

中文摘要

鞋楦是鞋子製作的首要工作，它不僅呈現出鞋子的外形與流行美感，而更重要的是直接影響人體足部穿上鞋子時舒適與否，因此鞋楦必需根據人體計測，以其足部的形狀以及機能加以設計製作；而也由於每個人的腳型不盡相同，在大量製造要求的標準規格下，所設計出來的鞋楦，並不能完全符合每一個人獨特的足型。

本研究的目的是在於利用逆向工程掃描技術，取得個人足部以及鞋楦外觀資料，也針對鞋楦設計所需之主要幾項足型特徵，藉由切層演算法(Slicing Algorithm)發展系統程式，以自動擷取足型特徵資料；並以人體工學理論，在鞋楦與個人的腳型上，建立一模糊的設計關連，並導入模糊理論(Fuzzy Theory)，以分析足部以及鞋楦的特徵資料；此外，再藉由層級分析法(Analytic Hierarchy Process)分析特徵資料，得到其重要性的相對權重；最後完成搜尋、排序，得到最接近、適合個人足型之鞋楦。而此鞋楦可根據本研究所得之各項特徵與圖形資料，可再加以修改，達到客製化鞋楦的目的。

關鍵詞：逆向工程、鞋楦設計、切層演算法、模糊理論、層級分析法

ABSTRACT

The shoe lasts are the first work to produce shoes. They not only show the shape and the fashion of the shoes, but also directly affect the comfort as people wear the shoes. The shoe last must be designed and manufactured by the anthropometry which is concerned with the shape and the function of the human feet. Because of the difference of each one's unique feet, the shoe lasts which are designed within the standard specifications would not completely fit them. For the purpose of the research, reverse engineering scanning technology is used to obtain the outline data of the shoe lasts and the human feet, and a programmed system of slicing algorithm would be developed to automatically capture the feature data which is needed for the shoe last design. Besides, there is a fuzzy design relationship of ergonomics between the shoe lasts and the human feet, so the fuzzy theory can be used to analyze these feature data of the last and the human feet. Finally, the weights of these features for ergonomics would be found by Analytic Hierarchy Process (AHP). Through the searching and ranking with the data mentioned above, an optimal shoe last will be found.

Keywords: Reverse Engineering, Shoe Last Design, Slicing Algorithm, Fuzzy Theory, Analytic Hierarchy Process

目 錄

封面內頁	
簽 名 頁	
中文摘要	i
ABSTRACT.....	ii
目 錄	iii
圖 目 錄	vi
表 目 錄	ix
第一章 緒論	1
1-1 研究背景	1
1-2 研究動機	2
1-3 研究方法及步驟	4
1-4 全文架構	6
第二章 文獻探討	8
2-1 逆向工程	8
2-1-1 三次元量測(CMM)	9
2-1-2 非接觸式量測系統	9
2-2 足部與鞋楦之構造型態	11
2-2-1 足部構造與功能	11
2-2-2 鞋楦基本機能型態	14
2-2-3 足部特徵與鞋楦設計的關係	17
2-3 人體足部與鞋楦量測	19

第三章 鞋楦與足型特徵之研究	23
3-1 特徵資料量測與擷取	23
3-1-2 辨識特徵點建立各圍度特徵平面	26
3-1-3 STL 切層演算法	33
3-2 足部與鞋楦圍度特徵之模糊分析	38
3-2-1 模糊理論介紹	38
3-2-2 足圍與楦圍的模糊邏輯關係分析	42
3-3 層級分析法	45
第四章 鞋楦與腳型特徵之系統建構	48
4-1 擷取足部與鞋楦特徵	48
4-1-1 讀取檔案	51
4-1-2 特徵資料分析運算	52
4-1-3 輸出資料及儲存檔案	55
4-2 模糊分析	58
4-2-1 讀入足部、鞋楦特徵資料	59
4-2-2 模糊分析運算	60
第五章 實例驗證	63
5-1 建立鞋楦與足部外形資料	63
5-1-1 樣本取得與掃描工作	64
5-1-2 點群處理、座標轉換與三角網格化	68
5-2 特徵分析與系統運算	71
5-3 AHP 問卷分析與結果	75
5-4 實驗結果與討論	78

第六章 結論與未來展望	83
6-1 結論	83
6-2 未來展望	84
參考文獻	86
附錄	91

圖目錄

圖 1-1 傳統徒手量測	3
圖 2-1 腳骨結構	12
圖 2-2 足型與骨骼百分比值	13
圖 2-3 鞋楦主要機能區域	14
圖 3-1 足部、鞋楦參考座標位置	24
圖 3-2 鞋楦、足部置放平面位置	24
圖 3-3 尋找踵點、楦尖端點	25
圖 3-4 計算旋轉校正角度	26
圖 3-5 足掌圍特徵點	27
圖 3-6 足背圍特徵點	28
圖 3-7 楦掌圍特徵點 1	29
圖 3-8 楦掌圍特徵點 2	29
圖 3-9 楦背圍特徵點	30
圖 3-10 STL 三角網格範例	33
圖 3-11 三角網格與平面相交之種類	35
圖 3-12 平面通過兩點之間與其交點	36
圖 3-13 切層法則運算流程	37
圖 3-14 數值型(離散化)歸屬函數	39
圖 3-15a 函數型(連續化)歸屬函數-吊鐘型	40
圖 3-15b 函數型(連續化)歸屬函數-三角型	40
圖 3-15c 函數型(連續化)歸屬函數-梯型	40
圖 3-16 楦圍 X 與合適楦圍 a 的模糊歸屬函式	44
圖 4-1 特徵擷取分析操作系統	49

圖 4-2 特徵擷取分析系統架構流程.....	50
圖 4-3 選取分析類型.....	51
圖 4-4 讀入 STL 檔案.....	52
圖 4-5a 掌圍 Ball.....	53
圖 4-5b 背圍 Instep.....	53
圖 4-5c 腰圍 Waist.....	54
圖 4-5d 顯示所有圍度.....	54
圖 4-6 選擇輸出格式對話框.....	55
圖 4-7 圍度座標資料讀入於 Geomagic 中.....	56
圖 4-8 圍度座標資料讀入於 Auto CAD 中並連成曲線.....	56
圖 4-9 模糊分析操作系統.....	58
圖 4-10 模糊分析系統架構流程.....	59
圖 4-11 讀入特徵數據資料*.xls.....	60
圖 4-12 選擇足部樣本資料.....	61
圖 4-13 輸入觸感壓值.....	61
圖 5-1 智泰 LSH 800 3D 雷射掃描器.....	64
圖 5-2 CANFIT-PLUS 雷射掃描器.....	65
圖 5-3 鞋楦掃描過程.....	67
圖 5-4 點群疊合.....	68
圖 5-5 完成點群處理.....	69
圖 5-6a 鞋楦座標轉換.....	70
圖 5-6b 足部座標轉換.....	70
圖 5-7 三角網格化.....	71
圖 5-8 第四、五號受測者之足部.....	78

圖 5-9 第一、二、三號受測者之足部.....	79
圖 5-10a 鞋楦 19998 之 stl 圖形	81
圖 5-10b 鞋楦 19998 之實物圖片	81
圖 5-11a 鞋楦 tw736 之 stl 圖形	81
圖 5-11b 鞋楦 tw736 之實物圖片	81

表 目 錄

表 2-1 雷射掃描優、缺點	10
表 2-2 鞋技中心腳型量測調查項目	19
表 3-1 三角網格相交種類	34
表 3-2 成對比較矩陣	46
表 4-1a 輸出鞋楦特徵數據資料之儲存格式	57
表 4-1b 輸出足部特徵數據資料之儲存格式	57
表 4-2 模糊分析結果	62
表 5-1 鞋楦樣本	66
表 5-2 足部樣本之受測人員基本資料	67
表 5-3a 輸出足部特徵分析之數據資料	72
表 5-3b 輸出鞋楦特徵分析之數據資料	72
表 5-4 減去鞋墊厚度之鞋楦特徵數據資料	73
表 5-5a 1 號受測者的模糊分析排序結果	74
表 5-5b 2 號受測者的模糊分析排序結果	74
表 5-5c 3 號受測者的模糊分析排序結果	75
表 5-6 問卷計算結果	76

第一章 緒論

以往消費者在購買鞋子時，大都是以目前流行的款式，再根據自己足型的長寬大小來決定適合的鞋子。殊不知除了長、寬之外，尚有幾項重要的人體足部特徵因素，會影響足部穿上鞋子時舒適與否。在鞋楦製作中，需先量測人體足部重要特徵，並根據這些特徵資料加以設計、製作，傳統上，這些工作都是經由有經驗的技術者徒手量測而得到，因此量測的結果往往受到操作者的技術、熟練度以及工具所影響。在本研究中將針對鞋楦設計中的主要幾項特徵，進行自動化的量測與分析、比對，其結果可作為日後設計與修改的依據，也可做為客製化鞋子是否適合足部的依據。

1-1 研究背景

自從二次大戰之後，人類重新投入工業化的提升，使得工業更加突飛猛進，人類的生活品質也大幅改善，這不僅刺激人類追求更高的生活品質，注重更完美的生活需求，也帶動了民生製鞋工業的發達，使製鞋工業朝向現代化、機械化、自動化、電腦化的趨勢，也大大提高生產量，鞋子的品質也更加高級。另一方面，隨著如此的演變，鞋類的分類也越來越細，更講究使用時機、場所以及其功能特性，同時鞋子也代表了個人身分地位的特殊 [葉建任,1991]。

鞋楦是在整個製鞋工業以及流程中，首要的準備工作。以往鞋楦的設計製作都是由製楦工匠以手工設計產生，然後再做級放、複製並大量生產。鞋楦設計包含了許多的技術與知識，除了流行或是美感等

因素外，鞋楦最基本也是最重要的功用，即是讓穿上鞋子的人覺得舒適、保護足部，並進而達到各項功能上的要求，因此鞋楦的尺度、形狀與人體足部的構造、功能以及足型的關係是非常重要的，換句話說鞋楦可以說是人體足部的一個體積型態之呈現。鞋楦與足部的搭配，其量測工作，有相當的專業知識以及技術性的方法，以往只有少數的專業人員擁有這些技能並進行這些量測工作。

現今的鞋楦製作，在大量製作的要求下，都是依照標準化的規格尺寸來設計和製作，而這些規格尺寸是在取得大量的人體足型量測資料之後，經由統計分析而建立的一個常態標準。也就是說這個標準可能是接近任何一個人的足部，但是並不是完全符合、適用於每一個人的腳型，也就因為如此，或多或少造成了現在的人有關於足部病痛的產生，嚴重的話甚至影響到行走。由於現代生活環境的提升，大家更注越加注重生活品質，同樣地也反應在對於鞋子的要求上，除了美觀、流行之外，穿起來合腳、舒適更是最重要的因素。因此在鞋楦的設計製作上如何能夠更加符合每一個人的腳，將是吸引消費者購買的重要因素。

1-2 研究動機

任何一支鞋楦的產生，最重要的就是要考慮穿鞋的人其腳的形狀以及大小，其次才是功能以及美觀流行。因此鞋楦的設計製作必須根據量測腳的形狀、大小所得到之資料，經過適當地修正與設計，使不規則的腳型三度空間資料，轉換成鞋楦實體模型。

在設計鞋楦時必須根據幾個重要的人體足部特徵，分別是足長、足寬、足掌圍(Ball Girth)、足腰圍(Waist Girth)以及足背圍(Instep

Girth)，其中足長以及足寬牽涉到的是鞋楦的尺碼大小，也是我們在挑選鞋子的首要依據；而另外三個足部圍度則是影響鞋子穿起來是否舒適與合腳的關鍵。因為目前現有的鞋楦大都是以複製或是標準化的規格加以設計製作，不見得都能符合每一個人的腳型；此外這些特徵的量測方式，傳統上都是以人工徒手操作，如圖 1-1 所示。量測的準確性往往受到操作者的技術、熟練度以及工具所影響；而且鞋楦與人體足部外型皆為不規則之自由曲面，更增加量測上的困難。而所得到之量測值可能也只是得到一個長度值，並不知道這些特徵在空間中的形狀為何，鞋楦與足型是否適合也就無從得知。



圖 1-1 傳統徒手量測

由以上所知，這些特徵資料都需要經由量測鞋楦、足部外型而得到之空間資料，但是這些外型都是由不規則的曲面所構成，要分析、量測這些外型資料不甚容易。因此，本研究選擇以逆向工程 (Reverse Engineering) 量測技術來取得人體足部以及鞋楦原型的 3D 空間資料，並且可以在電腦上呈現，而加以修改。研究上，發展一套自動化的系統介面，準確地取得腳型的這幾項重要特徵資料，減少人為徒手操作的因素。而後由此系統所得到之鞋楦、人體足部相關資料、數據，

除了可以作為鞋楦設計、修改的依據外，可將足部與所有的鞋楦特徵資料加以分析，並依據每一個人的足部特徵找到適合的鞋楦。

1-3 研究方法及步驟

本研究的主要內容在於利用逆向工程量測技術建立人體足部與鞋楦的 3D 空間資料，並發展一個擷取足部與鞋楦特徵的系統。之後，導入模糊理論以及層級分析法，藉以分析輸入的足部與鞋楦的這些特徵資料，並針對如何擷取這些特徵以及對它們進行分析。整個研究的流程，如圖 1-2 所示。

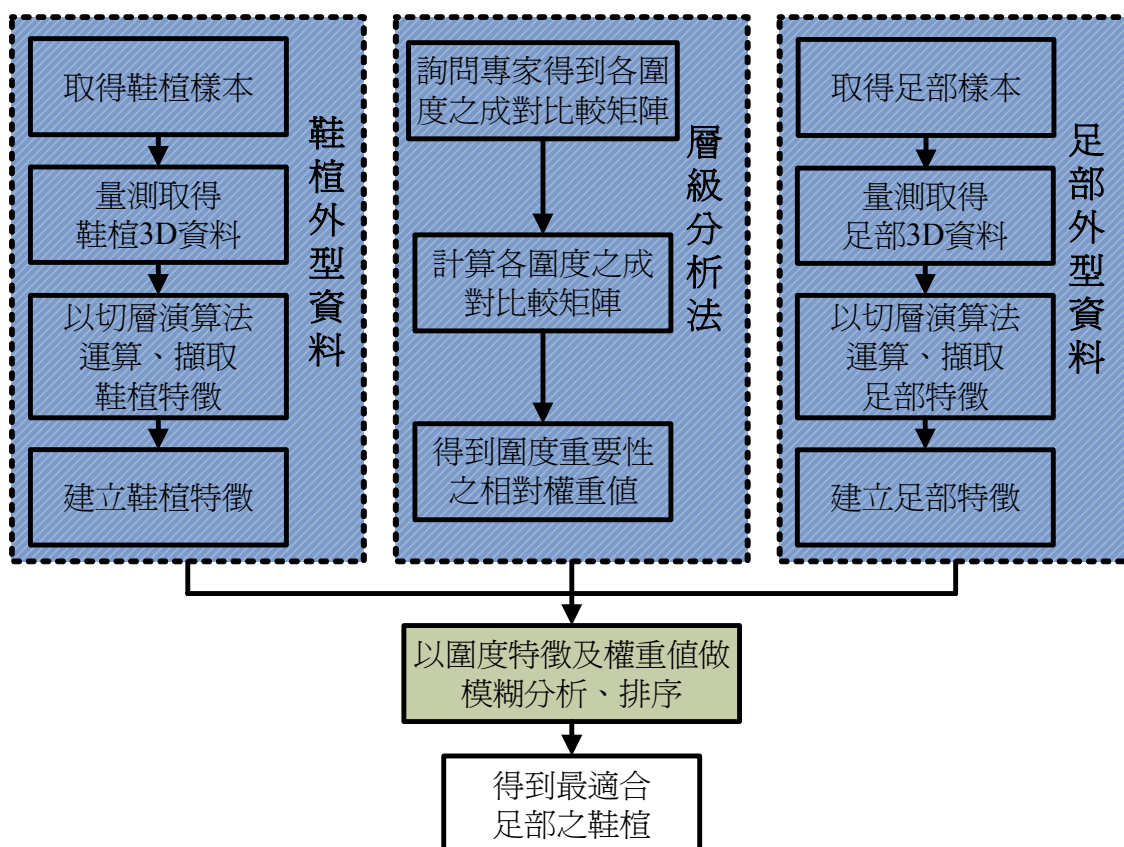


圖 1-2 研究流程圖

本研究的流程步驟，詳細說明如下：

1. 利用逆向工程量測技術建立腳型、鞋楦 3D 空間資料

以男性、休閒式皮鞋的鞋楦樣本作為實驗、驗證的目標，初期將先取得尺碼大小為 9 號的鞋楦原型樣本共 10 支，這 10 支鞋楦分別為來自各家不同廠商；腳型部份則以 9 號鞋大小的正常人之右腳型樣本作為驗證的對象。利用逆向工程量測技術可準確、迅速地得到這些物件外型的點群資料，並將這些點群資料網格化得到 STL 格式之三角網格的檔案，以進行後續之分析、運算。

2. 建立一自動化之量測系統以擷取足部、鞋楦特徵資料

以本研究所建立之自動化系統，對取得之鞋楦原型與足部樣本其 STL 格式之三角網格資料，以切層法則進行運算、擷取特徵。這些特徵其中包含足長、足寬、足掌圍、足腰圍以及足背圍共五項特徵，而每支鞋楦的外型，也就是 STL 三角網格資料，以及運算所得到的特徵資料，將會被儲存起來以供後續查詢與分析使用。同樣地，對於人體足部這部份，也是以這個系統與模式擷取前述這幾項特徵，並加以儲存起來。隨著蒐集到的鞋楦樣本日益增加，日後可建立相關的資料庫以供搜尋、檢索。

3. 利用層級分析法取得各圍度相關權重並進行模糊分析、排序

鞋楦製作與人體足部的重要特徵之量測數據，存在著一模糊邏輯上的設計關係。因此經由前述步驟所取得之主要幾項特徵，本研究將以掌圍、腰圍、背圍這三項特徵對人體足部與現有鞋楦進行分析與搜尋，因為楦圍的長度直接就是影響腳穿上時，緊或是鬆的舒適感覺，因此本研究提出以模糊理論分析足圍以及楦圍在這方面的關係，並以

層級分析法得到各圍度間其重要性的相對權重，並建立歸屬度與權重間的數學模式，得到一評估值而加以排序，藉此尋找合適的鞋楦。因為鞋楦設計有其商業機密上的考量，在取得上極為不易，故初期先以 9 號大小的鞋楦與腳型作為驗證此系統是否可行，而驗證的結果可行的話，則其它尺碼大小的鞋楦與任何正常人的腳型也可在此系統下得到驗證。

1-4 全文架構

本研究論文共分為六章，各章節內容概述如下：

第一章 緒論

針對本論文的研究背景、動機及研究方法步驟，作概略性的描述，說明為何要作此研究，如何去達成本研究。

第二章 文獻探討

由於鞋楦的設計、製作需以人體的足型作為依據，方可做出適合的鞋靴。因此除了要對鞋楦設計具有基本的了解之外，對於人體足部的構造與功能也需加以了解。除此之外，有關於足部的人體計測與鞋楦設計的關係更是不可不考慮的因素之一，因此針對在研究中有關於逆向工程、足部構造與功能、鞋楦設計與足部的人體計測等方面作文獻的探討。

第三章 鞋楦與足型特徵之研究

因為本研究主要是在探討足部與鞋楦原型，其對應特徵資料間的關係以及差異。所以如何從逆向工程量測技術中所建立之足部以及鞋楦原型 3D 空間資料中，分析並且更進一步地取得鞋楦設計所需之相關特徵資料，也就是尺碼大小-足長與足寬；以及足部三個圍度-足掌圍、足腰圍與足背圍。之後這些特徵資料將被儲存起來，提供後續與足型特徵比對分析用。一但完成擷取輸入者的足型特徵與建立鞋楦特徵資料後，即可根據這些特徵資料，分析兩者之間的模糊關係以找到適合人體足部的鞋楦。

第四章 系統建構

以本研究提出之方法與理論，透過相關工具以及軟體建構一套操作系統，此系統除了可以擷取人體足部、鞋楦之準確的特徵資料，並可以做分析、搜尋。也可將結果於電腦螢幕中作動態、完整的呈現。

第五章 實例驗證

以男用之休閒式皮鞋做為實例驗證的對象，將先搜集 10 支不同廠商之 9 號鞋楦，並以五位足型大小相近的實驗者作為驗證的對象。

第六章 結論及未來展望

說明整個研究之結果及未來可研究之方向。

第二章 文獻探討

本研究主要是在探討擷取人體足部以及鞋楦外型之特徵資料並加以分析、計算。最後利用這些特徵資料搜尋找出最適合腳型之鞋楦。所以在本研究當中的文獻探討主要針對以下幾個方向作探討：(1)逆向工程-三次元量測、(2)足部與鞋楦之構造型態、(3)人體足部與鞋楦量測。

2-1 逆向工程

近年來，逆向工程技術已被廣泛地運用於各項產品開發以縮短開發時程，其中應用逆向工程中的三次元量測技術可快速地取得這些具有自由曲面的產品外型與數據資料並且建立成 3D CAD 資料檔案。經由重整以及修改並應用在快速原型技術上即可得到我們所想要的產品原型。

以往製鞋的量測工作都是以人工的方式進行，因此所得之結果往往受到操作者其技術、熟練度以及認知所影響，而且鞋楦、人體足部的外型皆為不規則的曲面，對於以人工的量測方式來說，這更加影響了量測的準確與困難性；除此之外，這些量測結果只是一個簡單的長度數據，並沒有在空間上更詳細的形狀或是面積等資料。因此基於以上所述，逆向工程的三次元量測技術，將成為本研究取得物件外型資料的最佳量測工具。

2-1-1 三次元量測(CMM)

三次元量測系統大致上可分為二大類：接觸式量測以及非接觸式量測；接觸式以探針式之測頭為主，而非接觸式則是利用光學式測頭與影像處理技術為主。一般而言，接觸式量測的精確度較高，其量測的範圍也較大，但是其缺點是速度緩慢，而且可能會破壞被測物件的表面，而量測得到的資料須經補正其探頭半徑才能得到正確資料，所以需花費相當長的時間。至於非接觸式量測，其優點則是量測速度快，大多是應用於不規則曲面上的量測，但是它會因許多外在環境因素而影響其結果。因此，兩個量測系統皆有其優缺點，須針對量測物體需求，決定適合的量測方法[張志嘉,1999]。

在本研究中，因為鞋楦與人體足部皆為具有複雜之外型，此外在時效性以及人體足部為柔軟表面之考量下，故採用非接觸式的雷射掃描器，進行快速且大量的點資料擷取，之後透過點資料處理並進行網格化以得到個人足型與鞋楦之曲面資料，也就是 STL 格式的三角網格檔案。這些資料將經由本研究建立之系統運算可得到其相關特徵資料，之後得以對鞋楦與足型進行模糊分析運算。

