

半自動化 CSG 模型式建物萃取

Semi-automated Building Extraction Based on CSG Modeling

王聖鐸¹ 曾義星²
Sendo Wang Yi-Hsing Tseng

摘 要

以預先建立的模型萃取影像上建物的三維空間資訊，稱為模型式建物萃取，是一種精確而可靠的萃取建物三維空間資訊的方法。本文首先依據建構實體幾何(Constructive Solid Geometry, CSG)的理論，參考台南地區常見的建物類型，設計出數種參數化的基本元件(Primitive)，如此完整之建物模型即可由適當的基本元件依布林運算加以組合而成。接著提出一套半自動化量測之策略，將高階的判斷工作由操作員執行，如：選擇元件、粗略定位、賦予屬性，而將低階的計算工作交由電腦運算，如：模型與影像之精密套合，以求得建物模型之形狀與姿態參數。此一方法可大幅減輕操作員逐點進行立體量測之負擔，且所得成果以物件實體為單位，易於導入三維空間資訊系統或其他後續之應用處理。

關鍵詞：建物萃取、建構實體幾何、模型-影像套合、半自動、三維城市模型。

Abstract

Building extraction based on pre-established models has been considered a promising approach to acquiring precise, reliable and complete 3D data of buildings from aerial images. This paper proposes a semi-automated approach to extracting buildings based on CSG (Constructive Solid Geometry) modeling. In this approach, complex buildings are modeled as a combination of volumetric primitives. The concept of the approach is to let high-level tasks (building detection, model selection, and attribution) be carried out interactively by the operator and optimal model-image fitting be performed automatically by a computer algorithm. The shape and pose parameters associated to a primitive provide a link between perception (images) and prior knowledge (primitive) of a building part, so that the fitting method proceeds to determine the shape and pose parameters so as to fit a primitive with the corresponding images. Having all of the building parts been uniquely represented by parametric primitives, a building can be reconstructed by using CSG Boolean set operators to combine the building parts. This approach is developed with the prospects of releasing the operator from tedious point measurement and efficiently delivering precise and reliable results. In contrast with the traditional point-by-point digitization mapping process, this approach promotes an object-by-object data acquisition procedure.

Key Words : Building Extraction, Constructive Solid Geometry, Model-image Fitting, Semi-automated, 3D City Model.

¹ 國立成功大學測量工程學系博士班研究生

² 國立成功大學測量工程學系副教授

一、簡 介

三維城市空間資訊系統可以廣泛應用在都市計畫、市政管理、觀光導覽等，整合並提供各方面所需的空間資訊，因此如何快速獲取建物的三維空間資訊已成為測量界的重點研究方向。應用各種全自動或半自動的方法，從航空相片中快速萃取出房屋的三維空間資訊，則同時受到航測領域與計算機視覺領域學者的重視(Braun, et al., 1995, Grün, 2000, Lang and Förstner, 1996, Mohan and Nevatia, 1989, Shufelt, 1999, van den Heuvel, 2000, Vosselman and Veldhuis, 1999)。儘管建物萃取的操作方式會隨著影像資料類型與比例尺、物件複雜度、所需詳細程度以及產品類型而異，一般的處理程序可以概分為下列三個步驟：偵測(Detection)、重建(Reconstruction)以及賦予屬性(Attribution)。目前已經有許多萃取建物的方法被提出，其中一些特製的全自動化方法雖然可以解決某些特殊的情形(Brenner, 2000, Förstner and Gülch, 1999, Henricsson, et al., 1996, Hsiao and Wong, 1999)，但是要發展一套能應付各種狀況的全自動化方法仍有困難，其癥結在於自動化影像判釋仍處於相當粗糙的階段。基於三維空間資訊的精確性、可靠性及完整性的考量，科學家們於是轉而尋求開發半自動化的方法(Chio and Wang, 1999, Gülch, et al., 1998)。

模型式建物萃取(Ameri, 2000, Braun, et al., 1995, Brenner, 1999, Fischer, et al., 1999, Lowe, 1991, Suveg and Vosselman, 2000, van den Heuvel, 2000, Vosselman, 1998)的假設是以建物模型來描述三維空間中的目標建物，設法在模型與現有影像資料之間建立關係。大部分的模型式建物萃取多採取半自動化的程序，其中高階的工作像是：建物偵測、模型選擇、以及賦予屬性等都由操作員以人機互動方式完成，而電腦系統則是用來執行低階的計算工作如：模型-影像的最佳套合。當模型-影像套合完成後，建物的空間資訊也就隨之確定，這種一個物件一個物件萃取的方式將可以大幅減輕操作員過去逐點量測的沉重負擔，有效地提供精確而可靠的成果。模型式建物萃取的概念與優點雖為專家學者所認同，然而詳細運作模式仍有待確立，因此本文的重點即在為模型式建物萃取法建立一套可行的理論與實作藍圖。

