

TR-88-002

從多張二維影像中瞭解三維多面體之形狀

參 考 書
不 准 借

中研院資訊所圖書室



3 0330 03 00077 7

0077

TR-88-002

Understanding of 3-D Polyhedral
Object from Multiple Views

從多張二維影像中瞭解三維多面體之形狀

Kuo-Young Cheng , Chih-Dong Liaw

Institute of Information Science,
Academia Sinica, Taiwan, R.O.C.

論文所屬領域: Pattern Recognition

摘要

在瞭解或重建三維物體的過程中最重要的關鍵就是影像間的匹配。但是，多年來，影像間之匹配問題一直無法有效的突破。因此，為了要達到瞭解或重建三維物體的目的，一般對於三維物體形狀的限制條件也就相對的增加。

在本文中，我們放寬對於三維物體形狀的限制條件。也就是說，除了考慮凸形物體之外，我們亦將研究凹形物體之情形。為了保存原三維物體之立體幾何意義，首先，我們將攝入的影像加以編譯，而後根據這些經過編譯後的影像，我們提出一些啓發式法則來將影像中部分被遮蔽的不完整區域找出來。最後，我們利用匹配演繹法將這些經過處理後僅含完整區域之影像拓樸架構合併在一起，影像一張一張的順序輸入，對於三維物體拓樸架構之描述也就漸趨完整。當所攝入的影像不再影響對於三維物體拓樸架構之描述時，三維物體即已描述完成。

第一節 緒論

在過去許多年中，有很多的專家學者致力研究於：“從多張二維影像中去瞭解或重建三維物體”。在瞭解或重建三維物體的時後由於牽涉到圖形間的匹配問題(matching problem)，因此，至今仍然沒有多大的突破。但是，多年來仍然有許多專家學者提出一些啓發式法則(heuristic rules)去專對某些限定條件下的影像做分析、匹配，以便瞭解或重建三維物體的立體幾何架構。例如，Huang [7]、Kanade [4]、Aggarwal [8]、Shirai [5]以及Underwood & Coates [2], ..., 等等。

在本文中，我們的興趣在於如何從多張二維影像中逐漸去瞭解三維物體的立體拓樸架構。當從各種不同的角度對三維物體所觀察到的二維影像一張一張的輸入電腦後，三維物體的立體拓樸架構也就逐步的描述出來。本文的主要靈感來自Underwood & Coates [2]，他們將三維物體的型態限制在凸形平面多面體 (convex planar surface polyhedra)，而從這種型態的三維物體所觀察到的二維影像中去瞭解三維物體的立體拓樸架構。在本文中，我們將三維物體的限制條件放寬，換句話說，除了凸形平面物體之外，我們亦考慮凹形平面物體 (concave planar surface object)。因此，在本文中所提到的三維物體均指平面多面體 (planar surface polyhedra) 而言。

對於一個凹形平面多面體而言，當我們觀察這種多面體時，所看到的影像往往包含部分被遮蔽的不完整區域。一旦多面體之某些平面被部分遮蔽時，則它在二維影像平面上的投影就喪失了它原有的立體幾何意義，而平面與平面之間的拓樸關係也將變得不正確，當然，在從二維影像去瞭解三維物體的立體拓樸架構的過程中，勢必因為平面間的混淆問題而發生極大的錯誤。

正由於在二維影像中所見到的區域很有可能是部分被遮蔽的區域，因此，在進行平面間的匹配之前，我們必須先從二維影像中將部分被遮蔽的區域找出來。在本文中，我們的做法為：第一，先將攝入的影像做編譯。第二，利用一些啟發式法則 (heuristic rules) 將部分被遮蔽的區域找出來。第三，將經過處理後而不含部分被遮蔽區域之影像合併在一起。

接著，我們就來介紹本文所使用的影像模式及其編譯方法。

第二節 影像編譯

在本文中，我們假設影像是根據測距尋找器 (range finder) 所掃描而得到的測距資料 (range data) [1]。因為經由這種測距資料所形成的影像具有三維資訊的特性。因此，藉著這些三維資訊，我們便可輕易的對影像中物體之邊線加以編譯。多年來有許多專家學者提出一些從測距影像 (range image) 中粹取出多面體 (polyhedra) 之邊線 (edge)、接點 (junction) 和區域 (region) 的技巧，例如，Shirai [3] 和 Herman [6], ..., 等。因此，在本文中我們假設可以從測距影像中取得構成多面體之接點及邊線的幾何與拓樸資料。

首先，我們將影像中物體之邊線型態歸納為以下三種：

- (1) 凸形邊線，用符號 “ + ” 來表示此類邊線的標線型態。
- (2) 凹形邊線，用符號 “ - ” 來表示此類邊線的標線型態。
- (3) 邊界線 (obscuring line-segment)，用符號 “ \rightarrow ” 來表示此類邊線的標線型態。

當我們從測距影像中粹取邊線和接點的同時，便可以根據每一條邊線 L_i 兩側附近的像點來做編譯。因為，藉著這些像點所代表之三維資訊 (x_i, y_i, z_i) 的變化情形便能分辨出邊線 L_i 所代表的標線型態。在此，我們把對於邊線 L_i 的編譯方法簡單的歸納成底下兩點：

- (i) 如果影像中之某一條邊線 L_i 兩側附近的像點所代表之三維資訊 (x_i, y_i, z_i) 中的深度值 (depth value) z_i 不連續，則邊 L_i 的標線型態為 “ \rightarrow ”，而且箭頭方向的右邊指向深度值 z_i 較小的區域。
- (ii) 如果影像中之某一條邊線 L_i 兩側附近的像點所代表的深度值 z 是連續的數值，則邊 L_i 的標線型態為 “ + ” 或 “ - ”，而且由深度值 z_i 的變化情形可以分辨出到底是 “ + ” 或 “ - ”。

接下來，我們探討造成影像中之區域被部分遮蔽的原因。

第三節 造成部分被遮面的原因

如果我們考慮影像中物體之邊線與邊線之間的相連關係可以發現，造成某些區域部分被遮蔽的情況有兩種：(一)構成某些區域的某些邊線被部分遮蔽。(二)構成某些區域的某些邊線完全被遮蔽。根據這兩種情況，我們歸納出四種可能造成部分被遮面 (partial occluding face) 的原因。當我們從測距影像中粹取出某一個區域 R 時，假設區域 R 由 n 個接點 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ 。以及 n 條邊線 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ 依順時針方向構成，那麼我們定義 $R = (J, L)$ 。底下我們就來討論四種可能造成部分被遮面的原因：

