

東 海 大 學

工業設計學系碩士班

碩 士 論 文

糖尿病患者之客製化鞋楦設計研究

Customized Shoe Last Design for Diabetes

研 究 生：黃泊鑫

指 導 教 授：王中行

中 華 民 國 一 百 零 三 年 十 一 月

碩士學位論文口試委員會審定書

工業設計研究所 黃泊鑫 君所提供之論文

糖尿病患者之客製化鞋楦設計研究

經本委員會審定通過，特此證明。

論文口試委員會

委員：

<u>蔣世文</u>	<u>杜瑞澤</u>
<u>張炳騰</u>	<u>王中行</u>
<u>陳白芳</u>	

指導教授：

王中行

中華民國 103 年 06 月 20 日

摘要

本研究以解決輕症狀糖尿病患者之鞋楦設計為目標。研究上，利用逆向掃描技術、自動化量測與分析，比對糖尿病患者足部以及鞋楦的外觀特徵尺寸圍度，以系統化的方法，達成客製化鞋楦的目標。

首先藉由切層演算法(Slicing Algorithm)發展系統程式，針對糖尿病患者的足部生物力學指標，計算鞋楦與患者腳型的重要特徵圍度；再以類神經演算法則之自組織映射圖網路(Self-Organizing Map, SOM)，對於 60 雙鞋楦進行自動分類，達到縮小群集範圍之目的，進而輸入病患腳型，以得知所適合的鞋楦類型；再藉由層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)，由專家問卷分析圍度特徵資料，得到其重要性的相對權重；再使用灰關聯方法(Grey Relational Analysis, GRA)，求得患者腳型與所屬群集之鞋楦的各項特徵灰關聯度，並計算出所屬群集之鞋楦，相對於患者腳型的舒適函數(Fitness Function)，以找出對於患者之最適合的鞋楦。

藉由對於鞋楦的特徵圍度與腳型資料分類，達成在客製化製鞋實務上，對於輕症狀之糖尿病患者所需要的鞋楦，可以精確及快速製造，以降低生產成本與達到客製化之目的。

關鍵字：逆向工程、糖尿病足、鞋楦設計、切層演算法、自組織映射圖網路、舒適函數

ABSTRACT

This research is aiming for the shoe last design for mildly diabetic patients. In this research, the technique of reverse scanning and automatic measurements and analyses have been utilized in this study to compare the outside dimensional data of shoe lasts of a diabetic foot with that of an average person. With a systematic approach, the target of shoe last customization can be achieved.

In this study, firstly the slicing algorithm has been utilized to develop system program, which aims at biomechanics of patients' diabetic foot. Featured girths of shoe lasts and individual foot shapes have been calculated. Then artificial neural self-organizing map (SOM) network has been utilized to classify a large amount of shoe lasts by itself and reach the purpose of reducing the range. By future input the shape of patient's foot, data of the proper shoe last has been obtained; also, through conducting the expert questionnaire analysis to the featured data with the Analytic Hierarchy Process (AHP), the research has gained the weight of the significance of the data; then, the Grey Relational Analysis (GRA) is applied, to receive the GRA of the patient's foot shape and the minimized range of the foot last. Finally by calculating the relative fitness function of the patient, the suitable feet last to the patient can be determined.

Through the classification of the featured girths of shoe lasts and image data in this study, actual practices of customized shoe-manufacturing can be achieved. The shoes required by mild-case patients with diabetes can be accurately and rapidly manufactured to achieve the purpose of reducing production costs and customization.

Keyword: Reverse Engineering (RE), Diabetic Foot, Shoe Last Design, Slicing Algorithm, Self-Organizing Map (SOM), Fitness Function

誌 謝

首先感謝指導教授 王中行博士這三年來的悉心指導與栽培，在學業與論文研究上諸多啟迪，逐字斧正，使學生在研究論文上終能順利完成，努力地去達到跨領域設計整合能力的提升，以致今日論文能得已完成。承蒙口試委員 蕭世文博士、杜瑞澤博士、張炳騰博士、林均燁博士與恩師 王中行博士，在百忙之中費心審閱，並給予本論文惠賜許多寶貴意見，讓學生得到許多經驗及知識，讓本研究的成果能更臻完善，在此向 教授們致上學生個人的敬意與謝意。

論文研究過程中，感謝財團法人鞋技中心、寶成研發處、金葵矯正鞋、歐登精密科技以及龍藤科技的各位先進，讓我在研究過程中，不只有學術理論，還能具備實務經驗知識，並提供不同的思考方向與想法，特此銘謝。在研究所生活中，感謝所有的師門同學-又新、凱傑、沛晶、鴻諺、子林、秉玗、祖研、珮樺，還有各方面技術專長的朋友們，在求學過程中彼此鼓勵與課業、研究上之砥礪，將永難忘懷。

最後，感謝撫育我、照顧我的家人，將這份完成的碩士學位的喜悅，獻給我的家人，若沒有您們的支持與鼓勵，我將無法完成此學業，在此表達最真摯的感謝。

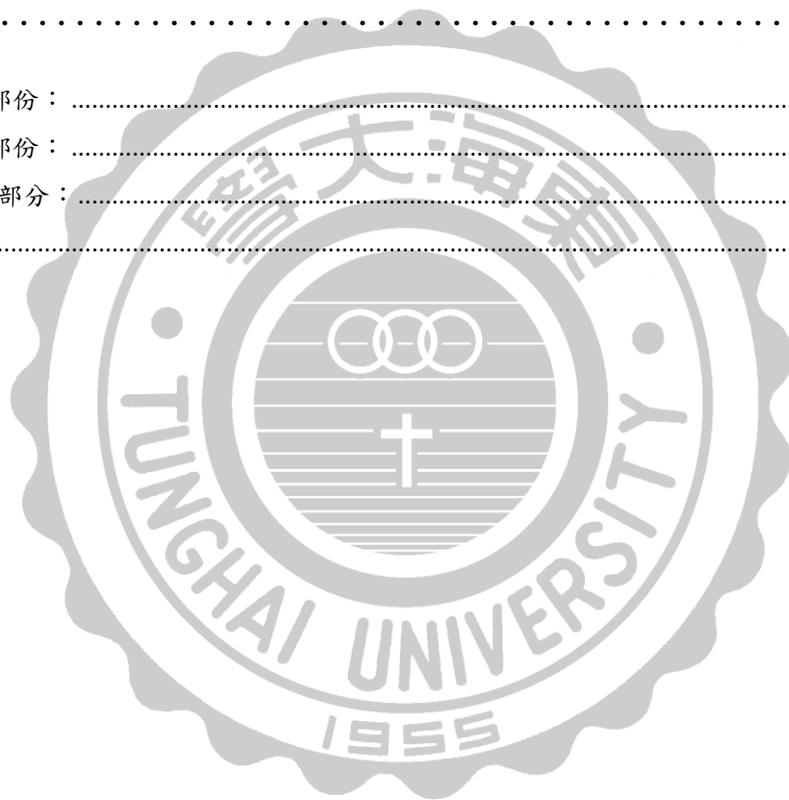
黃泊鑫 謹誌
東海大學工業設計所
中華民國一百零三年十一月

目 錄

封面內頁	
簽名頁	
摘 要.....	I
ABSTRACT	II
誌 謝.....	III
目 錄.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
第一章 緒論	1
1-1 研究背景.....	1
1-2 研究動機.....	3
1-3 研究目的.....	5
1-4 研究限制.....	6
1-5 研究方法.....	8
第二章 文獻探討	11
2-1 逆向工程.....	11
2-2 大量客製化.....	12
2-3 糖尿病定義與分類.....	13
2-3-1 糖尿病定義.....	13
2-3-2 糖尿病分類.....	14
2-4 糖尿病足部病變.....	15
2-4-1 神經病變	16
2-4-2 血管病變	17

2-4-3 感染	17
2-5 糖尿病足照護	18
2-5-1 糖尿病足部照護	18
2-5-2 糖尿病與高足壓	20
2-5-3 糖尿病鞋特性	21
2-6 糖尿病足鞋楦設計特徵與量測	24
2-6-1 糖尿病鞋的設計特徵	24
2-6-2 鞋楦與腳型測量探討	26
2-7 切層演算法	27
2-8 類神經網路	28
2-8-1 監督式學習網路	28
2-8-2 非監督式學習網路	29
2-8-3 自組織映射圖網路	31
2-8-4 類神經網路於鞋類之相關研究	33
2-9 層級分析法	35
2-10 灰關聯分析	37
第三章 糖尿病足與鞋楦之特徵圍度擷取	39
3-1 設定足部與鞋楦模型座標及方向	40
3-2 建立辨識圍度特徵點	42
3-3 建立圍度特徵平面方程式	47
3-4 實體模型的切層演算	49
3-4-1 STL 之檔案格式	49
3-4-2 三角網格切層法(Triangle Slicing)	51
第四章 鞋楦與腳型特徵之系統建構	56
4-1 擷取腳型與鞋楦特徵	57
4-1-1 讀取檔案	58
4-1-2 特徵資料分析運算	58
4-1-3 輸出資料及儲存檔案	61
4-2 SOM 類神經網路分群	62
4-2-1 SOM 網路建立	64
4-2-2 輸入鞋楦特徵資料	66
4-2-3 進行網路架構訓練	66
4-2-4 測試腳型樣本	69
第五章 實例驗證	70

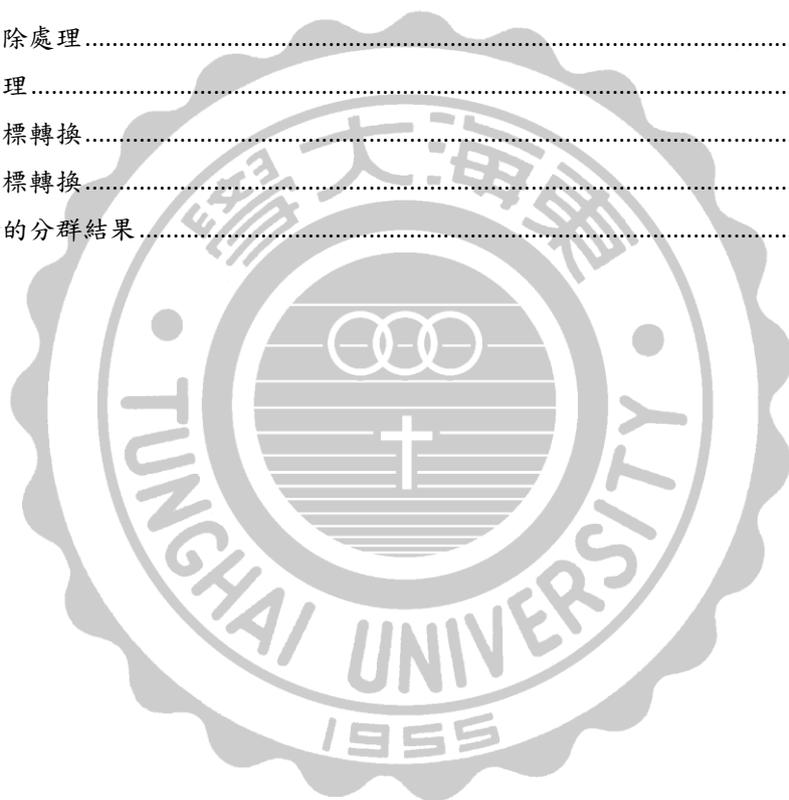
5-1 建立足部及鞋楦外形資料.....	70
5-2 點群處理、座標轉換	72
5-3 特徵分析運算與類神經系統分群	75
5-4 AHP 問卷分析與 GRA 分析結果.....	80
5-5 實驗結果與討論.....	83
第六章 結論與建議.....	85
6-1 研究成果與貢獻	85
6-2 後續研究與建議	86
參考文獻.....	88
一、中文部份：	88
二、英文部份：	90
三、網頁部分：	94
【附錄】	95