模型式建物萃取包括兩大議題：建物模型設計與模型-影像套合。建物模型設計的議題在於如何完整建立足以代表各式建物的模型，基於建物外型的多樣性與複雜性，要為所有建物建立其專屬模型幾乎是不可能的，較為可行的方法是採用 CSG 的概念來設計建物模型。CSG 並非針對整棟建物設計模型，而是依照建物所需詳細程度，組合數個稱為基本元件的簡單形狀實體 (Solid) 構成一棟建物的複合模型(van den Heuvel, 2000)。模型-影像套合的重點則在設計一套電腦程式演算法，自動調整模型的形狀與姿態參數，使得模型框架投影在影像上時可以理想地重合於所對應的邊緣線像元。在這裡我們假設影像的內、外方位資訊均為已知，且模型的形狀與姿態參數近似值在最佳套合之前已透過人機互動方式決定。Sester 與 Förstner(1989)曾發展一套叢集演算法(Clustering Algorithm)以強鈍地估計形狀與姿態參數，然而該方法僅適用於單張影像而非多張影像。Lowe(1991)提出一套最小二乘演算法以進行模型-影像的套合，然而其主要目標是求取投影中心參數，而非求取模型參數，亦即影像的方位參數是未知而待定的。經由修改 Lowe 的最小二乘法，本文將詳細地描述一套針對模型式建物萃取所發展的模型-影像套合演算法。

二、相關研究

在過去十年間，建物萃取已成為一項廣泛研究的議題(Förstner and plümer, 1997, Förstner, et al., 1999, Grün, et al., 1995, Grün and Dan, 1997)，許多研究均採取模型式建物萃取，因為三維空間的物件投影到二維空間時會失去一些萃取所需的資訊，尤其是當影像中有用的資訊被不相關的資訊所干擾時，如：植被、車輛、建物的細部等，建物模型的使用便顯得十分重要。模型式建物萃取會因為採用的建物模型以及採取的策略不同而異，依採用的模型可以概略區分為：多面體(Polyhedral Models) (Brenner, 1999, Grün, 2000, Henricsson, et al., 1996)、稜柱體(Prismatic Models) (Hendrickx, et al., 1997, Mohan and Nevatia, 1989)、參數化多面體(Parameterized Polyhedral Models) (Shufelt, 1999, Vosselman and Veldhuis, 1999)以及 CSG 模型(CSG Models) (Braun, et al., 1995, Gülch, 1997, Gülch, et al., 1998, Lang and Förstner, 1996, Veldhuis, 1998)。由於 CSG 模型不僅可以彈性地表達建物

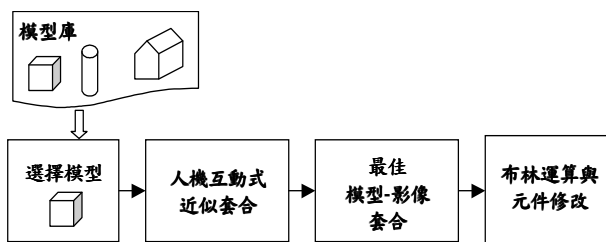
的外型，同時也隱含了物件的約制條件與類別，因此許多研究均採取 CSG 模型。

影像判釋需要含有高階資訊的知識庫與低階資料的影像才能進行，經由處理影像來求取高階資訊，稱之為由下而上(Bottom-up)或資料取向(Data-driven)的方法；反之經由高階資訊萃取特徵物並驗證特徵物與影像資料之間的一致性，則稱之為由上而下(Top-down)的方法。通常影像判釋程序會同時包含由上而下以及由下而上兩種方法，高階資訊與低階資料會在其中某一處理階段會合，以驗證其是否一致。相較於半自動化方法，全自動的方法多半在比較高階的階段驗證資訊與資料的一致性，以假說測試或知識工程來決定最適合景象的建物模型(Brenner, 2000, Förstner, 1999, Hsiao and Wong, 1999)，由於迄今尚未有一套完全通用於所有建物的假說測試程序，因此全自動化的方法常因環境不同而失敗。半自動化方法是由人來決定使用何種模型，讓電腦不需處理高階的影像判釋工作，僅負責自動化模型-影像套合計算，由於人類執行判釋工作的成果遠較電腦快且可靠，而低階的最佳套合計算則是由電腦執行較有效率，因此半自動化的策略將比全自動化的方法更具實用性(Chio and Wang, 1999, Gülch, et al., 1998)。