- (i) 假設影像中存在某一個區域 $R_1 = (J, L)$ ，其中 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ 且 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ 。以及另外一個區域 $R_2 = (J', L')$ ，其中 $J' = \{J'_1, J'_2, \dots, J'_m\}$ 且 $L' = \{L'_1, L'_2, \dots, L'_m\}$ 。如果區域 R_1 中存在某一條邊線 L_i 和區域 R_2 中之某一條邊線 L'_j 相交，但是邊線 L_i 和邊線 L'_j 的交點不為邊線 L'_j 的兩個端點 J'_k 或 J'_{k+1} ，則造成了部分被遮面。

如圖3-1 中，邊線 L 和邊線 L' 相交於點 I ，但是 $I \neq J_1$ 且 $I \neq J_2$ ，原因在於區域 A 被部分遮蔽之故。

- (ii) 假設影像中存在某一個區域 $R = (J, L)$ ，其中 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ 且 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ 。若區域 R 中存在某一條邊線和其它區域的某些邊線連成一直線，則可能造成部分被遮面。

如圖3-2 中，區域 A 之邊線 L_1 和區域 B, C 之邊線 L_2, L_3 相連成一直線，實際上是因為區域 A 和區域 C 被部分遮蔽之故。

- (iii) 假設影像中存在兩個區域 $R_1 = (J, L)$ 以及 $R_2 = (J', L')$ ，而區域 R_1 和區域 R_2 至少存在兩條以上的共用邊線，則此影像中可能包含部分被遮面。

例如圖3-3 中，區域 C 與區域 A 共同擁有邊線 L_1 及 L_2 原因是區域 C 被部分遮蔽之故。

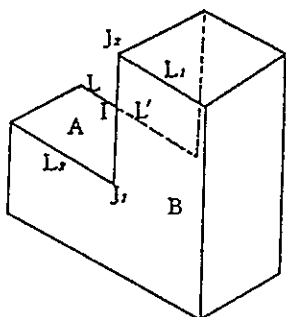


圖 3 - 1

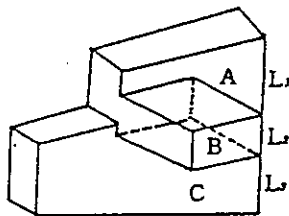


圖 3 - 2

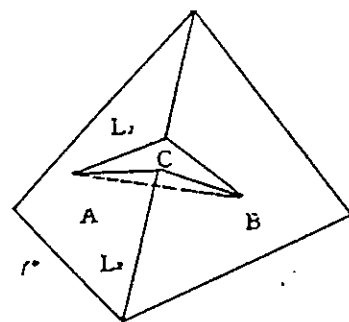


圖 3 - 3

區域被部分遮蔽圖

- (IV) 假設影像中存在某一個區域 $R = (J, L)$ ，其中 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ 且 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ 。如果區域 R 中的每一條邊線 L_i ，滿足，
- (a) L_i 亦為其它區域的完整邊線。或是
 - (b) L_i 為邊界線。
- 則區域 R 可能為部分被遮面。

例如圖3-2 中，區域 C 之每一條邊線 L_i 均和別的區域完整相連或者為邊界線，但是區域 C 卻為部分被遮蔽面。

基於以上四個可能造成部分被遮面的原因，我們接著就提出數條啟發式法則 (heuristic rules) 來將影像中之部分被遮面找出來。

第四節 找出部分被遮面的法則

在前面我們曾經提及：“在從測距影像中粹取接點及邊線的同時便可以對所有邊線加以編譯”。在介紹這些足以找出部分被遮面的啟發式法則之前，我們先定義所謂的編譯區域 (interpretative region)：

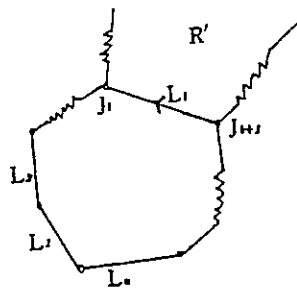


圖 4-1

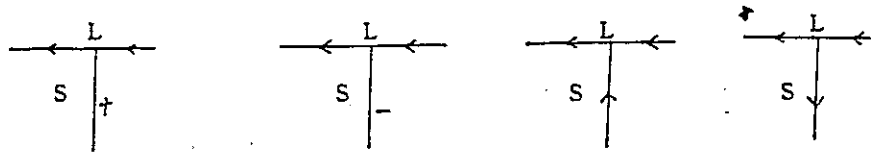


圖 4-2: T-型接點之一

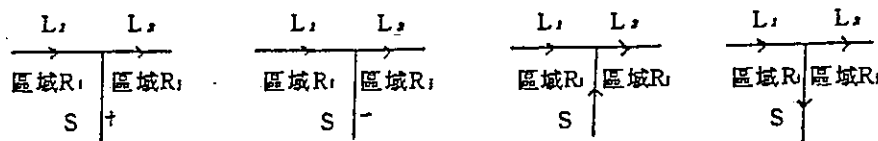


圖 4-3: T-型接點之二

定義 [1]: 假設在某一個經過編譯後的影像中存在某一個區域 $R_i = (J, L)$, 其中 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ 且 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ 。我們定義一個和區域 R 相對應的編譯區域 IR_i 如下:

$$IR_i = (J, L, h),$$

其中 h 為從邊線集合 L 映射到標線型態 $\{ "+", "-", ">", "<" \}$ 的函數, 且

$$h(L_i) = h(J_i, J_{i+1}) = \begin{cases} "+", & \text{若邊線 } L_i \text{ 的標線型態為 "+" 的凸形邊線。} \\ "-", & \text{若邊線 } L_i \text{ 的標線型態為 "-" 的凹形邊線。} \\ ">", & \text{若邊線 } L_i \text{ 的標線型態為 "→" 的邊界線,} \\ & \text{且箭頭的方向從接點 } J_i \text{ 指向接點 } J_{i+1}。 \\ "<", & \text{若邊線 } L_i \text{ 的標線型態為 "→" 的邊界線,} \\ & \text{且箭頭的方向從接點 } J_{i+1} \text{ 指向接點 } J_i。 \end{cases}$$