圖目錄

圖 1 研究流程圖	8
圖 2 爪狀趾	16
圖 3 導致併發感染的相關因素	18
圖 4 糖尿病鞋最具代表性的鞋楦量測特徵	24
圖 5 監督式學習演算法	29
圖 6 監督式學習演算法	29
圖 7 拓撲層神經元之分類	30
圖 8 特徵擷取及座標方向設定流程圖	39
圖 9 足部、鞋楦參考座標位置	40
圖 10 計算旋轉校正角度	41
圖 11 建立圍度特徵流程圖	42
圖 12 足掌圍特徵點	45
圖 13 楦掌圍特徵點	43
圖 14 足背圍特徵點	44
圖 15 楦背圍特徵點	44
圖 16 足腰圍特徵	45
圖 17 楦腰圍特徵	45
圖 18 足高背圍特徵點	46
圖 19 楦高背圍特徵點	46
圖 20 足趾圍特徵點	49
圖 21 楦趾圍特徵點	47
圖 22 STL 之資料結構	50
圖 23 三角網格與切層平面相交之種類	52
圖 24 平均高度切層	53
圖 25 平面通過兩點之間與其向量	54
圖 26 切層法則運算流程	55
圖 27 研究系統作業流程	56
圖 28 特徵擷取分析操作系統	57
圖 29 選取分析類型	58
圖 30 楦(足)掌圍 (BALL GIRTH)	59
圖 31 楦(足)背圍 (MEDIUM INSTEP GIRTH)	59
圖 32 楦(足)腰圍 (WAIST GIRTH)	59
圖 33 楦(足)高背圍 (HIGH INSTEP GIRTH)	60
圖 34 楦(足)趾圍 (TOE GIRTH)	60
圖 35 各項圍度的資料顯示	60

圖 36 SOM 類神經網路分析操作系統	62
圖 37 SOM 網路系統架構流程圖	63
圖 38 網路架構	65
圖 39 SOM 神經網路運算介面	67
圖 40 神經元間的拓樸架構	67
圖 41 SOM 類神經網路分析結果	68
圖 42 測試樣本的聚類落點	69
圖 43 泰智 LSH 800 3D 雷射掃描器	71
圖 44 龍騰 3D 雷射掃描器	71
圖 45 點群疊合	72
圖 46 破洞處理	73
圖 47 雜訊消除處理	73
圖 48 縮點處理	73
圖 49 腳型座標轉換	74
圖 50 鞋楦座標轉換	74
圖 51 受測者的分群結果	79



表目錄

表 1 WAGNER 分級.....	7
表 2 糖尿病診斷與檢測標準.....	14
表 3 美國糖尿病學會足部照護分類系統.....	19
表 4 糖尿病鞋之設計重點.....	21
表 5 糖尿病特殊鞋製造特點.....	22
表 6 鞋楦設計特徵與生物力學目標的修改參數關係.....	25
表 7 灰色系統理論、概率論及模糊集理論之區別.....	37
表 8 三角網格的相交種類.....	51
表 9 輸出足部特徵數據資料之儲存格式.....	61
表 10 輸出鞋楦特徵數據資料之儲存格式.....	61
表 11 程序相關參數描述.....	65
表 12 輸出腳型特徵圍度分析之數據資料.....	75
表 13 輸出鞋楦特徵圍度分析之數據資料.....	75
表 14 減去鞋墊厚度之鞋楦特徵圍度數據資料.....	77
表 15 問卷計算結果.....	80
表 16 腳型與鞋楦圍度.....	81
表 17 病患腳型與鞋楦之灰關聯度.....	82

第一章 緒論

糖尿病已經成為人類日益嚴重的病症，糖尿病患者的主要問題是由於該疾病所引起的併發症，其中最常見的併發症是足部潰瘍，如果不及時治療或是預防處理，可導致感染，最終必須完全或部分截肢。然而在目前，從提倡預防的觀念下，還沒有一個系統化的方法，為糖尿病患者來客製化鞋楦，且以目前傳統“手工”製作的方式，必須經由專業或有經驗的技術者加以製作，不但耗時且須依賴於技術人員的經驗。

為糖尿病患設計鞋楦，需先探討足部潰瘍的風險為何？例如：腳底壓力升高會導致潰瘍，因此在糖尿病者鞋楦設計上，主要的目標是降低鞋的壓力。本研究使用生物力學目標於鞋楦設計，藉由主要幾項圍度特徵，進行自動化的量測與分析、比對，於大量的鞋楦中，找出適合糖尿病患者的最適鞋楦，以作為後續為糖尿病患者，快速客製化鞋具之依據。

1-1 研究背景

隨著社會經濟的繁華及國民生活型態的改變，糖尿病的盛行率與成長率有逐漸增高的趨勢。在台灣，糖尿病醫療每年花費逾千億，糖尿病患人口近10年間成長超過2.3倍，20歲以上人口的糖尿病盛行率達8%，估計約有140多萬名糖尿病患者，健保局一年在糖尿病上的費用達184億元，約佔年度支出的4%，醫療負擔相當驚人。為了降低糖尿病患的醫療

負擔，預防足部潰瘍已成為不得不正視的問題(健保局，2011)。糖尿病於1983年首次進入國人十大死因之第八位，於1987年升高為第五位，且高居第五位至今。糖尿病在台灣的十大死因排名為第四名，且有逐年上升的趨勢(行政院主計總處生命統計，2012)。

根據研究顯示，於1995年全球已有一億三千五百萬的糖尿病人口，預估至2025年全球糖尿病人口成長率將高達35%，提升到三億的糖尿病人口，盛行率由1995年的4.0%預估至2025年提高到5.4%。糖尿病盛行率不僅有攀升的現象，其死亡率更是威脅世界各國，全球平均每十秒鐘就有兩人被診斷為糖尿病，而有一人死於糖尿病相關疾病(King, et al., 1998)。

糖尿病足(Diabetic Foot)是指糖尿病患發生與下肢遠端神經異常，和不同程度周圍血管病變相關的足部感染，潰瘍和(或)深層組織破壞。這類病症往往發生於病程長，病情長期未得到控制的患者，所造成社會和經濟雙重負擔，已成為一個嚴重的公共全球性的健康問題。糖尿病足部病變容易造成病人的肢體喪失及截肢的可能，不但病人生理、心理嚴重受創，長期耗用的社會成本更高，包括家庭照護、社會服務、潰瘍復發、截肢…等的費用，糖尿病患中約有10%的人在發病過程中，由於鞋內壓力升高，最終導致足部潰瘍，因此為了避免足部潰瘍的發生，應該要在穿鞋時就做好預防疾病產生工作(Apelqvist, et al., 1995)。

足部病變在糖尿病患者較常發生，可產生足部潰瘍、感染、壞疽或截肢等嚴重的問題。糖尿病患者終其一生約有25%比例，至少發生過一次足部潰瘍(Boulton, 2000a; Pham, et al., 2000; Reiber, et al., 1999)，且在所有非外傷性下肢截肢中約佔50%。根據國外研究調查，糖尿病足部潰瘍由於神經病變及/或血管缺血所造成，其中約有65%足部潰瘍是因神經病變引起(Gordois, et al., 2003)，而由於足部潰瘍導致截肢則高達85%，是非糖尿病患者的15倍(Pecoraro, et al., 1990)。由於足部潰瘍不只本身影響患者生活品質，其發病過程也經常走向遺憾的結局，所以預防足部潰瘍，就成為了令人注目的焦點。

1-2 研究動機

傳統的鞋楦設計過程是一個鞋楦師父以平放腳型的尺寸值為參考，與不斷重複修改鞋楦的繁複過程，究其原因乃因為過去的腳型量測技術，無法量測3D腳型的變化，而現在的3D腳型量測技術正可以補充此一不足(杜信宏，2008)。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，鞋楦與腳型是否適合也就無從得知。

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，依據醫學的觀點，如須達到雙腳的合適性，以現今鞋業的生產模式，似乎已經不太適用於現今客製化

的個人需求上，尤其是對於腳有潰瘍之病患。對足部潰瘍的患者來說，影響鞋子穿起來是否舒適與合腳的關鍵，最終不僅要完全符合患者的腳型，且必須滿足特定生物力學條件，將潰瘍機會降至最低。

糖尿病足病變主因是因為穿錯鞋，若能有效控制糖尿病的併發症，患者的壽命就得以延長。目前國內在預防糖尿病所產生糖尿病足的併發症上，只能市面上選擇一雙合適雙腳的鞋才行，但實際上大眾尺寸的鞋款，並不能夠完全滿足糖尿病患者對於糖尿病足的預防與護理。如果糖尿病患者去訂製傳統客製化的鞋款，往往出現的狀況是價格昂貴，費時與成效不如預期。

以目前研究和創新工具的發展，應適合患有糖尿病的足部去設計及製造鞋楦，利用目前的醫學知識，使病人的足部參數能夠讓客製化鞋楦更為適當(Germani, et al., 2011)。為糖尿病患者設計鞋楦時必須根據幾個重要的生物力學參數，需根據患者腳型數據，確保將潰瘍的風險降至最小化，這些設計特點與目標是為了讓使用者穿起來更加合腳、舒適，以腳底壓力作為生物力學的指標，探討糖尿病患潰瘍成因，行有餘年，已是各界公認的可行之道之一 (Bernabéu, et al., 2013)。

1-3 研究目的

大量客製化(Mass Customization)的概念是由Toffler在1970年出版Future Shock的這本書裡提出，在其內容中就有預料到會有愈來愈多製造業者都把生產產品的目標，朝向大量產品的客製化，以成為滿足顧客需求的顧客導向式經營策略(Toffler & Shapiro, 1985)，而要說到對於大量客製化有較完整的描述，則是由Stanley Davis在1987所出的Future Perfect一書中才有較具體的描述，並且他認為「若公司能比競爭者提供更客製化的產品，則它們就會有較強的競爭優勢」。

大量客製化的廣義概念是在不犧牲生產效率、效能，而同時又能考量到成本的情況下，以滿足個別顧客的需求，來因應快速且不可預期的市場需求(Boyton, et al.; Pine II, 1993)。大量客製化是經濟範疇的應用，藉由單一製程的模組化，以更低廉和快速的方式來生產更多樣化的產品與服務(Kotler, 1989)

在為糖尿病患客製化製鞋實務上，如何達成對於輕症狀之糖尿病患者，所需要的客製化鞋楦，成為一項重要的議題，本研究提出，藉由對於鞋楦群組與糖尿病患者的特徵圍度與圖形資料分類，減少重複製造、降低時間成本以及快速製鞋，以達到一個大量客製化概念之目的。

1-4 研究限制

國內在販售糖尿病鞋上，大多以皮鞋為主，因為糖尿病鞋主要是針對其舒適性與透氣性為考量，因此本研究選定之鞋楦樣本，以皮鞋鞋楦為主。

由於避免糖尿病患在就診時診斷標準不一，造成醫療資源的浪費，對於糖尿病足病變來說，Wagner 分級法是目前被廣泛接受和普遍使用的分級系統，是根據傷口的深度與組織壞的範圍為依據。分級系統提供了 0 至 5 級的潰瘍規模，治療過程中的病患可以進行不同程度適合的醫療過程。在糖尿病的患者中，選擇足部尚無嚴重病變者為主要針對族群，根據 Wagner 分類，定義研究對象為 0 級輕症狀之糖尿病患者為主，如表 1。當患者處於在一個高風險但沒有潰瘍的狀態下，以降低患者潰瘍以及截肢的發生率(Boulton, et al., 1999)。