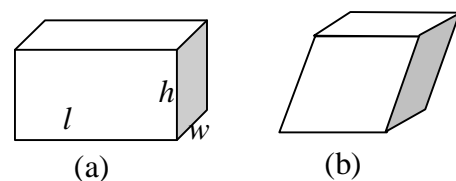
三、策略與流程

本文採取半自動化的模型式建物萃取策略，其分工原則是將建物偵測、模型選取、賦予屬性等高階工作由操作員以人機互動方式運作，而最佳模型-影像套合的低階計算工作則由電腦自動化運算，藉由模型-影像的套合過程建立起影像資料與模型知識之間的關聯。因此建物は逐棟完整地萃取出來而不需逐點量測，大幅減輕操作員沈重的量測工作，有效地導出精確可靠的成果。

依照 CSG 的概念，建物模型是由基本元件組合而成，依照建物外型的複雜程度，一個基本元件可以代表一整棟建物或是建物的某一部份，再以布林運算元將數個基本元件組合而成整棟建物。半自動化模型式建物萃取系統中應提供一個包含各式基本元件的模型庫，其中每一個基本元件都具有特定的形狀參數(Shape Parameters)與姿態參數(Pose Parameters)，藉由指定這些參數即可描述建物模型的一部份或是整棟。因此操作員只需要從模型庫中找出最適合影像中目標物的基本元件，利用系統所提供的人機互動式介面，調整模型使其與影像近似套合。接著每一個近似套合完畢的基本元件，再經過電腦套合程式的計算，使其與影像達到最佳套合。在所有代表各部分建物的基本元件都套合完畢之後，便可以利用布林運算元將基本元件組合為整棟建物。在組合的過程中，可能需要加入一些元件之間的約制條件或是對元件進行修改，此處同樣採用人機互動介面供操作員指定約制條件或是進行修改。



圖一、半自動化模型式建物萃取的流程



圖二、(a)長方體元件及其形狀參數；(b)除非加入剪量參數，否則不會出現剪力變形

本方法的操作流程可以概分為下列四個步驟：模型選取、近似套合、最佳套合、元件組合(如圖一)。步驟一，操作員可以縮放影像尋找欲萃取的建物，接著分析建物並將其分解成數個可用模型庫內基本元件表達的部分建物，再從模型庫中挑選出適當的基本元件。步驟二，操作員利用人機互動介面設定模型的形狀與姿態參數，使其近似套合到影像上建物的某部分，在這個階段系統將提供視窗對話盒供操作員輸入參數，並在影像上顯示模型線框的投影供操作員檢核。另一種方式是讓操作員直接拖放一個基本元件到影像上，並拖拉基本元件以調整其形狀與姿態，不過此種方式應考慮到模型本身的幾何性質而不可任意變更外型，因此所有的修改只能加諸於模型預先定義的形狀與姿態參數，以維持基本元件的幾何特性。步驟三是自動化的最佳套合程序，以人工近似套合的模型參數為初始值，利

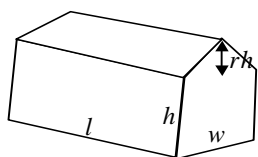
用 LSMIF 疊代計算出最佳的模型參數。最後一個步驟則是操作員依布林運算將組合基本元件，並在組合的過程中加入一些元件之間相鄰關係的約制條件或是對元件再作修改。整個操作過程中，操作員完全不需立體觀測也不需要逐點量測。

