

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

半體積結構(Semi-Volume Structure)於手術模擬的應用

計畫類別：☒個別型計畫 ☐整合型計畫

計畫編號：CNMI-92-02

執行期間：92 年 1 月 1 日至 92 年 12 月 31 日

計畫主持人：劉育寰

共同主持人：

計畫參與人員：

執行單位：資管系

中華民國 九十三年 二月 二十九 日

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

半體積結構(Semi-Volume Structure)於手術模擬的應用

計畫編號：CNMI92-02

執行期限：92 年 1 月 1 日至 92 年 12 月 31 日

主持人：劉育寰 嘉南藥理科技大學 資訊管理系

中文摘要

半體積結構(Semi-Volume Structure, SV)實際上是一個具縱向鏈結的二維列表結構(2D link list)，而每個節點(node)則鏈結到多邊形結構(polygon structure)。以多邊形結構來儲存表面資料是爲了方便使用市售的繪圖函式庫（如 OpenGL, DirectX, SPHIGS 等）。二維列表結構主要是根據表面邊界的相對位置所建立的，以致於能迅速找尋到其相鄰邊界的資料，進而提昇描繪時的速度，這是傳統式的陣列或不具縱向鏈結的二維列表結構儲存法所無法比擬的(20)。多邊形結構中除記錄了表面邊界的位置外，更記錄了表面與其所包圍的組織紋路(tissue texture)、物件編號與透明度等。所有的表面資料可記錄於同一個 SV 結構中，只要賦予適當的物件編號即可。如此，便能於彩色立體描繪中呈現出多種物件的影像。在描繪的模型上，則令組織邊界上的每一點爲有方向性的自發性點光源(point light source)，其亮度爲原始影像的灰階，方向則爲該點的表面法向量。而組織內部則爲亮度較組織紋路灰階爲低的擴散光源(diffusion light source)，其用意是爲突顯組織邊界。然後利用光追蹤(ray tracing)的方法，讓光線穿透 SV 結構而得到描繪影像。在組織內部直接以 SV 結構所記錄的組織紋路計算出合成顏色(composite color)，而免去光追蹤的繁瑣運算。因此，利用 SV 結構能以近似表面描繪法的速度模擬出體積描繪法的效果。使用者可改變物件色調與透明度以達到不同的視覺效果。

關鍵詞：半體積結構、立體影像重構

Abstract

A Semi-Volume (SV) structure has been developed for surgical simulation. The SV structure is actually a 2D link list with horizontal and vertical link. Each node in the SV structure records the vertices of the triangles on the iso-surface of object and the volume information. A GUI system, developed by Java language with Java swing and Java 3D API, is a platform independent

and Web application, which is convenient for promote our research results via the Web.

Keywords: Semi-Volume Structure, 3-D Image Reconstruction.

Introduction

半體積結構(Semi-Volume Structure, SV)是一個具縱向鏈結的二維列表結構(2D link list)，而每個節點(node)則鏈結到多邊形結構(polygon structure)。以多邊形結構來儲存表面資料主要是爲了方便使用市售的繪圖函式庫（如 OpenGL, DirectX, SPHIGS 等）。有別於其他儲存表面資料的結構，本結構除儲存表面邊界的位置外，更記錄了表面與其所包圍的組織紋路(tissue texture)、物件編號與透明度等。亦即利用表面資料的結構紀錄了體積資料的資訊，故名爲半體積結構。

表面資料的位置是使用 Marching Cube 的演算法求得的，所求得的表面資料的格式大多爲三角形或多邊形。利用這種方法求得的表面位置的資訊會相當的多，也就是說會有相當龐大的表面資料。可以利用三角形或多邊形減少法(Triangle Decimation)來去除不必要的資訊，但仍可保持表面形狀的平滑完整。但由於三角形減少法比較複雜，在本計畫中並未實作，取而代之的是對原始體積資料的重新取樣，來減少資料量。

建立出 Marching Cube 的三角形資料後，利用 Java 3D API 來作立體顯示。至於半體積結構，在本計畫中只是先建立基本架構，體積資料的訊息（如組織紋路、物件編號與透明度等）並未實作。不過在建立這樣的架構的同時已經預留了擴充性，再後續的研究中可以很輕易的將體積資訊加入。至於手術模擬的部分，在本計畫中先作可行性的評估，再後續的研究中可將其實做出來。