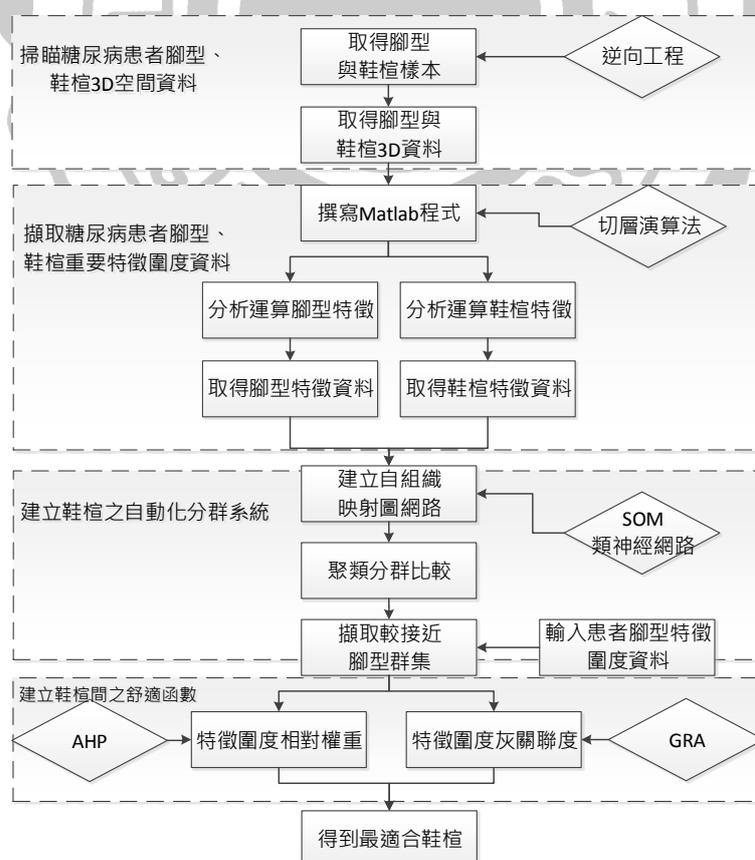
表 1 Wagner 分級

分級	糖尿病足	分析特點
0 級		<p>目前無潰瘍，皮膚無開放性病灶，但有發生足部潰瘍的危險。</p>
1 級		<p>表面有潰瘍，皮膚或皮下組織的表層潰瘍。</p>
2 級		<p>較深的潰瘍，常合併軟組織炎，無膿腫或骨的感染，可能延至骨骼、肌腱、韌帶或關節。</p>
3 級		<p>深度潰瘍，造成骨組織病變或膿腫。</p>
4 級		<p>局部性壞疽，部分趾、足壞疽(腳趾或腳掌)。</p>
5 級		<p>足的大部或全部壞疽。</p>

資料來源：本研究整理

1-5 研究方法

糖尿病患者穿鞋時，以自我感覺舒適方式，來選擇鞋款，對於患者來說，並不適用，因為病情所造成的末梢血液循環不良，造成皮膚敏感度降低，患者無法準確感覺舒適，因此需要一套科學的方法，以解決此問題。本研究的主要內容，在於利用逆向工程量測技術，建立糖尿病患者足部與鞋楦的 3D 空間資料，並發展一套自動擷取特徵的系統，再藉由類神經之自組織映射網路理論、層級分析法以及灰關聯分析，進行糖尿病足與鞋楦特徵圍度資料分析，藉由近似患者腳型的特徵圍度，進而取得最適合的鞋楦。本研究的流程步驟，如圖 1，詳細說明如下：



(1) 掃瞄糖尿病患者腳型、鞋楦 3D 空間資料

以男性、休閒式皮鞋的鞋楦樣本做為本研究實驗、驗證的目標。首先收集不同廠商的右腳鞋楦原型，尺碼大小為 8 號、8 號半、9 號、9 號半、10 號至 10 號半，各 10 隻一共 60 隻；另外在糖尿病患者腳型部分，則以一般成人之右腳，作為樣本驗證之對象。利用逆向工程量測技術，完成建立糖尿病患者腳型，以及鞋楦 3D 空間資料的讀取。

(2) 擷取糖尿病患者腳型、鞋楦重要特徵圍度資料

以本研究所建立之特徵圍度之自動化讀取系統，取得病患腳型與鞋楦原型樣本之 STL 三角網格格式資料，再經由相關軟體點群處理以及座標轉換後，以切層演算法則進行運算、擷取其特徵圍度資料。運算這些病患腳型及鞋楦原型特徵資料，其中特徵圍度，包括：足(楦)長 (Last Length)、足(楦)寬 (Last Width)、足(楦)趾圍 (Toe Girth)、足(楦)掌圍 (Ball Girth)、足(楦)腰圍 (Waist Girth)、足(楦)背圍 (Medium Instep Girth) 以及足(楦)高背圍 (High Instep Girth) 共七項特徵圍度，運算取得的特徵資料將儲存以供後續使用以及分析(Bernabéu, et al., 2013)。

(3) 建立鞋楦之自動化分群系統

本研究利用類神經之自組織映射網路，建立一套自動化分群系統，經前述步驟所取得之主要幾項患者腳型及鞋楦特徵圍度，以大量鞋楦樣本做為訓練目標，分群出相關的鞋楦資訊後，再以患者腳型驗證，最後尋

找出較適合於糖尿病患者之鞋楦。

(4) 建立患者腳型與較佳鞋楦間之舒適函數

在製作鞋楦上，並非所有特徵圍度的重要度皆相同，因此必須先詢問專家，並且以問卷的方式，利用層級分析法，來計算各項特徵圍度的相對權重。進而將前述步驟之主要幾項特徵之權重值，以及患者與較適合之鞋楦群組，進行各項特徵資料的灰關聯度分析，而最後以舒適度函數驗證，找出其在樣本中最適合患者的鞋楦。



第二章 文獻探討

文獻主要分成十個部分進行探討。(1) 針對逆向工程進行探討，了解以何種方式進行鞋楦與腳型的三維掃描量測；(2) 探討研究之大量客製化的概念；(3) 探討糖尿病的定義與分類，分析研究糖尿病患者的對象；(4) 分析糖尿病足部病變發生的原因與症狀；(5) 探討糖尿病足照護方式與方法；(6) 糖尿病足鞋楦設計特徵與量測方法；(7) 切層演算法；(8) 類神經網路；(9) 層級分析法；(10) 灰關聯分析法。

2-1 逆向工程

一般工業產品之設計流程是由構想發展開始，構想確認後經由軟體繪製出 2D、3D 的模擬模型，再由電腦輔助製造進行產品檢驗，如果達到要求，即可產生最終產品，這種開發工程稱為順向工程 FE (Forward Engineering)。反之逆向工程 RE (Reverse Engineering)，顧名思義的就是以倒推的方式，經由量測實體物件外型及尺寸，而得快速到 3D 模型及 2D 的平面設計圖，以利於後續修改工作，節省開發時間與成本(Fuente, et al., 2010)。

在取得人體足部的過程，最初的作業方式皆以人工的方式進行，其量測結果多會受到技師的個人認知、熟練度、技術、經驗所影響；所得

資料也僅於長度尺寸而非具體斷面外型。而逆向工程技術可快速取得空間裡的自由曲面，得到之數據資料可建立於 3D CAD 等軟體內立體呈現、運用(金濤等， 2005)。

以往製鞋的量測工作以人工的方式進行，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，將為本研究取得物件之外型資料為最佳量測工具。

2-2 大量客製化

Lampel, et al., (2012)則以客製化程度來區分生產策略，提供三個滿足顧客需求的方法，其說明如下：

1. 客製標準化(Customized Standardization)：顧客並沒有主導產品基本的设计和製造，例如:汽車車體的核心部分，是以生產大量且標準的零組件來供應市場所需，所以允許顧客從有限的零組件及自己的喜好來加以變化組裝，且因為組裝是客製化，所以其又可稱為模組化或結構化製造。
2. 訂做客製化(Tailored Customization)：提供潛在顧客一個標準的原型，然後根據個人化的需求或偏好來加以調整，例如:室內設計、服裝的訂做

或名片的訂製等，其生產者只保留對於產品的最初始設計部分。

3. 完全客製化(Pure Customization):由於顧客可依個人化需求來參與產品的設計、製造組裝及配送等，所以其實施是真正接單後，才生產的模式，來因應變動的需求，例如：寶石的製造商或者是建造房屋的建築師，都是根據顧客所要求的產品規格來生產產品，所以又可將其稱為完全個人化的型式。

總結以上各學者對大量客製化的定義和內容，可以知道大量客製化是依照單一客戶的需求，藉由外部環境的新科技與新技術成熟，搭配內部環境的企業管理運作的成熟，而生產出商品或是服務單一客戶。

2-3 糖尿病定義與分類

2-3-1 糖尿病定義

糖尿病是一種慢性疾病，當人體胰腺無法產生足夠的胰島素，或者人體無法有效地利用所產生的胰島素，所產生的疾病。胰島素用於調節血糖的荷爾蒙，當糖尿病患無法控制胰島素時，高血糖或血糖升高情況則會發生，接著會導致許多身體的系統，特別是神經和血管造成嚴重損害(WHO, 1999)。

糖尿病的診斷標準有 4 項，只要符合其中一項即判定為糖尿病患者，但前 3 項標準必須要重複驗證，詳細診斷標準，如表 2。

表 2 糖尿病診斷與檢測標準

診斷標準	檢測項目
1. 糖化血色素(A1C) \geq 6.5%。	檢測需符合美國糖化血紅素標準化協會 (National Glycohemoglobin Standardization Program) 的認證，及糖尿病控制與合併症試驗 (Diabetes Control and Complication Trial) 的標準。
2. 空腹血漿血糖 \geq 126 mg/dl。	空腹的定義為至少 8 小時未攝取熱量。
3. 口服葡萄糖耐受試驗第 2 小時，血漿血糖 \geq 200 mg/dl。	口服葡萄糖耐受試驗需要依照世界衛生組織的規定，口服 75g 葡萄糖溶於 300 ml 水之溶液。
4. 典型的高血糖症狀或高血糖危象(Hyperglycemic Crisis)且隨機血漿血糖 \geq 126 mg/dl。	

(資料來源：黃蘭菁等，2013；ADA, 2010；本研究整理)

2-3-2 糖尿病分類

糖尿病為現代常見之慢性病，由於人體內產生的胰島素不足或者胰島素無法被有效利用，導致身體代謝異常，若長時間持續處於未得到良好控制的狀態，則有可能合併高血糖與高血壓的症狀，且將會陸續衍生出各種併發症(WHO, 2010)。糖尿病主要可分為四種類型，第一型糖尿病、第二型糖尿病、妊娠糖尿病與其他類型，詳細分類如下(ADA, 2010)：

(1) 第一型糖尿病 (T1D)

第一型糖尿病亦稱作胰島素依賴型糖尿病，患者身體中生產胰島素的 β 細胞因故遭到破壞，通常是由於自體免疫系統攻擊所致，造成胰島素分泌不足或者停止分泌，此類型疾病可影響任何年齡的人，但多見於兒童與年輕人身上，由於內分泌與代謝系統的異常，因此患者必須定期注射胰島素維持生命。

(2) 第二型糖尿病 (T2D)

第二型糖尿病又稱為非胰島素依賴型糖尿病，特徵為人體無法有效利用胰島素，由於身體器官對於胰島素產生阻抗或者胰島素分泌不足，導致體內血糖漸漸無法受到控制，此類型患者主要在 40 歲以上成年人發病，且多數與肥胖有關，患者通常不需注射胰島素，而是以飲食與降血糖藥物控制為主，若長時間血糖控制不良則容易產生各種併發症的發生。

(3) 妊娠型糖尿病 (GDM)

妊娠糖尿病 (Gestational diabetes mellitus, GDM) 主要是孕婦於懷孕期間，初次診斷口服葡萄糖耐性試驗異常，均可稱為妊娠糖尿病，其症狀與第二型糖尿病相似，患者若在懷孕期間被診斷有妊娠糖尿病，在後期演變成第二型糖尿病的風險則大增。