四、描述建物的 CSG 模型

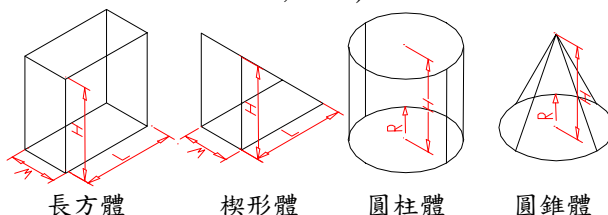
4.1 CSG 模型及其參數

由於建物外型變化差異很大，要單以幾種圖形化的模型加以表達幾乎是不可能的，然而大部分建物的結構中仍然隱含了一些規則，使得建物可以用一些簡單的方法加以描述。由於建物基本上就是一種空間實體，因此以實體來描述建物便成為大多數研究採行的方法，其中大部分均使用 CSG 模型(Braun, et al., 1995, Gülch, 1997, Gülch, et al., 1998, Lang and Förstner, 1996, Veldhuis, 1998)。

依據 CSG 的概念，建物是由一組基本元件組合而成，基本元件的模型參數可以分為形狀參數與姿態參數兩種，參數值的改變並不會影響元件內部的幾何性質。舉例而言，一個長方體(Box)元件具有長(l)、寬(w)、高(h)三個形狀參數，可以用來表達長方體型的建物(或建物的某長方體部分)，如圖二(a)。藉由設定形狀參數的值，可以沿著軸向將元件任意伸縮以符合長方體建物的大小，此處若不加入剪量參數，則模型就不會出現如圖二(b)的剪力變形。不同元件可能具有不同的形狀參數，例如屋脊型房屋元件將會比 Box 元件多一個屋脊高(rh)參數以表達其屋脊的高度，如圖三。姿態參數則是定義了元件的位置與方位。在三維空間座標系統中，可以用三個平移參數： (dX, dY, dZ) 與三個旋轉參數：仰角(t)、傾角(s)、方位角(α)分別表達物件的位置與方位。然而大部分建物的牆壁都垂直於地面，仰角與傾角可視為固定不變，因此所有基本元件的姿態參數均可用四個參數(dX, dY, dZ, α)加以表達(Suveg and Vosselman, 2000, Vosselman and Veldhuis, 1999)。



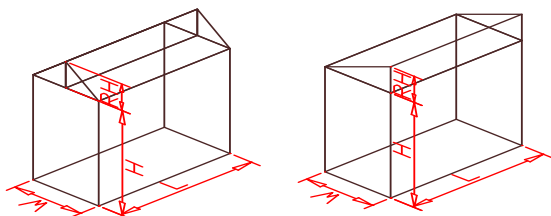
圖三、屋脊房屋元件及其形狀參數



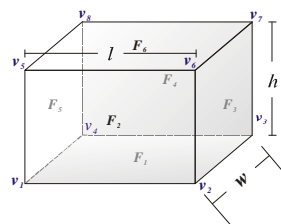
圖四、模型庫中一些常見的基本元件

4.2 模型庫

模型庫收集了一群形狀互異的基本元件，由於建物結構通常會隱含一些規則性，因此模型庫中只需數個適當的基本元件即可用幾組成大部分建物的模型，如圖四所示的長方體、楔形體、圓柱體、圓錐體等。而針對一些常見的建物類型，可以預先組合數個基本元件成為基本的建物模型，儲存於模型庫中以提高萃取的效率，如圖五中的屋脊房屋元件與斜頂房屋元件。



圖五、屋脊房屋元件與斜頂房屋元件



圖六、長方體元件的圖形描述

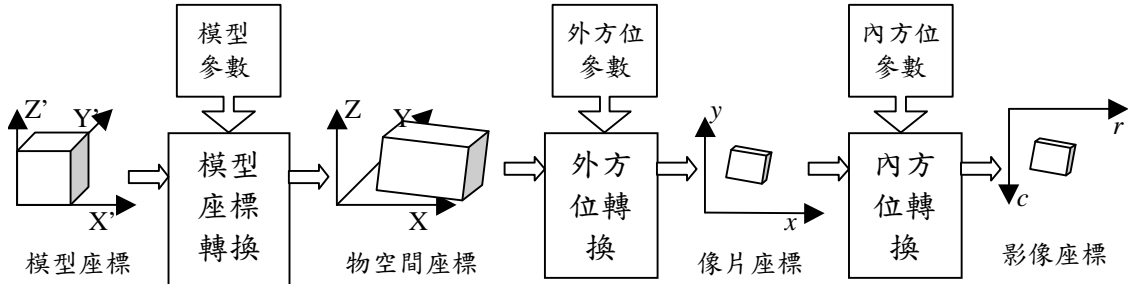
4.3 模型描述與座標系統

每一個模型的結構都具有圖形上的意義，可以用一個多面體或由數個已定義的模型組合後加以描述。多面體可以視為一組頂點的集合(Vertex List)或一組面的集合(Face List)，每個面都是由一連串頂點包圍而成，每個頂點都具備三維空間座標。例如長方體元件可以圖六的圖形描述，或以下列數學語言描述：

$$\text{Box} = \{\text{Vertex List}, \text{Face List}\}; \quad \text{Vertex List} = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8\};$$