接著，我們就來介紹這些啟發式法則：

法則一：假設在某一個編譯影像中存在一個編譯區域 $IR_i = (J, L, h)$ ，其中 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ 。如果編譯區域 IR_i 中存在某一條邊線 L_i ，使得 $h(L_i) = "<"$ ，則，和編譯區域 IR_i 相對應的區域 R_i 必定為部分被遮面。

因為對於一個多面體而言，它的每一條邊線均恰由兩個區域相交而成，因此，若某一條邊線 L_i 的編譯型態為 " \rightarrow "，表示構成邊線 L_i 的區域有一個完全被遮蔽。法則一所敘述的就如圖4-1 中區域 R 之邊線 L_i 亦為區域 R 之一條邊線，對於 R 來說 $h(L_i) = "<"$ ，也就是說 L_i 為邊界線，而且箭頭方向的左邊區域完全被遮蔽，因此，區域 R 必定為部分被遮面。

法則二：假設在某一個編譯影像中存在一個編譯區域 $IR_1 = (J, L, h)$ ，其中 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ ， $n \geq 3$ 。以及另外一個編譯區域 $IR_2 = (J', L', h')$ ，其中 $L' = \{L'_1, L'_2, \dots, L'_m\}$ ， $m \geq 3$ 。如果編譯區域 IR_1 與 IR_2 共同擁有 l 條邊線， $l \leq \min(m, n)$ ，也就是說，存在兩個排列函數， $\delta: n \rightarrow n$ 以及 $\delta': m \rightarrow m$ ，使得 $L_{\delta(k)} = L'_{\delta'(k)}$ ， $k=1, 2, \dots, l$ ，則：

- (a) 如果 $h(L_{\delta(k)}) = "+"$ ， $k=1, 2, \dots, l$ ，而且編譯區域 IR_1 以及 IR_2 均不合法則一的條件，則區域 R_1 及 R_2 均為合理區域。
- (b) 如果 $h(L_{\delta(k)}) = "-"$ ， $k=1, 2, \dots, l$ ，而且編譯區域 IR_1 以及 IR_2 均不合法則一的條件，則區域 R_1 及 R_2 均為合理區域。
- (c) 如果 $h(L_{\delta(k)})$ 不全為 "+" 或不全為 "-"， $k=1, 2, \dots, l$ 。那麼在區域 R_1 及區域 R_2 中至少有一個區域為部分被遮面。而且根據法則一我們可以將部分被遮面找出來。

由於在本文中我們只考慮平面多面體 (planar surface polyhedra)，因此，兩個相鄰區域所共同擁有的邊線型態必須一致。如法則二所敘述的，一旦 IR_1 和 IR_2 所共同擁有的邊線型態不同時，則區域 R_1 及 R_2 中至少有一個為部分被遮面，在此，我們不予證明。詳情可參閱 Liaw [9]。

一種最常見且可能導致部分被遮面的情形就是在第二節中所提到第一項可能造成部分被遮面之原因。換言之，當影像中存在如圖4-2的T-型接點時，則此影像中極可能包含部分被遮面。對於這類情形，我們利用法則三來把部分被遮面找出來。接著，我們介紹法則三：

法則三：假設在某一個編譯影像中存在一個編譯區域 $IR_i = (J, L, h)$ 以及另外一個編譯區域 $IR_j = (J', L', h')$ ，其中 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_m\}$ 且 $L' = \{L'_1, L'_2, \dots, L'_n\}$ 。如果區域 R_i 中存在某一條邊線 L_k 而且區域 R_j 中存在某一條邊線 L'_p ， $1 \leq k \leq m, 1 \leq p \leq n$ ，使得邊線 L_k 和邊線 L'_p 相交而產生T-型接點。在不失一般性的情況下，我們假設邊線 L_k 為此T-型接點之基部邊線，則區域 R_i 以及所有包含邊線 L_k 的區域均為部分被遮面。

另外一種造成部分被遮面的原因為：“某些區域中之邊線和其它區域中之邊線連成一直線”，這種情況就如圖4-3。專對此類部分被遮面，我們提出法則四來將部分被遮面找出來。

法則四：假設在某一個編譯影像中存在一個編譯區域 $IR_i = (J, L, h)$ 以及另外一個編譯區域 $IR_j = (J', L', h')$ ，其中 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_m\}$ 且 $L' = \{L'_1, L'_2, \dots, L'_n\}$ 。如果 IR_i 中之某一條邊線 L_k 與 IR_j 中之邊線 L'_p 相連成一直線，且邊線 L_k 與 L'_p 之相交點形成T-型接點，假設此T-型接點之基部邊線為 L_s ，則：

- (a) 如果邊線 L_s 之標線型態為“+”或“-”，則包含邊線 L_s 的區域可能為合理區域，且根據法則一可以判斷找出此區域是否為合理區域。
- (b) 如果邊線 L_s 之標線型態為“→”，則包含邊線 L_s 的區域必定至少有一個為部分被遮面。

由圖4-2與圖4-3，我們可以很容易的驗證出法則三與法則四的正確性。對於每一張輸入的編譯影像均可以利用上述四條法則來將影像中之部分被遮面找出來。一旦影像中不含部分被遮面時，我們便能利用這些影像來瞭解三維多面體之立體拓樸架構。

範例一：如果我們從某一個角度得到如圖4-4 之編譯影像，則，對於編譯區域 $I R_3 = (J^{(3)}, L^{(3)}, h^{(3)})$ 來說， $L^{(3)} = \{L_{10}, L_{15}, L_{16}, L_{11}\}$ ，而且 $h^{(3)}(L_{11}) = "<"$ ，因此，依據法則一我們發現區域 R_2 為部分被遮面。