2-1-2 非接觸式量測系統

非接觸式量測系統主要是利用雷射光源，經聚光透鏡直射被測物件表

面，並由感測器偵測反射之光線以計算得到位置座標值。因為接觸式量測對於柔軟、易變形、幾何複雜、微小的工件有量測的困難，因此對非接觸式掃瞄量測來說，非接觸式量測能將物體表面資料更快速且完整的擷取。不過因為雷射掃描是屬於光學掃描的方式，所以若週遭環境有任何的干擾，如震動、灰塵、反光或是雜訊等，都會導致誤差產生。

在講求速度與效率的現在，近年來非接觸式量測系統的技術不斷突破，在精準度與座標定位上均有所改善，使得非接觸式雷射掃描器的使用亦逐漸增加。以雷射掃描的方式進行點資料量測有以下之優缺點 [林士源,2005]，如表 2-1 所示：

表 2-1 雷射掃描優、缺點

優點	不需人為操作，量測速度快。
	可量測細小或易變形的物件。
	不會對待測物件表面有所傷害。
	可擷取更完整的物件表面資料。
缺點	被測物件表面的明暗或顏色會影響到量測之精度。
	量測精度較差，對於特定幾何誤差之工件無法量測。
	由於聚焦方面的問題，若感測器與工件曲面不是垂直，則測得之精度會降低。
	陡峭面不易量測，雷射光無法照射到的地方就無法進行量測。

非接觸式量測可分成「主動式」與「被動式」兩類。『主動式』是指對待測物投射超音波或特殊設計的光點、光束，並取得的待測物件外型的 3D 空間資料；「被動式」是指系統不需額外的光源或聲源，在自然光

(Ambient Light)的照明下，使用光學的技术來取得所需要的量測資料。

本研究室之逆向工程量測設備，為智泰科技 LSH800 雷射掃描器，屬於主動式的非接觸式量測系統。主要是利用雷射光帶掃描以及 CCD 鏡頭讀像技術，可進行平面掃描、旋轉掃描、多段式掃描、混合掃描等多種掃描方式，以快速而準確地取得工件表面的 3D 數據。

2-2 足部與鞋楦之構造型態

鞋楦是在鞋子生產過程中用來使之成形的工具，而鞋楦同時也是影響鞋子穿起來是否舒適的重要因素，因此鞋楦必需根據人體足部的形狀以及機能加以設計製作，以下將針對足部構造以及鞋楦設計作一基本的介紹。

2-2-1 足部構造與功能

腳具有承載身體重量，幫助身體保持平衡與驅使身體向前推進或後退的功能，主要的功能如下 [Schlachter, 1990]：

1. 負載人體：站立功能
2. 避免震盪：運動功能
3. 保持平衡：平衡功能

在人體的構造中，腳形為弧形的曲線構造，其目的能使其達到上述的三項功能，並配合著肌肉、韌帶和脂肪層的相互作用，使足部具有彈性及

保護功能，並能防止震盪，並避免其對身體(內部器官)造成傷害。

腳骨由 26 塊骨頭結合而成，應用其骨骼之間關節的運作，使腳能夠從事各項工作。依其功能可將腳骨區分為跗骨、中足骨以及趾骨三組[鞋技中心,1990]，如圖 2-1 所示。

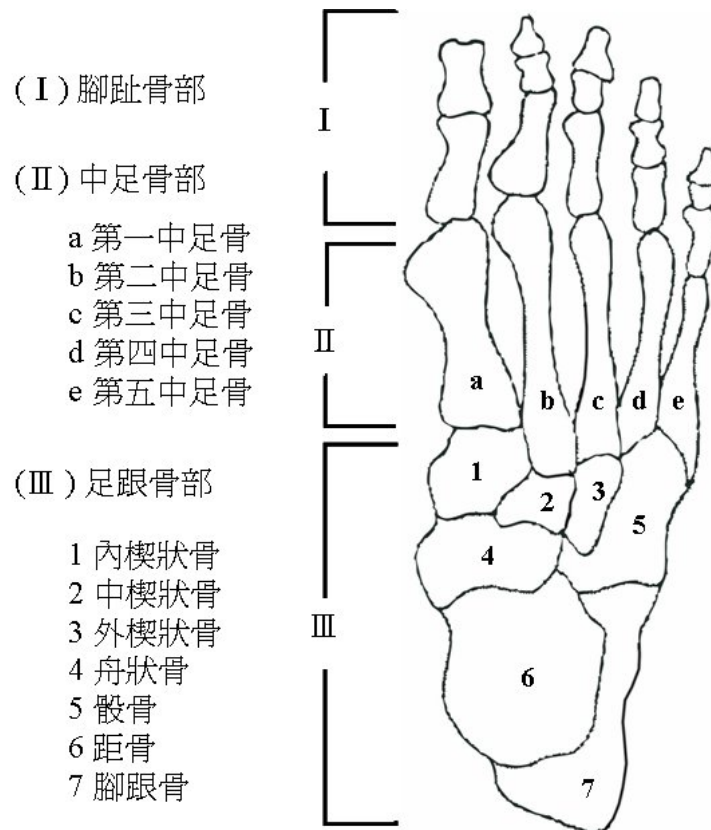


圖 2-1 腳骨結構

第一組跗骨又稱為足跟骨(或踵骨)，包括腳跟骨、距骨、舟狀骨、骰骨與三塊楔狀骨，此部份相對應於鞋楦後踵(Back part)的部位，在鞋楦設計中是機能性設計。一般而言，鞋頭部分的款式無論如何改變，鞋楦後踵部分的設計變化甚少。第二組中足骨又稱蹠骨，由五塊長型骨骼所組成，此部份相對應於鞋楦內外腰兩側至腰圍的部位，通常因人而異，所以有不

同的肥瘦度。第三組趾骨共有 14 塊，除大腳趾為兩塊之外，其它四趾都各有三塊，此部份乃決定鞋楦前端形狀的重要因素，也就是鞋頭 (Fore part) 的部位。

腳骨的各部份構造如能以比例之方式區分或說明，則對於鞋楦或是鞋子在設計上將有很大的助益。配合對腳骨的分類 [Crafts,1995]，各部份的構造及其百分比值，如圖 2-2 所示。

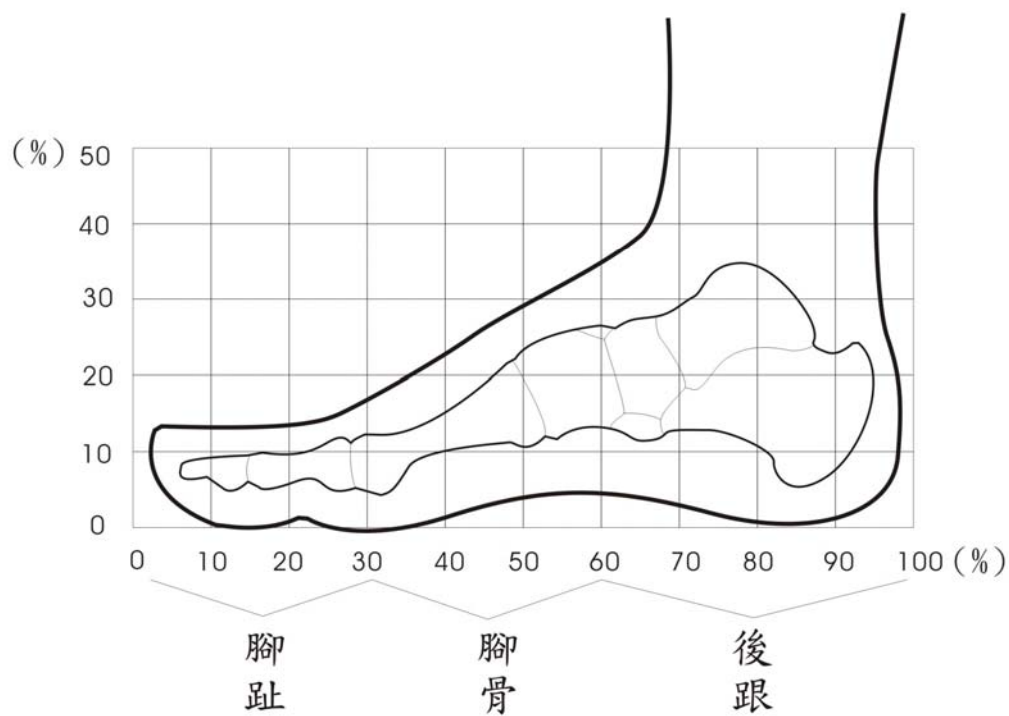


圖 2-2 足型與骨骼百分比值

1. 趾骨部分—由 14 塊趾骨所組成，其比例從腳趾前端算起約佔整體足部長度的 0%至 35%的部位。
2. 中足骨部分—由五塊中足骨所組成，其比例從腳趾前端算起約佔整體足部長度的 25%至 60%的部位。

3. 跗骨部分—由跟骨、距骨、方型骨以及第一、二、三楔狀骨所組成，其比例從腳趾前端算起約佔整體足部長度的 51%至 100%的部位。

2-2-2 鞋楦基本機能型態

依照鞋楦的組成型態，整個鞋楦根據機能大致上可區分為以下五個區域，如圖 2-3 所示。以下將分別敘述這些區域的涵蓋範圍以及腳與鞋楦的功能意義[Rossi,1986]、[林承哲,2002]。

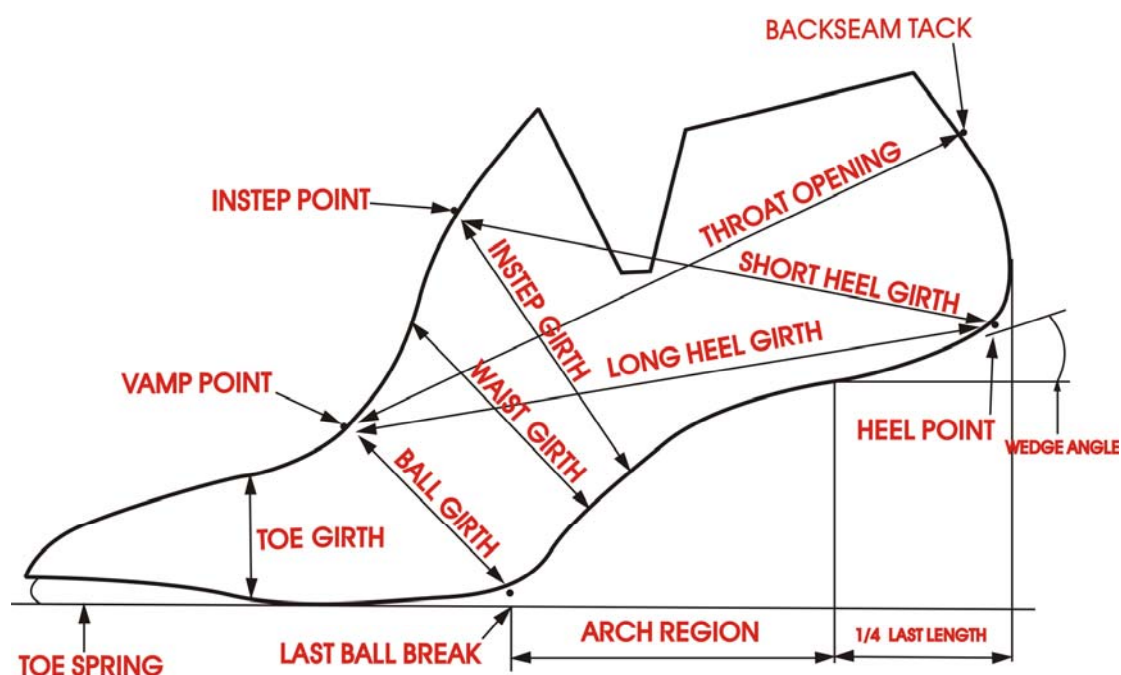


圖 2-3 鞋楦主要機能區域

(1) 足趾區(Toe)一

此處約位在趾圍(Toe Girth)前後的區域，其最主要的功能在於保護足趾並提供足夠的容許空間，以容納步行間因壓力變化而擴張的足趾長度以及寬度，此處同時也影響楦尖的流行式樣。而在足趾區底部與水平面之

間，有一楦頭翹度(Toe spring)的設計，可提供起步時的空間，幫助省力。

(2) 足掌區(Ball)一

此處約位在掌圍(Ball girth)前後的區域，主要提供動態以及靜態上的兩項功能。由於此區為鞋面的摺疊點(Vamp point)，因此必須在動態上，提供足夠的彈性與彎曲活動，避免造成關節運動的阻力。同時此區的底部即為前足弓的著地點，對於重量的承載與反作用力的吸收都須加以考慮。另外此處也是不能靠鞋帶等機制調整的區域，所以此區域的圍度與型態必須正確地配合蹠趾關節的圍度、型態、角度等加以考量，才能做出合腳的鞋楦。

(3) 足背區(Instep)一

即由鞋面的摺疊點(Vamp point)到足背點(Instep point)，位於長跟圍(Long heel girth)上方的區域皆屬之。此區域是整個鞋子的結構中唯一可以利用鞋帶調整鬆緊機能的區域，因為在步態中足背會因為腳跟抬高而升高，同時為了提供力矩而形成僵硬狀態。為避免在抬升的過程中，足弓僵硬過度造成磨擦或受力，因而導致受傷，所以此區域的主要功能是保護足背並提供適當的調整彈性。以鞋楦設計來說，此區的圍度與曲線型態就要參考實際的腳型圍度與高度變化，也就是足背的三度空間型態來訂定，同時在調整機能上也要適當設計。另外，此區的設計也決定了鞋口的大小(Throat opening)，是決定鞋子穿脫容易與否的關鍵，應配合實際的腳足球

到踵點長度加以考慮。

(4) 足弓區(Arch)一

位於長跟圍下方 (Long heel girth)，在腳掌接地點 (Last ball break)與後跟承重區(約 1/4 楦長)間的區域。此處最主要為提供足弓的保護，在型態的設計上除了考慮鞋墊(Shoe insole)的型式外，足弓的高度與曲面形狀也是參考重點。在此區內側底部，如能以良好的鞋墊搭配，可提供足弓適度的支撐與震動吸收，避免產生中足部的疼痛症狀；而外側底部除了是主要重心線落點之外，合腳的設計也提供適度的穩定作用，避免重心轉移(前旋動作)時腳跟過度的向外擺動。

(5) 足踵區(Heel)一

此區為後跟承重區(約 1/4 楦長)，為腳後跟與鞋子合腳的重要區域。其合腳的關鍵有二，一是鞋跟點(Heel Point)到足背縫線(Backseam tack)間的足背曲線(Back curve)是否與足踵的曲線相合。唯有兩者的適度配合才不會發生鬆脫，或是過緊導致足部與鞋子摩擦產生發炎的現象。二是鞋跟高度與後插角度(Wedge angle，後踵平面與水平面夾角)設定是否適當，兩者會影響步態接觸期足踵的穩定性。當然此時就要配合正確的足踵寬與足踵曲面加以設計。

2-2-3 足部特徵與鞋楦設計的關係

1. 足長與楦長的關係

無論哪一種結構、式樣的鞋楦，其長度都大於實際足長，其原因說明如下[鄭豐聰,1998]：

(a). 每一個人的足長會受到氣候、溫度甚至是勞動的影響而改變，如在夏天與冬天量測的長度就會有所不同。這種因為受到天氣冷熱或是體力勞動所引起的足長變化大約為 3~5mm。

(b). 人在活動時，腳在鞋內需要有一定的活動空間，這是因為人們在行走時，腳在鞋內要做彎曲、伸長移動，這一預留的活動空間或移動範圍一般為 5~8mm。

(c). 由於鞋靴的款式、結構各有不同，尤其是隨著流行趨勢，使得款式多變，因此鞋頭往往要有一定的增加長度。通常鞋頭越尖，鞋楦的長度比起足長，其增加量就越大；反之，楦長的增加量便相對減小。一般足長與楦長的關係為：

$$\text{楦底樣長} = \text{足長} + \text{腳尖餘裕} - \text{後踵容差}$$

(d). 根據鞋楦設計的經驗法則，可歸納為：

• 無論足長多少— 楦長 \geq (足長 + 8mm)

• 視足圍長度而決定楦長—

若足圍為瘦小(小於 235mm)，則楦長 = 足長 + (9~11)mm。

若足圍為中等(235~255mm)，則楦長 = 足長 + (12~15)mm。

若足圍為肥大(大於 255mm)，則楦長 = 足長 + (15~18)mm。

2. 足圍與楦圍的關係

足圍是走路時足部產生彎曲的關鍵部位，它承受人體重量和勞動量的負荷，如果楦圍的設計不妥，不僅穿著不舒適，也容易造成鞋趾部位損壞。各項足圍度影響分述如下：

- 足背圍(Instep girth)：影響腳好不好穿入鞋子的關鍵。
- 足腰圍(Waist girth)：影響腳與鞋子之間的滑動性及貼腳性。
- 足掌圍(Ball girth)：合腳及舒適的關鍵。過大時會影響行走時過度滑動，容易造成足部的疲勞；而過小時則會影響造成足趾變形或長雞眼。

足圍與足長一樣，會受到氣候或是溫度的變化影響而膨脹或是縮小，其變化量為 3~8mm，而在行走或是動作時，也會導致尺寸的改變。因此足圍這幾個部位具有膨脹以及縮小的能力，即使穿著楦圍比足圍小的鞋也不會覺得不舒服。腳的緊縮範圍感覺極限值，男子為 6mm，女子為 2mm，而一般楦圍與足圍的關係為：

$$\text{楦圍} = \text{足圍} - \text{足部觸感壓值}$$

2-3 人體足部與鞋楦量測

不同的人其足型外觀、圍度、大小均不相同，這些因素都會影響穿著鞋子的舒適與否，所以在討論個人鞋楦設計之前，需先對人體足部量測有所了解，方可進一步地取得正確無誤的相關數據資料。

根據鞋技中心為國人所做的腳型量測調查，所設定的量測特徵共有 31 個項目[游志堅,1999]，如表 2-2 所示：

表 2-2 鞋技中心腳型量測調查項目

1. 踵到腳背	2. 內側線到腳背	3. 踵到足喉
4. 足長	5. 趾圍	6. 70°趾圍
7. 足腰圍	8. 背圍	9. 長踵圍
10. 短踵圍	11. 踝圍	12. 拇趾尖高
13. 趾高	14. 最高趾位置	15. 小趾高
16. 骨球高	17. 腳背高	18. 外踝中心高
19. 外踝下延高	20. 足弓高	21. 足型長
22. 踵到趾關節	23. 踵到骨球	24. 踵到小趾尖
25. 拇指長	26. 小趾角度	27. 拇趾角度
28. 踵中寬	29. 70°趾寬	30. 趾關節角度
31. 後踵弧度		

由以上可知，雖然腳型資料量測的特徵有許多項目，但是在鞋楦設計實務中，實際納入參考的只有足長以及足圍兩項。其主要原因為：足長是控制鞋子尺碼大小最重要的變因；而在正常的足型中，足圍則是唯一不能以鞋帶鬆緊來調整尺寸大小的原因。考慮足長與足圍兩項變因的組合已能設計出滿足大多數消費者的鞋楦[鄭豐聰,1998]。有關於人體足部與鞋楦的

量測工作之探討文獻如下：

Darren 等人(1999)，以定義人體足部外型的 26 個特徵點，並利用接觸式三度空間量測儀，尋找、得到這些特徵點的空間位置座標。可以用這 26 個特徵點的空間座標，計算並找出 23 個人體足部量測尺寸。

Kouchi 等人(1995,1996)，提出以足中軸(Medial axis)的方法探討、尋找足型的關鍵量測尺寸，並以非接觸性三度空間量測法與照像法，以及定義 10 個特徵點找出 17 個人體足部量測尺寸。而藉由足中軸法與所得到之各項足部量測尺寸與標準足型比較，可推導出足部變形或病變。以此項方法所得之足型量測值可用於鞋楦設計時，提升鞋子的合腳性。

Mochimaru 以及 Kouchi 等人(1997)，提出一個自動化的運算法則，利用足部外型的 2D 影像，得到足部外型與足中軸的屈曲角度，做為設計鞋類時可提升舒適度的參考依據。透過 5000 位受測者的足部外型之運算，最後得到其屈曲角度為 $8-4^{\circ}$ ，對於足型主要皆為外彎的日本民眾來說，此結果有助於日後鞋楦之設計、修改。此外 Mochimaru 等人(2000,2001)，以 FFD(Free Form Deformation)分析兩物件差異的方法，利用一標準的足型以及鞋楦來找出各個不同腳與鞋楦間的差異，以分析 56 位日本成年女性腳型的差異並加以分類，進而得到其分布狀況，分析之結果可作為設計適合鞋楦的依據。此方法並用於分析人體 3D 外型資料，可將其外型轉換成新產品的外型，此方法適用於 CAD/CAM 系統中，可用來設計、製作客製化

的產品。配合價格低廉的足型量測儀可發展一個製做客製化鞋子的系統。

Luximon 等人(2003)，利用取得足部外型之 2D 輪廓並定義 18 個特徵標示點，以作為量測鞋楦與足部是否適合的部位，並做為鞋楦設計的依據。經由 40 位自願受測者驗證後，可以減少至只用 8 個特徵的標示點即可作為設計客製化鞋楦。此外 Luximon 等人(2005)，利用人體足部的 2D 影像資料，並提出足型與足高以及足型與足部側向輪廓等兩種方法，經由 40 位自願受測者的實際驗證可得到其足部的 3D 外型，比起以掃描方式來得到足部外型來說，這兩種方式提供花費更少的解決方式。

Witana 等人(2004)提出以 DD(Dimensional Difference plot)的方法分析人體足部與鞋楦其 2D 輪廓外型的差異，做為量化鞋子適合或舒適的標準，並透過 20 位自願受測者以及四隻鞋楦作為實際驗證。可利用此方式尋找個人足型影響鞋子舒適的關鍵部位，以設計、製作客製化鞋楦。此外 Witana 等人(2006)，提出一個利用 3D 掃描技術並建立自動化量測足型資料的方式，尋找 18 個人體足部的量測資料。以 20 位受測者的足型，掃描得到之點群資料，分別以人工操作、商用設備軟體(YETI Shape Builder software version 4.1.0.95)以及自行開發之程式系統等三種方法進行量測，而所得到之三組數據資料，經由相互比對、調整後，可校正自動化量測系統的誤差。而這套自動化量測足型的方法可用來設計、製作客製化鞋子。

林承哲(2002)，以自動化特徵點辨識為原則發展出一套自動化腳型分

析方法，並配合鞋楦設計尺寸萃取必要的量測項目，實際以 3D 腳型量測儀進行標準量測程序，取得三度空間腳型並分析腳型資料。吳博雄(1995)，利用接觸式三次元量床取得鞋楦表面特徵點資料導入鞋楦曲面建構並加以參數化，提供鞋楦曲面模型建構參考。Cheng(1999)，利用雷射三次元掃描系統量測鞋楦特徵資料值，以鞋技中心的台灣地區的腳型資料，發展出腳型尺碼資訊系統，並利用級放轉換為鞋楦資訊。江俊禹(2001)，利用雷射掃描量測取得鞋楦特徵曲線重建為 NURBS 形式的三角網格，以多種切層、排序與資料處理等逆向工程技術重建為鞋楦電腦輔助設計模型。

