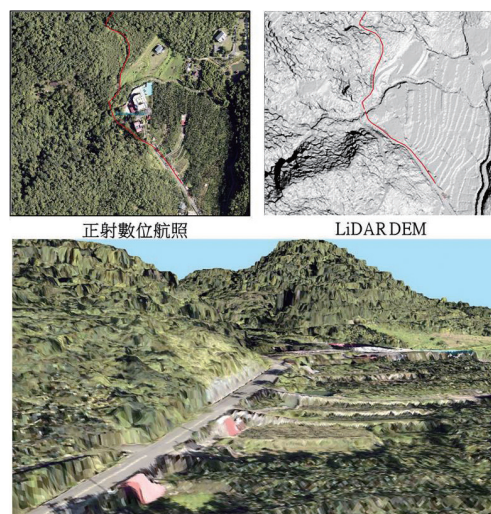


Fig. 7. Simulation results of a 3D terrain model of views from a forest road.

有效地顯示植物之3D狀態，因此廣為設計者或規劃者所使用(Lim et al. 2009, Honjo et al. 2011, Hsieh et al. 2015)。然而，本研究為使步道兩旁模擬之植物能與實體盡量逼真，因此使用3D植物模型建置植物精緻3D模型。

本研究選用Xfrog 3D建置植物3D模型是因為該軟體自從1998年發展以來，價格低廉，軟體設計的各项調整參數頗能符合植物生長及花果實的生長特性，現已成為專業3D植物動態模擬最佳工具之故。15種植物內8種植物之3D精緻模型模擬結果如Fig. 9所示。

然而，要於短期內熟稔這項工具，並完成逼真植物模型的設計頗為不易。設計者最好有植物分類背景，能掌植物從外型到葉子各個層次的生長特徵，並於野外正確拍攝植物各部位的影像當作材質，方能完美製作。本研究特別著重在樹種3D精緻模型的建置，在整個建置流程中耗時最多。此外，由Xfrog公司購得的亞洲植物樹種3D模型可以輸入Xfrog 3D進行局部參數及材質的修改，使之接近本土樹種各項特徵，可適時支援本研究於短時間內自行設計3D植物模型之不足。

過去森林3D景觀視覺化的模擬研究，由於對3D森林景觀的模擬，大部分僅止於地景及

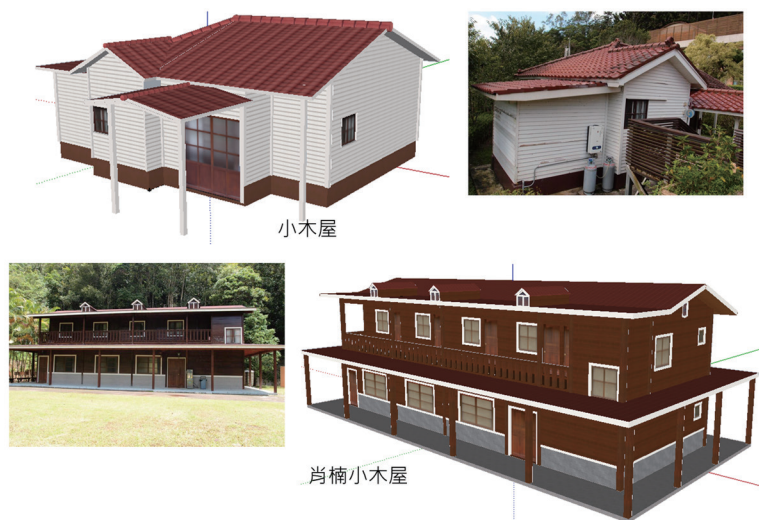


Fig. 8. Comparison of photos and models made by SketchUp.

精緻3D樹木模型



Fig. 9. Simulated delicate 3D tree models for 8 species investigated.

林分尺度的林型覆被為主，瀏覽模型時不須從路面進貼近單一植物。在模擬整片林分或林分與其他土地利用型鑲嵌呈現時，因所模擬樹木類型相對較少，並多以重複方式顯示，且受限於電腦顯示記憶體容量，一般都以實地照相片製作十字架面簡化模型替代，很少有建置單一精緻植物模型(Knauff 2003, Song et al. 2006, Falcão et al. 2006)。本研究設定在步道兩旁景

觀尺度的動態模擬，故特別對在步道景觀兩旁的植物與樹木精緻3D模型上下功夫，因此，有別於以往的相關研究(Falcão et al. 2006, Hsieh et al. 2015)。