(4) 其他型糖尿病

包括許多其他原因造成，如：染色體、基因的異變；如：胰臟的疾病、內分泌系統的疾病、藥物的影響…等，這些都需仰賴新陳代謝科專科醫師的診斷。對於在篩檢病人中對於藥物造成的血糖異常是必須考慮的重要問題。

2-4 糖尿病足部病變

糖尿病足被定義為：因周邊神經病變(Peripheral Neuropathy)而失去感覺，因周邊血管病變(Peripheral Vascular Disease)缺血失去活力，進而合

併感染(Infection)為糖尿病足(Boulton, et al., 1999)。

糖尿病患在一生中約有 25%左右的機率，會發生足部潰瘍，所以近年來，已經引起眾多糖尿病專家和足病專家的重視。80%以上的糖尿病患者的截肢起因於足部潰瘍；隨著糖尿病患病率的增加，糖尿病足問題越益顯突出(Singh, et al., 2005)。

2-4-1 神經病變

糖尿病神經病變共可分為三種：感覺神經病變、運動神經病變及自律神經病變(陳涵栩，2003)。

- (1) 感覺神經病變減少病人的痛覺反應。
- (2) 運動神經病變造成足部爪狀趾，以致產生不當壓力造成雞眼(Corns)或是胼胝(Callus)，導致足趾背潰瘍產生，如圖 2。
- (3) 自律神經病變造成腳掌出汗減少，使表皮含水量降低，導致皮膚乾燥、龜裂，細菌而易入侵造成足部感染。易使活動量多的部位有胼胝和裂縫，導致續發性感染。



圖 2 爪狀趾 資料來源：搜狐健康，2012

2-4-2 血管病變

糖尿病合併周邊血管病變，常混合出現周邊神經變病和細菌感染的感受性增加。血管病變嚴重者會因血管完全阻塞，造成遠端肢體缺血，因此病患經常有足部皮膚變冷、脈搏變弱或消失及間歇性跛行等症狀發生。缺少血流，足部細胞得不到充分的養分及氧氣，且代謝產物無法運走，使傷口癒合緩慢，易形成潰瘍終至截肢。糖尿病是導致下肢動脈疾病的一個重要因素，而高血壓、高血脂和抽菸卻經常出現於糖尿病患者，這些因素會促使下肢動脈病變的發生(陳涵栩，2003)。

2-4-3 感染

感染與糖尿病足的發生極有相關。因血糖控制不良，降低了白血球的活性，顆粒白血球於高血糖環境下，噬菌功能降低及纖維母細胞功能不佳，使傷口之修補速度減緩(Mulder & Armstrong, 2003)。感染通常是結果，而不是足部潰瘍的主要原因，但可能會導致嚴重惡化和延遲癒合(William, 2003)。

糖尿病足併發感染的成因有兩大類，其一糖尿病患者足部病變主要三大因素在於：神經變病、血管病變及感染，不論發生何種感染或病變，其中又會產生許多後續的併發症，導致足部潰瘍加速惡化，其二為病人體內環境中某些致病原之滋長、年齡增長或是抽菸，如圖 3。

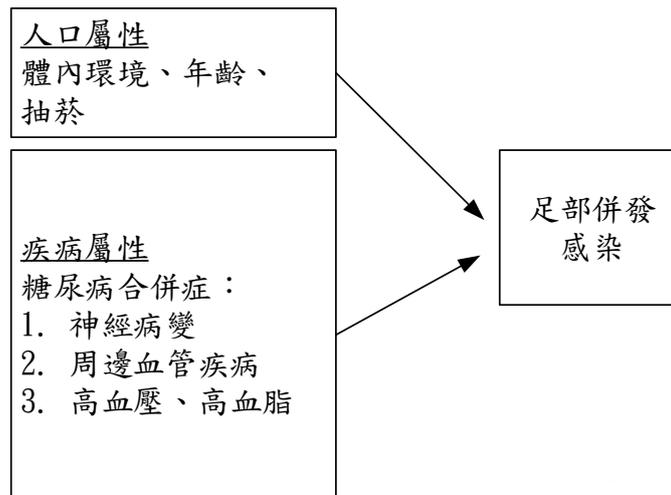


圖 3 導致併發感染的相關因素

2-5 糖尿病足照護

為了抵抗糖尿病的嚴重影響，在西方國家已經發展了廣泛的健康服務，專家知識已經漸漸在各種糖尿病涉及的方面建立。在糖尿病的併發症中足部健康問題是住院治療的主要病例，足部潰瘍問題是下肢截肢的主要原因，這是政府和健康組織對糖尿病優先重視的主要原因。

2-5-1 糖尿病足部照護

血糖控制不良和反覆小損傷是糖尿病足潰瘍形成，並至截肢的最主要原因，血糖不良者下肢截肢率可高出 2 倍。糖尿病患者的足部自我照護行為能預防足部潰瘍的發生或惡化，所以在美國糖尿病學會(American Diabetes Association, ADA)及英國臨床卓越機構(National Institute for Clinical Excellence, NICE)所發展之糖尿病患者足部照護指引中，皆建議專業人員提供糖尿病患者足部照護(ADA, 2004; NICE, 2004)。

糖尿病患的足部照護執行狀況並不理想，僅約 65%的糖尿病患者每日檢查足部以提早發現足部異常。有效控制血糖及正確的足部護理可減少糖尿病足 80%致殘率(Bell, et al., 2005)。可以推斷出糖尿病患預防足部病變之發生與惡化最重要的兩個面向，為自我足部照護與鞋具的選擇，良好的規律的足部照護，可以有效降低足部病變以及潰瘍的機率，早期發現病因早期治療，延緩病變發生。

2010 年美國糖尿病學會 (ADA) 之 Foot Care Interest Group 針對糖尿病足部潰瘍的危險等級的評估、治療建議與追蹤頻率，訂定出適合臨床醫師使用的參考依據，如表 3 所示。定期地糖尿病足部潰瘍衛教與足部檢查，可以有效減少糖尿病足部潰瘍與截肢發生。除此之外，相關研究人員對於戒煙、高血壓、高血脂與周邊動脈血管疾病的有效治療與定期追蹤，對糖尿病足部潰瘍的預防皆有積極正面的功效。

表 3 美國糖尿病學會足部照護分類系統

風險類別	定義	治療建議	追蹤頻率
0	無感覺保護作用喪失、無周邊動脈疾病、無足部變形。	病人足部保養衛教，包含選擇適當的鞋具。	每年一次（由一般科醫師或專科醫師排）。
1	感覺保護作用喪失伴隨或無足部變形。	選擇符合病況的適當鞋具如果在穿著適當的鞋具下，足部變形仍有惡化的跡象，可考慮預防性手術持續足部保養衛教。	每三至六個月一次（由一般科醫師或專科醫師安排）。
2	周邊動脈疾病伴隨或無足部變形。	選擇適當鞋具考慮會診心血管內外科，作為後續共同照護之評估。	每二至三個月一次（由專科醫師安排）。
3	足部潰瘍與截肢病史。	足部保養衛教如果患者出現周邊動脈病，會診心血管內外科，作為後續共同照護。	每一至二個月一次（由專科醫師安排）。

2-5-2 糖尿病與高足壓

高足壓力的糖尿病患者（足底壓力 $>87.5\text{N}/\text{cm}^2$ ）在後續發生足潰瘍的可能性是低足壓患者的 2 倍(Lavery, et al., 2003)，足底壓力升高會增加糖尿病足潰瘍的發生率，降低足底壓力可減少足潰瘍的發生率。引起糖尿病患者足底壓力升高的主要危險因素有糖尿病周圍神經病變、足底軟組織厚度變薄、關節活動度受限、足畸形、骨折、胼胝、先前潰瘍及截肢史、疤痕、下肢無力、不合適的鞋襪等等…。通過加強足部護理、穿保護性鞋、襪、鞋墊等可預防足潰瘍的發生。

合適的糖尿病鞋可以降低足底壓力，減少潰瘍的發生，防止足部損傷。提供合適的糖尿病鞋是預防糖尿病患者足部問題的重點，專用的糖尿病鞋應該能在一定程度上減少足下壓力，預防足部皮膚的磨損，並對影響步態和平衡能力提供良好的足部支撐(Boulton, et al., 2004)。

糖尿病鞋經常設計得看起來笨重又不美觀，大多數的病人不滿於傳統的糖尿病鞋笨重厚實的型態，不僅僅是美觀的考慮，他們更不願自己的身體存在的疾病變得顯而易見，基於病人感受差異，糖尿病患鞋具設計成為一個需要思考的方向。

由以上相關之文獻可知，為了對糖尿病患足部最好的照護，首先必須要有一雙合適的鞋子，故在本研究上，前端鞋楦的設計，就會扮演重要的關鍵。

2-5-3 糖尿病鞋特性

在糖尿病鞋的設計上，不但要考慮到鞋墊的形狀以及材料，也需要對糖尿病鞋，在其他擠壓擦傷及容易應力集中的區域加以重視。根據糖尿病足的特點，需要考慮的主要有以下三個方面：足底形狀、前足趾以及足後跟。

糖尿病鞋楦與一般鞋楦的外表面形狀似無差異，但糖尿病鞋的鞋楦仍屬一門精確的工藝項目，在設計糖尿病鞋上，首先需要考慮鞋楦形狀的設計，而鞋楦的形狀設計要考慮到糖尿病人的特殊需求，針對糖尿病患的足部情況可能導致潰瘍、感染，也都是必須考慮到是否會帶來負面影響(Boulton, et al., 2004)。

因為糖尿病足在足部產生許多病變，因此糖尿病足之患者所穿之鞋具必須經過特殊之設計及製造，才能避免病變進一步嚴重，甚至預防糖尿病足之發生。一般來說，糖尿病鞋之設計重點，如表 4。

表 4 糖尿病鞋之設計重點

	設計重點
1	提供足夠的足部空間
2	能將足部壓力適當分散、降低
3	能保持足部乾燥
4	必須合腳
5	提供適當之足部固定功能
6	避免產生不當的壓力

資料來源：本研究整理

基於上述之設計理念，糖尿病特殊鞋在設計製造上，具備了以下幾

個特點，如表 5。

表 5 糖尿病特殊鞋製造特點

	製造特點
1	寬大而深的楦頭
2	全皮式包覆。將鞋皮之縫線減到最低（因縫線處是壓力集中點）。
3	較大面積之足跟包覆。即使是涼鞋式的設計，也會加強對足跟的固定功能，以防止足部在鞋內做相對運動而產生不必要的摩擦。
4	以寬大的黏扣帶式的固定帶的設計，取代綁鞋帶之固定方式，以減少鞋帶產生的壓力集中現象。
5	搖椅式之鞋底設計。其目的在於降低蹠趾關節式在步態中所承受之過度機械壓力，使足部在離開地面的過程像搖椅般平順地經過足底的每一點；而非像一般鞋類集中在蹠趾關節。
6	雙層式鞋皮設計。鞋皮之外層最常使用極輕的小牛皮，至於內層多半使用泡棉式之覆被，而且是全覆式之設計，如此一來不但可以將無可避免之少數外層鞋皮縫線隔開來，而且內外層都是軟的包覆比較不會產生壓力集中的現象，有時內層還有排汗孔之設計，以方便足部將汗或濕熱的空氣排至較為吸汗的外層，避免鞋內過濕、過熱。
7	鞋子前後之強化，在楦頭之前及足跟做強化之處理（將鞋皮做硬化之處理或將金屬夾入內外層之間），如此可避免在感覺神經異常的情況下，可避免因不注意的撞擊而產生之傷害。