由以上相關之文獻可知，不管是人體足部還是鞋楦的量測工作，都必須經由足部或是鞋楦外型於三度空間中，萃取其 1D 尺寸、2D 形狀與 3D 型態資料；而這些資料大部分都是以辨識其特定部位上之特徵點為基礎，並透過各項分析方法而得之。因此本研究將以自動辨識這些特徵點為原則，利用相關之電腦圖形處理、運算等方法，而後分析並得到各項重要量測資料，改善以往需在量測物件上貼標記點的掃描量測方法，減少人為操作所造成的誤差。

第三章 鞋楦與足型特徵之研究

鞋子是依附鞋楦來成型，而鞋楦又是腳型的替代品，一雙鞋子除了要好看之外，更重要的是要讓人穿起來覺得舒服。不同的人其腳型外觀、圍度、大小均不相同，這些因素都會影響穿著鞋子的舒適與否，所以在討論個人鞋楦設計之前，需先對人體足部與鞋楦的量測有所了解，方可進一步地取得正確無誤的相關數據資料。

本研究以利用逆向工程量測技術，快速地取得鞋楦與人體足部外型的3D 空間資料。有關於鞋楦與人體足部的各項特徵量測與切層演算擷取方法，以及模糊理論、層級分析法的運用則分別敘述如下。

3-1 特徵資料量測與擷取

鞋楦是在鞋子生產過程中用來使之成形的工具，而鞋楦同時也是影響鞋子是否穿起來舒適的重要因素，因此鞋楦必需根據人體足部的形狀以及機能加以設計製作。以下將說明如何從具有自由、不規則外型之足型與鞋楦上尋找並建立其特徵位置點，並以這些特徵點建立特徵平面，之後與足型、鞋楦之 STL 三角網格資料進行切層計算得到所需要之圍度特徵資料。

3-1-1 設定足部與鞋楦模型參考軸向及座標

在進行足部與鞋楦樣本的特徵分析前，必須先將它們於空間中擺放至正確的位置與方向上，方可找出正確的特徵資料。在本研究中，將 Y 軸方向做為鞋楦與足型的長度方向；X 軸為寬度的方向；Z 軸負的方向為楦底或足底，如圖 3-1 所示：

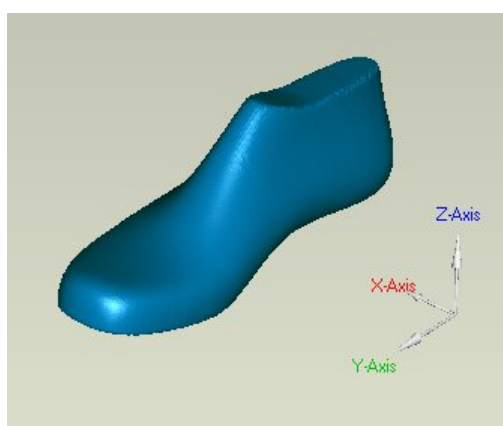


圖 3-1 足部、鞋楦參考座標位置

因為在掃描鞋楦與足型時，樣本都是平放於平台上，所以它們所置放的平面即設定為在空間中擺放的 XY 平面，如圖 3-2 所示：

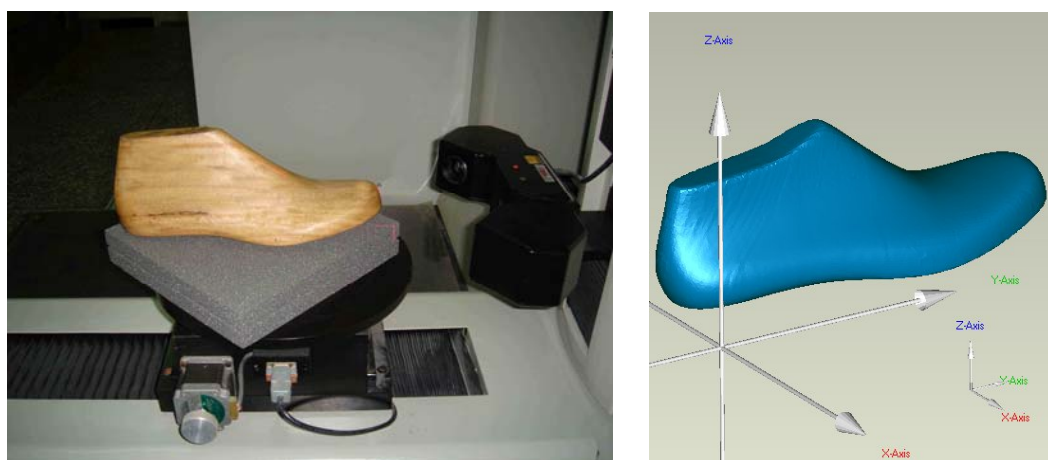


圖 3-2 鞋楦、足部置放平面位置

接下來的工作只需將鞋楦與足型之長度方向旋轉至平行 YZ 平面即可，在鞋楦所有的量測方法中，幾乎都是以鞋跟的踵點與鞋楦尖端點，或是足跟的踵點與足部第二趾尖點的連線作為長度方向的基準軸向。所以首要工作便是找出這些位置點，再以這些點來決定鞋楦以及足型的最後擺放位置。關於鞋楦的踵點、楦尖端點以及足部的踵點、第二趾尖點，由於這兩點分別位於足跟與趾尖、楦跟與楦尖上。因此在定義上即為在這兩個位置的局部區域中，距離最長的兩個點。因此可以將這兩個局部區域上的點群抓出來，如圖 3-3 所示，最後找出最長距離的兩個點即為所求。

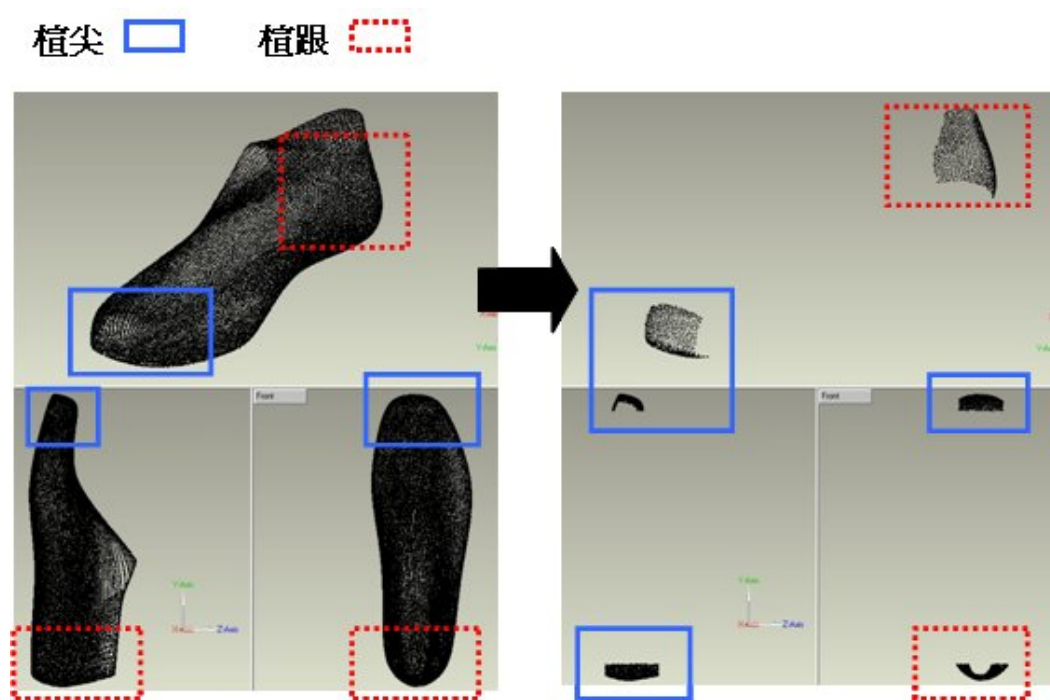


圖 3-3 尋找踵點、楦尖端點

找到踵點以及楦尖端點或第二趾尖點之後，要使這兩點的連線平行 YZ 平面，因此須計算由這兩點所構成的向量。而由此向量可得知此鞋楦

或足部模型須繞著 Z 軸旋轉角度 θ ，方可使之與 YZ 平面平行，如圖 3-4 所示。

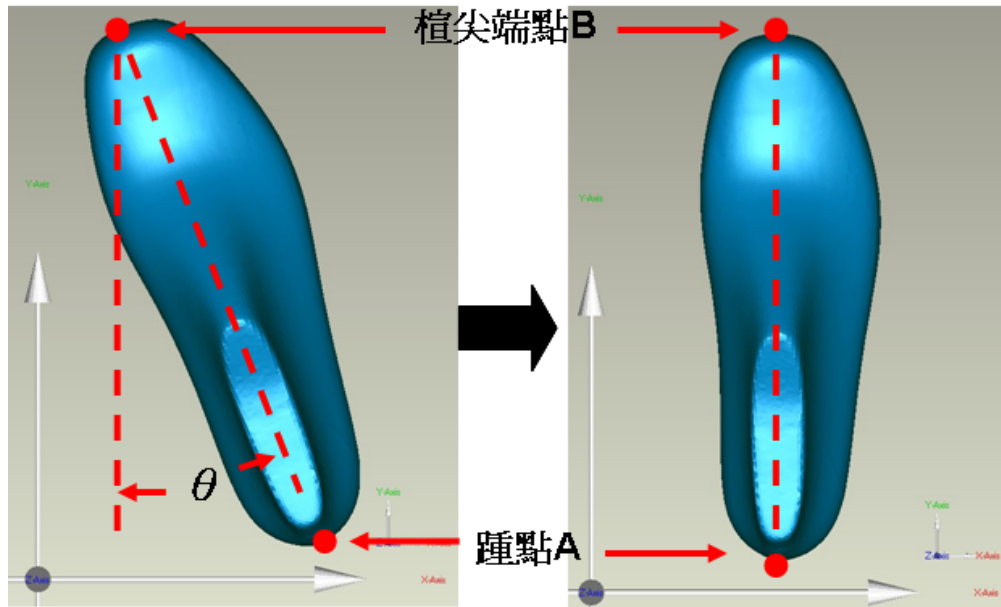


圖 3-4 計算旋轉校正角度

踵點： $A(x_1, y_1, z_1)$ 、植尖端點或趾尖點： $B(x_2, y_2, z_2)$ ，因此 θ 之值如公式(3.1)所示

$$\overrightarrow{AB} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \right) \quad (3.1)$$

3-1-2 辨識特徵點建立各圍度特徵平面

一、圍度特徵點

從第二章之文獻探討可知，不管是足部還是鞋楦的圍度，這些圍度的

擷取都是由辨識、搜尋足部或是鞋楦外形，以其表面上的特徵點而得之。

至於這些特徵點的辨識方式，則分別敘述如下。

1. 足型圍度特徵點

(a). 足掌圍

其定義為腳拇趾靠近本節骨之外側最凸點，與小趾本節骨外側最凸點，繞腳底腳背一圈之長度。根據足部資料的空間座標可找出以下特徵點：

- 內側足球點：也就是腳拇趾靠近本節骨之外側最凸點，也就是足部表面所有點座標中，其 X 軸座標最小值之點即是，如圖 3-5 所示。
- 外側足球點：也就是小趾本節骨外側最凸點，也就是足部表面所有點座標中，其 X 軸座標最大值之點即是，如圖 3-5 所示。

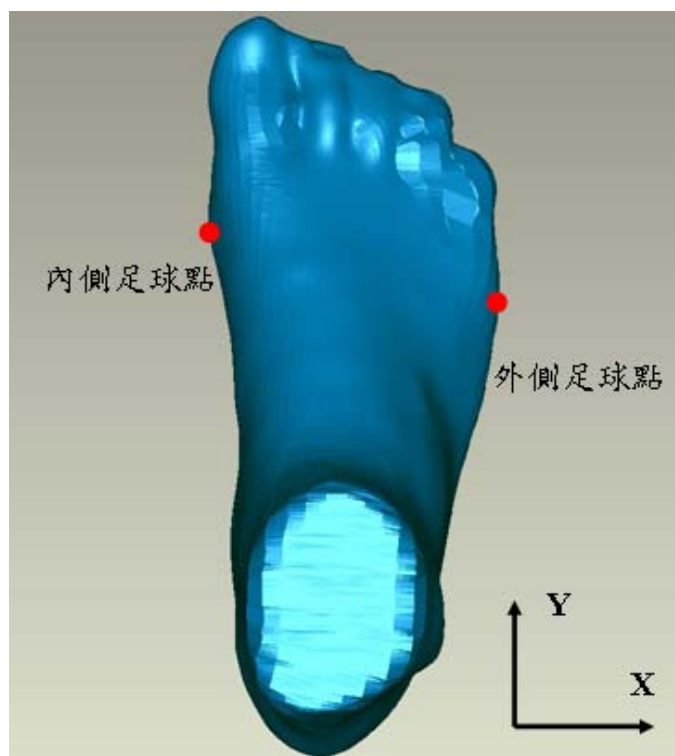


圖 3-5 足掌圍特徵點

連接此兩點可形成一剖面線，以此剖面線並平行於 Z 軸可形成一剖面，而此剖面與足部 STL 網格資料相交之集合即為足掌圍。

(b). 足背圍

位於第一直中足骨與楔狀骨之銜接點，環繞腳底一周之長度，於腳底位置約略在腳足弓凹陷部位之頂端位置。根據足部資料的空間座標可找出以下特徵點：

- 足弓高度點：於足弓剖面中，位於足弓部位其 Z 軸座標最大值者即是，如圖 3-7 所示。
- 足背高度點：於足弓剖面中，以足弓高度點至足背輪廓的最短距離點即是，如圖 3-6 所示。

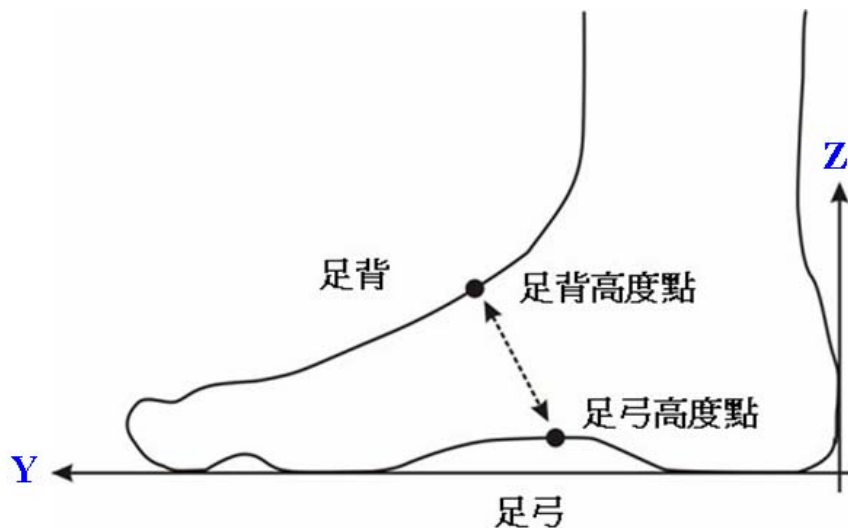


圖 3-6 足背圍特徵點

連接足弓高度點以及足背高度點之剖面線，以此剖面線並平行於 X 軸可構成足背剖面，此一剖面與足部 STL 網格資料相交之集合即為足背圍。

(c). 足腰圍

約位於足掌圍與足背圍兩者中間，或是於足弓剖面中其剖面圍度之長度為最小者即是。

2. 鞋楦圍度特徵點

(a). 楦掌圍

關於鞋楦掌圍的求取，則是由三個特徵點來決定，其中兩個特徵點分別於楦底的投影平面上，尋找內腰位置點與外腰位置點，如圖 3-7 所示：



圖 3-7 楦掌圍特徵點 1

第三點即為在鞋楦的側面圖上尋找摺疊點，如圖 3-8 所示之楦掌圍特徵點。

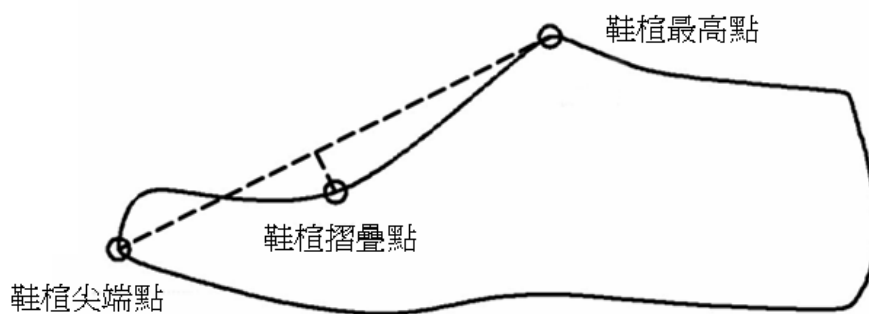


圖 3-8 楦掌圍特徵點 2

(b). 楦背圍

以往人工量測方式為在鞋楦全長二分之一處，以布尺經過楦背點環繞鞋楦一圈，即為鞋楦背圍。其做法如下：

- 從鞋楦側面圖中，位於楦背線上對應鞋楦長二分之一處，找出楦背點，如圖 3-9 所示。
- 找出楦背點的切線向量 C ，如圖 3-9 所示，此切線向量可由左右相鄰兩點求得。
- 求通過楦背點且以向量 C 為法向量之平面 Q 。
- 求出平面 Q 與鞋楦相交之點集合(為一弧線)，此弧線之長度即為所求之足背圍度。

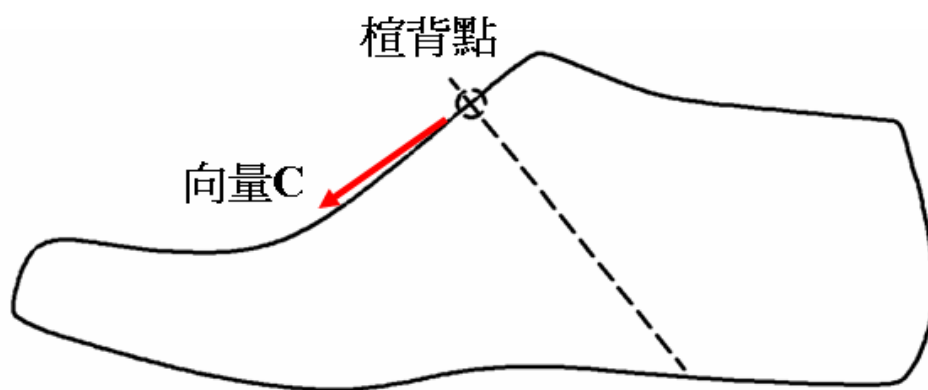


圖 3-9 楦背圍特徵點

(c). 楦腰圍

楦腰圍位於楦掌圍與楦背圍兩者中間，或是於鞋楦側面圖中其剖面圍度之長度為最小者即是。

二、圍度特徵平面方程式

在鞋楦與足部的各項圍度特徵點陸續被辨識、尋找到後，即可以這些特徵點來建立特徵平面方程式，關於鞋楦與足部的特徵平面方程式的建立可分為以下幾種方式。

(1). 由三個特徵點所定義(如鞋楦掌圍)：

空間中任意三點不共點，其空間座標分別為 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) ，由這三點所定義平面方程式之通式為 $ax + by + cz = d$ ，其中 a 、 b 、 c 、 d 四個系數之值，如公式 3.2a、3.2b、3.2c、3.2d 所示：

$$a = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1) \quad (3.2a)$$

$$b = (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (z_3 - z_1)(x_2 - x_1) \quad (3.2b)$$

$$c = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1) \quad (3.2c)$$

$$d = ax_1 + by_1 + cz_1 \quad (3.2d)$$

(2). 由兩特徵點之連線並平行 X、Y、Z 任意之一軸所定義(如足掌圍)：

空間中任意兩點不共點，其空間座標分別為 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) ，其中平面方程式通式為 $ax + by + cz = d$ ，因此 a 、 b 、 c 、 d 四個系數之值可由以下條件求得。

• 平行於 Z 軸，因此四個系數之值，如公式 3.3a、3.3b、3.3c、3.3d 所示：

$$a = y_2 - y_1 \quad (3.3a)$$

$$b = x_1 - x_2 \quad (3.3b)$$

$$c = 0 \quad (3.3c)$$

$$d = x_1 y_2 - x_2 y_1 \quad (3.3d)$$

• 平行於 X 軸，因此四個系數之值，如公式 3.4a、3.4b、3.4c、3.4d 所示：

$$a = 0 \quad (3.4a)$$

$$b = z_2 - z_1 \quad (3.4b)$$

$$c = y_1 - y_2 \quad (3.4c)$$

$$d = y_1 z_2 - z_1 y_2 \quad (3.4d)$$

• 平行於 Y 軸，因此四個系數之值，如公式 3.5a、3.5b、3.5c、3.5d 所示：

$$a = z_2 - z_1 \quad (3.5a)$$

$$b = 0 \quad (3.5b)$$

$$c = x_1 - x_2 \quad (3.5c)$$

$$d = x_1 z_2 - z_1 x_2 \quad (3.5d)$$

(3). 由一特徵點 (x_1, y_1, z_1) 與一空間向量 (a, b, c) 所定義(如檯背圍)：

則此平面方程式為 $ax + by + cz = d$ ，其中 $d = ax_1 + by_1 + cz_1$ 。

3-1-3 STL 切層演算法

1. STL 三角網格介紹

STL 格式的圖形檔案[Chua,2000]為由許多三角形平面所構成，其中每個三角平面都是由三個頂點以及一個法向量所描述。STL 的檔案格式有兩種，一種是 ASCII 文字格式，另一種則是 Binary 二進位格式。本研究將掃描得到之鞋楦與足型其點群資料，經由三角網格化後以 ASCII 格式之 STL 檔案儲存以供後續讀取、處理，茲將 ASCII 格式的 STL 圖形檔案簡述如下。圖 3-10 為 ASCII 的 STL 格式其中一個三角平面的紀錄範例：