(四) 步道景觀動態模擬場景建立

本研究選用法國LandSim3D景觀動態模擬場景建置系統，以動態模擬人行(walk through)

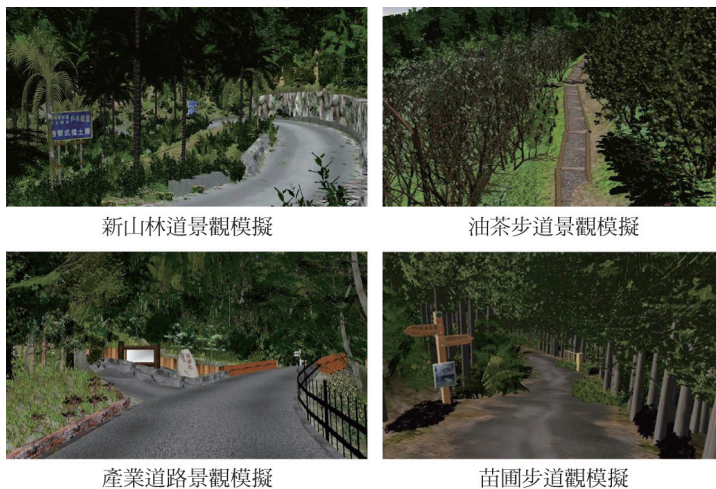
與車行(drive through)方式，進行森林步道景觀動態模擬，其中肖楠林道景觀實景模擬結果如 Fig. 10所示，其他4種林道景觀實景模擬結果如 Fig. 11所示。

本研究從LandSim3D、3DNature及Vue 3個3D場景模擬工具(<http://www.bionatics.com/landsim3d>; <http://www.3dnature.com>; <http://www.e-onsoftware.com/products/vue>)中選用LandSim3D景觀動態模擬場景建置系統，進行森林步道景觀動態模擬，主要是其有下列優點：(1)能與現有主流ArcGIS地理資訊系統的向量和網格式資料相通，模擬3D物件具有真實地

理空間位置，(2)能夠動態模擬從單木、林分到地景尺度以上的森林景觀，(3)在單木及林分尺度上能夠容納大量精緻設計的3D樹種模型，進行動態模擬，(4)能夠加入季節、天候、日照、風動等環境因子進行模擬，和(5)使用者(觀察者)能夠設定不同視域、高度及行進速度，進行流暢動態景觀導遊。以一個受過初階地理資訊系統訓練的建構者而言，承續地理資訊系統3D操作的觀念，則能輕易地將地理資訊和各類3D物件模型輸入LandSim3D景觀動態模擬場景建置平台，快速進行3D物件空間位置配置，和展現生動的3D步道景觀動態模擬。



Fig. 10. Simulation results of a realistic image of the *Calocedrus formosana* forest trail.



新山林道景觀模擬

油茶步道景觀模擬

產業道路景觀模擬

苗圃步道景觀模擬

Fig. 11. Simulation results of realistic images of 4 forest roads.

就單一樹木模型而言，從樹幹到葉子，可包含了比建物或設施3D模型要多出許多的面(polygons)，每一個面還要貼上材質，加上在進行動態模擬(走路行進或車行模擬)要同時顯示模擬步道兩旁眾多林木與植物之要求，如果使用常用的地理資訊系統的3D分析模組進行動態模擬，則會佔據整個電腦顯示的記憶體，使得景觀動態模擬無法連續順暢顯示或有所限制。本研究為能不需轉檔直接整合相關地理資訊圖層，又能輕易將眾多林木模型融入森林步道景觀動態模擬系統，故LandSim3D景觀動態模擬場景建置系統，進行森林步道景觀動態模擬，以克服上述缺點。

(五) 步道景觀配置設計方案模擬

本研究選擇肖楠步道及油茶步道為觀配置設計方案模擬對象，進行步道景觀改善後動態的模擬，肖楠步道改善後模擬結果如Fig. 12圖左側兩例所示，油茶步道改善後模擬結果如Fig. 12右側兩例所示。依據專家提供步道兩旁配置設計後，所得模擬結果在多樣化、顏色層次及親和性已增進不少。

森林步道景觀視覺化動態模擬強在能擬真現有森林步道景觀，也能模擬過去或未來森林步道的原貌或景觀改善後的情境(Song et al. 2006)。本研究整合地理資訊與3個建構工