對於編譯區域 $I R_1 = (J^{(1)}, L^{(1)}, h^{(1)})$ ， $I R_2 = (J^{(2)}, L^{(2)}, h^{(2)})$ ， $I R_4 = (J^{(4)}, L^{(4)}, h^{(4)})$ 來說，編譯區域 $I R_1$ 與 $I R_2$ 共同擁有兩條邊線 $\{L_1, L_5\}$ ，而且 $h^{(1)}(L_1) = h^{(1)}(L_5) = h^{(2)}(L_1) = h^{(2)}(L_5) = "+"$ ，而且我們可以很容易的發現， $I R_1$ 與 $I R_2$ 均不合法則一的條件，因此，區域 R_1 及 R_2 均為合理區域。相同的， $I R_1$ 與 $I R_4$ 共同擁有兩條邊線 $\{L_6, L_7\}$ ，而且 $h^{(1)}(L_7) = h^{(4)}(L_7) = "+"$ ，但是 $h^{(1)}(L_6) = ">"$ ， $h^{(4)}(L_6) = "<"$ ，因此，依據法則二可發現區域 R_4 為部分被遮面。

相同的，由圖4-5 中區域 R_1 與區域 R_2 的相連關係，依據法則三我們很容易發現，區域 R_2 為部分被遮面。

□

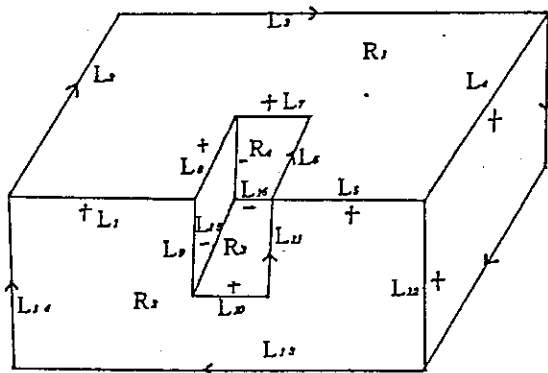


圖 4-4

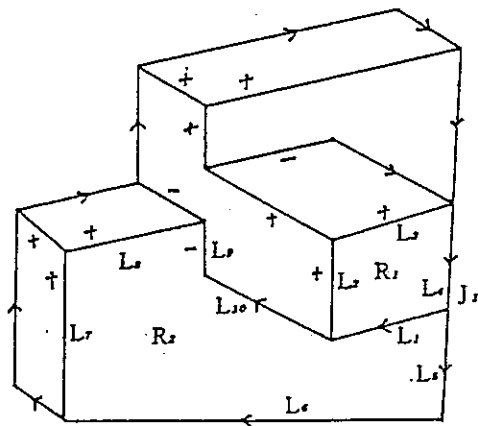


圖 4-5

部分被遮面

接下來我們簡述如何從多張影像中去瞭解三維多面體之形狀？

第五節 拓樸架構之合併

在這節中，我們將Underwood & Coates [2]對於凸形多面體之影像匹配演繹法(matching algorithm)加以延伸，也就是說，我們也將考慮凹形多面體之匹配情形。

在本文中，對於每一張不含部分被遮面的影像我們稱之為拓樸架構，拓樸架構與拓樸架構合併而成另外一個更為完整之拓樸架構。影像一張一張的輸入，合併而成之拓樸架構也就越來越大，一旦描述三維物體之拓樸架構不再因為輸入的影像而有所變動，對三維物體之描述亦告完成。

首先，我們定義一個拓樸架構 S 如下：

$$S = (R, L, \delta, \lambda, \gamma),$$

其中 R 為構成 S 之所有區域所成的集合， L 為 S 中所有邊線所成的集合。

$\delta : R \times L \longrightarrow R \cup \Phi$ ，用以表示 S 中區域與區域之間的相連關係。

$\lambda : R \longrightarrow N$ ，用以表示 S 中之某個區域所包含的邊線個數。

$\gamma : R \times L \longrightarrow L \cup \Phi$ ，用以描述 S 中構成某個區域的所有邊線依順時針方向的排列關係。

本文中，我們所使用的拓樸架構合併演繹法乃是建立在三種匹配法——部分匹配(sub-matches)、交錯匹配(intersection-matches)以及連結匹配(connection-matches)上。藉由這些匹配法才能將順序輸入的拓樸架構合併在一起。這些匹配法乃是以平面間的相似程度為

其基礎來進行匹配。在考慮凸形平面間之相似程度時，Underwood & Coates [2] 提出一種方法來計算出一組不變量來代表一個凸形平面之幾何意義。但是，當我們碰到凹形平面時，上述方法就一籌莫展了。因此，我們將Underwood & Coates [2] 的方法加以修改，如圖5-1，我們定義一個和任意接點 J_i 相對應的不變量 Sh_i 如下：

$$Sh_i = \begin{cases} \frac{\overline{J_i I_i}}{\overline{J_i J_{i+2}}} \times 100 & , \text{若線段}\overline{J_i J_{i+2}} \text{和線段}\overline{J_{i+1} J_{i+3}} \text{相交於點}I_i。 \\ -Sh_{i-1} & , \text{若線段}\overline{J_i J_{i+2}} \text{和線段}\overline{J_{i+1} J_{i+3}} \text{不相交，而且} Sh_{i-1} > 0。 \\ -Sh_{i+1} & , \text{若線段}\overline{J_i J_{i+2}} \text{和線段}\overline{J_{i+1} J_{i+3}} \text{不相交，而且} Sh_{i-1} < 0, \text{但是} Sh_{i+1} > 0。 \\ -100 & , \text{若線段}\overline{J_i J_{i+2}} \text{和線段}\overline{J_{i+1} J_{i+3}} \text{不相交，而且} Sh_{i-1} < 0, \text{而且} Sh_{i+1} < 0。 \end{cases}$$

接著，我們介紹這個合併演繹法。

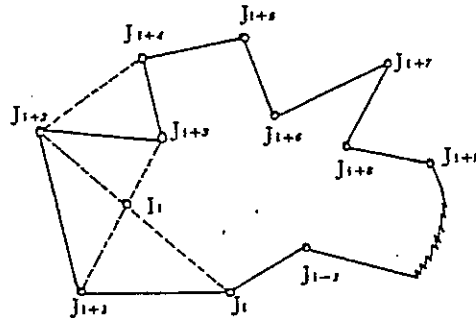


圖 5-1 二維區域 R 的形狀測度

假設 $S_1 = (R, L, \delta, \lambda, \gamma)$ 為剛輸入之拓樸架構，而 $S_2 = (R', L', \delta', \lambda', \gamma')$ 為先前輸入之影像所合併而成的拓樸架構，則我們利用底下演繹法將 S_1 和 S_2 中而成另外一個更為完整之拓樸架構。