Face List={ $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ } ; $F_1=\{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ 、 $F_2=\{v_5, v_6, v_2, v_1\}$ 、 $F_3\dots$
 $v_1=(0,0,0)$ 、 $v_2=(1,0,0)$ 、 $v_3=(1,1,0)$ 、 $v_4=(0,1,0)$ 、 $v_5=(0,0,1)$ 、 $v_6=(1,0,1)$ 、 $v_7=(1,1,1)$ 、 $v_8=(0,1,1)$;

本方法使用座標系統包括：模型座標系、物空間座標系、像片座標系與影像座標系，座標系統之間可以利用相關的參數進行轉換，如圖七所示。模型最初是定義在模型座標系的一個單位實體，經由形狀參數與姿態參數的加入可以轉換到物空間座標系以表達建物的某部分，再根據已知的外方位元素投影到像片上，最後根據像片的內方位可以將模型由像片座標轉換為影像座標。



圖七、本方法使用到的座標系統及其間轉換關係

五、模型-影像套合

模型-影像套合基本上就是連結已知的建物資訊與影像上的建物資料，此一步驟不僅檢驗所選取的模型是否適合，同時也精確地決定建物的三維空間資訊。模型-影像套合的原則是調整模型的形狀、姿態參數，使其符合萃取自像片的特徵物，其中可以作為套合依據的包括邊緣線、投影後的邊界線以及基本元件的角點。為了評估套合結果以及不同套合方法的優劣，必須建立目標函式(Objective Function)計算套合後的函式值，再以演算法有效求解能提供最佳函式值的模型參數。

LSMIF 原由 Lowe(1991)提出以求解投影參數，而後 Veldhuis(1998)將其應用到模型式建物萃取，並證明 LSMIF 確有能力求取模型與影像之間的最佳套合關係。LSMIF 最初需要近似套合後的模型參數作為初始值，而後經過疊代逐漸收斂到最佳套合時的模型參數。所謂最佳套合就是使所有影像上萃取出來的邊緣線像元至其對應模型邊緣線投影的垂直距離平方和為最小，由於疊代求解的容許範圍(Pull-in Range)有限，必須提供良好的初始值才能收斂成功，因此本文建議模型-影像套合應分兩段進行，先由操作員近似套合，其成果作為 LSMIF 計算精確套合的初始值。

組成觀測方程式以及對函式中的未知參數進行微分是應用 LSMIF 時的兩個重要程序。Lowe(1991)使用非量測性相機所拍攝的影像，其觀測方程式定義在影像座標系，然而在航測應用上多半使用量測性相機，因此將觀測方程式定義在像片座標系比較適當，故觀測方程式不會包含像片的內方位元素。一條原本定義在模型座標系的元件邊緣必須先依據形狀參數與姿態參數轉到物空間，再利用已知的外方位元素與共線式投影到像片；另一方面，影像上由邊緣線偵測元萃取出來的邊緣線像元也必須透過已知的內方位元素轉換到像片座標系統。若以 (x_1, y_1) 與 (x_2, y_2) 表達模型邊緣線投影兩端點的像片座標，而以 (x, y) 表示被萃取出來的邊緣線像元像片座標，則距離公式如下：

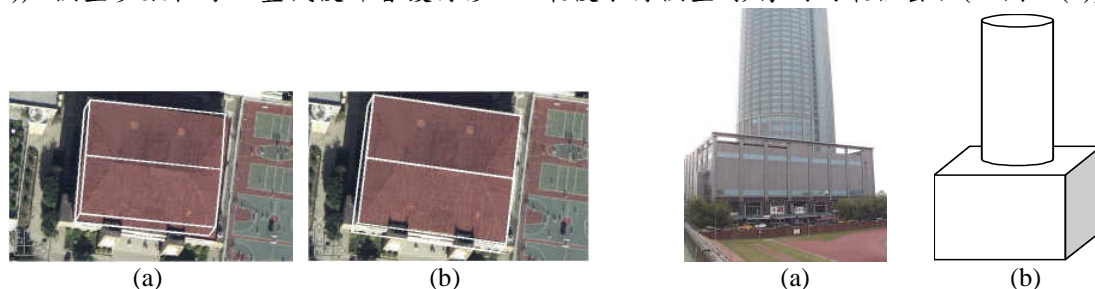
$$v = \frac{|(y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y + (y_2x_1 - y_1x_2)|}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} \quad (1)$$