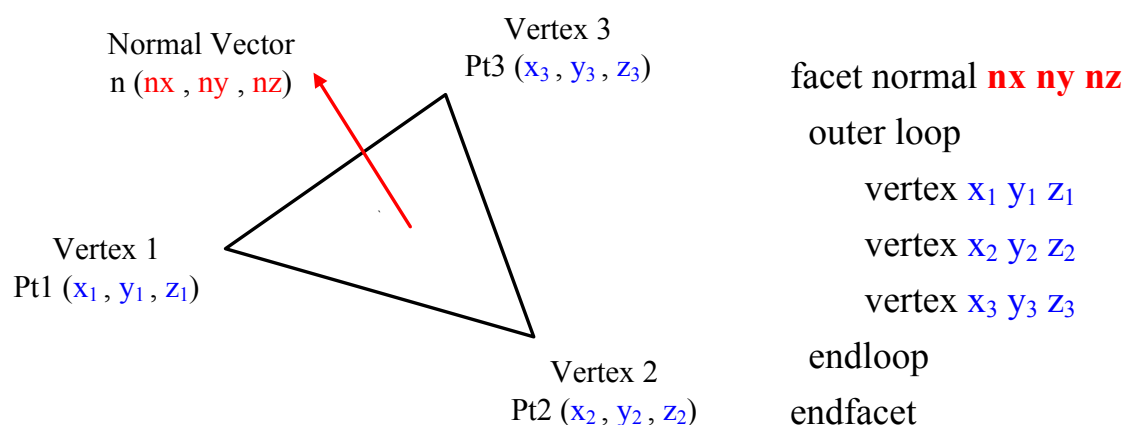


圖 3-10 STL 三角網格範例

facet normal 這一行記錄此三角平面的法向量 n_x 、 n_y 、 n_z ，而當中的 vertex 這三行，則是分別記錄此三角平面三個頂點之 X、Y、Z 座標，在檔案中都是以七行為一組記錄每一個三角平面。在後續的讀取以及處理上，只需讀取三個頂點的 X、Y、Z 座標以及法向量即可。

2. 三角網格切層法(Triangle Slicing)

因為鞋楦與足型的圍度特徵，都是由特徵平面與鞋楦或足型 STL 檔案中，計算與之相交之三角平面得之。因此需要對哪些三角平面會與特徵平面交集進行探討，對於 STL 中的任意一個三角平面，其與一特徵平面之可能交集的情況有 5 種[林耕莘,1999]、[Choi,2002]，如表 3-1 所示：

表 3-1 三角網格相交種類

(a)與三角平面其中兩邊相交	
(b)與三角平面之一點與一邊相交	
(c)三角平面有一邊位於特徵平面上	
(d)與三角平面之一頂點相交	
(e)三角面與特徵平面共平面	

從(a)、(b)、(c)三種情形可知，每一個三角平面均可求得兩個交點，(c)這個情況表示三角平面僅有一邊在特徵平面上。而(d)、(e)兩種情形雖然有交集，但將被視為無交點，而不進行交點的計算。這是因為(d)中交點已由緊鄰的其它三角平面-可視為(b)之情況求得；(e)中交點已經由其緊鄰的三角平面-可視為(c)之情況計算而求得，如圖 3-11 所示。

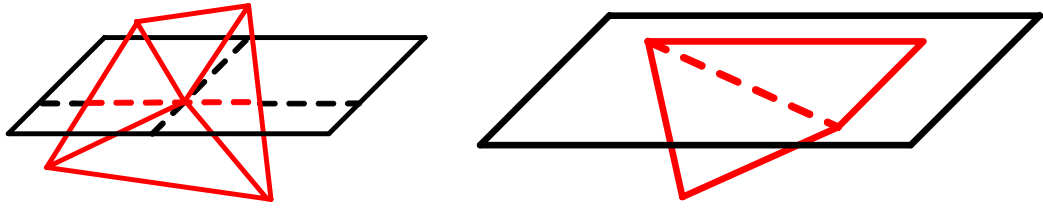


圖 3-11 三角網格與平面相交之種類

所以這些相交情況最後只需針對(a)、(b)、(c)這三種情形加以處理計算。因此綜合以上最後三種情況所得到之結論，只要三角平面與切層平面相交只有產生兩個交點，那麼這兩個交點即為所求。至於交點的判斷以及計算可於兩個情況討論：

(1). 計算三角平面之三頂點是否位於切層平面上

可將三角平面之三頂點座標帶入切層平面方程式

$$\text{三頂點座標 } (x_1, y_1, z_1)、(x_2, y_2, z_2)、(x_3, y_3, z_3)$$

$$\text{切層平面方程式 } ax + by + cz = d$$

如果 $ax_1 + by_1 + cz_1 = d$ ，則該頂點 (x_1, y_1, z_1) 即為所求。

如果 $ax_2 + by_2 + cz_2 = d$ ，則該頂點 (x_2, y_2, z_2) 即為所求。

如果 $ax_3 + by_3 + cz_3 = d$ ，則該頂點 (x_3, y_3, z_3) 即為所求。

(2). 計算切層平面是否與三角平面之三邊相交

可將三頂點中任意兩點所形成之線段，分別與切層平面進行相交判斷，至於空間中平面是否通過某兩點間可由以下條件判斷：

空間中某兩點座標 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2)

空間中一平面方程式 $ax + by + cz = d$

$$(d - ax_1 - by_1 - cz_1)(d - ax_2 - by_2 - cz_2) < 0 \quad (3.6)$$

如果公式 3.6 成立，那麼此平面方程式必通過這兩點間，如圖 3-12 所示。

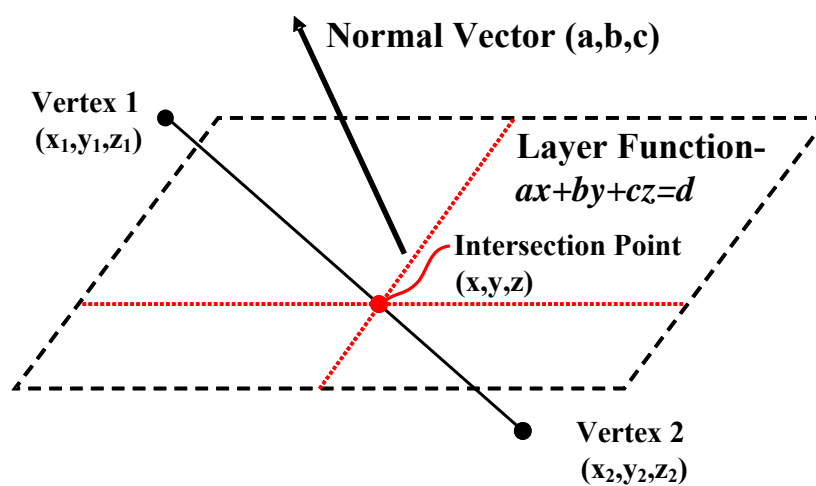


圖 3-12 平面通過兩點之間與其交點

一但經由以上條件判斷有交點的存在，即可以用內差法計算交點座標，如

公式 3.7a、3.7b、3.7c、3.7d 所示：

交點座標 (x, y, z)

$$x = x_1 + (x_2 - x_1)t \quad (3.7a)$$

$$y = y_1 + (y_2 - y_1)t \quad (3.7b)$$

$$z = z_1 + (z_2 - z_1)t \quad (3.7c)$$

$$t = \frac{d - ax_1 - by_1 - cz_1}{a(x_2 - x_1) + b(y_2 - y_1) + c(z_2 - z_1)} \quad (3.7d)$$

最後只要前述兩個狀況所求得之點數總和為 2，則此兩點之空間座標即為所求。最後特徵平面與這些三角平面所相交之兩點所形成之線段即為構成圍度輪廓之線段，而所有線段即可構成完整之圍度輪廓線。關於此切層法則的運算流程，如圖 3-13 所示：

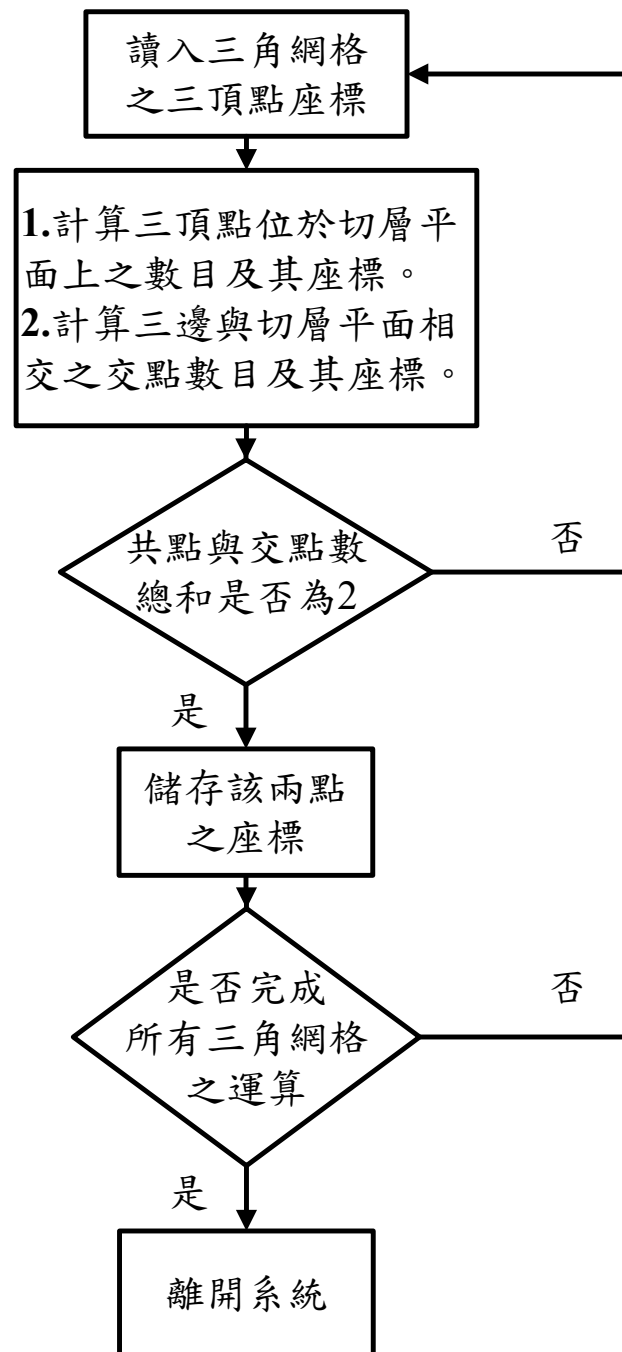


圖 3-13 切層法則運算流程

3-2 足部與鞋楦圍度特徵之模糊分析

此部分說明如何以模糊理論進行相關特徵的分析比對。透過三次元量測系統，可以準確地建立鞋楦以及人體足部其三度空間資料，而後依此空間資料找出鞋楦設計所需之重要關鍵特徵，分別為全長、全寬、掌圍、腰圍與背圍。由於鞋楦的圍度特徵是影響腳穿上時，人體可接受緊或鬆的舒適感覺，因此可以分析足圍與楦圍的模糊關係所產生的人體感覺，藉此找出合適的鞋楦。

3-2-1 模糊理論介紹

Fuzzy 理論是由美國 Lotfi. A. Zadeh 博士於 1965 年首先提出的一種定量表達方法，它是為解決真實世界中，普遍存在的模糊現象而發展的一門理論，主要是用來表現無法明確定義的模糊性概念[孫宗瀛,1996]。而其重點就是要建立一種數學模型，能夠吸取、描述人腦處理模糊事物的特點，以便能夠將其運用於電腦。使人們可以利用電腦強大、即時的運算能力，處理、分析龐大的模糊事物或資料。

Fuzzy 理論是為了描述、掌握具有模糊特性的事物或資料而發展出來的。所以，它的應用也較偏重於人類的經驗與思考模式以及對於問題特性的掌握程度，因此不主張用繁雜的數學分析與數學模式來解決問題。Fuzzy 理論把傳統的數學，由二元邏輯(Binary logic)判斷擴展到連續多值

(Continuous-multi-value)[Zadeh,1965]的概念，並利用歸屬函數(Membership function)描述一個概念的特質，來表示一個元素屬於某一概念的程(0 至 1 之間)，這個值稱為該元素對於集合的歸屬度(Membership grade)。當歸屬度為 1 時，表示該元素百分之百屬於這個概念；當歸屬度為 0 時，則表示該元素完全不屬於這個概念；介於兩者之間的，就是完全屬於以及完全不屬於之間的灰色地帶。

通常歸屬函數可以分成“數值”以及“函數”兩種定義方式，數值定義方式又稱之為離散化歸屬函數，即直接給定有限模糊集合內每個元素的歸屬度，並以向量形式表達，如圖 3-14 所示；函數定義方式又稱之為連續化歸屬函數，即以不同形式的函數關係(S 函數、Z 函數、Pi 函數、片段連續函數或模糊數等)來描述模糊集合，典型常見的有吊鐘型(Bell shape)、三角形(Triangular shape)以及梯形(Trapezoid shape)，如圖 3-15a、3-15b 以及 3-15c 所示。

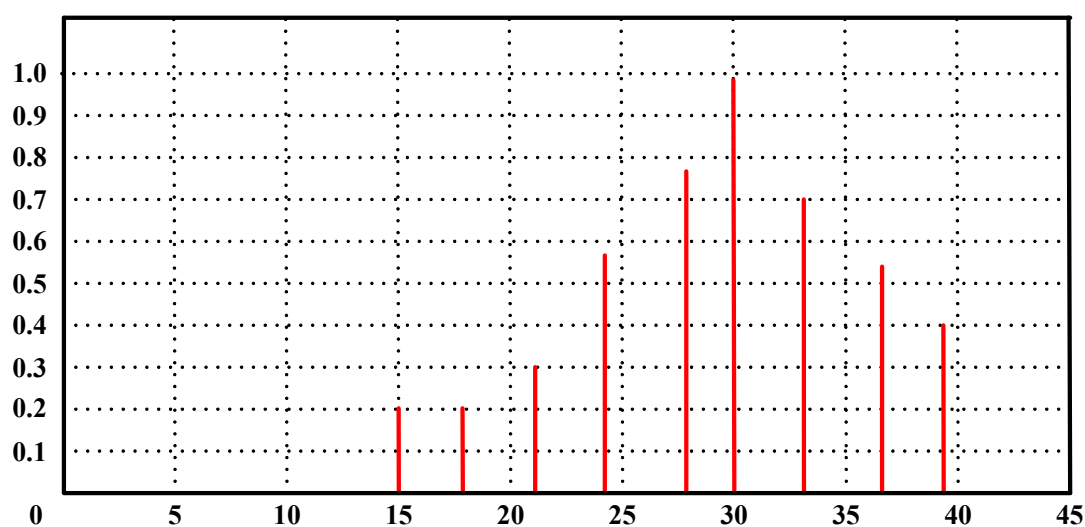


圖 3-14 數值型(離散化)歸屬函數

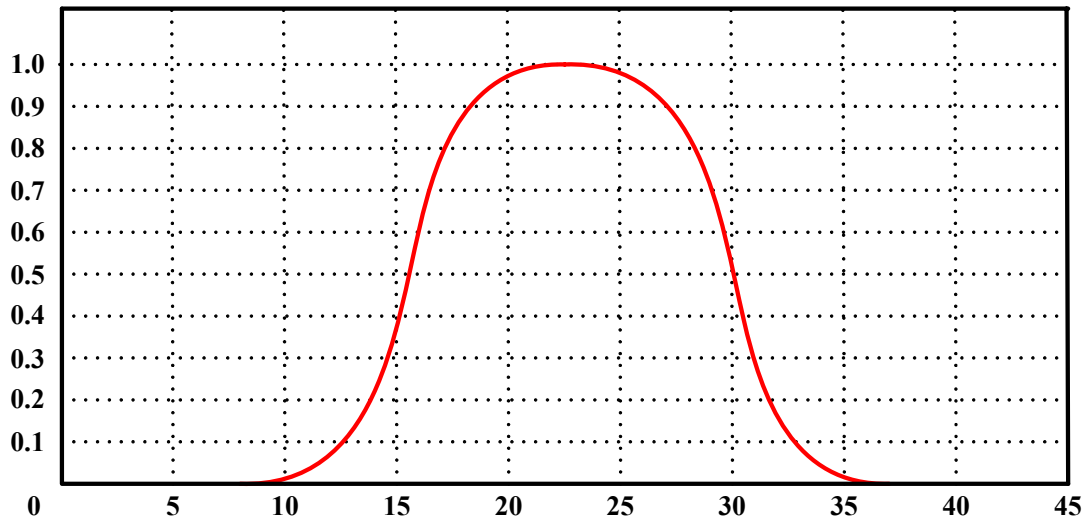


圖 3-15a 函數型(連續化)歸屬函數-吊鐘型

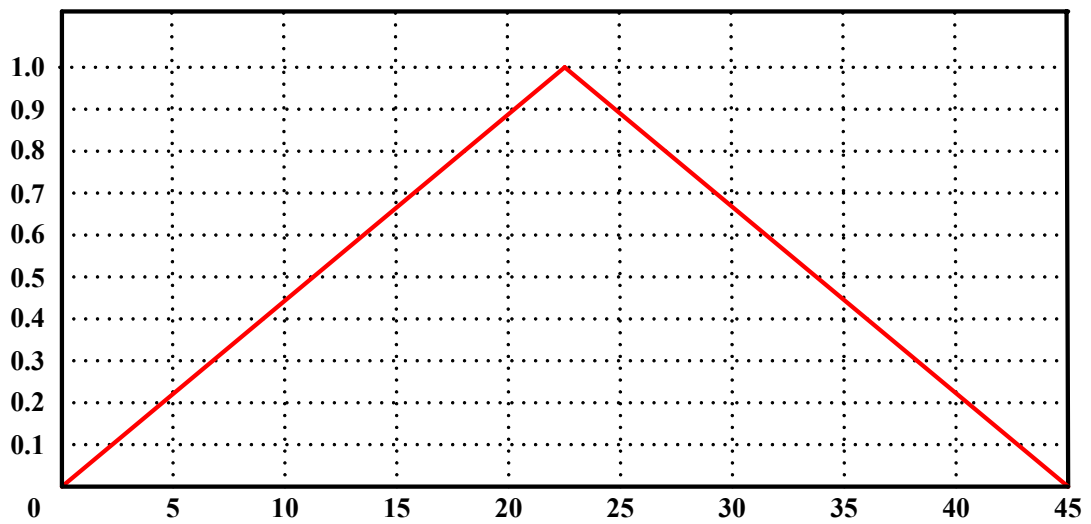


圖 3-15b 函數型(連續化)歸屬函數-三角型

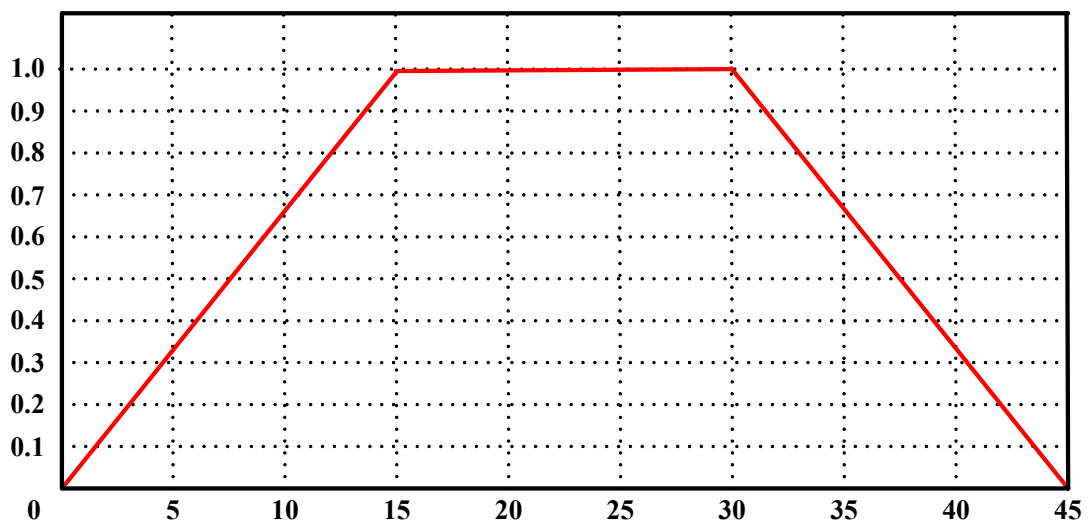


圖 3-15c 函數型(連續化)歸屬函數-梯型

利用歸屬函數描述 Fuzzy 的性質，是 Fuzzy 理論的最基本概念，透過歸屬函數才能對於 Fuzzy 所描述的集合進行量化，也才有可能利用精確的數學方法，去分析和處理模糊、不確定的資訊。但是要建立一個足以表達模糊概念的歸屬函數卻不是一件容易的工作。雖說本質上，歸屬函數是客觀事物的屬性，但是卻往往存在著個人的主觀意識，一般而言並沒有通用的定理或公式，必須根據經驗或設計來加以確定，所以很難像客觀事物一樣具有很強的說服力。為了建立一個比較客觀的歸屬函數，通常會先建立粗略的歸屬函數，然後透過“學習”和不斷的實驗經驗，逐步修正和調整，使歸屬函數更臻於完善與客觀[李國清,2000]。

自 1965 年 Zadeh 博士提出模糊理論以來，歷經 30 餘年諸多學者相繼投入研究，其理論方法已日臻完善，並被廣泛地應用在各項專業領域上，從自然與工程科技、人文與社會科學、生物與醫學等各領域中。Chang 等人(2000)建構一整合型製程規劃系統，為了使其具有調適學習能力、增加規劃彈性，以倒傳遞網路並內建模糊規則，使專家系統規劃新型工件之製程並加以學習，對於類似之工件者則可以擷取學習獲得或現存之製程。Buckles 以及 Petry(1982,1984)透過探討物件或資料的相似性與關聯性，以描述、處理資料庫中資料的模糊性質，並應用詢問的語意方法建立資料庫的查詢與搜尋功能。

3-2-2 足圍與楦圍的模糊邏輯關係分析

1. 觸感壓值(Sense Threshold)

由於足圍這幾個部位具有膨脹以及縮小的能力，即使穿著楦圍比足圍小的鞋也不會覺得不舒服。不過腳因為受到鞋子內部空間的束縛，因此足部之肌肉神經會對鞋內空間壓迫各部位產生對應之觸覺，因而影響一個人的穿著感覺。所以在鞋楦設計實務中，足圍(F_G)與楦圍(L_G)的設計關係為楦圍減去足部之觸感壓值(ST)即為楦圍，如公式 3.8 所示。

舉例來說，某人的足長(F_L)為 260 mm，足寬(F_W)為 105 mm，足圍(F_G)為 251 mm，因此可以根據足長、足寬作了長、寬適中與各種不同圍度的鞋子適穿，結果以楦圍度 245 mm 之鞋子穿起來最舒服，所以可以根據此數值 245 mm 之圍度(L_G)的鞋子最合適，所以“觸感壓值(ST)”可定為 6 mm。再進一步的測試可發現其實圍度在 242(L_T)~249(L_R) mm 範圍內之鞋子均可穿，只不過前者緊些(242~245 mm)，而後者鬆些(245~249 mm)；可是如果超出此圍度範圍，就可能會造成太緊或太鬆而導致穿起來不舒服。所以此人在穿鞋的選擇範圍上應為 249-242=7 mm，如公式 3.9 所示，這個 7 mm 即為“適穿的楦圍範圍(ST_F)” [游志堅,1999]。

$$L_G = F_G - ST \quad (3.8)$$

$$ST_F = L_R - L_T \quad (3.9)$$

2. 模糊分析、排序

經由第二章相關文獻以及前述之觸感壓值的概念，可以得知楦圍與足圍之間存在著一設計上的模糊邏輯關係，而且這個關係會因人甚至是對於鞋子的功能需求而異。因此本研究在此以模糊理論為基礎，提出建構一初步的搜尋、排序的評估運算法則，使系統能夠根據這套法則於現有的鞋楦資料庫中尋找合適的鞋楦。