拓樸架構演繹法

- 步驟一：首先在 R 中找到某一個區域 R_i ，並在 R' 中找出某一個區域 R'_j ，使得區域 R_i 和區域 R'_j 滿足 $\lambda(R_i) = \lambda'(R'_j)$ 的條件。假設區域 $R_i = (J_s, L_s)$ ，而區域 $R'_j = (J'_s, L'_s)$ ，其中 $L_s = \{L_1, L_2, \dots, L_{\lambda(R_i)}\}$ 且 $L'_s = \{L'_1, L'_2, \dots, L'_{\lambda'(R'_j)}\}$ 。而且 $\gamma(R_i, L_k) = L_{k+1}$ ， $\gamma'(R'_j, L'_k) = L'_{k+1}$ ， $k=1, 2, \dots, \lambda(R_i)-1$ 。 $\gamma[R_i, L_{\lambda(R_i)}] = L_1$ ， $\gamma'[R'_j, L'_{\lambda'(R'_j)}] = L'_1$ 。
- 步驟二：找出一個區域映射， $f_1 : R \rightarrow R'$ ，使得 $f_1(R_i) = R'_j$ 。
- 步驟三：藉由 γ 與 γ' 的關係找出 $\lambda(R_i)$ 個可能映射中之一個映射 $f_2 : L \rightarrow L'$ 。
- 步驟四：根據目前所找出的映射 f_1 和 f_2 ，針對所有滿足 $\delta(R_i, L_k) \neq \Phi$ 的區域，將滿足條件 $f_1[\delta(R_i, L_k)] = \delta'[f_1(R_i), f_2(L_k)] \neq \Phi$ 的相匹配區域對 $\{\delta(R_i, L_k), \delta'[f_1(R_i), f_2(L_k)]\}$ 加到和 f_1 及 f_2 相對應的暫存變數 F_R 中， $1 \leq k \leq \lambda(R_i)$ 。
- 步驟五：如果對於所有的 $\delta(R_i, L_k)$ 來說， $\lambda[\delta(R_i, L_k)] \neq \lambda'[\delta(R_i, L_k)]$ ， $k=1, 2, \dots, \lambda(R_i)$ 。則根據 $\{L_1, L_2, \dots, L_{\lambda(R_i)}\}$ 與 $\{L'_1, L'_2, \dots, L'_{\lambda'(R'_j)}\}$ 之間的相對應排列關係找出另外一個映射， $f_2 : L \rightarrow L'$ ，並將暫存變數 F_R 中的所有匹配區域對去除掉。重複步驟四和步驟五的動作。
- 步驟六：如果對於所有 $\lambda(R_i)$ 個映射 L_2 所找出和 f_1 及 f_2 相對應的 F_R 均為空集合，那麼我們找出另外一個區域映射 $f_1 : R \rightarrow R'$ ，使得 $f_1(R_i) = R'_j$ 。重複步驟三到步驟六的動作。
- 步驟七：否則，重複步驟一到步驟六的動作直到沒有其它的映射 f_1 發生時，即結束。

值得一提的是：在步驟二中基於 γ 與 γ' 所定義出邊線與邊線的關係，我們可以找到 $\lambda(R_i)$ 個不同的映射 $f_2 : L \rightarrow L'$ ，由這些不同的邊線映射，便自然產生了不同的匹配。在步驟四中的暫存變數 F_R 中之匹配區域對就是 S_1 和 S_2 相匹配的部分。因此，基於 F_R 中之匹配區域對我們便可將拓樸架構 S_1 中未與 S_2 相匹配的區域及邊線附著到拓樸架構 S_2 中。

事實上，對於所有可能相匹配的區域對，Underwood & Coates [2] 提出一個數學公式來計算它們之間的匹配誤差，他們是利用平面間的

相似程度 Sh_i 來計算這個匹配誤差。所以在本文中，我們將修改後之 Sh_i 代入 Underwood & Coates 的公式中去計算匹配誤差。配誤差越小者，合併後的拓樸架構也比較正確。

接下來，我們舉一個範例來驗證上述的演繹法。

範例二：假設我們想要描述如圖3-3 之錐形多面體，首先，我們從某一個角度攝取到如圖5-2 (a) 左側之影像，根據啓發式法則將部分被遮面找出來之後就得到5-2 (a) 右側之影像，至於這張影像所代表之拓樸架構就如圖5-2 (b)。如果我們從錐形物之上方看到如圖5-3 (a) 的影像，則可以發現圖5-2 (b) 和圖5-3 (b) 之拓樸架構為部分匹配，也就是說，可以找到一個區域映射 f_1 以及一個邊線映射 f_2 ，使得，

$$\begin{aligned} f_1(R_1) &= R_8, f_1(R_2) = R_5, \text{ 而且,} \\ f_2(L_1) &= L_{24}, f_2(L_2) = L_{13}, f_2(L_3) = L_{20}, f_2(L_4) = L_{23}, f_2(L_5) = L_{22}, \\ f_2(L_6) &= L_{17}, f_2(L_7) = L_{18}, f_2(L_8) = L_{19}, f_2(L_9) = L_{15}, f_2(L_{10}) = L_{16}, \end{aligned}$$

根據這些相匹配的邊線以及匹配區域對 $\{R_1, R_8\}$ 和 $\{R_2, R_5\}$ 便可以將上面兩個拓樸架構合併成圖5-3 (c) 之拓樸架構。

要是換一個角度觀察到圖5-4 (a) 之影像，可以發現圖5-4 (b) 以及圖5-3 (c) 之拓樸架構為交錯匹配。因為我們可以找到一個區域映射 f_1 及一個邊線映射 f_2 ，使得，

$$\begin{aligned} f_1(R_{10}) &= R_1, f_1(R_{11}) = R_2, \text{ 而且,} \\ f_2(L_{27}) &= L_1, f_2(L_{28}) = L_{10}, f_2(L_{29}) = L_2, f_2(L_{30}) = L_3, f_2(L_{31}) = L_4, \\ f_2(L_{32}) &= L_5, f_2(L_{33}) = L_6, f_2(L_{34}) = L_8, f_2(L_{35}) = L_7, f_2(L_{36}) = L_9, \end{aligned}$$