資料來源：鄧復旦，2005

有關於在第五點製造特點，因在鞋楦製作上僅考慮鞋墊的厚度，足弓的高度大多以鞋墊來做設計，因此本研究並不考慮足弓設計。

在西方國家已經建立了針對糖尿病患者的良好糖尿病鞋市場，如果所有糖尿病患者每年都能接受足部健康諮詢和評估，對於病情會很大的幫助。在國內實際進行製作特殊糖尿病鞋的患者，其實只占了其中一小部分，故關於客製化糖尿病足保護的市場還有待形成；對於部分喪失知

覺、足部缺血和足部畸形等併發症患者的足部問題，需要的並非零售的糖尿病鞋，而是滿足患者的客製化糖尿病鞋。

隨著患有糖尿病足的病人不斷增加，已經有許多製鞋廠商開始引進國外生產的糖尿病鞋，就外觀而言，現有的糖尿病鞋也已經從以前笨重的鞋樣上，改變了不少，也注重於足底壓力的分布，避免周圍皮膚摩擦等等功能，所以往往把鞋楦加寬、加深使減少摩擦，改善鞋內的材料使穿著更加舒適。

糖尿病專用鞋對於國內患者來說，是一個非常實用的產品，客製化糖尿病專用鞋，更能預防重於治療。糖尿病患者和正常人所穿的鞋不同的是，在計算設計的同時會加入許多針對糖尿病足的考慮，設計中要充分考慮病患可能會出現的潰瘍、感染和壞疽現象，鞋的設計和生產必須對病患的臨床預測有正面的影響。足底形狀、前足趾部分和後跟空間都是糖尿病鞋中需要重視的部分，在鞋楦的設計中會和一般鞋楦有所區分。

2-6 糖尿病足鞋楦設計特徵與量測

考慮足長與足圍兩項變因的組合設計，已經可以符合大多消費者的鞋楦(鄭豐聰，1998)。但為糖尿病患設計專屬鞋之前，需先了解患者所需要的生物力學需求，方可進一步設計鞋楦。

2-6-1 糖尿病鞋的設計特徵

Bernabéu, et al. (2013)與醫生、技術人員和製鞋行業工作等研究人員，他們根據一般測量腳的方法，在糖尿病鞋的鞋楦上，定義了非常大的一組測量數據，實驗中，包含有 150 隻腳型以及 130 個參數。在量測過程中進行了分析和標準化，研究發現，對於糖尿病足的機能型態來說，許多測量參數是多餘且相似的，最後定義了對糖尿病鞋，最具有代表性的量測特徵圍度與距離，如圖 4。

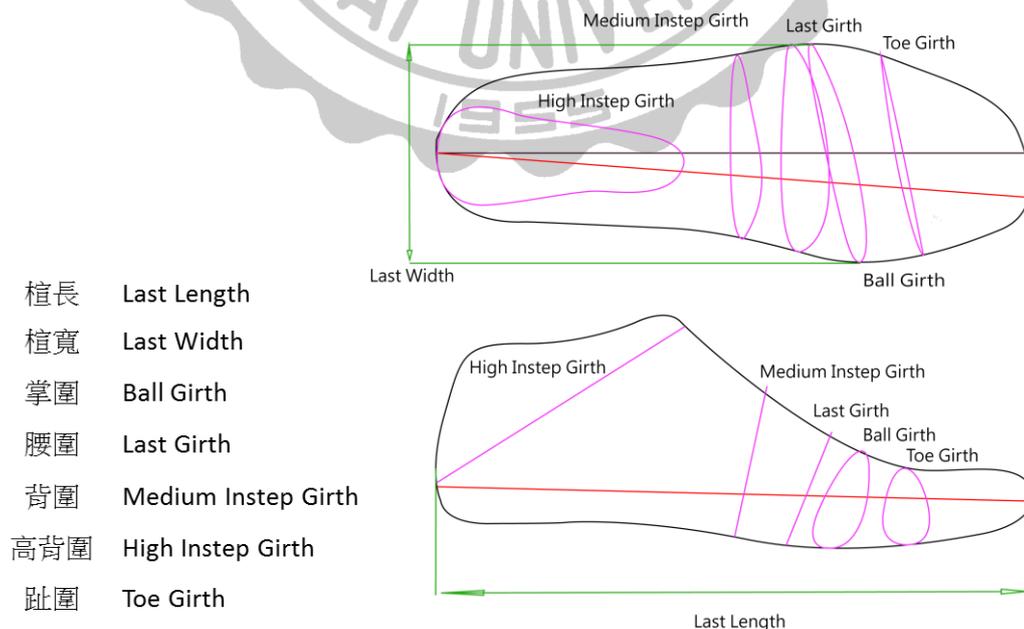


圖 4 糖尿病鞋最具代表性的鞋楦量測特徵

在糖尿病患者鞋楦的設計中，測量顯得尤其重要，因為這會影響到最終患者所穿的鞋形狀、大小和對糖尿病足預防和治療的有效性，所以必須考慮到鞋的設計特點，以及人體生物力學之間的關係，鞋子的設計特點與人體生物力學之間會有直接的影響，例如：在設計鞋頭時，不適合使用錐形鞋頭或者是尖的鞋頭，因為這會使腳趾更容易產生壓力，使腳型進入一個不自然的姿勢，導致老繭、潰瘍，最後造成腳型畸形，所以必須讓楦頭要以較圓的方式設計，在患者在走路時能夠更舒適，本研究將這些參數關係，整理成表 6。

表 6 鞋楦設計特徵與生物力學目標的修改參數關係

鞋類設計特點	生物力學目標	楦的修改參數
總腳長、總腳寬	行走時盡量減少改變腳的形狀。 盡量減少腳變形時鞋對於腳的壓力。	鞋楦長、鞋楦寬
跖骨寬度、跖骨圍度、腳背圍、腳腰圍、腳掌圍	行走時盡量減少改變腳的形狀。 減少足底釋放的壓力。	鞋背圍、鞋趾圍、鞋楦寬、鞋掌圍、鞋腰圍、鞋背圍
穿鞋時進入的大小	盡量減少對前掌和腳趾背側的壓力。 盡量減少腳跟縱向剪切的壓力。 盡量減少在第 5 跖骨的壓力。	鞋高背圍
腳趾圍	盡量減少對前掌和腳趾的背側壓力。 盡量減少在第 5 跖骨的壓力。	鞋趾圍
鞋跟高度	盡量減少體重對於腳的壓力。	鞋跟高度

資料來源：本研究整理

2-6-2 鞋楦與腳型測量探討

現行鞋楦與腳型之量測，可以 2D 或 3D 方式進行。以 DD(Dimensional Difference)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 4 隻鞋楦作為實際驗證，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(Witana, et al., 2004)。此外，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)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，這套自動化量測足型的方法可用來設計、製作客製化鞋子(Witana, et al., 2006)。

Rupérez, et al. (2010) 提出在三維掃描量測後，使用 CAD 模型為足部進行虛擬的有限元素分析，在模擬器中利用物理原理以及接觸力學，加上鞋具的材質，為足部進行分析以了解在鞋中的舒適程度。

由以上相關之文獻可知，使用三維掃描量測在人體足部與鞋楦的量測工作，對於客製化是可行的。因此本研究將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，快速的為糖尿病患者快速的搜尋出最適合的鞋楦，並且減少人為操作所造成的誤差。

2-7 切層演算法

快速原型 (Rapid Prototyping, RP) 乃是一種新興的自由曲面實體的電腦控制製造系統，它有很多的優點，它不需經由人員的控制，也免除鑄模的程序，它的製造過程是『所見即所得的(What you see is what you get)』，本質上這是由於製造過程中，已經移除了人員之判斷所帶來之誤差，工件僅根據存放在電腦的資料來製造。它能製造出以往傳統製造所不能造出的造型，或能更高速、更精密、更經濟地造出傳統可行之工件。另外，快速原型促使反覆的設計過程更快速，使工程師在一產品之設計發展階段就能夠將工件製造出來測試，可減少成品工件之瑕疵。Layered Manufacturing (LM) 一詞，泛指以疊層方式來成型製造之快速原型製造程序，程序中，欲製造出的物體之幾何形狀資料可由CAD系統、逆向工程、或數學曲面程式等等方式所取得，而這些資料無法直接使用機器造出物件，它必須先經過前處理，轉換成一層層水平輪廓資料(林耕莘，2000)。

以切層法則的觀念可以延伸應用至不同加工，例如：應用於工具機(Computer Numerical Control, CNC)切削加工、快速原型製造...等製造上。本研究以切層法則，轉換在擷取特徵圍度，以利後續讀取特徵以及距離。

2-8 類神經網路

類神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)是指模仿生物神經網路的處理系統，它使用大量簡單的相連人工神經元來模仿生物神經網路能力，藉由「學習」(Learning)改變連接權重值的方式，來表達對輸入的反應，並訓練(Training)網路來應付實際應用中的問題，網路的學習就是從應用的環境中選出具代表性的訓練範例(Training Sample)或樣本(Patterns)，依學習法則，不斷也調整網路中的權重，直到達到應用的要求為止。完成訓練後的網路，可藉著隱含其中的知識去判斷將來輸入資料的屬性，從而決定輸出的結果(張斐章，2010)。

研究中通常權重值的大小來代表神經元間連結的強弱，如果單從改變網路神經元間連結強弱的學習演算法來分類，大致可分成監督式學習(Supervised Learning)與非監督式學習(Unsupervised Learning)二類，以下說明這二類的演算方式。

2-8-1 監督式學習網路

監督式學習可以從不斷修正網路中的傳遞權重，以符合「教師」的期待。在學習的過程中，我們會給予類神經網路訓練範例，每一個訓練範例，都會有同時包含輸入項和目標輸出值，這個目標輸出值扮演著教師的角色，不斷地督促網路修正傳遞權重的值，藉由訓練過程中一次又

一次地調整網路連結的強弱，來降低網路輸出值與目標輸出 (Desired Output) 之間的差距，直到差距小於一定的「臨界值」才宣告停止，如圖 5。

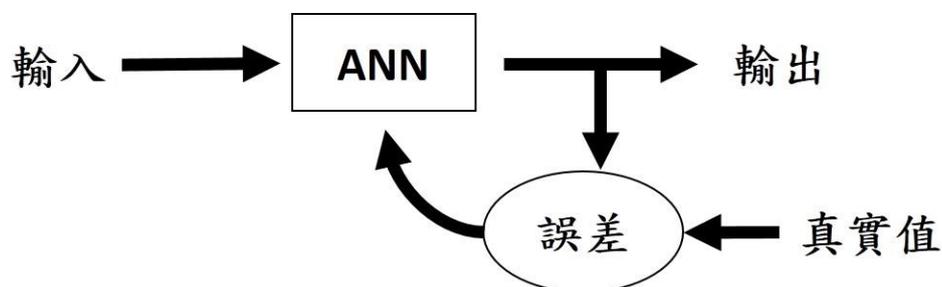


圖 5 監督式學習演算法

監督式學習有實際的正確值可供比對，讓進入神經網路架構的每筆輸入值所求的輸出值，可根據相對應的實際正確值進行誤差的修正，藉由不斷地修正，整個神經網路的架構能更符合輸入與輸出間的對應關係 (張斐章，2010)。

2-8-2 非監督式學習網路

所謂非監督式學習網路指的是：在神經網路學習過程中，不需事先告知正確的答案(或期望目標)，網路即可以自行得到解答。代表性的非監督式學習網路為「競爭式學習網路」(Competitive Learning Network)。而競爭式學習網路的主要精神，就是將類似的圖樣聚集在一起，如圖 6。



圖 6 監督式學習演算法

非監督式神經網路在訓練過程中，並沒有實際輸出值可供比對，藉

由權重值的修改，回應網路的輸入，以描述輸入間的分布關係；此種演算法多用於聚類型的神經網路，可降低高維度系統的複雜性(張斐章，2010)。

非監督式學習演算法的輸入項，通常是巨量且未經處理的雜亂資料，這些資料往往無法輕易得知其中的同類性或相互關係；類神經網路本身必須從這些巨量的資料，找出任何可能存在的規律、相關性、個別屬性...等，當類神經網路找出這些特性後，網路本身便會修改其自身的變數以符合資料特性，通常在無法提供真實資料之分類特性時，我們便可藉由非監督式學習網路自身的功能，來產生資料的聚類，如圖 7。