由 3-2-1 章節可知，不管是三角型、吊鐘型還是梯形的歸屬函式，在 0 ~ 1 範圍內之歸屬度的分佈，都是呈現遞增以及遞減的效果，所以可符合前述之人體之觸感壓值的概念；此外三角型的歸屬函式，其數學函式及運算較為簡單，因此廣為大家所應用。對於本研究只以歸屬度的大小，作為評估合適鞋楦排序的依據實以足夠，故本研究最後選擇以三角型的歸屬函式，作為足圍與楦圍關係之模糊歸屬函式。

圖 3-16 為本研究所提出足圍與楦圍關係之模糊歸屬函式，其中 a 為以受測者之足圍與觸感壓值所求得之合適楦圍，而 b 與 c 之間則為受測者之適穿的鞋楦圍度範圍。 $a-b$ 之值即為緊程度(L_T)之適穿的觸感壓值； $c-a$ 之值即為鬆程度(L_R)之適穿的觸感壓值。因此楦圍小於 b 值則會造成太緊的不舒適感；楦圍大於 c 值則會造成太鬆的不舒適感。楦圍如果在 b 與 c 範圍之間則可以經由歸屬函式 $\mu(x)$ 求得 $[0,1]$ 之歸屬度數值，而此歸屬度值可視為一評估數值，因此該數值越大者則代表越適合此人腳的程度。

根據此法則運算所得到之歸屬度可產生鞋楦的合適排序，而最後將以這些數值評估找出合適的鞋楦。

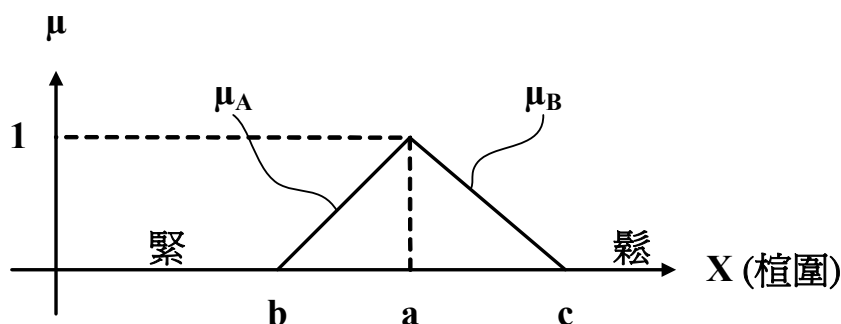


圖 3-16 楦圍 X 與合適楦圍 a 的模糊歸屬函式

而由圖中可知，楦圍與足圍的模糊歸屬函式，如公式 3.10 所示：

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < b \\ \frac{x-b}{a-b}, & b \leq x \leq a \dots\dots \mu_A \\ \frac{c-x}{c-a}, & a \leq x \leq c \dots\dots \mu_B \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (3.10)$$

由於本研究主要是以評估各圍度之歸屬度的大小，做為鞋楦合適排序的依據。如以資料庫中的搜尋或是查詢功能來看，排序的目的為在於現有鞋楦中，找出最接近期望值 a 之楦圍的鞋楦，因此 b、c 雖然具有人體足部觸感壓值極限之門檻限制的意義，須經由實驗找出個人之 a、b、c 三個人體感覺閾之數值，但是應用於大規模鞋楦設計數據資料之搜尋或查詢方面時，卻可利用 b、c 二值之設定，快速地先行將不符合 b、c 二值範圍內之鞋楦予以過濾、排除，僅就符合條件之鞋楦再進一步做精確排序。

3-3 層級分析法

層級分析法(**Analytic Hierarchy Process, AHP**)為美國匹茲堡大學教授 Thomas L. Saaty 於 1971 年初所發展出來的一套決策方法。主要應用在不確定情況下，以及具有多個評估準則的決策問題上。層級分析法能夠使複雜的問題簡化，同時建立具有相互影響的層級結構(Hierarchical Structure)。而層級結構的建立，乃集合學者專家及實際參與決策者的意見評估，藉評估尺度(Nominal Scale)作要素的成對比較，加以量化後，建立成對比較矩陣，以求得優先向量(Priority Vector)和最大特徵(Maximum Eigen Value)，藉以評定矩陣是否符合一致性，若不符合則捨棄，在考慮評估要素時，最多不超過七個為佳，故層級結構的建立有助於對事物的瞭解，尤其在面臨多重評估方案時，必須根據某些基準進行替代方案的決定時，層級分析法更能獲得決策分析所需資訊[童明棟,2005]。

AHP 的評估尺度包括五個等級，同等重要、稍重要、頗重要、極重要及絕對重要等，可將其尺度量化成 1、3、5、7、9 的衡量值，以及四項介於五個基本尺度之間的 2、4、6、8 的衡量值。可透過詢問專家或是問卷得知各個要素間相對的重要性，並建立比較矩陣，其中代表重要性的數值分別為 1、2、3、4、5、6、7、8、9 及他們的倒數 1/2、1/3、1/4、1/5、1/6、1/7、1/8、1/9，因此在上三角之比較矩陣的部分，是要素間相對重要性的值，而下三角之比較矩陣的部分則是他們的倒數，如表 3-2 所示：

表 3-2 成對比較矩陣

要素	A	B	C
A	1	3	7
B	1/3	1	4
C	1/7	1/4	1

目前解 AHP 法的方法可分為兩大類，一為特徵值法(EM)，另一為數學規劃法[梁國瑞,1995]。由於本研究選擇以特徵值法解 AHP 並得到其權重，所以僅就特徵值法(EM)加以介紹，如下：

a_{ij} 為矩陣 A 中的元素，由決策者給定之成對比較評估值。

$$A \text{ 為成對比較矩陣，即 } \begin{cases} a_{ij} = 1/a_{ji} & , i \neq j \\ a_{ij} = 1 & , i = j \end{cases} \quad i, j = 1 \sim n$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = \lambda_{\max} w_i \quad , \quad i = 1 \sim n \quad \rightarrow \quad (A - \lambda_{\max} I) = 0$$

λ_{\max} 為矩陣 A 的最大特徵值(Eigen Value)。

w_j 對應最大特徵值之特徵向量(Eigen Vector)。

而解出之向量 w_j 即為各個要素間的相對權重值。此外在計算得到特徵向量之後，尚需要去檢驗這個結果是否合理，也就是一致性的檢驗。

Satty(1980)提出一致性指標 CI (Consistency Index) 予以衡量，如公式 3.11

所示：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.11)$$

根據其經驗，若 $CI \leq 0.1$ 時則表示矩陣內的評比值符合一致性，而所得之特徵向量 w_j 即為各個要素間的相對權重。

在本研究中，雖然可以經由模糊分析得到各個圍度的歸屬度值，並藉此評估得到一初步的鞋楦排序。不過隨著鞋楦樣本的數量增加，勢必會產生數個皆符合足圍觸感壓值的鞋楦。因此在後續研究以及作法上，需對各個圍度的相對重要性賦予其權重值，而每隻鞋楦可由公式 3.12 所示，得到其綜合評估值 R 。所以所有的鞋楦可由 R 值的大小，再進一步做精確的排序，並得到最適合的鞋楦。至於三個圍度的權重數值，本研究將使用層級分析法(AHP)，來處理這三個圍度屬性，其權重分布的問題。

$$R = w_B M_B + w_I M_I + w_W M_W \quad (3.12)$$

R 為綜合評估值

M_B 為掌圍之歸屬度， w_B 為掌圍之權重值

M_I 為背圍之歸屬度， w_I 為背圍之權重值

M_W 為腰圍之歸屬度， w_W 為腰圍之權重值

第四章 鞋楦與腳型特徵之系統建構

在本研究中，程式系統的建構主要是以 Matlab 程式語言，建構一套自動化的運算系統。整個系統架構共可分為兩個部分：一個為運算、擷取鞋楦以及足部特徵資料；另一個則為以模糊理論建立分析、搜尋系統，運算足圍與楦圍在長度上的模糊設計關係，並產生排序以做為尋找合適鞋楦的依據。

由於本研究前段工作是以逆向工程量測技術，取得人體足部以及鞋楦外形的空間點群資料，並且於 Geomagic 中進行座標轉換、消除雜點、三角網格化等工作。因此在後續分析、處理上，需要讀入龐大的點群座標數據資料並加以運算，由於 MATLAB 本身擅長以矩陣相關的各種數值運算，對於空間中的座標以及各種數據資料具有強大、快速的處理能力，所以將運用前述的文獻資料以及方法、理論完成相關的計算以及分析。

4-1 擷取足部與鞋楦特徵

此部分將是以 Matlab 與其圖形使用者介面 GUI(Graphic User Interface)，建立一套自動化、視窗化的操作介面，如圖 4-1 所示。分別對鞋楦以及足部外形之 STL 圖形檔案進行各項關鍵尺寸、特徵之量測運算與擷取。

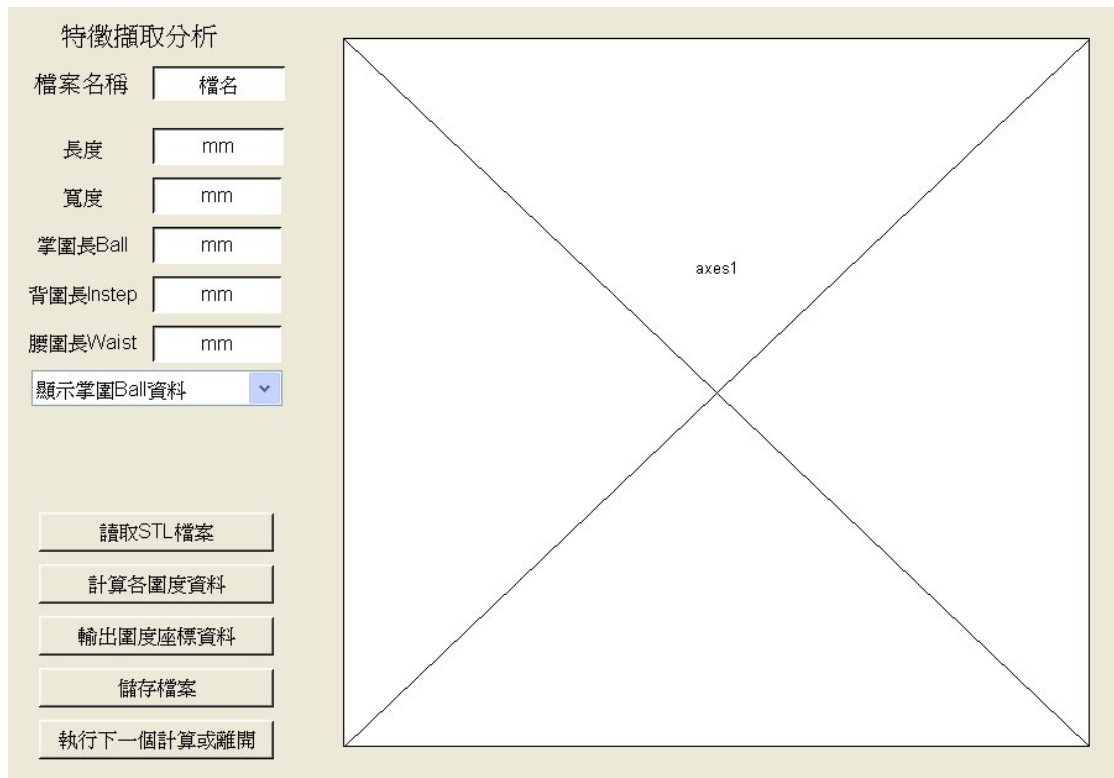


圖 4-1 特徵擷取分析操作系統

根據第三章中所詳述之方法理論-辨識特徵點建立特徵平面、STL 三角網格切層法以及交點的判斷、內插法計算等，對所讀入之人體足部以及鞋楦之 STL 檔案進行分析運算，經由此操作系統除了可以得到準確的數據資料外，也可進一步地得到這些特徵於空間中的幾何形狀等。關於這個部分的系統架構流程如圖 4-2 所示。

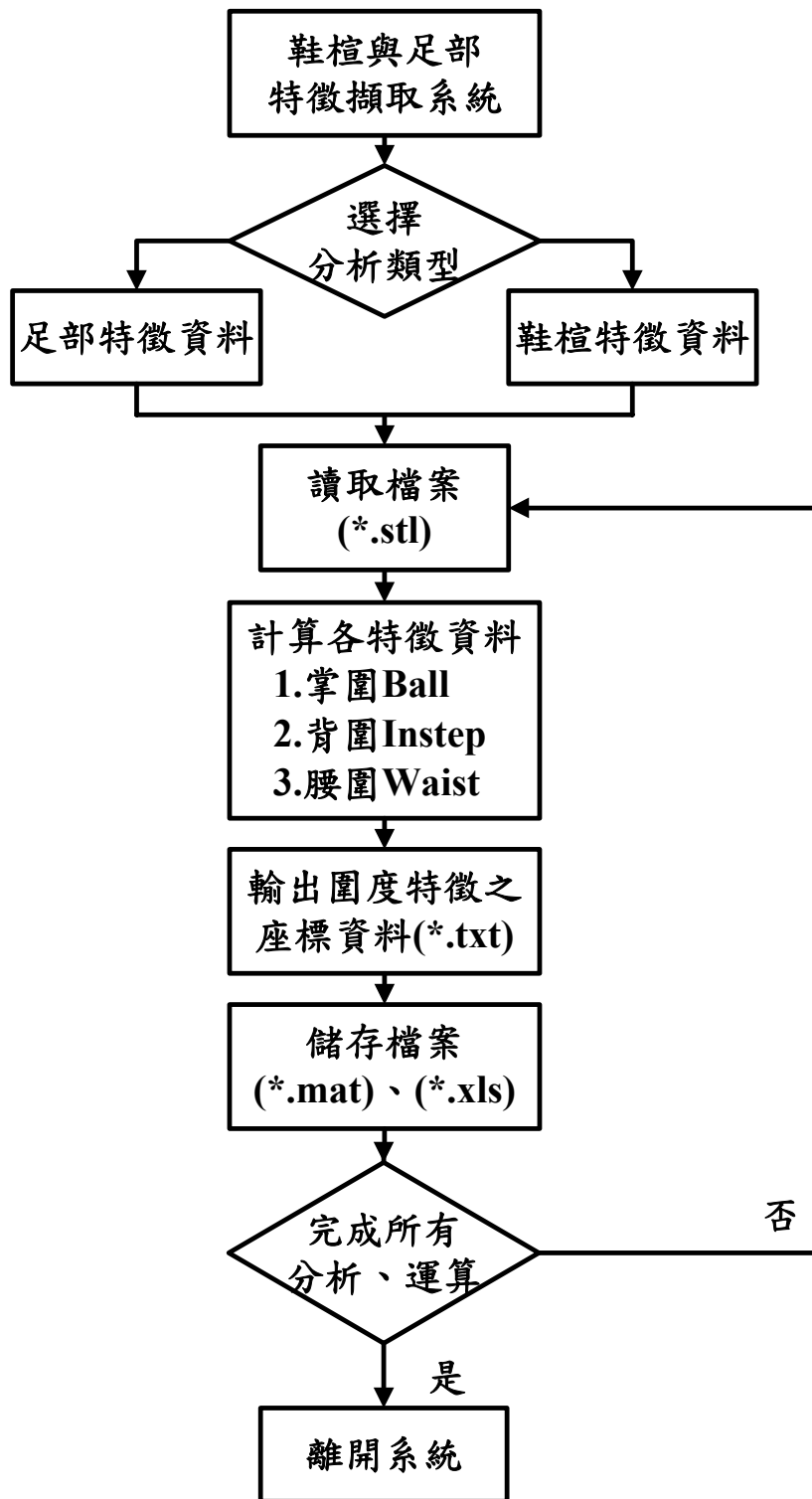


圖 4-2 特徵擷取分析系統架構流程

在一開啟此操作視窗時，首先系統會要求操作者選擇擷取、分析類型，如圖 4-3 所示。為了可以在一個系統中能夠進行足部與鞋楦的特徵擷取，操作者須在一開始進入系統時選擇要進行分析的類型，分別對鞋楦或是足部進行運算。



圖 4-3 選取分析類型

4-1-1 讀取檔案

在本研究中，由於物件的外形，最後是以三角網格的 3D 圖形檔案格式-STL，作為最終的檔案儲存格式，所以在此部分關於資料的讀取、輸入，本系統只限以 ASCII 格式的 STL 圖形檔案，因此無法讀取其它格式的圖形檔案。操作者必須根據之前所選取之“分析類型”點選讀取鞋楦模型或是足部模型之 STL 檔案。因為本研究之系統只針對鞋楦或是人體足部的外形進行分析、計算，因此讀入非此兩種類型的 STL 圖形檔案將會使系統在後續分析運算上產生錯誤。

在進行讀取檔案的過程中，系統會根據之前所選擇的分析類型，自動

計算找出讀入物件的長跟寬；除此之外，系統也會在此階段自動進行各個圍度的特徵點辨識，並根據這些特徵點計算得到其特徵平面方程式。在此階段讀入物件的長跟寬會顯示於視窗中左上方的訊息欄裡，並將物件的外形顯示於右方的圖形欄中，如圖 4-4 所示。

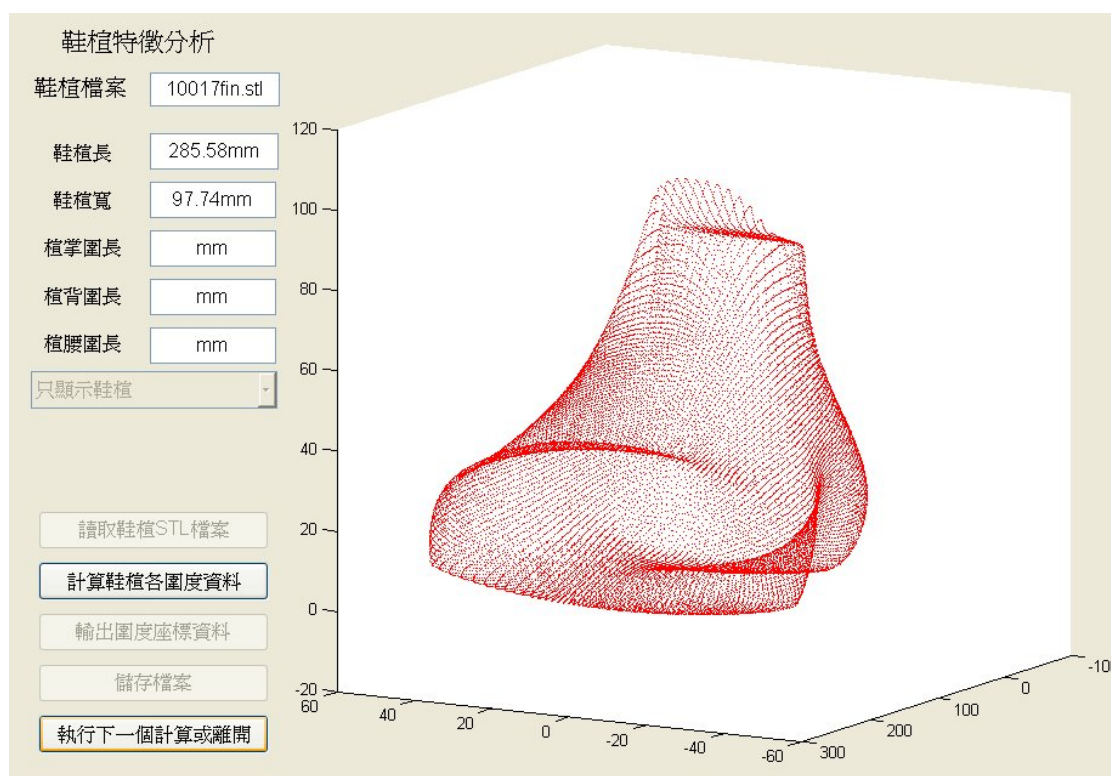


圖 4-4 讀入 STL 檔案

4-1-2 特徵資料分析運算

在完成讀取鞋楦或是足部的 STL 檔案後，接下來則要進行掌圍 Ball、背圍 Instep 以及腰圍 Waist 的擷取計算。此階段經由系統運算所得到的結果-各圍度長度，均會顯示於視窗中左上方的訊息欄位裡，而各個圍度的形狀則會顯示於右側的圖形欄裡，操作者可以用滑鼠點擊操作視窗中的計算鞋楦各圍度資料功能按鈕進行各項圍度計算，結果如圖 4-5a、4-5b、4-5c