其中 v 為邊緣線像元至邊緣線投影的垂直距離， x_1, y_1, x_2, y_2 等座標則是由形狀參數、姿態參數以及已知的像片外方位元素所構成的函式，因此 Box 元件的觀測方程式如下：

$$v = F(l, w, h, dX, dY, dZ, \alpha) \quad (2)$$

由模型的邊緣線投影垂直延伸固定範圍作為選取區，每張像片上所有落在選取區的邊緣線萃取點都可以列一條如第(2)式的觀測方程式，因此觀測方程式的數目將會遠大於未知數的數目。由於觀測方程式為非線性，故利用牛頓法對未知數一次微分，再依照最小二乘

法疊代求取未知數的最佳解。在計算過程中首先以近似套合時的參數作為初始值(如圖八(a))，模型參數在每次疊代後都會獲得修正，最後求得模型-影像間的最佳套合(如圖八(b))。

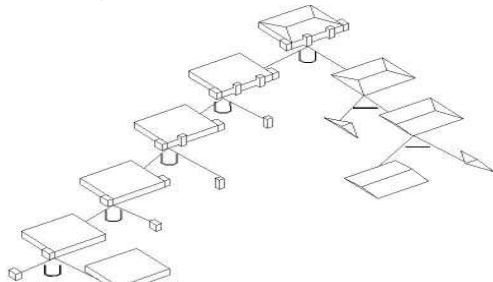


圖八、(a)近似套合；(b)最佳套合

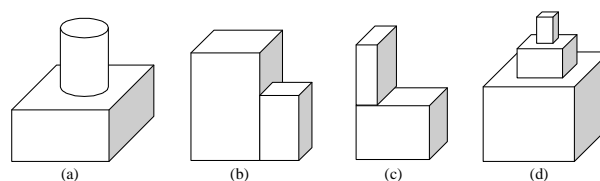
圖九、(a)複合式建物；(b)該建物可由圓柱體與長方體組成

六、布林運算與修正

建物部分是一個一個被套合出來，因此必須再經由布林運算，如：聯集(Union, \cup)、交集(Intersection, \cap)或差集(Difference, $-$)組合為一個整體。附加部分建物は聯集運算中必須特別注意的情形，通常必須在兩個元件之間加入一些約制條件或是做一些修正，以確保結合後的實體符合常理。如圖九(a)所示的大樓可以用一個圓柱體與一個長方體聯集而成(如圖九(b))，圓柱體的底面理論上必須與長方體的頂面相貼，然而在實作上由於套合誤差或其他不確定因素，難免元件間會產生間隙。若在聯集時對兩元件相鄰的表面之間加入約制條件，並對一個元件或同時對兩個元件作修正，即可避免間隙的產生。由於建物は依照 CSG 概念以基本元件一部份一部份重建起來，因此可用圖十的 CSG 樹(CSG Tree)來表達，其中每一片樹葉都代表了建物某部分，而以帶有形狀參數與姿態參數以及建物屬性的基本元件加以描述。



圖十、以 CSG 樹表達一棟完整的建物



圖十一、利用各種約制條件組合元件的範例

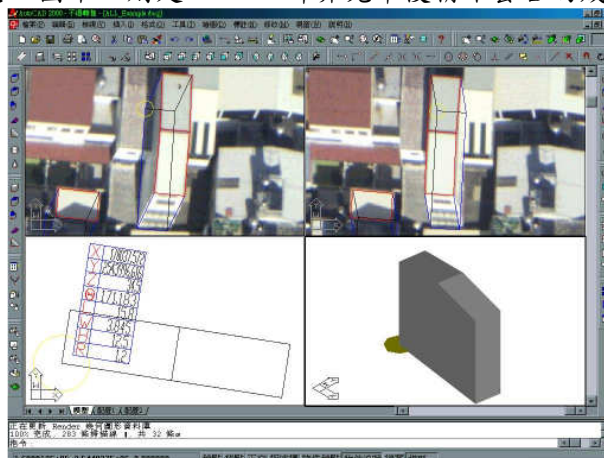
組合建物元件時的約制條件可以分為：面對面、邊緣對邊緣、以及方向對齊等等。面對面的約制條件用在兩元件的面相鄰時，如圖十一(a)所示；而邊緣對邊緣的約制條件則是應用在兩元件的面相鄰，且有部分的邊緣重合時，如圖十一(b)與(c)的情形；方向對齊則是另外一種常見的應用，如圖十一(d)所示，當數個長方體堆疊成一個整體時，就可以利用方向對齊的約制條件。