Method

半體積結構作立體顯示及手術模擬必須經過下列幾個步驟：體積資料二值化、Marching

Cube 建立三角形表面資料、將三角形表面資料轉成 Java 3D 的三角形陣列格式、建立半體積結構、以 Java 3D API 作立體顯示、以半體積結構實作手術模擬的動作。茲將各步驟分述如下：

體積資料二值化

原始體積資料是由髖骨部位的一系列電腦斷層掃描影像(CT)與核磁共振影像(MRI)經內插(Interpolation)、登錄(Registration)後所得的(如圖 1 所示)，是吾人在先前的研究中所建立的體積資料。由於體積資料中有 CT 的影像成份，故以骨頭的邊界做為表面資料的位置。以 CT 影像的特性，骨頭的部位亮度比較高，因此，可以用簡單的二值化(Binarized)動作來完成骨頭與其他部位的分割(Segmentation)。

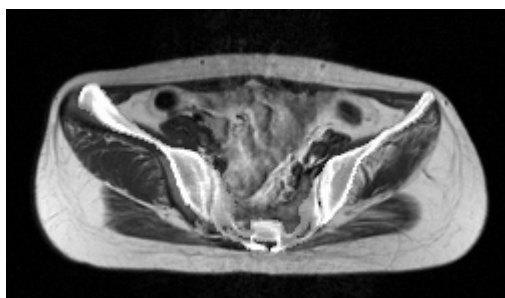


圖 1 原始的體積資料，比較亮的部位是骨頭的部分是來自 CT 影像。

Marching Cube

Marching Cube 是一個著名的演算法，用來建立物體表面位置的立體結構。將體積資料中的每個基本立方體(cube)根據其中的資料內容(是否為物體內部)以三角形來建立出表面位置的立體結構。基本立方體是由 8 個體素(voxel)所組成。每個體素都可能有“在”或“不在”物體內部的 2 種狀況，所以共有 $256(2^8)$ 種組合。再物體內部與外部的體素之間會存在一個界面，通常可以用三角形來表示，這就是表面位置的所在。依照這 8 個體素的狀況，並考慮其對稱性，在 256 種組合中共可分為 15 類(如圖 2 所示^[1])。

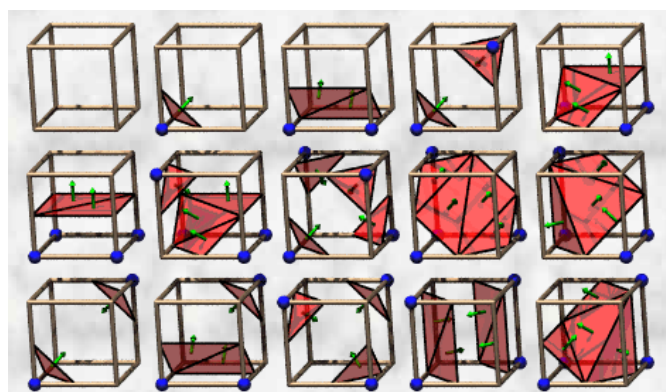


圖 2 基本立方體的各種不同的狀況。^[1]

表面資料轉換

以 Marching Cube 找到所有表面位置後，必須將這些三角形儲存起來，以便後續的立體顯示。若要以 Java 3D API 作立體顯示，那麼三角形的 3 個頂點之儲存順序就很重要了，因為，Java 3D API 在顯示三角形所構成的立體結構會有內部的表面與外部的表面之分。Java 3D API 使用的是右手法則，亦即當我們從外部觀測一個表面時，如果頂點是以反時針方向遊歷，則我們稱該平面為外側面(如圖 3 所示)。

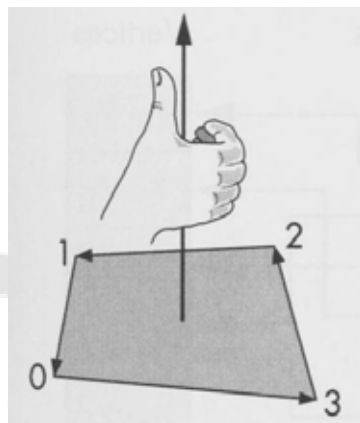


圖 3 (a)右手定則。^[9]