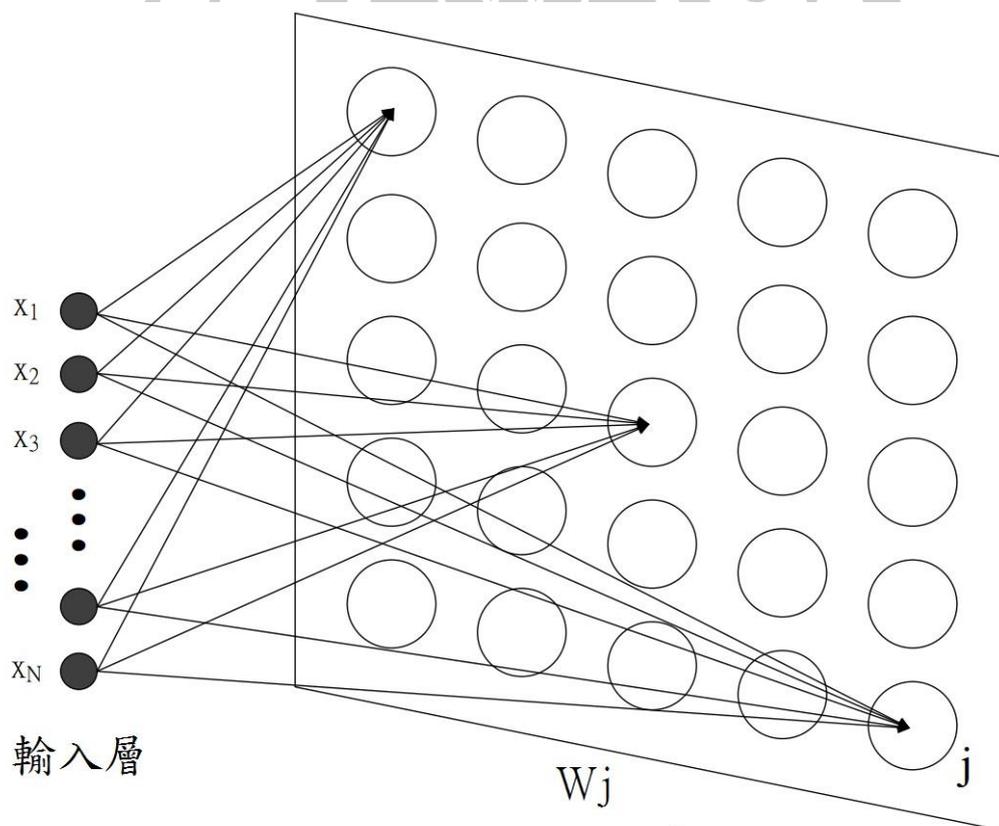


圖 7 拓樸層神經元之分類

2-8-3 自組織映射圖網路

自我組織映射網路(Self-Organizing Map, SOM)是一種非監督式(Unsupervised Learning)、前饋式的類神經網路(Neural Network)，SOM網路的主要目的，是以特徵映射的方式，將複雜高維度的輸入向量，映射到一個簡單直觀的二維特徵映射圖上。其無師自通的學習方式，使神經元知道如何學習辨識相似的輸入向量，偵測出在輸入中的規則性和關聯性(Konohen, 1989)。

SOM 演算步驟為：

- (1) 隨機產生網路神經元鍵結的權重值；
- (2) 決定鄰近半徑和學習速率；
- (3) 設定停止條件；
- (4) 輸入訓練資料，使用歐里得法計算距離找出優勝神經元，以優勝神經元為中心，修正臨域內的神經元權重鍵結值，調整學習速率後縮小鄰近的範圍；
- (5) 重複步驟 4 直到達成停止條件。

接著，根據 Kohone 學習規則(2-1)，以獲勝神經元為中心，調整鄰域內的神經元。

$${}_iW(q) = {}_iW(q-1) + \alpha(p(q-1) - {}_iW(q-1)) \quad (2-1)$$

(2-1)中， q 為疊代次數； α 為學速率，其值在 0~1 之間，學習速率會隨著訓練次數的增加而逐漸縮小。經由 Kohonen 學習規則的調整，調整過後的神經元會比調整前更靠近輸入向量。調整後的優勝神經元會在下次相似的輸入向量出現時，得到較大的獲勝機率。經過多次疊代後，

網路層中的每個神經元權重向量迅速調整為最靠近某一類輸入向量值。

而鄰域是指以優勝神經元為中心，鄰近半徑 d 為半徑的圓，鄰域內的神經元可以表示成（式 2-2）。

$$N_i(d) = \{j, d_{ij} \leq d\} \quad (2-2)$$

圖 8 說明二維 SOM 的鄰域概念，假設神經元 13 為獲勝神經元，左邊為鄰近半徑 $d=1$ 的情形，右邊為鄰近半徑 $d=2$ 的情形，鄰域內的神經元可表示為

$$N_{13}(1) = \{8, 12, 13, 14, 18\}$$

$$N_{13}(2) = \{3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 23\}$$

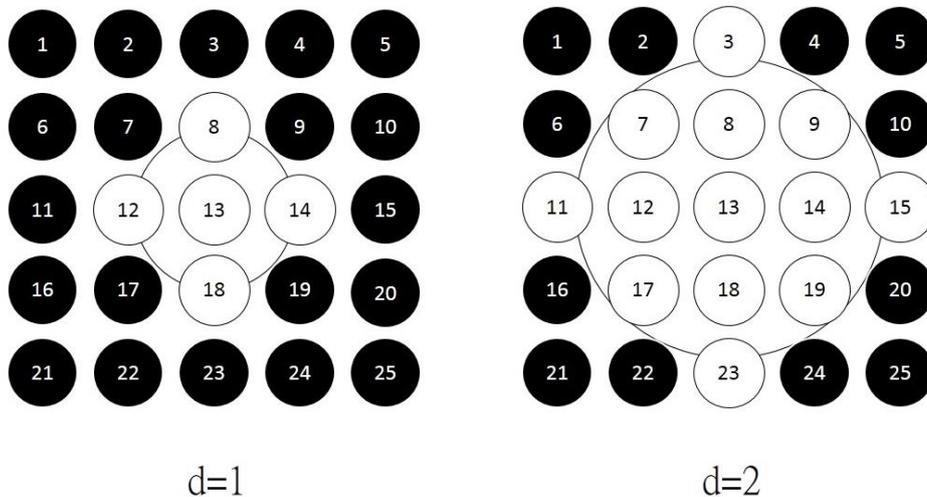


圖 8 二維 SOM 的鄰近示意圖

(1) 排序階段

排序階段為粗調階段，為了確保此階段的學習與調整速度，此階段的學習速率會保持在較高值(預設值為 0.9)，當達到此階段的迭代次數，就約確定類神經網路的神經元在輸入空間的排序，及輸入的映射位置。

(2) 權值調整階段

權值調整階段為微調階段，此階段是對神經元的權值進行調整，學習速率與鄰近半徑的值會慢慢收斂，將導致訓練的次數增加，時間變長，但會使網路的學習更加穩定。學習過程必須經過許多次的迭代(Iterations)直到它收斂為止。最後產生一個排序過後的特徵映射圖(Orderly Feature Map)。

2-8-4 類神經網路於鞋類之相關研究

類神經網路包含的網路模式相當多種，根據不同的問題類型，有不同適用的網路模式，在鞋類生物力學領域，利用人工神經網絡仍非常有限，一般用於預測上。

Rupérez, et al. (2008) 應用類神經網路於鞋面與腳的表面之間壓力關係，以減少測試一雙舒適的鞋次數的過程，使用該材料的彈性參數作為輸入到神經網絡，建立一個神經網路的模型，其中包括了對每種材料的力和位移資訊，在日後可以可直接預測新材料的特性，而不必重複舒適的實驗。

Rupérez, et al. (2012) 再應用類神經網路(ANN)與多層感知器(Multilayer Perceptron, MLP)，利用 14 個壓力傳感器在鞋面上均勻放置，來預測走路時鞋面上不同材質在腳上的壓力。因為這些數據使得在應用使用其他材質時，不用實際測試，即可預測在腳面上的壓力，減少了測

試壓力的分析步驟，大量的降低了製造的時間與成本。

楊凱傑(2013) 提出了一套結合感性工學與類神經網路為基礎的球鞋造型設計流程，藉由自組織映射網路(SOM)的輸出分布圖，了解自動搜尋事物其聚類規則的能力，以倒傳遞類神經網路(BP)驗證其學習效果，讓設計師能藉由此模式作為客製化球鞋造型的設計依據。

Shieh & Yeh, (2013)以慢跑鞋為主要的研究對象，結合類神經網路與感性工學，在鞋的形式上與消費者的情感反應之間，利用慢跑鞋之感性形容詞與問卷調查的方法收集數據，收集後的消費者問卷資料再使用主成分分析(Principle Component Analysis, PCA)和偏最小二乘方法(Partial Least Squares, PLS)，使數據進行預處理，以減少數據維度，去除冗餘和混合動力或不清楚的學習資料，最後再利用神經網路 PCA-NN 和 PLS-NN 來建立預測模型。

在本研究中，SOM 類神經網路被用於分類大量的鞋楦，使相近的型態的鞋楦可以合適於糖尿病患者，再藉由舒適度的計算，找出相近型態鞋楦中之最佳值，以達到快速客製化的目標。此一研究方法，算是生物力學的相關鞋類領域內的新方向。

2-9 層級分析法

層級分析法(Alytic Hierarchy Process, AHP)為1971年Thomas L. Saaty所發展出來，主要應用在不確定情況下及具有多數個評估準則的決策問題上，匯集學者專家的意見，把錯綜複雜的評估問題系統化，以簡明的因素層級結構表示，藉名義尺度作各層級的因素成對比較，予以量化後建立成對比較矩陣，並求得矩陣的優先向量(Priority Vector)與最大特徵(Maximum Eigen Value)，藉以評定矩陣是否符合一致性，若不符合則捨棄(Saaty, 2008)。

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。

目前解 AHP 法的方法可分為兩大類，一為特徵值法(Eigenvector Method, EM)，另一為數學規劃法。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 為成對比較矩陣，即
$$\begin{cases} a_{ij} = 1/a_{ji} & , i \neq j \\ a_{ij} = 1 & , i = j \end{cases} \quad i, j = 1 \sim n$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = \lambda_{\max} w_j \quad , \quad i=1 \sim n \quad \rightarrow \quad (A - \lambda_{\max} I) = 0 \quad (2-3)$$

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，如下公式所示：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2-4)$$

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。

在後續研究上，為了瞭解特徵圍度對於舒適度的影響，所有特徵圍度的專家權重數值，將使用層級分析法(AHP)來設定其特徵圍度權重，其特徵圍度其權重定義如下。

掌圍權重值	W_B	Ball Girth Weights
腰圍權重值	W_L	Last Girth Weights
背圍權重值	W_M	Medium Instep Girth Weights
高背圍權重值	W_H	High Instep Girth Weights
趾圍權重值	W_T	Toe Girth Weights

2-10 灰關聯分析

灰色關聯分析法(Grey Relational Analysis, GRA)是灰色理論中，一種分析離散序列資料間關係程度的測度方法。此方法是根據因素之間發展趨勢的相似或相異程度，來衡量因素間彼此的關聯性。若兩個因素間變化的趨勢具有一致性，則表示兩者關聯度較高，反之則較低。而灰關聯分析的最終目的是要求出灰關聯序，藉由排序順位的前後判定其優劣，以輔助決策進行(鄧聚龍，1982)。灰色系統理論它不同於研究“大樣本不確定”的概率論與數理統計，也不同於研究“認知不確定”的模糊集理論，它們之間的區別，可歸納於表 7。