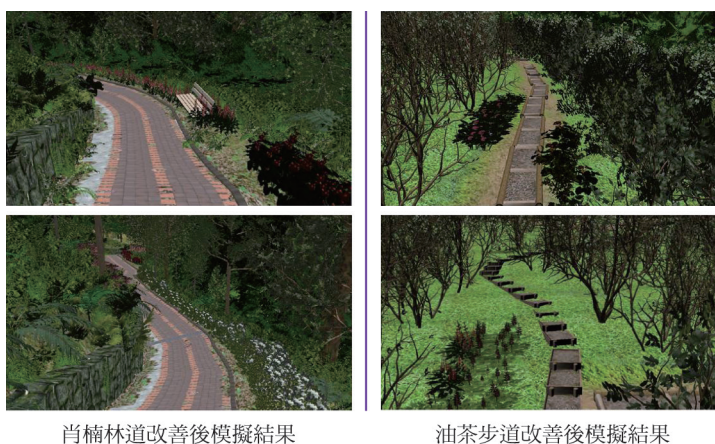
具，可以模擬專家提供步道景觀改善方案，透過模擬情境，與專家互動討論，逐步改善步道景觀對遊客進入步道區的視覺品質。未來可將整個步道景觀互動場景架在網站上(可藉由LandSim3D Web工具發佈)，進行大眾對森林步道景觀視覺偏好調查(Tyrväinen et al. 2006)，達成公眾參與的效用。

(六) 建立研究成果網際網路分享網站

本研究的計畫成果網頁設計如Fig. 13所示，以研究計畫名稱為網站名稱(<http://3dforest.fri.gov.tw/>)。由於本研究模擬的5種森林步道皆位於林業試驗所蓮華池試驗林轄區，所以民眾進入網站後，可藉由Google Map空間位置導引，瞭解這5種森林步道的所在地圖的位置。網頁主要設計內容包含計畫簡介、蓮華池研究中心簡介、地圖導引及聯絡窗口5大項。其中，於計畫成果項下包含5種步道步行及車行的實景影片及其現況景觀動態模擬影片，肖楠步道及油茶步道改善前後模擬影片、圖文介紹、和模擬15種樹種3D模型動態展示影片等。

結論

森林步道雖有提供賞景審美之機會與價值，但若直接進行改造，會有生態環境不可回



肖楠林道改善後模擬結果

油茶步道改善後模擬結果

Fig. 12. Simulation of scenario designs for the *Calocedrus formosana* forest trail (left) and *Camellia oleifera* forest trail (right).



Fig. 13. Homepage design for the forest trail animation website of the Taiwan Forestry Research Institute.

復性之風險，而使用數位化視覺模擬則可預先審視多種可能方案，避免實地破壞及找出最適方案。本研究係台灣林業領域首先整合地理空間資訊、建物和植物3D模型建置的技術，於3D景觀場景模擬平台上，針對森林步道尺度，進行步行與車行的動態景觀模擬，並透過網際網路，將研究成果和步道景觀動態模擬影片，與大眾分享與推廣。本研究成果和技術可提供森林主管單位在進行森林遊樂區改善現行森林步道景觀或作為新設森林步道景觀規劃時之參考依據，並可擴大推廣至其他民間單位，以利森林景觀設計、規劃、管理等實務運用。

謝誌

本研究承蒙林業試驗所經費支援(102AS-8.1.2-F-G2-1)和景觀專家之協助，特此致謝。

引用文獻

Bergen SD, Ulbericht CA, Fridley JL, Ganter MA. 1995. The validity of computer-generated graphic images of forest landscape. *J*

Environ Psychol 15:135-46.

Bishop ID, Wherett JW, Miller DR. 2001. Assessment of path choices on a country walk using a virtual environment. *Lands Urban Plan* 52:22-237.

Chiang YJ, Yang PA, Wu CS, Hsieh HC, Wang DH. 2010. Forest scenic esthetic assessment - a case study of *Taiwania cryptomerioides* plantations in the Louguei Experimental Forest. *Taiwan J For Sci* 25(3):211-6.

Falcão AO, Santos MPD, Bogres JG. 2006. A real-time visualization tool for forest ecosystem management decision support. *Comput Electron Agric* 53(2006):3-12.

Friese KI, Herrlich M, Wolter FE. 2008. Using game engines for visualization in scientific applications. *New Frontiers for Entertainment Computing*. Springer US. p 11-22.

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 shape of the tree-like body. *J Theor Biol* 31:331-8.