因此，我們可以把區域 R_9 以及邊線 L_{25}, L_{26} 附著到圖5-3 (c) 中而形成圖5-4 (c) 更完整的拓樸架構。若此時從另外一個角度觀察到圖5-5 (a) 的影像，由圖5-5 (b) 以及圖5-4 (c) 之拓樸架構，可以發現，事實上它們互為連結匹配。因為我們可以找到一個區域映射 f_1 ，使得，

$$f_1(R_{12})=R_9, f_1(R_{13})=R_3, f_1(R_{14})=R_1,$$

而且我們可以找到一個邊線映射 f_2 ，使得，

$$f_2(L_{39})=L_{11} \text{ 而且 } f_2(L_{39})=L_{26}, \text{ 且,}$$

$$f_2(L_{37})=L_{10}, f_2(L_{38})=L_{25}, f_2(L_{40})=L_1, f_2(L_{41})=L_{12}, f_2(L_{42})=L_2,$$

$$f_2(L_{43})=L_3, f_2(L_{44})=L_4, f_2(L_{45})=L_5, f_2(L_{46})=L_6,$$

其中，邊線 L_{39} 同時映射到邊線 L_{11} 以及 L_{26} 。由連結匹配的定義可以知道：“邊線 L_{11} 和邊線 L_{26} 應該為同一條邊線”。因此，我們將圖5-4(c)拓樸架構中的線段 L_{11} 和 L_{26} 連接在一起而成圖5-5(c)之拓樸架構。最後，我們從另外一個角度觀察到圖5-6(a)的影像，同樣的，可以發現圖5-5(c)和圖5-6(b)連結匹配。因為，我們可以找到一個區域映射 f_1 以及一個邊線映射 f_2 ，使得，

$$f_1(R_{15})=R_9, f_1(R_{16})=R_2, f_1(R_{17})=R_4, \text{ 且,}$$

$$f_2(L_{50})=L_{14}, f_2(L_{50})=L_{25}, \text{ 且,}$$

$$f_2(L_{47})=L_{11}, f_2(L_{48})=L_1, f_2(L_{49})=L_{10}, f_2(L_{51})=L_6, f_2(L_{52})=L_7,$$

$$f_2(L_{53})=L_8, f_2(L_{54})=L_3, f_2(L_{55})=L_9, f_2(L_{56})=L_{12},$$

因此，我們可以將圖5-5(c)中的邊線 L_{14} 及 L_{25} 連接在一起而形成如圖5-6(c)的拓樸架構。

以上所有的拓樸架構合併法均只考慮正確匹配的情況，如果我們考慮所有可能的匹配情形，那麼可以將所有的合併及匹配情形建造成如圖5-7 的樹狀圖。

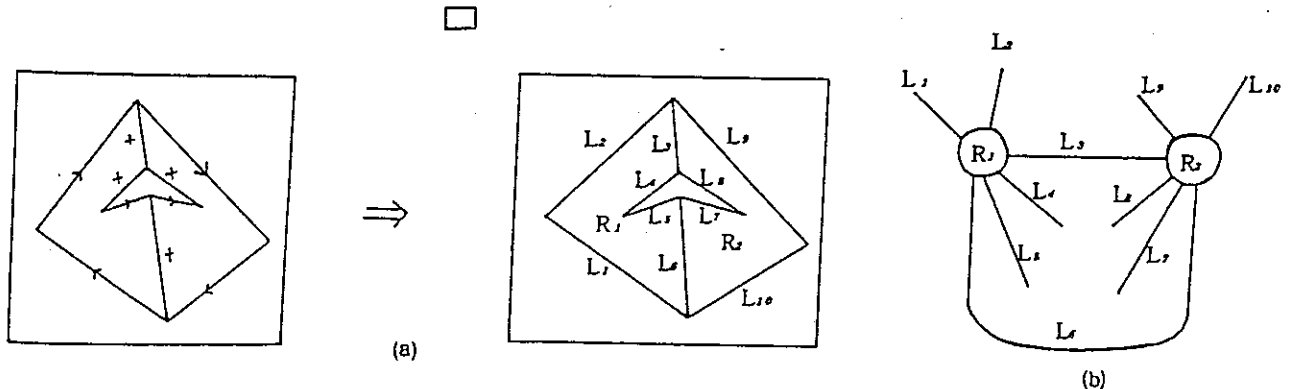
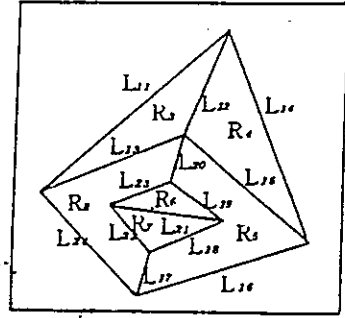
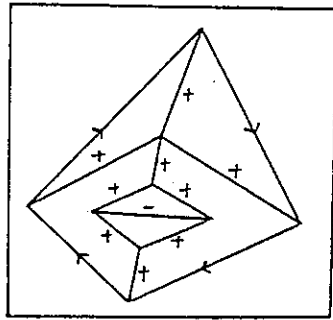
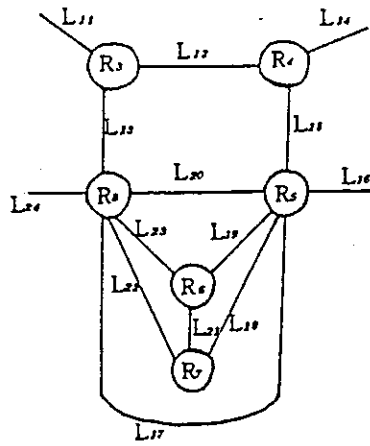


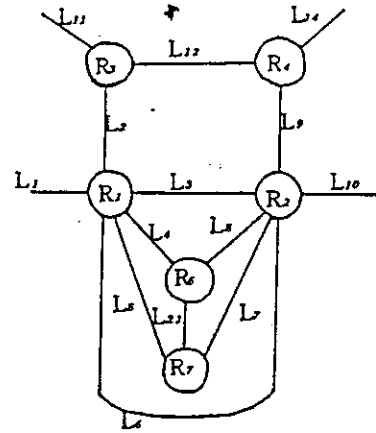
圖 5 - 2 從第一個角度看到的部分架構



(a)