表 7 灰色系統理論、概率論及模糊集理論之區別

研究方法	灰色系統理論	概率論	模糊集理論
內涵	小樣本不確定性	大樣本不確定性	認知不確定
基礎	灰矇矓集	康托集	模糊集
依據	信息覆蓋	機率分佈	隸屬度函數
特點	少數據	多數據	經驗
要求	允許任意分佈	要求典型分佈	函數
目標	現實規律	歷史統計規律	認知表達
思維方式	信息標準	最少信息	經驗信息

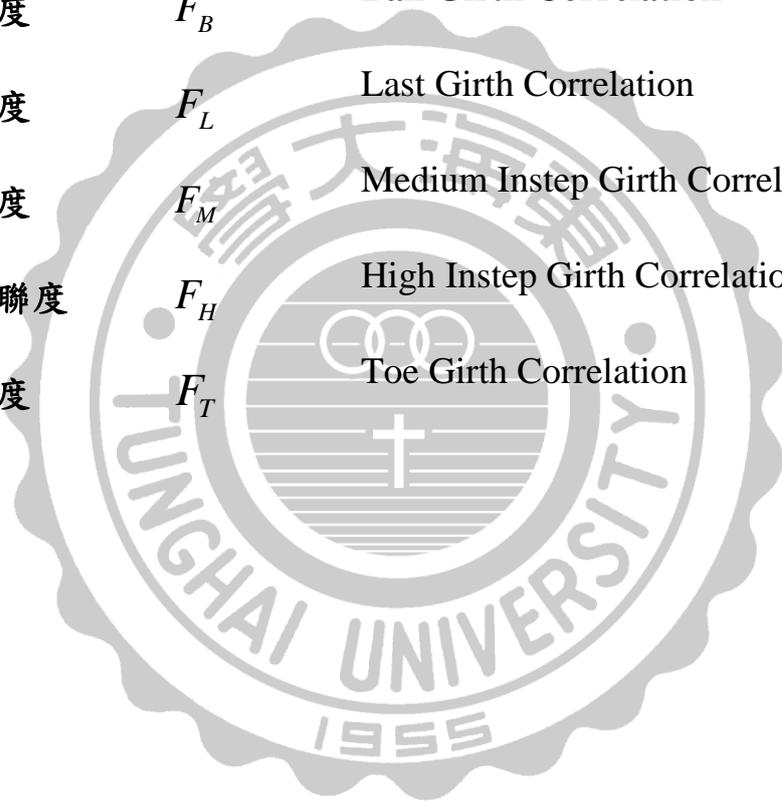
資料來源：鄧聚龍，1982

本研究在SOM類神經網路收斂鞋楦樣本之結果後，已可找出幾個適合患者的鞋楦群集，卻不能計算出樣本中最佳的鞋楦，因此，基於上述文獻所述，在小樣本的不確定性條件下，使用灰關聯分析，找出最適鞋

楦為本研究最佳方法。

在後續的做法上，為了解各個鞋楦與腳型之間，與各個特徵圍度的離散重要度，將使用灰關聯分析(GRA)，對其患者腳型與鞋楦的特徵圍度資料，進行分析與運算，最後產生特徵圍度之間的灰關聯度，其關聯度的定義與特徵圍度，如下。

掌圍灰關聯度	F_B	Ball Girth Correlation
腰圍灰關聯度	F_L	Last Girth Correlation
背圍灰關聯度	F_M	Medium Instep Girth Correlation
高背圍灰關聯度	F_H	High Instep Girth Correlation
趾圍灰關聯度	F_T	Toe Girth Correlation



第三章 糖尿病足與鞋楦之特徵圍度擷取

本研究利用逆向工程量測技術，快速地取得鞋楦與糖尿病足部外型的 3D 空間資料，依據糖尿病患腳型的特徵條件，進行鞋楦號數的選擇，糖尿病患者可得到最佳符合其自身腳型之鞋楦，並真正符合患者足部生理的需求，其特徵擷取及座標方向設定流程圖如圖 8 所示。



圖 8 特徵擷取及座標方向設定流程圖

3-1 設定足部與鞋楦模型座標及方向

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 X 軸為寬度的方向；Y 軸方向做為鞋楦與足型的長度方向；Z 軸的方向為楦底或足底的高度，如圖 9 所示：

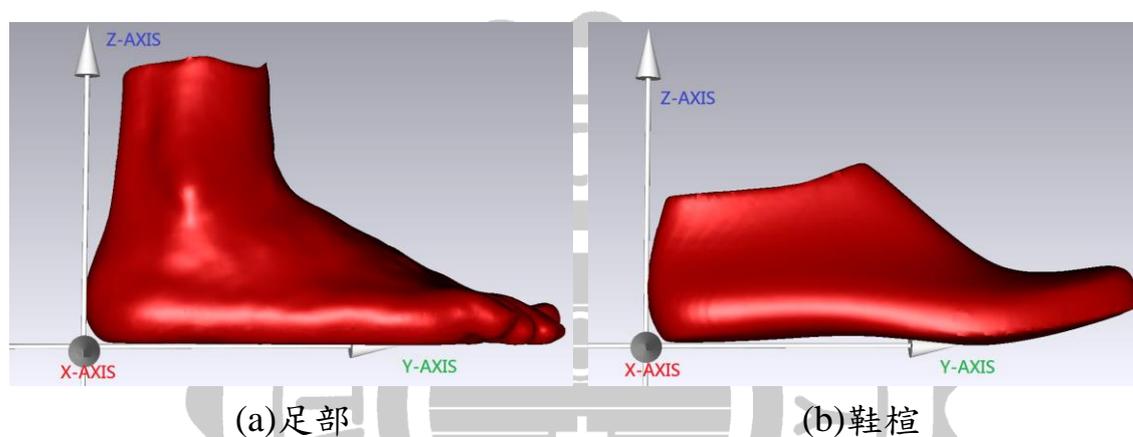


圖 9 足部、鞋楦參考座標位置

在鞋楦所有的量測方法中，幾乎都是以鞋跟踵點與鞋楦尖端點，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，鞋楦上該軸線也稱為加工軸，也可用於鞋楦加工所使用的縱向軸線，對應與傳統車床的轉動軸線，足型上稱為中線。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及足型的最後擺放位置。

鞋楦的加工軸線定義是由鞋跟踵點至楦尖端點的連線而成，而足型的中線定義是由腳跟踵點至足寬的中點連線而成。

找到踵點及楦尖端點或足寬的中點後，要使兩點的連線平行 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 10 所示。

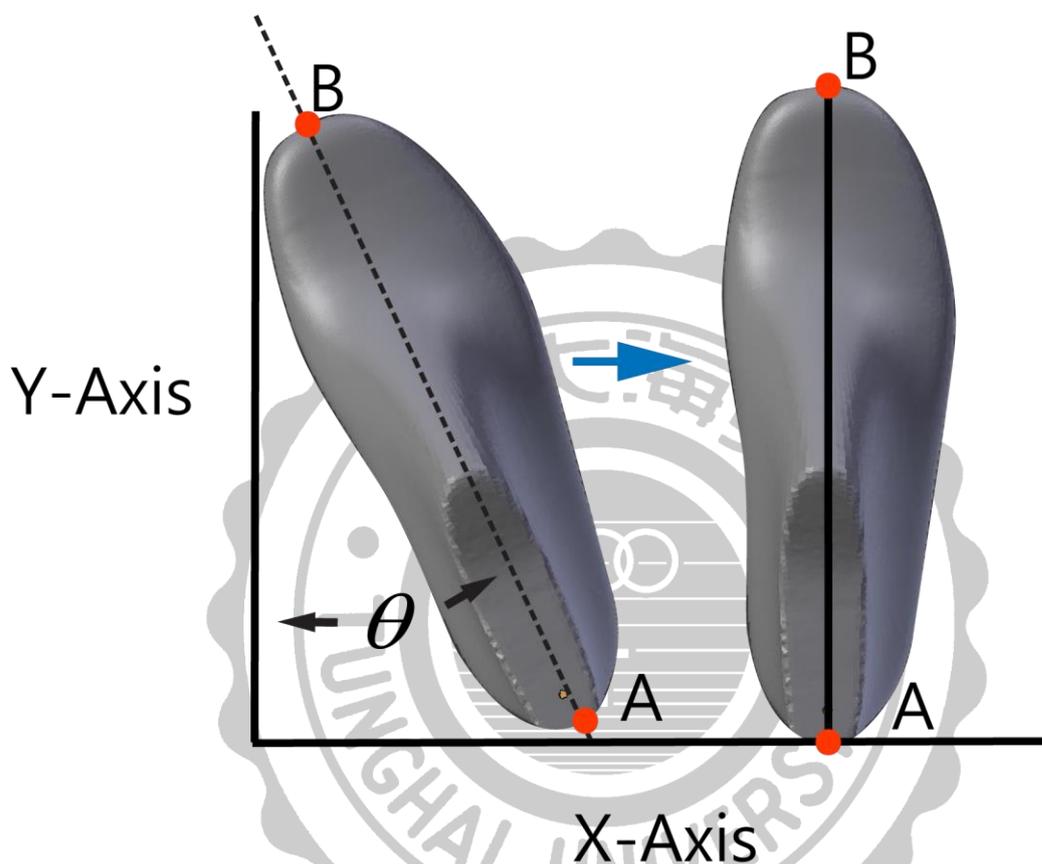


圖 10 計算旋轉校正角度

踵點： $A(x_1, y_1, z_1)$ 、楦尖端點或趾尖點： $B(x_2, y_2, z_2)$ ，因此 θ 之值如公式 3-1、3-2 所示。

$$\overline{AB} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) \quad (3-1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (3-2)$$