七、成果與測試

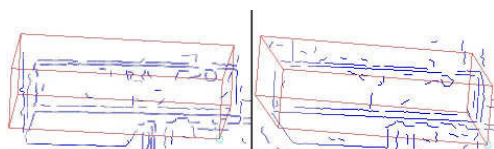
本文提出的方法已經利用數個自行設計的程式實際運作測試。其中基本元件的模型庫、選取模型、近似套合、與模型顯示等人機互動介面均利用 Visual Basic for Application(VBA)程式設計整合在 AutoCAD 2000 環境下，至於 LSMIF 的程式則是以 C 語言開發，獨立於 AutoCAD 之外運作，未來將會整合所有程式於同一系統。

圖十二顯示 CAD 下的工作介面，圖形化的使用介面允許使用者在影像視窗中觀看或縮放兩張航照影像，並可由左邊的模型工具列中參考圖示挑選適合的元件，因此使用者可以在此一介面中選取模型、近似套合並監控套合的過程。每一個模型都具有一個錨點(Anchor Point)以表達模型座標系統的原點，藉由指定錨點在影像上的投影位置，模型在物空間的近似位置將可隨之確定，指定錨點相鄰的兩個角點位置，可以確定模型的比例尺與方向，以上近似套合的動作，都將由電腦化算為模型的形狀與姿態參數的改變。在畫面上

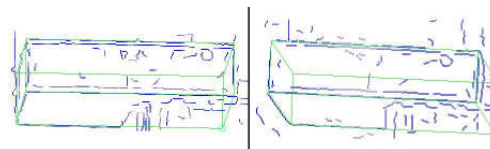
的左下方與右下方分別顯示模型在物空間的鳥瞰圖與透視圖，而模型的外框經過投影計算後也會重疊顯示在左上方與右上方的像片上。在近似套合完成後，系統將會輸出模型近似的形狀與姿態參數供 LSMIF 程式作為初始值，而 LSMIF 則會疊代計算出模型與影像最佳套合時模型的形狀與姿態參數，並輸出至 AutoCAD 中顯示。圖十三是模型剛開始進行精確套合時的初始狀態，圖十四則是 LSMIF 計算完畢後精確套合的成果。



圖十二、在 CAD 環境下的工作介面



圖十三、模型-影像套合的初始狀態



圖十四、LSMIF 模型-影像套合成果

八、結論

本文提出一套由航照影像半自動化模型式建物萃取的方法，以獲取建物準確、可靠、完整的三維空間資訊。由於三維空間物件投影到二維的影像上時，常會喪失一些有益於建物萃取的資訊，因此模型式建物萃取的概念相當有幫助，尤其是當影像上的有用資訊與不相關的資訊混淆不清時，使用建物模型萃取三維資訊更是相當有用。本文的重點在提出一套半自動化的程序，結合人眼對影像判釋的優點與電腦計算疊代演算法的優點，該方法具有以下特點：

- 操作員以人機互動處理高階的判釋工作，由電腦進行模型-影像最佳套合。
- 大幅減輕操作員逐點量測的負擔，有效地提供精確而可靠的成果。相對於傳統航測製圖的逐點數化方式，本方法提供一個物件一個物件的資訊獲取方式。
- 不需要立體觀測因此不需要昂貴的立體觀測儀器。
- 使用 CSG 模型，因此複合式的建物可以由少量的基本元件加以組合構成。
- 最終成果為 CSG 的建物表示法，可以作為三維城市空間資訊系統的基本資料。