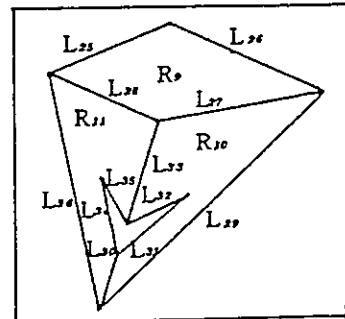
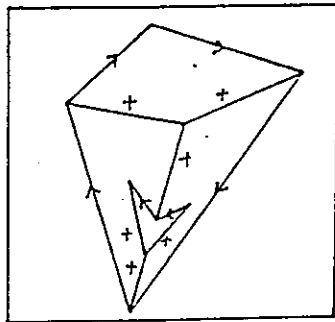


(b)



(c)

圖 5-3 從第二個角度所看到的部分架構



(a)

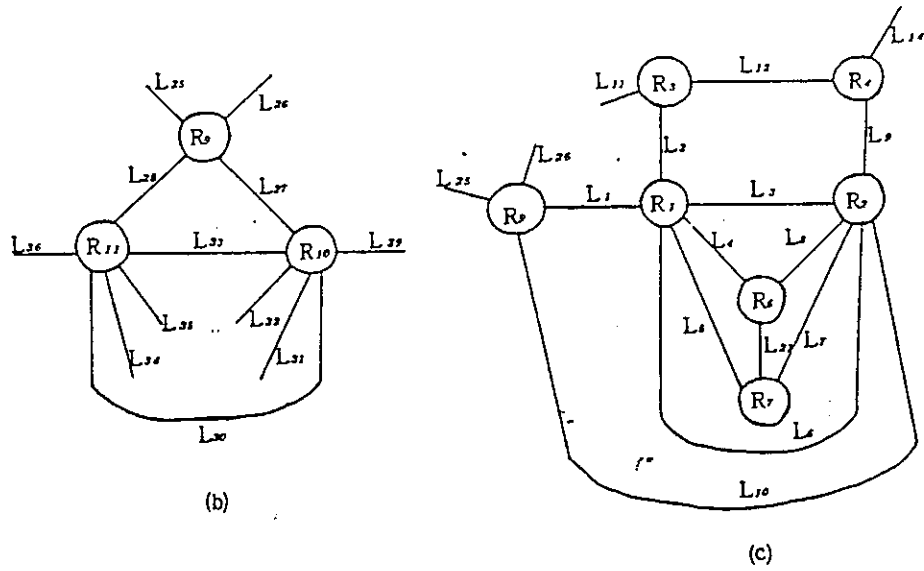
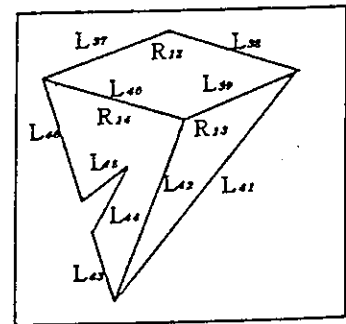
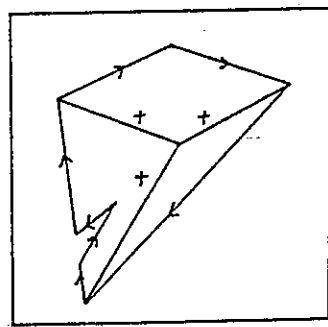
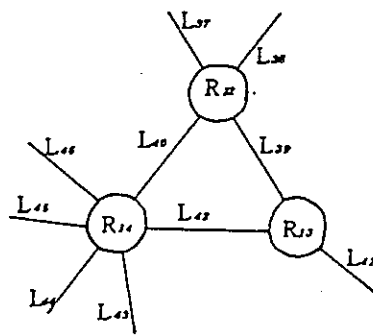


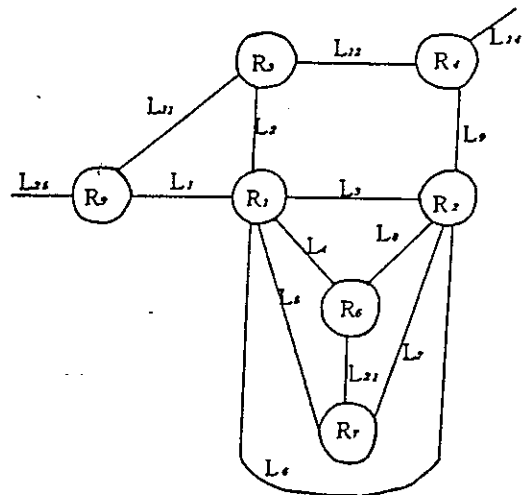
圖 5-4 從第三個角度所看到的部份架構



(a)

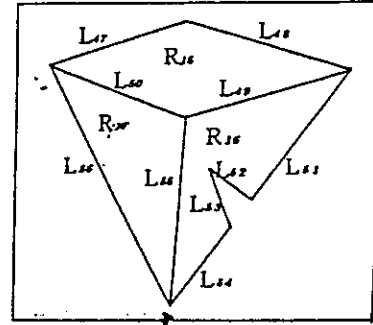
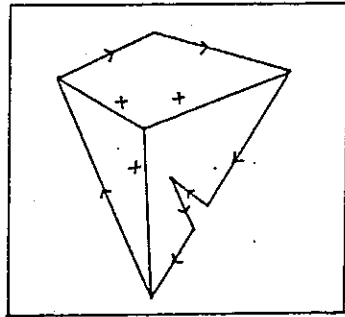


(b)

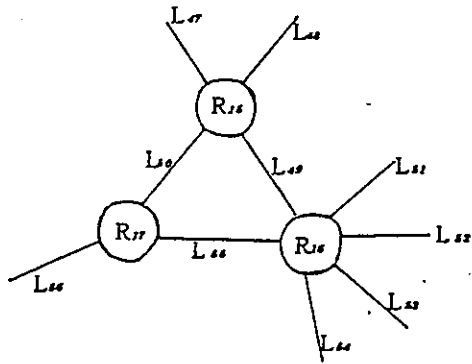


(c)