以及 4-5d 所示。

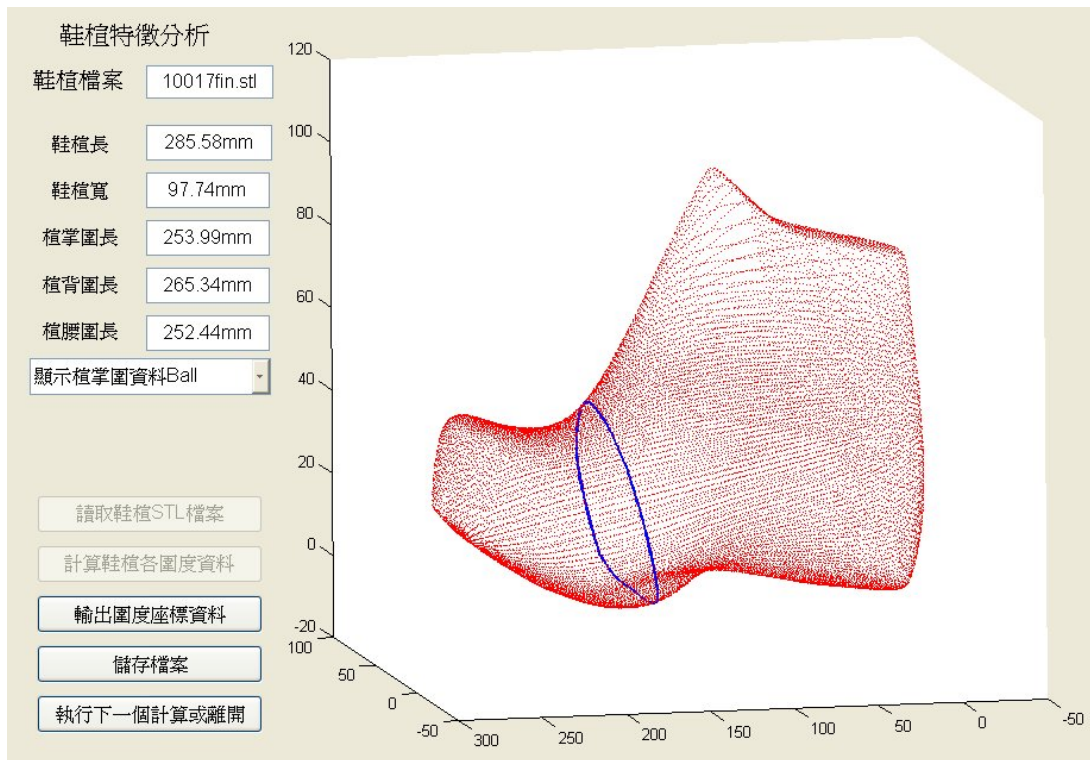


圖 4-5a 掌圍 Ball

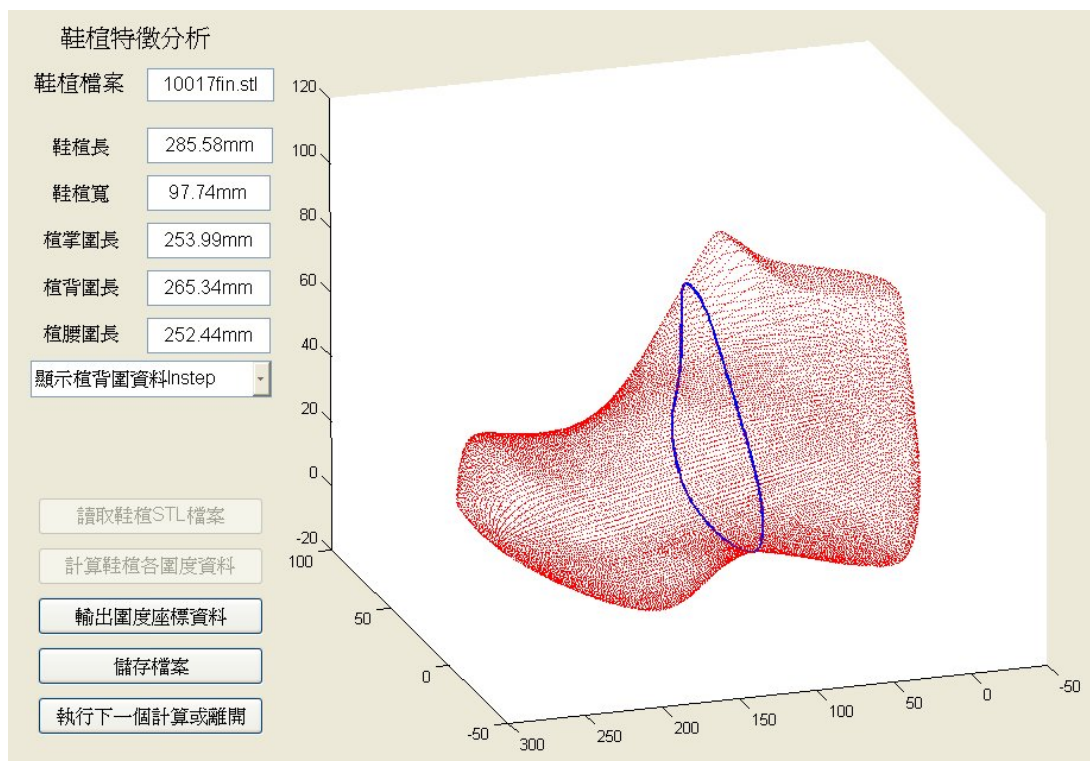


圖 4-5b 背圍 Instep

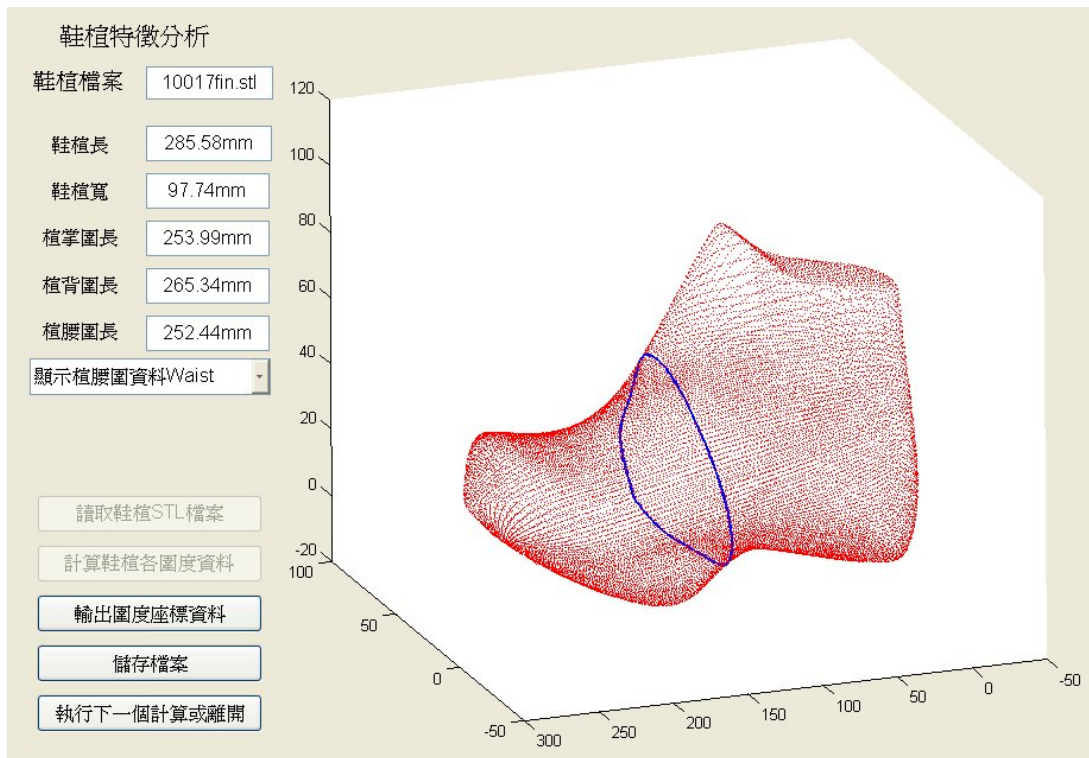


圖 4-5c 腰圍 Waist

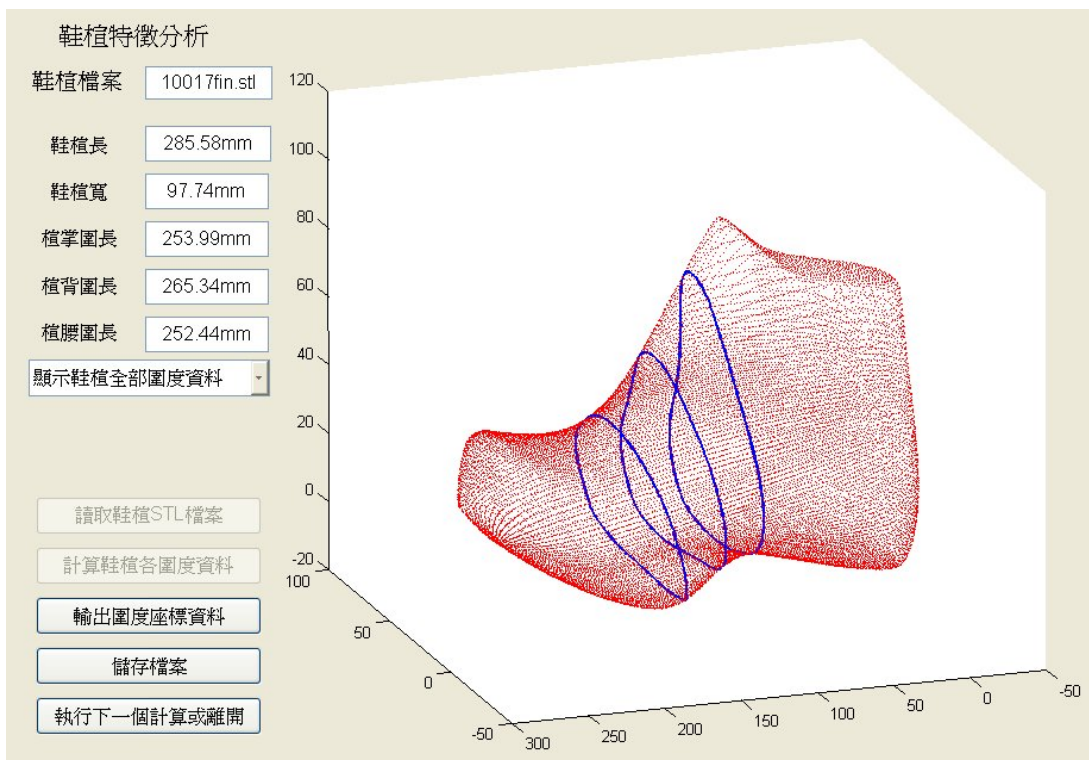


圖 4-5d 顯示所有圍度

4-1-3 輸出資料及儲存檔案

完成所有特徵的擷取計算後，最後的目的就是要將這些結果輸出或是儲存起來。在輸出資料這方面，本系統提供將各圍度的點座標資料以 ASCII 純文字格式輸出，操作者可以用滑鼠點擊操作視窗中的輸出圍度座標資料功能按鈕，開啟選擇對話框將座標資料輸出成 Geomagic 或是 Auto CAD 可以讀入的格式，如圖 4-6 所示。



圖 4-6 選擇輸出格式對話框

可讀入於 Geomagic 中的點座標資料格式，如下所示。其中 x、y、z 分別為點之座標資料，當中以空白間隔表示分隔符號。

x y z

可讀入於 Auto CAD 中的點座標資料格式，如下所示。其中 x、y、z 分別為點之座標資料，當中以逗號，表示分隔符號。

x , y , z

輸出座標資料的檔案可讀入於 Geomagic 中並顯示，如圖 4-7 所示。

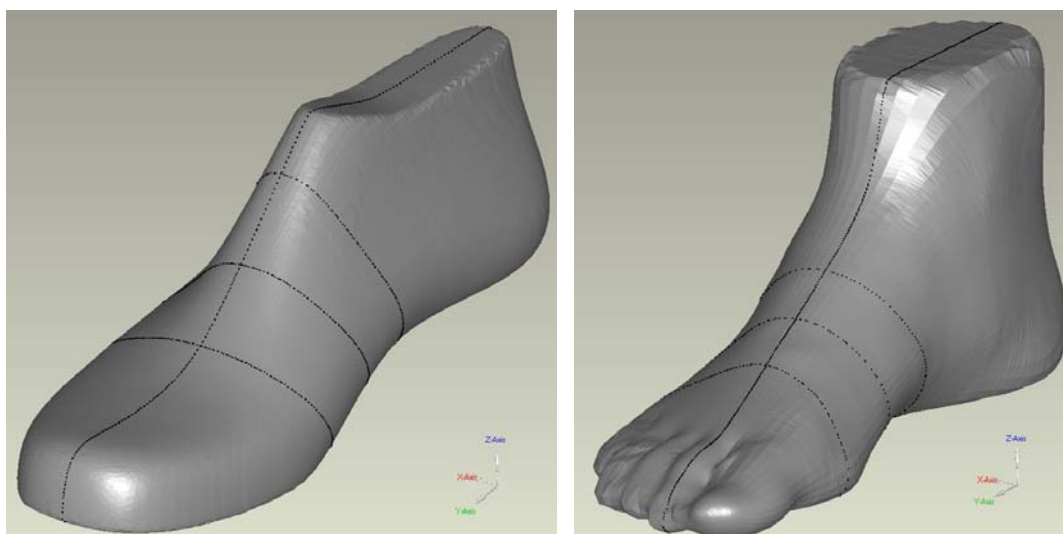


圖 4-7 圍度座標資料讀入於 Geomagic 中

而另一個輸出座標資料的檔案則可以讀入 Auto CAD 中，因此可利用 Auto CAD 將這些座標資料連結成曲線，如圖 4-8 所示。

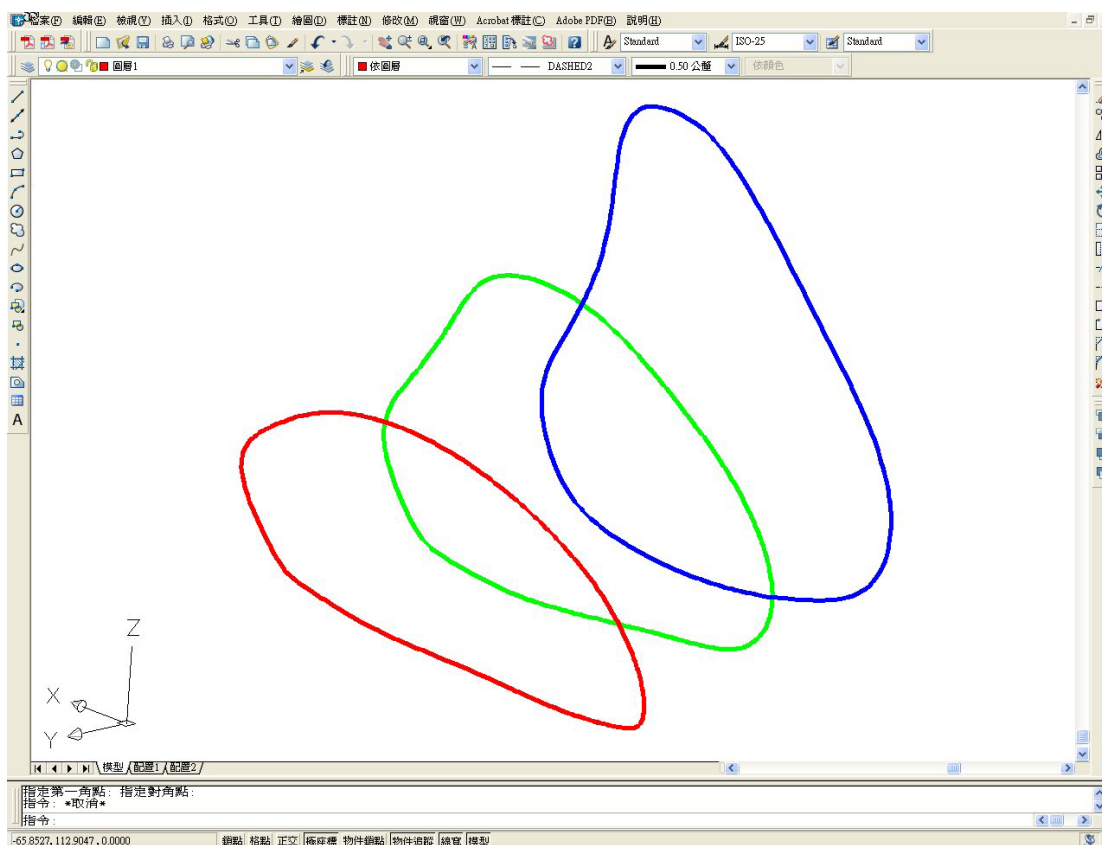


圖 4-8 圍度座標資料讀入於 Auto CAD 中並連成曲線

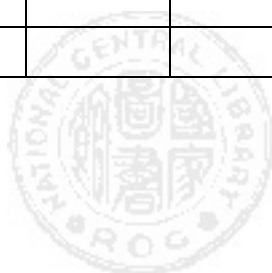
最後在檔案儲存這方面，一方面系統提供以 Matlab 的檔案儲存格式 (*.mat)將所有的計算結果儲存起來；另一方面系統也提供將所有特徵之數值資料儲存於 Excel 的檔案格式(*.xls)中，此檔案將用於之後的模糊分析、比對。操作者可以用滑鼠點擊操作視窗中的**儲存檔案**功能按鈕，開啟相關對話框將資料儲存起來。完成檔案儲存後，可用滑鼠點擊操作視窗中的**離開**功能按鈕，離開此系統。系統所儲存之各圍度數值的 Excel 檔案，如表 4-1a 以及 4-1b 所示之格式。

表 4-1a 輸出鞋楦特徵數據資料之儲存格式

檔案名稱	楦長 (mm)	楦寬 (mm)	楦掌圍長 (mm)	楦背圍長 (mm)	楦腰圍長 (mm)

表 4-1b 輸出足部特徵數據資料之儲存格式

檔案名稱	足長 (mm)	足寬 (mm)	足掌圍長 (mm)	足背圍長 (mm)	足腰圍長 (mm)



4-2 模糊分析

關於後續以模糊理論建立一個分析、搜尋合適鞋楦的系統，這一部份也是以 MATLAB 以及其 GUI 圖形使用者介面，建立一自動化、視窗化的操作系統，如圖 4-9 所示。



圖 4-9 模糊分析操作系統

此系統將針對在 4-1-3 章節中，系統最後所儲存的鞋楦、足部各項特徵數值資料，進行分析、排序。利用模糊理論分析得到之足圍長以及楦圍長在設計上的關係，在目前所蒐集的所有鞋楦樣本中，尋找出最適合受測者足部的鞋楦排序。關於這個部分的系統架構流程如圖 4-10 所示。

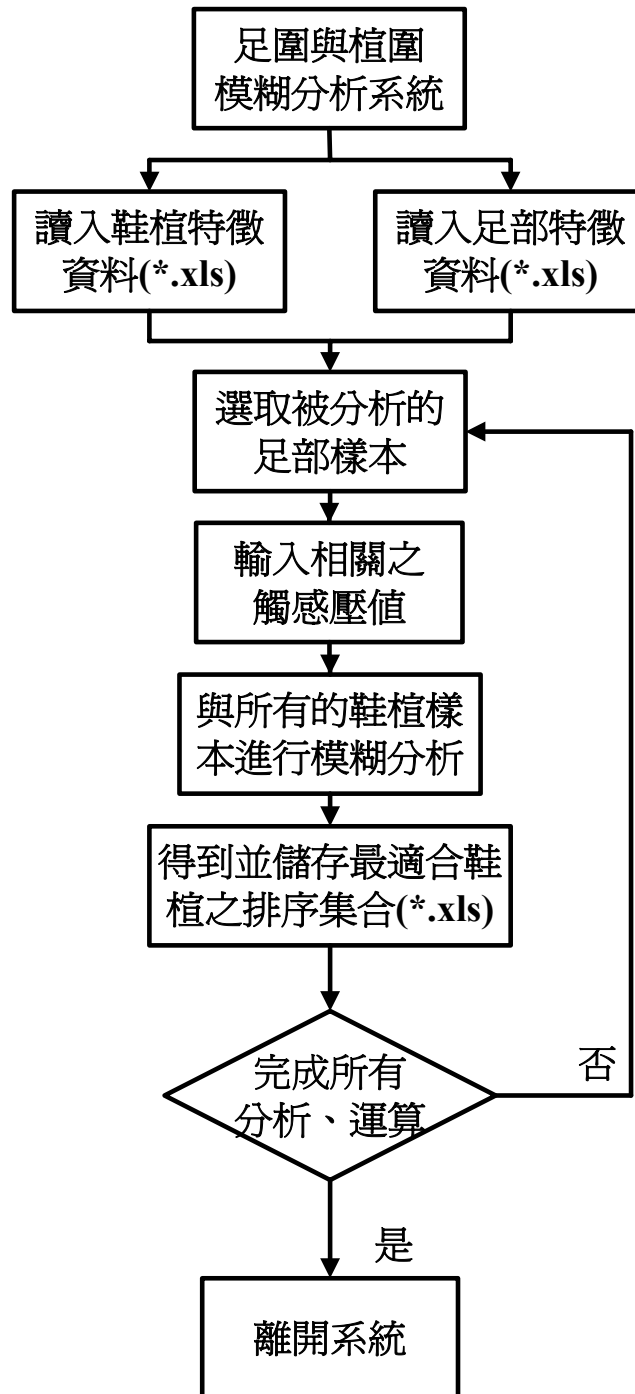


圖 4-10 模糊分析系統架構流程

4-2-1 讀入足部、鞋楦特徵資料

在 4-1 章節中，最後儲存至 Excel 中之人體足部、鞋楦特徵數值資料檔案，將作為此部分操作系統的讀入資料來源。操作者需分別點選讀入足

部特徵資料以及讀入鞋楦特徵資料功能按鈕，開啟讀入檔案的對話框以讀入相關數據資料；本系統只接受讀入 Excel(*.xls)的檔案，不接受讀取其它格式的檔案。在讀入足部以及鞋楦的數據資料後，讀入物件的檔名會顯示於右邊的目錄欄中，操作者可知道目前系統讀入多少物件的資料，如圖 4-11 所示。



圖 4-11 讀入特徵數據資料*.xls

4-2-2 模糊分析運算

完成讀入資料後，可直接點選開始模糊分析、排序功能按鈕，之後系統會要求操作者選取一個足部樣本檔案的特徵數值資料，進行分析，並加以排序，如圖 4-12 所示。

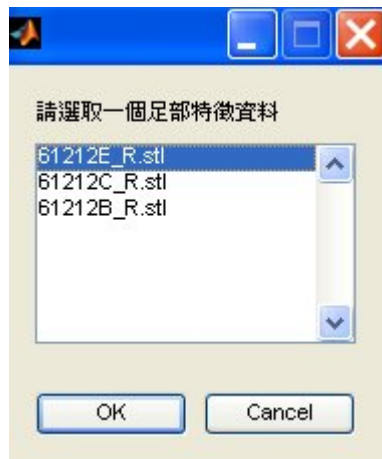


圖 4-12 選擇足部樣本資料

接著系統會要求輸入相關的觸感壓值，如圖 4-13 所示。



圖 4-13 輸入觸感壓值

輸入完畢後，系統便開始進行計算。所得到之計算結果，系統會自動進行排序，將其儲存於 Excel 的檔案中，如表 4-2 所示之格式。

表 4-2 模糊分析結果

足部受測樣本 檔案名稱	Filename(.stl)		
觸感壓值	6.35 mm	5 mm	5 mm
鞋楦檔案名稱	掌圍歸屬度	背圍歸屬度	腰圍歸屬度
Filename(.stl)	0.670	0.885	0.432
Filename(.stl)	0.647	0	0.315
Filename(.stl)	0	0.307	0.523
Filename(.stl)	0.894	0	0
Filename(.stl)	0	0.236	0

根據 3-2 節的說明，在此計算所得到各圍度之模糊歸屬度，1 為此楦圍最適合此人足圍；0 為不適合此人之足圍，介於 0~1 的模糊歸屬度者，值越大者則代表此楦圍越適合此人足圍的程度。而越多圍度項目之歸屬度不為 0 的鞋楦，則代表越滿足此人之足部，所以在此可作一初步的排序，也就是分析三個圍度所得之模糊歸屬度：

1. 三項全部都不為 0
2. 只有兩項不為 0
3. 只有一項不為 0
4. 全部都為 0

因此根據上述的排列順序，系統會將鞋楦的檔案名稱以及其模糊歸屬度存入 Excel 的檔案中，因此排在越前面的鞋楦則代表其越適合此人的腳。

第五章 實例驗證

為了確認在第四章中所建立之操作系統的可行性，本研究以 5 位受測者的足部以及蒐集 10 支鞋楦為樣本作為系統實驗的驗證。其中在受測者的部份，以成年男性、正常的右腳為主，足部變形、病變或是扁平足等非一般正常人之腳則不適用於本研究之系統，將不進行探討。在鞋楦樣本部分則以男用皮鞋款式，大小為 9 號之鞋楦為主，一共有 10 支。透過系統的程式運算、分析，了解受測者與鞋楦的差異，最後於這 10 支鞋楦樣本中搜尋、找出適合之鞋楦。