九、參考文獻

- Ameri, B. (2000). Feature Based Model Verification (FBMV): A New Concept for Hypothesis Validation in Building Reconstruction, *The XIXth Congress of The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, Netherlands, Vol. XXXIII, pp. 24-35.
- Braun, C., T. H. Kolbe, F. Lang, W. Schickler, V. Steinhage, A. B. Cremers, W. Förstner and L. Plümer (1995). Models for Photogrammetric Building Reconstruction, *Computers & Graphics*, 19(1), pp. 109-118.
- Brenner, C. (1999). Interactive Modelling Tools for 3D Building Reconstruction, *Photogrammetric Week '99*, Stuttgart, Vol. 47, pp. 23-34.
- Brenner, C. (2000). Towards Fully Automatic Generation of City Models, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, Vol. XXXIII, pp. 85-92.
- Chio, S.-H. and S.-C. Wang (1999). Semi-automatic System for Roof Reconstruction Based on

- 3-D Linear Segments, *The 20th Asian Conference on Remote Sensing*, Hong Kong, pp. 165-170.
- Fischer, A., T. H. Kolbe and F. Lang (1999). On The Use of Geometric and Semantic Models for Component-based Building Reconstruction, *Smati '99 Workshop*, Bonn, pp. 101-119.
- Förstner, W. and L. plümer (1997). *Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps*, Bonn, Birkhaeuser Verlag.
- Förstner, W. (1999). 3D-City Models: Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods, *Photogrammetric Week '99*, Stuttgart, Vol. 47, pp. 291-304.
- Förstner, W. and E. Gülch (1999). Automatic Orientation and Recognition in Highly Structured Scenes, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 23-34.
- Förstner, W., C.-E. Liedtke and J. Bückner (1999). *Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps*, Bonn, Birkhaeuser Verlag.
- Grün, A., K. O. and A. P. (1995). *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*, Monte Verita, Birkhaeuser Verlag Basel.
- Grün, A. and H. Dan (1997). TOBAGO-a Topology Building for the Automated Generation of Building Models, *Automatic Extraction of Man-made Objects from Aerial and Space Images(II)*, Monte Verita, pp. 149-160.
- Grün, A. (2000). Semi-automated Approaches to Site Recording and Modeling, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, Vol. XXXIII, pp. 309-318.
- Gülch, E. (1997). Application of Semi-Automatic Building Acquisition, *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*, Monte Verita, Vol. II, pp. 129-138.
- Gülch, E., H. Müller, T. Läbe and L. Ragia (1998). On The Performance of Semi-automatic Building Extraction, *ISPRS Commission III Symposium on Object Recognition and Scene Classification from Multispectral and Multisensor Pixels*, Columbus, USA.
- Hendrickx, M., J. Vandekerckhove, D. Frere, T. Moons and L. van Gool (1997). 3D Reconstruction of House Roofs from Multiple Aerial Images of Urban Areas, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Columbus, Ohio, Vol. 32, Part 3, pp. 88-94.
- Henricsson, O., F. Bignone, W. Willuhn, F. Ade, O. Kubler, E. P. Baltsavias, S. Mason and A. Grün (1996). Project Amobe: Strategies, Current Status, and Future Work, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vienna, Vol. XXXI, pp. 321-330.
- Hsiao, H.-W. and K. W. Wong (1999). Automatic Matching of Buildings and Corners, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(7), pp. 803-810.
- Lang, F. and W. Förstner (1996). 3D-City Modeling with a Digital One-eye Stereo System, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vienna, Vol. 31, pp. 415-420.
- Lowe, D. G. (1991). Fitting Parameterized Three-dimensional Models to Images, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(5), pp. 441-450.
- Mohan, R. and R. Nevatia (1989). Using Perceptual Organization to Extract 3-D Structures, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(11), pp. 1121-1139.
- Shufelt, J. A. (1999). Performance Evaluation and Analysis of Monocular Building Extraction From Aerial Imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 21(4), pp. 311-326.
- Suveg, I. and G. Vosselman (2000). 3D Reconstruction of Building Models, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B2, pp. 538-545.
- van den Heuvel, F. A. (2000). Trends in CAD-Based Photogrammetric Measurement, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, Vol. XXXIII, Part B5, pp. 852-863.
- Veldhuis, H. (1998). Performance Analysis of Two Fitting Algorithms for The Measurement of Parameterised Objects, *ISPRS Commission 3, Working Group 4*, pp. 400-407.
- Vosselman, G. (1998). Interactive Alignment of Parameterised Object Models to Images, pp. 272-278.
- Vosselman, G. and H. Veldhuis (1999). Mapping by Dragging and Fitting of Wire-Frame Models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(7), pp. 769-776.