- Honjo T, Lim E. 2001.** Visualization of landscape by VRML system. *Lands Urban Plan* 55:175-83.
- Honjo T, Umeki K, Wang DH, Yang PA, Hsieh HC. 2011.** Landscape simulation and visualization on Google Earth. *Int J Virtual Reality* 10(2):11-5.
- Hou JS, Yang CM. 2007.** The comparison of leisure behavior in simulated with real landscape environment. The 9th Leisure, Recreation, and Tourism Research Symposium and International Forum of the Outdoor Recreation Association of R.O.C.
- Hsieh HC, Chiang YJ, Wu CS, Chen TH, Yang PH, Wang DH. 2015.** Forest landscape visualization using Unity and Google Earth. *Q J Chin For* 48(2):185-204. [in Chinese with English summary].
- Hu CH. 2007.** The influence of different recreation opportunity trails on visitors & recreational experiences. A case of Zhuo-Xi and Tso-chuang region trails in hualien, Taiwan [Master's thesis]. Taichung Taiwan: Department Landscape and Recreation, Feng Chia Univ. [in Chinese with English summary].
- Huang GT. 1996.** A prediction modeling on the scenic beauty estimation of the forest trails in Chitou Forest Recreation area. [Master's thesis]. Taichung Taiwan: Department of Landscape, Tunghai University. [in Chinese with English summary].
- Hull IV RB, Buhyoff GJ, Cordell HK. 1987.** Psychophysical models: an example with scenic beauty perceptions of roadside pine forests. *Lands J* (6):113-22.
- Knauff FJ. 2003.** Landscape visualization with three different forest growth simulators. In: Amaro D, Soares P, Modelling forest systems editors. CAB International. P 347-58.
- Lange E. 2001.** The limits of realism: perceptions of virtual landscapes. *Lands Urban Plan* 54:163-82.
- Liaw SC, Lin HC, Lin SL. 2009.** Visitors' environmental perception toward four forested trails in I-Lan County. *Q J Chin For* 42(2): 291-308. [in Chinese with English summary].
- Lim EM, Umeki K, Honjo T. 2009.** Application of virtual reality and plant modeling for participation in urban planning design. *Int J Virtual Reality* 8(2):91-9.
- Lin WC. 1990.** Scenery of forest trail. *Tai For* 16(6):1-6. [in Chinese].
- Liu JY, Cheng CL, Shen CW. 2004.** Studies on trail design from the viewpoint of recreation impacts: a case study of Tataka Trail, Yushan National Park. *Chaoyang J Design*. 4:107-26. [in Chinese with English summary].
- McGaughey RJ. 1998.** Techniques for visualization the appearance of forestry operations. *J For* 96(6):9-14.
- Nuhar A. 2001.** Three-dimensional modeling and visualization of vegetation for landscape simulation. *Lands Urban Plan* 54:5-17.
- Orland B. 1994.** Visualization techniques for incorporation in forest planning geographic information systems. *Lands Urban Plan* 30:83-97.
- Orland B, Uusitalo J. 2001.** Immersion in a virtual forest-some implications. *Forests and landscapes linking ecology, sustainability and aesthetics*. Sheppard Harshaw, editors. IUFRO 6 Res Series. p 205-24.
- Parrp P. 2006.** Landscape visualizations: applications and requirements of 3D visualization software for environmental planning. *Comput Environ Urban Syst* 30(2006):815-39.
- Sheppard SRJ. 1989.** Visual simulating a users guide for architects, engineers and planners. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Shuttleworth S. 1980.** The use of photographs as an environmental presentation medium in landscape studies. *J Environ Manage* 11:61-76.
- Song B, Wang X, Williams TM, Mladenoff DJ, Chen J, Gustafson EJ, et al. 2006.**

Visualizing a landscape, its changes and driving processes. In: Chen J, et al, editors. Ecology of hierarchical landscapes where: Nova Science Publishers. p 167-90.

Tang H, Bishop ID. 2002. Interaction methodologies for interactive forest modeling and visualization system. *Cartogr J* 39(1):27-35.

TFB. 2003. The standard of national trail system design. Taipei, Taiwan: Taiwan Forestry Bureau (TFB). [in Chinese].

Tyrväinen L, Gustavsson R, Konijnendijk C, Ode Å. 2006. Visualization and landscape laboratories in planning, design and management of urban woodlands. *Forest Policy Econ* 8(2006):811-23.

Wang DH, Hsieh HC, Chiang YJ, Wu CS, Yang PA. 2011. Digital visualization and simulation of the forest landscape at the Shanping Ecological Scientific Garden in the Liukuei area, Taiwan. *Taiwan J For Sci* 26(4):399-406.