5-1 建立鞋楦與足部外形資料

近年來，逆向工程技術已被廣泛地運用於產品開發以縮短開發時程，其中應用逆向工程中的三次元量測技術可快速取得這些具有自由曲面的產品外型與數據資料並且建立成 3D CAD 的資料檔案。而當中的非接觸式雷射掃描系統具有掃描速度快、且不會損害被掃描物件外形的優點，在應用上較傳統接觸式的掃描設備較為實用。而鞋楦以及人體足部之外型，皆為由不規則的曲面所構成，因此非接觸式雷射掃描系統成為本研究取得它們外型資料的最佳工具。

5-1-1 樣本取得與掃描工作

在本研究的實例驗證中，所採用的逆向工程量測設備為雷射三次元掃描系統。對於鞋楦的掃描工作，以本研究室之設備 — 智泰 LSH 800 3D 雷射掃描器完成此工作，其量測精度為 0.05mm，如圖 5-1 所示。



圖 5-1 智泰 LSH 800 3D 雷射掃描器































而對於人體足部的掃描工作來說，由於本研究室此項設備並不適用於完成人體足部外形的掃描，因此將以鞋技中心的雷射掃描設備 — Vorum Research Corporation, CANFIT-PLUS 雷射掃描器完成人體足部外形的掃描，其量測精度為 0.5mm，如圖 5-2 所示。



圖 5-2 CANFIT-PLUS 雷射掃描器

在鞋楦樣本的取得方面，本研究先期以取得 10 支鞋楦為主，這 10 支主要為男用、休閒式皮鞋、右腳、大小為 9 號，分別來自各家不同廠商的鞋楦，如表 5-1 內之圖片所示。

表 5-1 鞋楦樣本

1 (10017)			
2 (10155)			
3 (19998)			
4 (28562)			
5 (19647G)			
6 (tw698)			
7 (tw736)			
8 (tw9615)			
9 (tw1127)			
10 (tw1247)			

由於本研究室之掃描設備無法一次掃描得到完整的鞋楦外形資料，必須以多個角度方向進行掃描，產生多筆點群資料，如圖 5-3 所示。因此須於 Geomagic 中進行點群疊合等相關工作以得到完整外型資料。

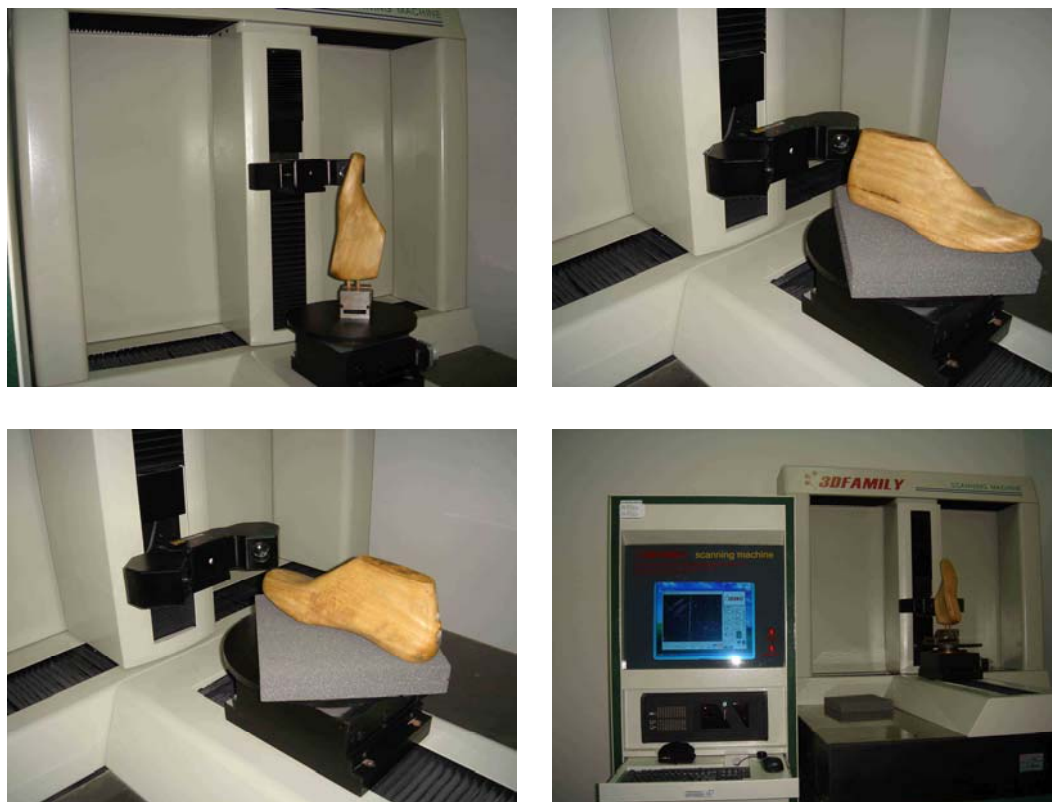


圖 5-3 鞋楦掃描過程

至於人體足部樣本的取得，本研究以取得成年男性，大小為 9 號鞋子的正常右腳，共計 5 名，其個人的相關基本資料，如表 5-2 所示。

表 5-2 足部樣本之受測人員基本資料

編號	Age	Height(cm)	Weight(Kgw)
1	30	177.5	75
2	24	176.5	69
3	26	172	65
4	26	168	68
5	29	167	60

5-1-2 點群處理、座標轉換與三角網格化

1. 點群處理

在完成取得所有鞋楦以及足部樣本的點群資料之後，接下來就要於 Geomagic 中進行點群處理的工作，由於鞋楦需要以多個角度方向進行掃描以得到一個完整的外形，所以後續需要進行點群疊合的處理，將從各個角度方向所取得之點群資料進行定位、合併，最後得到一個完整的鞋楦外形點群資料，如圖 5-4 所示。

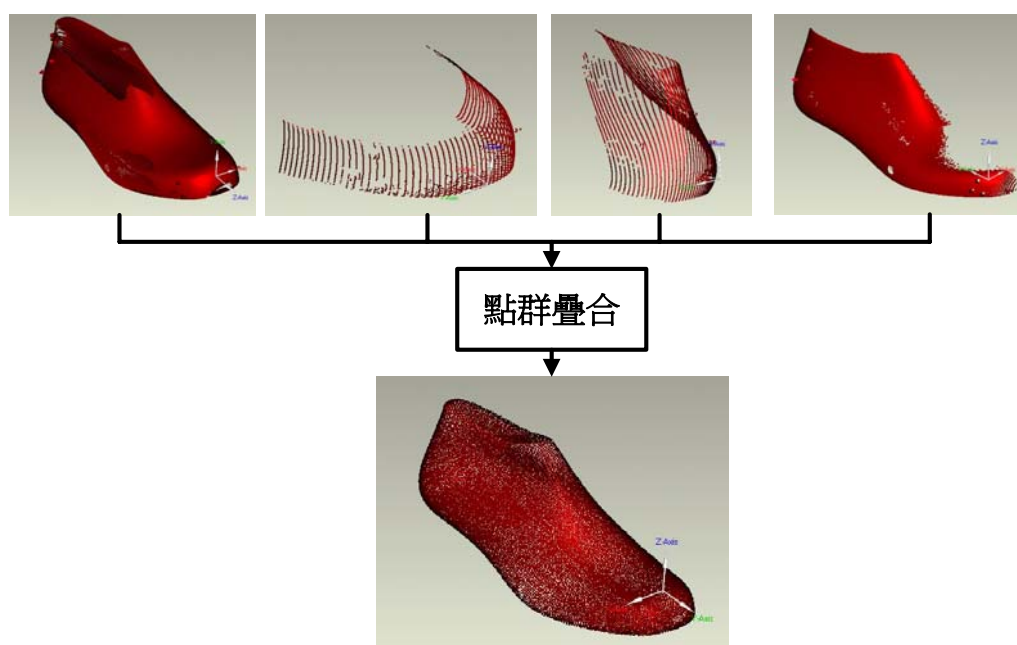


圖 5-4 點群疊合

得到鞋楦的完整外形點群資料之後，接下來還要進行將雜訊點去除，以及將龐大的點群資料縮減成只有數萬筆的點群資料。在本研究中將會把將每一支鞋楦以及足部的點群資料，控制在 25,000 個點之內，如圖 5-5 所示。

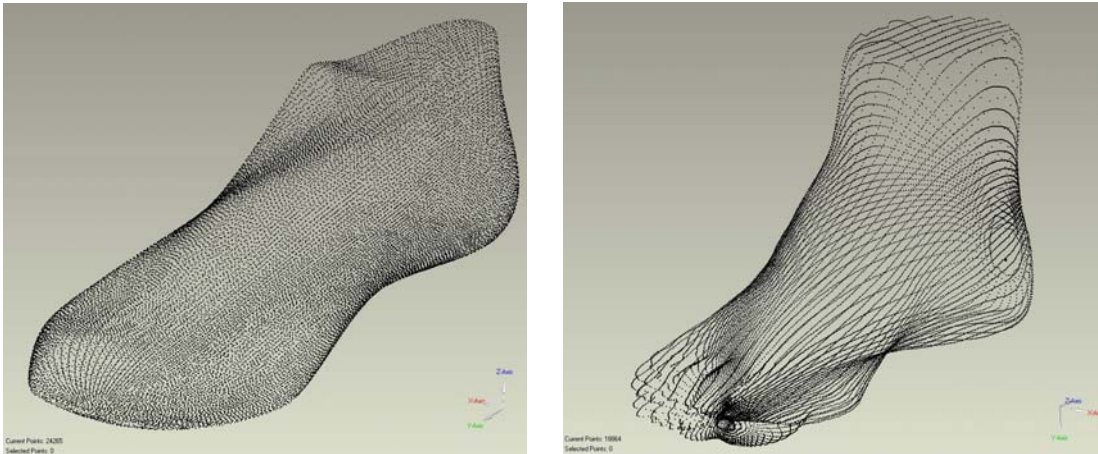


圖 5-5 完成點群處理

2. 座標轉換

如果要系統能夠自動化的擷取鞋楦、足部的特徵，那麼就必須先將它們於空間中擺放至正確的位置、方向上，使系統能夠正確地辨識各個特徵點以進行擷取特徵。所以在完成所有鞋楦以及足部樣本的點群處理工作之後，接下來就要於 Geomagic 中將鞋楦與足部點群資料旋轉、移動至正確的位置以及方向上。在本研究中，不管是鞋楦或者是足部資料，其方向、位置大致上都是遵循相同的規則，關於這個部分已於之前的 3-1-1 章節中有詳細的說明，而最後完成座標轉換的鞋楦、足部點群資料，其位置、方向如圖 5-6a 以及 5-6b 所示。

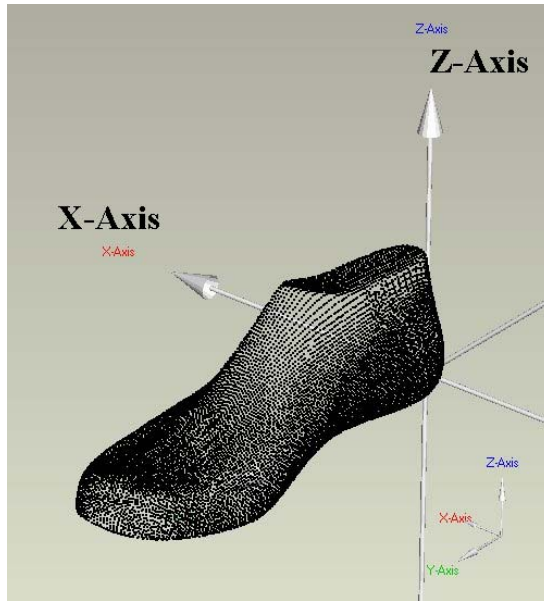


圖 5-6a 鞋楦座標轉換

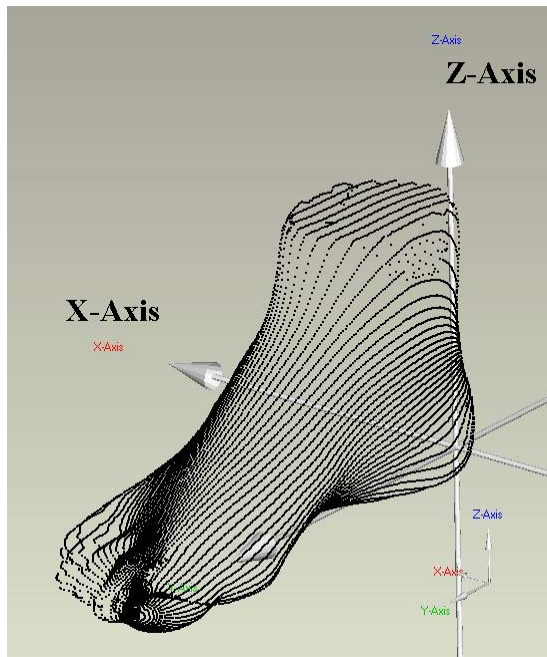


圖 5-6b 足部座標轉換

3. 三角網格化

完成前述所有工作之後，最後的目的就是要將點群資料轉換成為三角網格的圖形檔案格式，也就是 STL 格式的 3D 圖形檔案，這個部分的工作

也是在 Geomagic 中進行。每一個完成三角網格化的鞋楦或是足部 3D 模型，其三角網格數則均在 50,000 個之內，如圖 5-7 所示。而最後要將所有的 STL 檔案將以 ASCII 文字格式儲存，後續操作系統的讀取、運算也將以此格式作為輸入、讀取的來源。

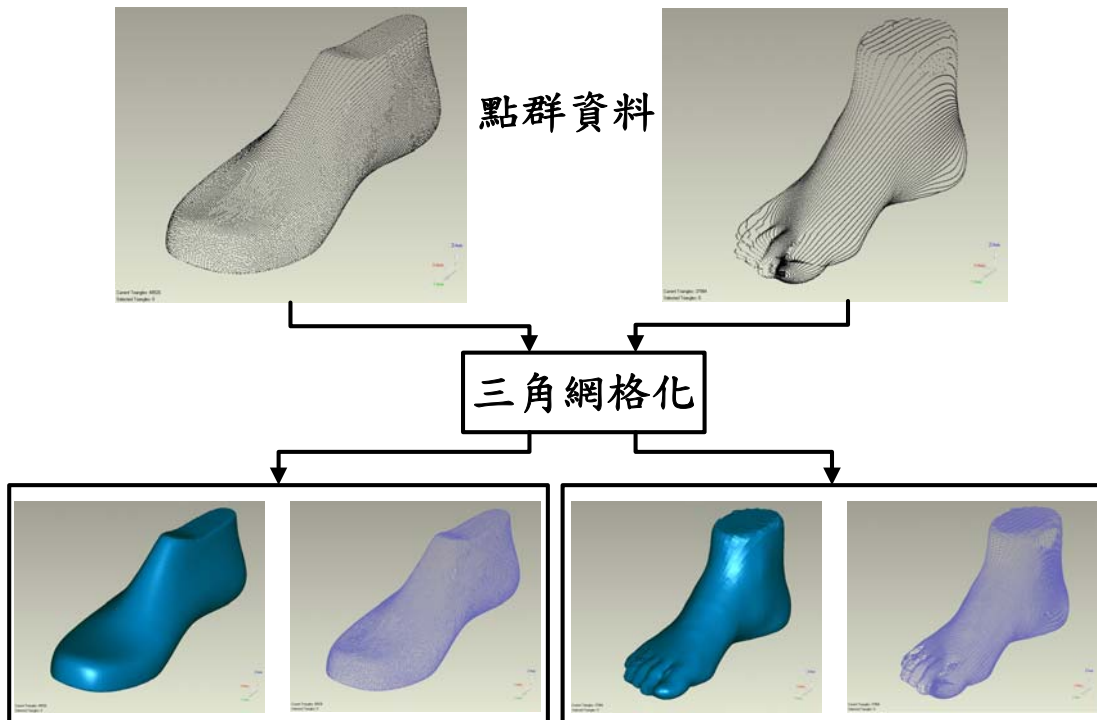


圖 5-7 三角網格化

5-2 特徵分析與系統運算

1. 鞋楦、人體足部特徵資料分析運算

將每一個已完成座標轉換之鞋楦、足部外型 STL 檔案，交由本研究所建立之程式系統進行分析、運算，所得到之各項結果如表 5-3a 以及 5-3b 所示。

表 5-3a 輸出足部特徵分析之數據資料

	長度 (mm)	寬度 (mm)	掌圍長 (mm)	背圍長 (mm)	腰圍長 (mm)
1	260.65	102.54	251.81	254.03	243.66
2	258.77	105.72	252.32	254.12	248.16
3	259.44	99.53	242.43	244.89	235.95
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

表 5-3b 輸出鞋楦特徵分析之數據資料

	長度 (mm)	寬度 (mm)	掌圍長 (mm)	背圍長 (mm)	腰圍長 (mm)
1	285.58	97.74	253.99	265.34	252.44
2	282.11	98.66	252.94	262.53	253.68
3	287.28	97.03	254.45	264.45	251.81
4	284.08	98.98	255.11	256.25	252.63
5	285.88	95.14	251.70	261.66	248.74
6	286.18	100.33	253.35	263.64	251.49
7	274.36	97.37	244.18	245.60	239.21
8	282.36	93.19	244.87	261.47	244.69
9	276.15	93.64	238.21	251.06	235.69
10	280.71	96.78	248.02	259.14	247.70

在足部特徵分析這部份資料中，第四以及第五號受測者，雖然皆為正常人之足型，但是由於其足部之特徵點不甚明顯，造成系統無法準確地辨識它們，因而產生錯誤資料，需將這兩位受測者排除在本研究之外，僅就第一、二、三號受測者可以進行接下來的模糊分析、搜尋；而在鞋楦樣本這一方面，由於這 10 支鞋楦樣本在設計、製造時皆加入鞋墊的考量，所以需要再減掉 4mm 的鞋墊厚度，因此所有的鞋楦圍度長需再減掉鞋墊兩

邊的厚度和，也就是 8 mm，結果如表 5-4 所示。

表 5-4 減去鞋墊厚度之鞋楦特徵數據資料

	長度 (mm)	寬度 (mm)	掌圍長 (mm)	背圍長 (mm)	腰圍長 (mm)
1	285.58	97.74	245.99	257.34	244.44
2	282.11	98.66	244.94	254.53	245.68
3	287.28	97.03	246.45	256.45	243.81
4	284.08	98.98	247.11	248.25	244.63
5	285.88	95.14	243.70	253.66	240.74
6	286.18	100.33	245.35	255.64	243.49
7	274.36	97.37	236.18	237.60	231.21
8	282.36	93.19	236.87	253.47	236.69
9	276.15	93.64	230.21	243.06	227.69
10	280.71	96.78	240.02	251.14	239.70

2. 模糊分析、排序運算

接下來以本研究所建立之模糊分析、排序系統，對這些足部特徵數值資料以及鞋楦特徵數值資料進行分析。由於本研究並沒有對人體之觸感壓值進行探討研究，故目前並沒有得到這些受測者，其足部的各項觸感壓值資料，為驗證此排序運算系統的可行性，因此以鞋楦設計之經驗法則[鄭豐聰,1998]：

$$\text{楦圍長} = \text{足圍長} - 6.35 \text{ mm}$$

以相關文獻之數據資料進行驗證，可輸入 6.35 做為觸感壓值，輸入 5 作為緊與鬆之試穿的觸感壓值，經由本系統計算、搜尋所得到的排序結果如表 5-5a、5-5b 以及 5-5c 所示。

表 5-5a 1 號受測者的模糊分析排序結果

鞋楦檔案名稱	掌圍歸屬度	背圍歸屬度	腰圍歸屬度
19998.stl	0.671	0.885	0.000
28652.stl	0.648	0.000	0.315
tw9615.stl	0.000	0.307	0.523
10017fin.stl	0.895	0.000	0.000
10155.stl	0.895	0.000	0.000
19647.stl	0.802	0.000	0.000
tw698.stl	0.977	0.000	0.000
tw1247.stl	0.000	0.077	0.000
tw1127.stl	0.000	0.000	0.876
tw736.stl	0.000	0.000	0.000

表 5-5b 2 號受測者的模糊分析排序結果

鞋楦檔案名稱	掌圍歸屬度	背圍歸屬度	腰圍歸屬度
19998.stl	0.772	0.905	0.435
10017fin.stl	0.996	0.000	0.473
10155.stl	0.794	0.000	0.224
19647.stl	0.902	0.000	0.599
28652.stl	0.547	0.000	0.786
tw698.stl	0.876	0.000	0.663
tw9615.stl	0.000	0.327	0.578
tw1247.stl	0.000	0.058	0.000
tw736.stl	0.000	0.000	0.000
tw1127.stl	0.000	0.000	0.000

表 5-5c 3 號受測者的模糊分析排序結果

鞋楦檔案名稱	掌圍歸屬度	背圍歸屬度	腰圍歸屬度
tw736.stl	0.979	0.812	0.679
tw1247.stl	0.000	0.095	0.618
tw1127.stl	0.843	0.000	0.000
tw9615.stl	0.213	0.000	0.000
10017fin.stl	0.000	0.000	0.000
10155.stl	0.000	0.000	0.000
19647.stl	0.000	0.000	0.000
19998.stl	0.000	0.000	0.000
28652.stl	0.000	0.000	0.000
tw698.stl	0.000	0.000	0.000

5-3 AHP 問卷分析與結果

目前在初步研究以及作法上，本研究先以問卷並詢問專家以及廠商的方式，取得三個圍度間的相對重要性，一共得到 10 份資料、數據。接著以特徵值法(EM)解其比較矩陣並得到各個權重，以本研究其中一份問卷之數據為例，所得之成對比較矩陣 A 如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 9 \\ 1/7 & 1 & 4 \\ 1/9 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}$$

因此利用 Matlab 解出矩陣 A 之最大特徵值 λ_{\max} 、對應最大特徵值之特徵向量 w ，以及一致性指標 CI 如下：

$$\lambda_{\max} = 3.1448$$

$$w = [0.9762 \quad 0.2036 \quad 0.0743]^T$$

$$CI = \frac{3.1448 - 3}{3 - 1} \rightarrow CI = 0.0724 \leq 0.1$$

由以上可得知此份問卷之評比值符合一致性，因此求得之權重值可予以使用。由於在 10 份問卷中只有 6 份問卷通過一致性的檢驗，如表 5-6 所示。

表 5-6 問卷計算結果

問卷	成對比較矩陣	λ_{\max}	W	CI
1	$\begin{bmatrix} 1 & 7 & 9 \\ 1/7 & 1 & 4 \\ 1/9 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}$	3.1448	$\begin{bmatrix} 0.9702 \\ 0.2036 \\ 0.0743 \end{bmatrix}$	0.0724
2	$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 9 \\ 1/9 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	3.1356	$\begin{bmatrix} 0.9846 \\ 0.1578 \\ 0.0759 \end{bmatrix}$	0.0678
3	$\begin{bmatrix} 1 & 8 & 9 \\ 1/8 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	3.1078	$\begin{bmatrix} 0.9823 \\ 0.1703 \\ 0.0787 \end{bmatrix}$	0.0539
4	$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 \\ 1/5 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	3.0649	$\begin{bmatrix} 0.9628 \\ 0.2483 \\ 0.1067 \end{bmatrix}$	0.0325
5	$\begin{bmatrix} 1 & 7 & 9 \\ 1/7 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	3.0803	$\begin{bmatrix} 0.9792 \\ 0.1855 \\ 0.0820 \end{bmatrix}$	0.0401
6	$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 9 \\ 1/9 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	3.1356	$\begin{bmatrix} 0.9846 \\ 0.1578 \\ 0.0759 \end{bmatrix}$	0.0678