半體積結構

半體積結構實際上是一個具縱向鏈結的二維列表結構(2D link list)，而每個節點(node)則鏈結到多邊形結構(polygon structure)。圖 4 為半體積結構示意圖，二維陣列所鏈結的每個節點都紀錄了一組三角形的頂點及其他體積資訊^[8]。當然每組三角形的頂點需經過表面資料轉換的動作，以確保每組三角形頂點的排列順序為順時鐘方向。圖 4 中缺少了縱向的鏈結，縱向的鏈結是根據每個節點深度值(depth)來建立的。主要目的是為提高節點搜尋的效率，當物體的表面結構較為複雜時，更可突顯其效率。

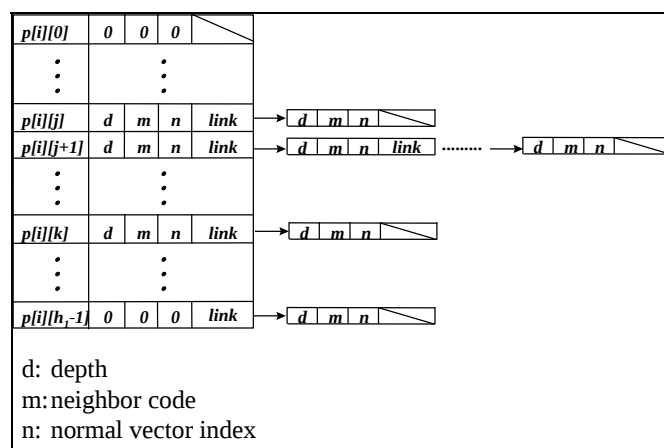


圖 4 半體積結構示意圖，二維陣列所鏈結的每個節點都紀錄了一組三角形的頂點及其他體積資訊。

Java 3D API

Java 是由 Sun Micro 公司所開發的一種跨平台的程式語言，同時可以 Java Applet 的方式建構 Web 的應用程式，可在網路上散播。配合 Java Swing 及 Java 3D API 可開發圖形介面及立體圖形顯示的應用程式，大大提昇了應用程式的視覺效果。因此本計畫選用 Java Swing 及 Java 3D API 來開發系統。

手術模擬

利用圖形介面的簡單幾何圖形的繪圖工具，做為手術刀切割的位置，再依此方向對半體機資料中的表面資料作切割的動作。同時使用橫向與縱向鏈節進行快速搜尋，可迅速找到正確的切割位置。在切割位置插入 2 個節點，分別表示切割後所產生的 2 個新的表面，同時加入所屬的體積資訊及其橫向與縱向的鏈結。必要時還可加入物件編號。如此，便可完成手術模擬。

Results

本計畫以 Java Swing 及 Java 3D API 開發了一個系統，其圖型使用者介面如圖 5 所示。圖 5 展示了讀取原始體積資料的功能。



圖 5 以 Java Swing 及 Java 3D API 所開發的系統。

以一個立體球型做為 Marching Cube 的測試，如圖 6 所示，而其描繪的結果如圖 7 所示。這個示範中並沒有使用太高的解析度，亦即，所產生的三角形並不是最大密度，所以看起來並不

是那麼平順。^[7]

另一筆示範的資料是股骨的立體結構(如圖 8 所示)，在此，以 3 種不同的三角形密度來顯示其立體結構。^[6]

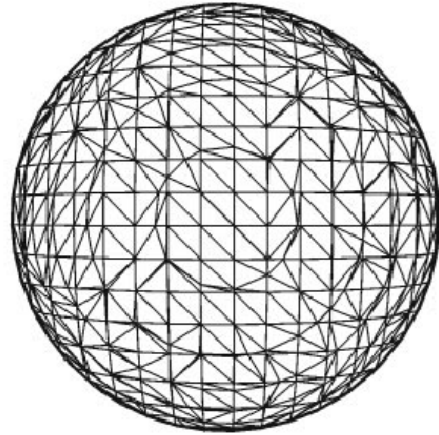


圖 6 球型的 Marching Cube 表面資料結構。^[7]



圖 7 圖 6 結構經描繪(Rendering)後的結果。^[7]