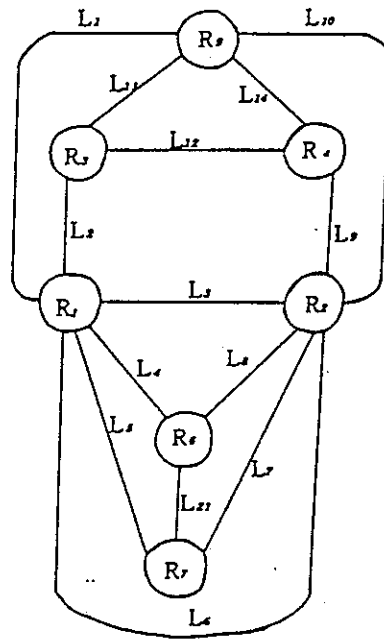
圖 5-5 從第四個角度所看到的部份架構。



(a)



(b)



(c)

圖 5 — 6 從第五個角度所看到的部分架構

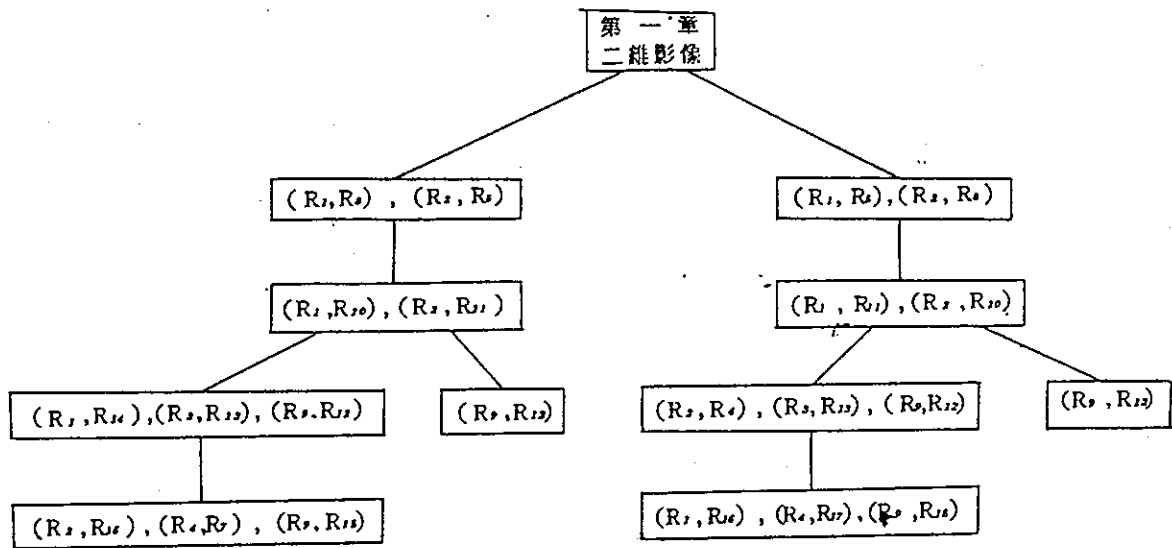


圖 5-7

第六節 結論

在本文中，我們將三維物體的限制條件擴展到平面多面體（包含凹狀平面多面體）。當我們在觀察一個凹狀平面多面體時所看到的二維影像中極有可能包含部分被遮面。在找出這些部分被遮面的過程中，我們先對測距影像加以編譯，然後提出一些啟發式法則來將這些部分遮面找出來。最後，針對所有不包含部分被遮面的二維影像根據部分匹配、交錯匹配以及連結匹配將三維物體之立體拓樸架構合併在一起。影像一張一張的順序輸入，三維物體之拓樸架構也就越來越大，如果從任意角度所看到的影像均無法使三維物體拓樸架構變大時，則三維物體即已描述完。

由於每一張影像均只能描述出一部分的三維物體拓樸架構。因此，欲從多張影像中去瞭解三維物體之立體拓樸架構時，勢必碰到區域間

的匹配問題。在本文中，我們所引用的拓樸架構合併演繹法乃是建立在三個匹配法上，而這些匹配法乃是專對不同影像中擁有相同邊緣數目的區域進行匹配。如果我們所要描述的平面多面體是非常勻稱的三維物體（例如，正多面體），那麼，我們所要進行匹配的情況將會非常複雜，而所建造成的樹狀圖也必定非常勻稱。所以在瞭解這一類較為勻稱的三維物體時，將會相當費時。反之，如果我們所要瞭解的平面多面體是非常不對稱的三維物體（例如，三維物體之每一個平面所擁有的邊緣個數都不相同），那麼，所建造成的樹狀圖必定為歪斜樹（skew tree），而在瞭解此類三維物體時，在時間上就顯得快很多，而且正確性也比較高。

參考文獻

- [1]: Shirai, Y. , " Recognition of Polyhedrons With a Range Finder," Pattern Recognition, Vol.4 , (1972) , 243-250.
- [2]: Underwood, S.A. and Coates, C.L. , " Visual Learning from Multiple Views," IEEE Transactions on Computers, Vol. c-24, 6 (June 1975), 651-661.
- [3]: Shirai, Y. and Oshima, M. , "A Scene Description Method Using Three-Dimensional Information," Pattern Recognition, Vol.11, (1979), 9-17.
- [4]: Kanade, T. , "Recovery of the Three-Dimensional Shape of an Object from a Single View," Artificial Intelligence , 17 (1981), 409-460.
- [5]: Shirai, Y. and Oshima, M. , "Object Recognition Using Three-Dimensional Information," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI-5, 4 (July 1983), 353-361.
- [6]: Heyman, M. , " Generating Detailed Scene Descriptions from Range Images," Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, (1985), 426-431.

- [7]:Huang,T.S. and Blostein,S.D., "Robust Algorithms for Motion Estimation Based on Two Sequential Stereo Image Pairs," Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, (1985), 518-524.
- [8]:Aggarwal,J.K. and Wang,Y.F. , "Surface Reconstruction and Representation of 3-D Scenes," Pattern Recognition, Vol.19, 3(1986), 197-206.
- [9]:Liaw,C.D. , " Understanding of 3-D Polyhedral Object from Multiple Views ," M.S. Thesis , Institute of Applied Mathematics, National Chung Hsing University, (1987).