因此最後將此 6 份問卷得到之各權重值以幾何平均法求得三個圍度之綜合權重，如下所示：

$$w_B = \sqrt[6]{0.9702 \times 0.9846 \times 0.9823 \times 0.9628 \times 0.9792 \times 0.9846} \\ = 0.9772$$

$$w_w = \sqrt[6]{0.2036 \times 0.1578 \times 0.1703 \times 0.2483 \times 0.1855 \times 0.1578}$$
$$= 0.1848$$

$$w_l = \sqrt[6]{0.0743 \times 0.0759 \times 0.0787 \times 0.1067 \times 0.0820 \times 0.0759}$$
$$= 0.0816$$

由以上可得知，經由初步的問卷分析可得到三個圍度，其重要性的相對權重，分別為：

掌圍的權重 w_B 為 0.9772

腰圍的權重 w_w 為 0.1848

背圍的權重 w_l 為 0.0816

就數值上的意義來看，三個圍度的重要性順序為：

掌圍 > 腰圍 > 背圍

而所得之三個圍度的相對權重值，在本研究中與足圍歸屬度搭配計算可得一綜合評估值 R，依此評估值 R 可做更進一步分析、排序。

5-4 實驗結果與討論

經由以上實例驗證以及系統分析最後所得到之數據中，經討論可得到以下結果：

(1) 在人體足部特徵這一部分的系統擷取運算中，由於足圍乃是根據辨識人體足部上的特徵點而得之，而這些特徵點大都來自於腳骨或是關節上的突出位置。雖然在實驗中一共有 5 位受測者的足部樣本，但是由圖 5-8 中可得知第四、第五號受測者其足部上的掌圍特徵點，也就是內側足球點不甚明顯，甚至被其它部位的突出點所影響 — 如腳趾，造成系統無法自動、準確的找出這些特徵點，因而無法經由本研究之系統運算得到其掌圍資料。

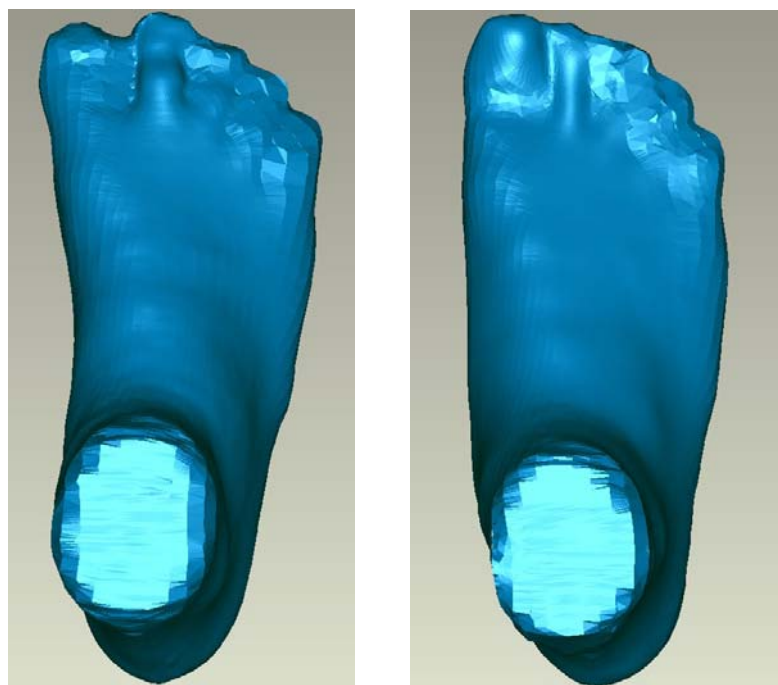


圖 5-8 第四、五號受測者之足部

而在第一、第二以及第三號受測者的足部樣本中，由圖 5-9 中可清楚地得知並沒有上述的問題，因而可由本研就究之系統運算得到其掌圍資料。

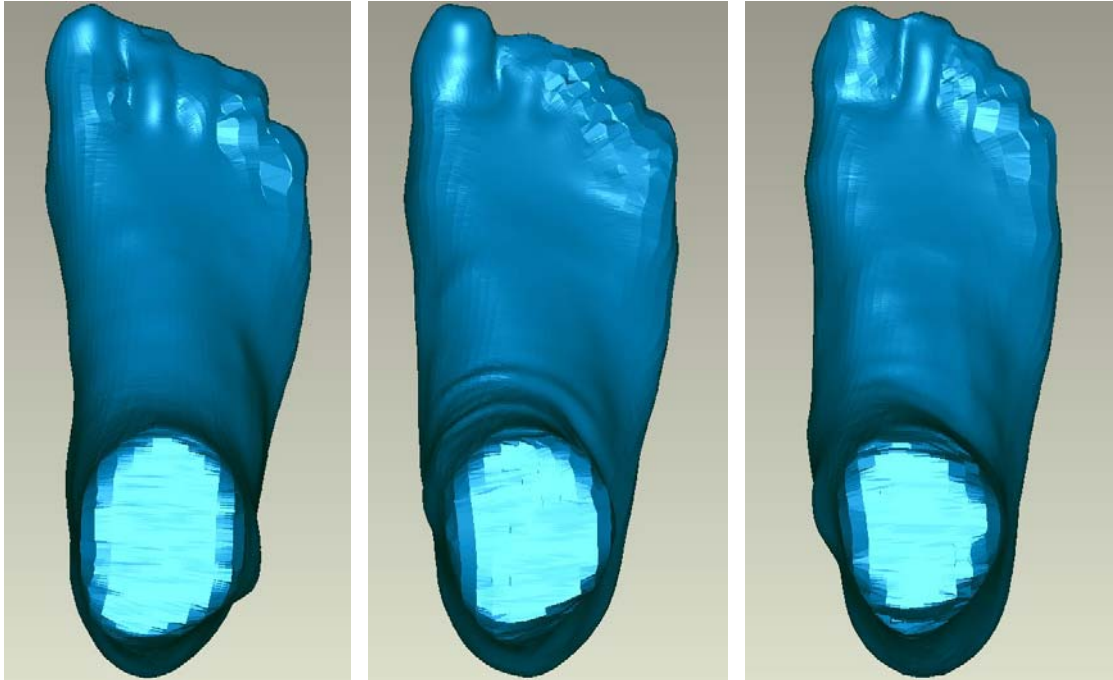


圖 5-9 第一、二、三號受測者之足部

第四以及第五號受測者的足部樣本，如果要找到這些特徵點的位置，則需以人工介入方式使其特徵點位置更加明顯，如在其腳上貼標記點的掃描取點方法而得之；或是直接在 Geomagic 中將這些特徵點所位在的局部區域，加以編輯使之成為獨立的區域，再於本系統中運算、找尋這些特徵點。不過仍有可能會產生人為誤差。

(2) 在模糊分析、搜尋這一部份，系統的運算所輸出之數據中，各圍度之模糊歸屬度— 0 為不適合此人之足圍；1 為此楦圍最適合此人足圍。而介於 0~1 的模糊數值，值越大者則代表此楦圍越適合此人足圍的程度。所以

由得到之資料數據中可得知：

1 號受測者的模糊分析排序結果一

由表 5-5a 所記載的數據中可得知，在 10 支鞋楦中，並沒有三項圍度的歸屬度皆滿足不為 0 的鞋楦。因此嚴格來說，就目前所蒐集的 10 支鞋楦中，並沒有最適合 1 號受測者足部的鞋楦。不過 19998.stl、28652.stl 以及 tw9615.stl 這三支鞋楦，皆有兩項圍度的歸屬度都不為 0。為求更精確之排序，因此將 5-3 章節中所得之各項權重以及歸屬度，代入式子

$R = w_B M_B + w_I M_I + w_W M_W$ ，得到之結果如下：

$$\begin{aligned} R_{19998} &= 0.9772 \times 0.671 + 0.0816 \times 0.885 + 0.1848 \times 0 \\ &= 0.7279 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{28652} &= 0.9772 \times 0.648 + 0.0816 \times 0 + 0.1848 \times 0.315 \\ &= 0.6914 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{tw9615} &= 0.9772 \times 0 + 0.0816 \times 0.523 + 0.1848 \times 0.307 \\ &= 0.0994 \end{aligned}$$

由 $R_{19998} > R_{28652} > R_{tw9615}$ 來看，19998.stl 這支鞋楦可能是在目前 10 支鞋楦中最佳的選擇，如圖 5-10a 以及 5-10b 所示。

2 號受測者的模糊分析排序結果一

由表 5-5b 所記載的數據中可得知，只有 19998.stl 這一支鞋楦，其三項圍度的歸屬度皆不為 0，因此 19998.stl 這一支鞋楦應為這 10 支鞋楦中最適合 2 號受測者的腳，如圖 5-10a 以及 5-10b 所示。

3 號受測者的模糊分析排序結果一

由表 5-5c 所記載的數據中可得知，只有 tw736.stl 這一支鞋楦，其三項圍度的歸屬度皆不為 0，因此 tw736.stl 這一支鞋楦應為這 10 支鞋楦中最適合 3 號受測者的腳，如圖 5-11a 以及 5-11b 所示。

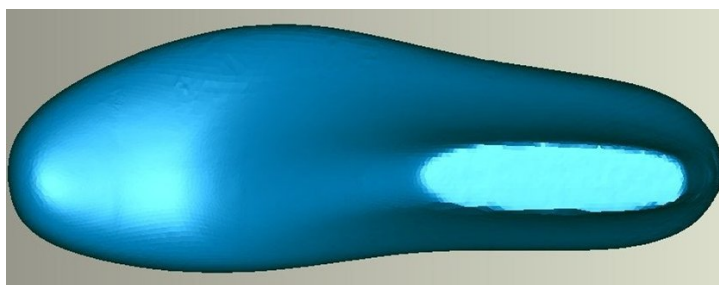


圖 5-10a 鞋楦 19998 之 stl 圖形



圖 5-10b 鞋楦 19998 之實物圖片

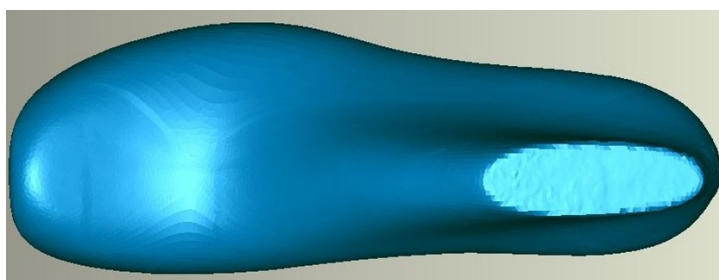


圖 5-11a 鞋楦 tw736 之 stl 圖形



圖 5-11b 鞋楦 tw736 之實物圖片

(3) 雖然經由本研究之模糊分析初步運算，已可得到合適的鞋楦排序，而且根據此排序結果可找到每位受測者，最適合其足部的鞋楦。但是隨著蒐集的鞋楦樣本數量增加，並建立可觀的鞋楦設計特徵之資料庫後，在後續研究以及作法上，勢必得加入更多的運算法則；此外在圍度的考量上，可針對不同鞋款、用途以及功能等各方面，取得觸感壓值、楦圍權重等數據資料，方可快速、精確地建立所有鞋楦的合適排序，並且得到每位受測者其足部最適合的鞋楦。

第六章 結論與未來展望

本章節中主要在探討本研究所完成的結果，以及未來可以再繼續進行之研究方向。

6-1 結論

本研究以逆向工程量測技術，快速取得準確的鞋楦以及人體足部之外型資料，並且以辨識特徵點建立特徵平面、三角網格切層法等，使得系統可以根據切層演算法自動取得這些特徵資料，減少產生人為誤差的可能性。同時也產生相關的數據以及圖形資料，進而得以建立鞋楦設計資訊的資料庫。

另一方面，本研究提出以觸感壓值概念並導入模糊理論，產生一個搜尋、排序演算法則，使得系統能夠根據本研究之特徵擷取運算所得到之人體足部以及鞋楦特徵數據資料，對現行之鞋楦進行搜尋、排序運算，尋找適合的鞋楦，經實例驗證後對於尋找合適的鞋楦確實有所幫助。

目前本研究已有的具體成果以及貢獻如下：

1. 完成一自動化，可針對人體足部以及鞋楦，取得其關鍵特徵尺寸的操作系統，減少傳統人為量測操作上的誤差。

2. 以觸感壓值概念並導入模糊理論，產生一個搜尋、排序法則作為系統運算、尋找適合鞋楦的根據。
3. 經由本系統運算所獲得之人體足部以及鞋楦各項特徵與圖形資料，不僅可立即儲存並建立成資料庫，供後續使用外，也可提供做為日後鞋楦設計、修改的依據。

6-2 未來展望

本研究尚有下列各項可做為未來研究繼續發展之方向。

1. 建立其它特徵資料

由於本研究目前只針對鞋楦設計中的長、寬以及三個圍度，這五個關鍵特徵尺寸進行探討，尚有其它有關於人體足部以及鞋楦的重要特徵尺寸可進行研究探討。

2. 資料庫系統的建立

在本研究之系統運算過程中，很明顯地會使用或產生許多異質環境資料，如*.stl、*.xls、*.txt、*.mat 等。而隨著鞋楦或人體足型樣本與日增加，勢必將會產生龐大、複雜的數據資料與檔案，如何使用、管理或搜尋檢索這些資料或檔案，將有賴於建立一套完善的資料庫系統。

3. 足部特徵資料與鞋楦設計的模糊分析、排序

本研究提出以觸感壓值概念並導入模糊理論，產生一個搜尋、排序法則作為系統運算、尋找最適合鞋楦的根據，日後配合資料庫的使用可建立一查詢、排序功能。對於人體觸感壓值與鞋楦設計的模糊關係，以及如何透過“學習”和不斷的實驗，逐步修正和調整，使歸屬函數更臻於完善與客觀；此外在圍度的考量上，可針對不同鞋款、用途以及功能等各方面，取得觸感壓值、楦圍權重等數據資料，都是未來可以加以研究的方向。

4. STL 網格縮減、刪除與重建

STL 三角網格數量的多寡，會影響到記憶空間以及後續電腦處理運算的效率，因此如何將三角網格作縮減與最佳化，如較平滑或近乎平面之區域並不需要眾多的三角網格來表現。以達成簡化網格目的而且不會造成模型失真的情形，是後續可以加以研究的方向。

5. 鞋楦網際網路服務網應用

網際網路的便利以及無遠弗屆使得異地同工成為可能。本研究之成果如能結合網際網路並應用於訂製服務、發展電子商務以及鞋楦的協同產品開發與製造等，都是未來可以加以研究的方向。

參考文獻

中文部分一

1. 江俊禹，鞋楦逆向 CAD 模型重建技術探討，2001，國立中央大學機械工程系碩士論文。
2. 吳博雄，特徵式鞋楦自動化參數設計系統之研究，1995，國立台灣科技大學機械工程研究所碩士論文。
3. 吳維編譯，Roger C. Crafts 著，CRAFTS 解剖學，1995，合記圖書出版社。
4. 李國清，以輪廓特徵及模糊比對為基礎的平面圖形辨識系統，2000，國立中興大學應用數學系碩士論文。
5. 林承哲，以三度空間腳型量測儀建立腳型尺碼分類系統，國立清華大學工業工程與工程管理學系碩士論文，2002。
6. 林耕莘，快速原型製造系統之有效率的進階適應性切層方法，1999，國立中正大學機械系碩士論文。
7. 林士源，鞋款設計之快速客製化系統設計研究，2005，朝陽科技大學設計研究所碩士論文。
8. 洪輝嵩譯，Schlachter A. 著，鞋類及鞋材，1990，中國生產力中心。

9. 孫宗瀛、楊英魁，模糊控制理論與技術，1996，全華科技。
10. 高台生，腳與鞋楦，1991，經濟部工業局。
11. 梁國瑞，以改良式目標規劃法建構 AHP 模組，1995，交通大學資訊管理研究所碩士論文。
12. 童明棟，應用模糊理論於智慧型代理人搜尋系統之研究，2005，國立成功大學工業設計學系碩士論文。
13. 張志嘉，自由曲面資料擷取辨識與量測規劃之研究，1999，國立台灣科技大學工程技術研究所碩士論文。
14. 游志堅，個人專用鞋楦及鞋型之研究與設計，1999，全華科技圖書。
15. 葉建任，鞋楦設計，1991，經濟部工業局。
16. 鄭豐聰，腳型尺碼資訊系統與鞋楦設計關係之研究，1998，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文。

英文部分一

17. Buckles, B.P., and Petry, F.E., 1982, "A Fuzzy Representation of Data for Relational Databases", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 7, pp. 213- 226.
18. Buckles, B.P., and Petry, F.E., 1984, "Extending the Fuzzy Database with Fuzzy Numbers", *Information Sciences*, Vol. 34, pp. 145-155.
19. Chang, P.T., and Chang, C.H., 2000, "An Integrated Artificial Intelligent Computer-aided Process Planning System", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 13, pp. 483-497.
20. Cheng, F.T., 1999. "A systematic approach for developing a foot size information system for shoe last design", *International Journal of Industrial Ergonomics* Vol. 25, pp.171-185.
21. Choi, S.H., and Kwok, K.T., 2002, "Hierarchical slice contours for layered-manufacturing", *Computers in Industry*, Vol. 48, pp. 219-239.
22. Chua, C.K., and Leong, K.F., 2000, "Rapid Prototyping: Principles & Applications in Manufacturing", Ch 6, John Wiley & Sons.
23. Kouchi, M., 1995, "Analysis of foot shape variation based on the medial axis of foot outline", *Ergonomics*, Vol.38, No.9, pp.1911-1920.
24. Kouchi, M., and Tsutsumi, E., 1996, "Relation between the medial axis of the foot outline and 3-D foot shape", *Ergonomics*, Vol. 39, No. 6, pp.853-861.

25. Kouchi, M., and Mochimaru, M., 2001, "Development of low cost foot-scanner for a custom shoe making system", Proceeding of 5th Symp. Of Footwear Biomechanics.
26. Liu, W., Miller, J., Stefanyshyn, D., and Benno M.N., 1999, "Accuracy and reliability of a technique for quantifying foot shape, dimension and structural characteristics", *Ergonomics*, Vol. 42, No. 2, pp. 346-358.
27. Luximon, A., Goonetilleke, R.S., and Tsui, K.L., 2003, "Foot landmarking for footwear customization", *Ergonomics*, Vol. 46, No. 4, pp. 364-383.
28. Luximon, A., Goonetilleke, R.S., and Zhang, M., 2005, "3D foot shape generation from 2D information", *Ergonomics*, Vol. 48, No. 6, pp. 625-641.
29. Mochimaru, M., and Kouchi, M., 1997, "Automatic calculation of the medial axis of foot outline and its flexion angles", *Ergonomics*, Vol. 40, No. 4, pp.450-464.
30. Mochimaru, M., Kouchi, M., and Dohi, M., 2000, "Analysis of 3-D human foot forms using the Free Form Deformation method and its application in grading shoe lasts", *Ergonomics*, Vol. 43, No. 9, pp. 1301-1313.
31. Rossi, W., and Tenant, R., 1986, "Professional shoe Fitting Manual", Shoe Trades Publishing Company, New York.
32. Saaty, T.L., 1980, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York.

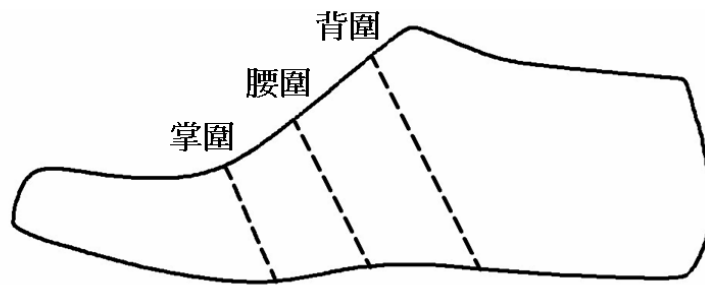
33. Witana, C.P., Feng, J.J., and Goonetilleke, R.S., 2004, “Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit”, *Ergonomics*, Vol. 47, No. 12, pp. 1301-1317.
34. Witana, C.P., Xiong, S., Zhao, J., and Goonetilleke, R.S., 2006, “Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 36, pp. 789-807.
35. Zadeh, L.A., 1965, “Fuzzy sets”, *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353.

附錄

問卷設計一

敬愛的受訪者 您好：

本問卷之目的，主要為分析鞋楦設計之掌圍、背圍以及腰圍(下圖所示)，三個屬性於設計以及人因方面之考量上，相互之間的強弱關係。透過您回答下列問題並給予評分，所得到的評分結果將以層級分析法(AHP)進行分析，最後得到三者之間強弱關係的權重。



請先填寫基本資料，並依您的專業知識與經驗為背景作答，所有資料將作為研究使用，謝謝。

基本資料

1.年齡-

25-29 30-34 35-39 40-44 45-49 50 以上

2.職業別-

教職人員 研究單位 業界 其他

3.從事鞋類研究或工作之年資-

1-3 4-6 7-9 10-12 13-15 16-18 19 以上

4.學歷-

專科 大學 研究所 博士

本問卷設計採層級分析法之方式，回答方式如下：

以掌圍以及背圍為例-

1.如果您認為掌圍在重要程度上強於背圍，請在如下框選之區域，並依照您個人直覺上認為的強烈程度給予評分。

重要度比較										
極強	<<<<<<<	強	<<<<<<<	相等	>>>>>>>	強	>>>>>>>	極強		
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
掌圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	背圍

2. 如果您認為背圍在重要程度上強於掌圍，請在如下框選之區域，並依照您個人直覺上認為的強烈程度給予評分。

重要度比較										
極強	<<<<<<<	強	<<<<<<<	相等	>>>>>>>	強	>>>>>>>	極強		
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
掌圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	背圍

3. 如果您認為背圍在重要程度上等於掌圍，請在相等這一選項勾選。

以下請您依對於鞋類設計、製作的專業知識以及了解為背景作答，所有資料將作為研究使用。

重要度比較										
極強	<<<<<<<	強	<<<<<<<	相等	>>>>>>>	強	>>>>>>>	極強		
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
掌圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	背圍

重要度比較										
極強	<<<<<<<	強	<<<<<<<	相等	>>>>>>>	強	>>>>>>>	極強		
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
掌圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	腰圍

重要度比較										
極強	<<<<<<<	強	<<<<<<<	相等	>>>>>>>	強	>>>>>>>	極強		
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
背圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	腰圍