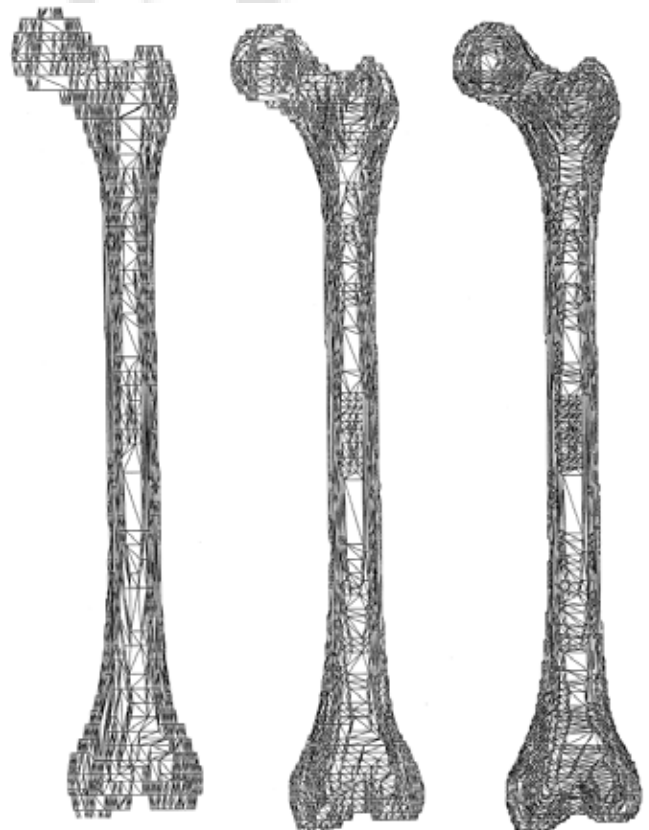


圖 8 股骨的 Marching Cube 立體結構。^[6]

Conclusion

提出一個新的結構用來紀錄表面位置的結構，因同時可紀錄體積資訊，故稱為半體積結構 (SV)。由於半體積結構具有縱向鏈結，可增加節點的搜尋速度，用在手術模擬中可突顯其效率。

使用 Marching Cube 的演算法來建立表面位置的結構，將所求得的表面三角形結構以右手定則儲存於半體積中，使得 Java 3D API 能順利的將其立體結構描繪出來。

以 Java、Java Swing 及 Java 3D API 開發本系統，建構了一個可跨平台及可在 Web 散播的應用程式，有助於成果的展示及提供網路上的使用者共同分享本系統。

Reference

- [1]. J. Sharman, "The Marching Cubes Algorithm," <http://www.exaflop.org/docs/marchcubes/ind.html>.
- [2]. D.A. Rajon and W.E. Bolch, "Marching cube algorithm_review and trilinear interpolation adaptation for image-based dosimetric models," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, Vol. 27, pp. 411-435, 2003.
- [3]. B. Marovic and Z. Jovanovic, "Visualization of 3D fields and medical data and using VRML," *Future Generation Computer System*, Vol. 14, pp. 33-49, 1998.
- [4]. J.H. Chuang and W.C. Lee, "Efficient generation of isosurfaces in volume rendering," *Computer & Graphics*, Vol. 19, No. 6, pp. 805-813, 1995.
- [5]. G. Gallo and S. Spinello, "Thresholding and fast iso-contour extraction with fuzzy arithmetic," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 21, pp. 31-44, 2000.
- [6]. M. Viceconti, C. Zannoni, D. Testi, and A. Cappello, "CT data sets surface extraction for biomechanical modeling of long bones," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 59, pp. 159-166, 1999.
- [7]. G.M. Treece, R.W. Prager, and A.H. Gee, "Regularised marching tetrahedra: improved iso-surface extraction," *Computers & Graphics*, Vol. 23, pp. 583-598, 1999.
- [8]. Y.H. Liu, C.W. Mao, and Y.N. Sun, "Three-dimensional reconstruction, registration and fusion for multimodality medical images," Ph.D. Dissertation, Dept. of EE, NCKU, 1997.
- [9]. Angel, "Interactive Computer Graphics with OpenGL," Addison Wesley, 2000.
- [10]. 易文韜, Java 2 程式設計設計, 旗標出版社, 2001。
- [11]. 林智揚, 精通 Java Swing 程式設計, 金禾資訊, 2001。
- [12]. 周明憲 譯, Java 於演算法與資料結構之實習應用, 博碩文化, 2002。
- [13]. A. E. Walsh and D. Gehringer, "Java 3D API Jump-Start," Sun Microsystems, 2002.
- [14]. D. Selman, "Java 3D Programming, Manning," 2002.