3-2 建立辨識圍度特徵點

量測足型與鞋楦的圍度，這些圍度的擷取都是由辨識足部或是鞋楦外形，其表面上的特徵點而得知，建立圍度特徵流程圖，如圖 11。

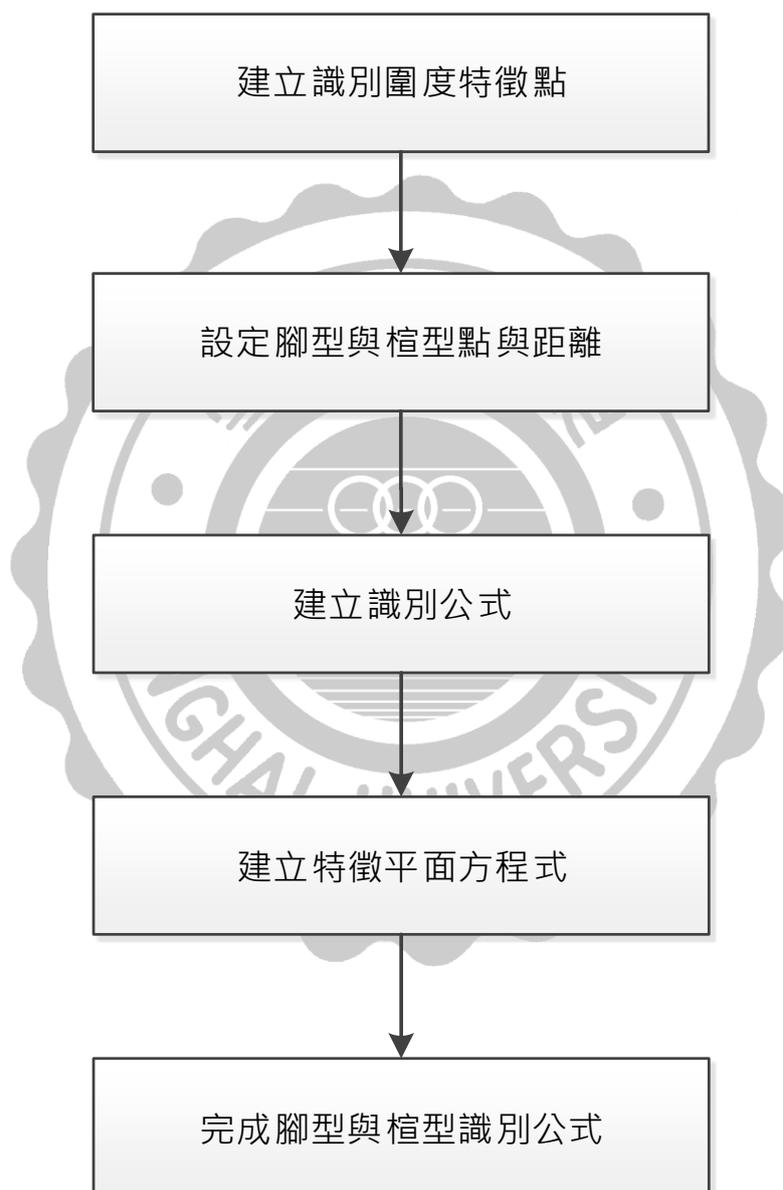


圖 11 建立圍度特徵流程圖

在設計理念上糖尿病特殊鞋具備了以下幾個特徵點，這些特徵點的辨識方式，分別敘述如下(Bernabéu, et al., 2013)。

A. 足掌圍與楦掌圍

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，根據足部資料在投影平面上的空間座標可找出兩點特徵：

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。

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。

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，如圖 12 所示。

楦掌圍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 13 所示：

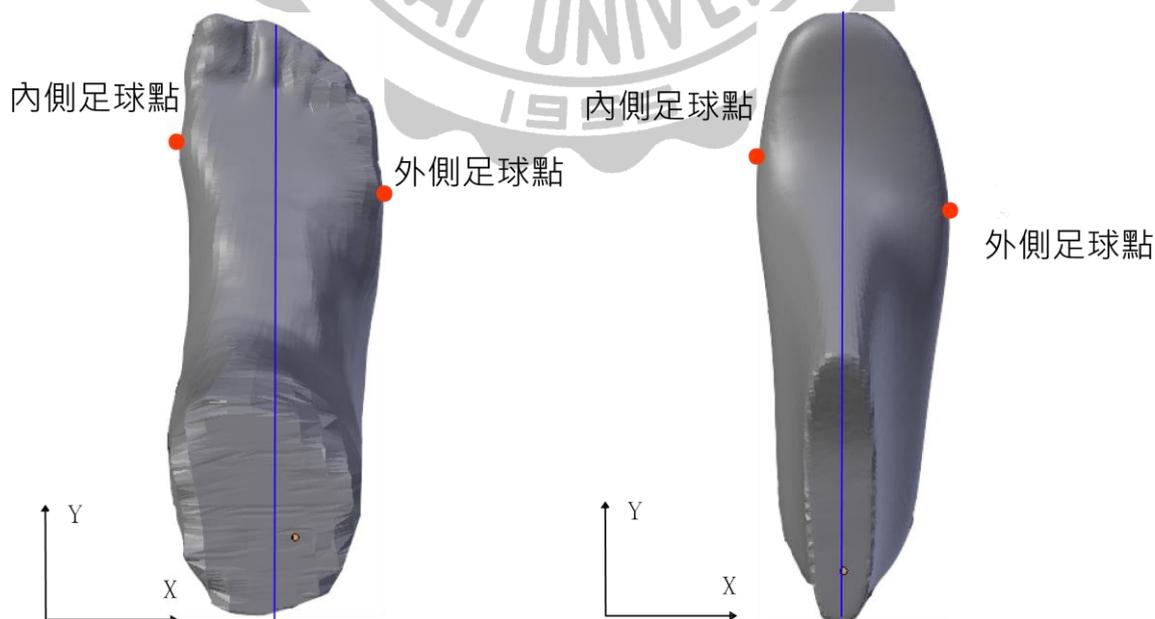


圖 12 足掌圍特徵點

圖 13 楦掌圍特徵點

B. 足背圍與楦背圍

足背圍其定義為足中線 50% 位置的點 M 與 Y 軸往腳尖方向的最大值點 F 連線，兩點連接所形成的直線在 Z 軸上平行 X 軸向上旋轉至鞋面之交點 MI，M 與 MI 兩點連線會形成剖面線，以此剖面線平行 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可為腳背圍，如

圖 14 所示。

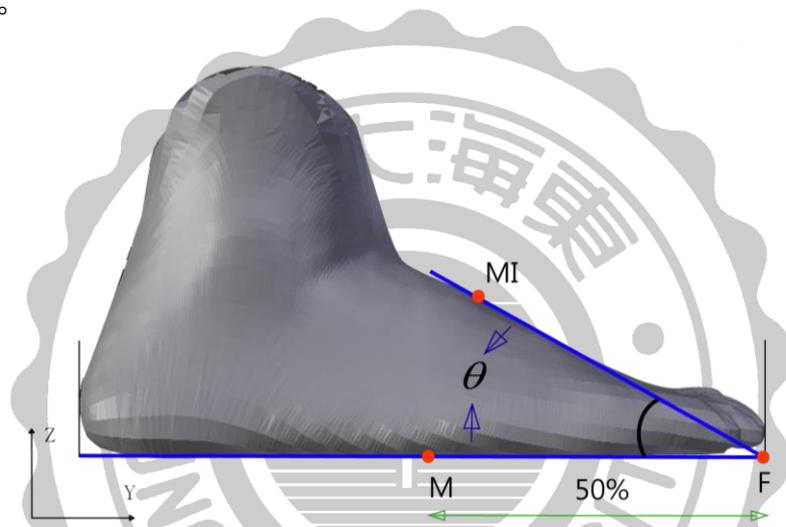


圖 14 足背圍特徵點

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，此楦背圍特量方法與足背圍相同，如圖 15。

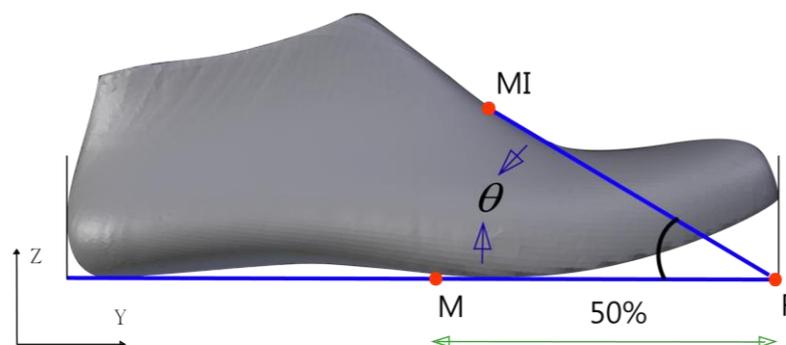


圖 15 楦背圍特徵點

C. 足腰圍與楦腰圍

足腰圍位於足掌圍與足背圍兩者中間，及足弓剖面中其剖面圍度之長度為最小者即是，以此剖面線平行 Z 軸即可構成足腰剖面，此一剖面與足部 STL 網格資料相交之集合即可為足腰圍，在此楦腰圍特量方法與足腰圍型相同，如圖 16、圖 17 所示。

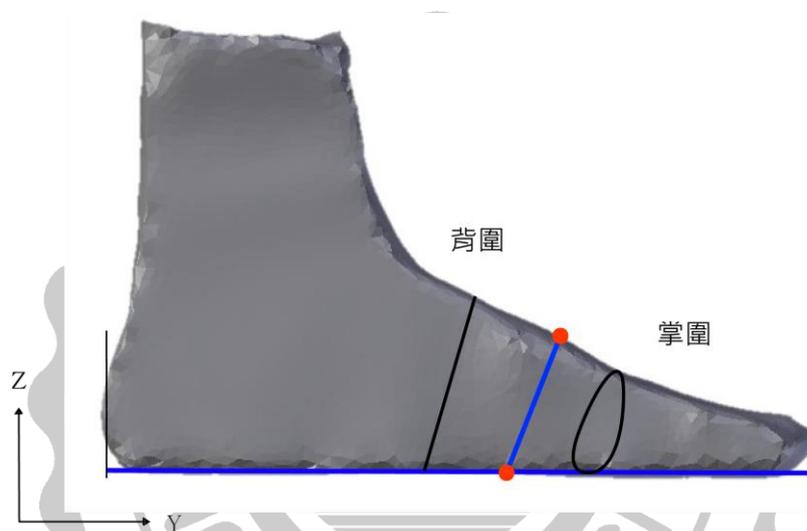


圖 16 足腰圍特徵

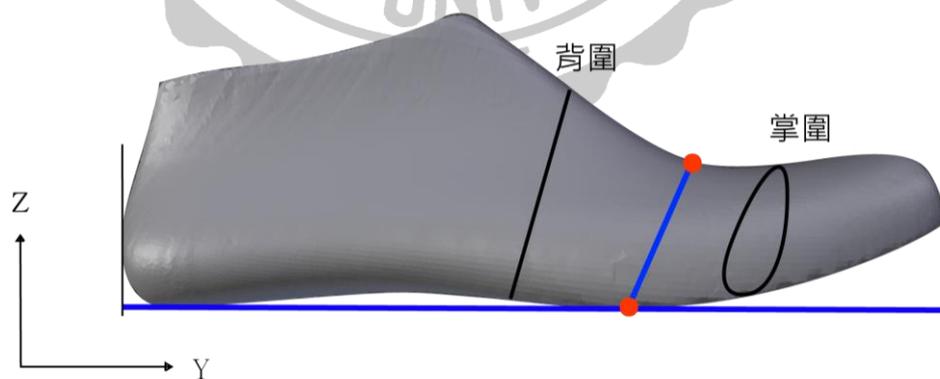


圖 17 楦腰圍特徵

D. 足高背圍與楦高背圍

首先在足型上視正投影之下，於 Y 軸最小值下可找到座標點 B，之後於足中線上 50% 位置的點 M 在 Y 軸上連接此兩點，連接兩點所形成的直線沿著 Z 軸平行 X 軸向上旋轉至腳背輪廓之交點 HI，B 與 HI 兩點連線會形成一剖面線，以此剖面線平行 X 軸即可構成足高背剖面，此一剖面與足部 STL 網格資料相交之集合即可為高背圍，在此楦高背圍特量方法與足高背圍型相同，如圖 18、圖 19 所示。

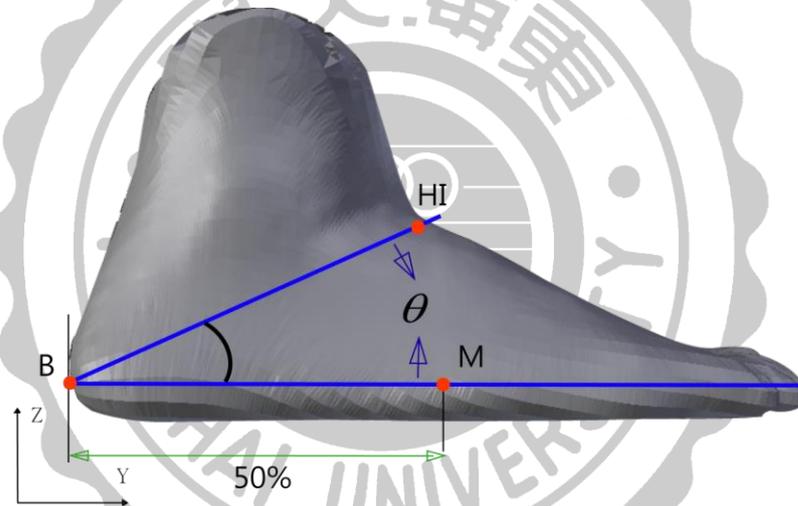


圖 18 足高背圍特徵點

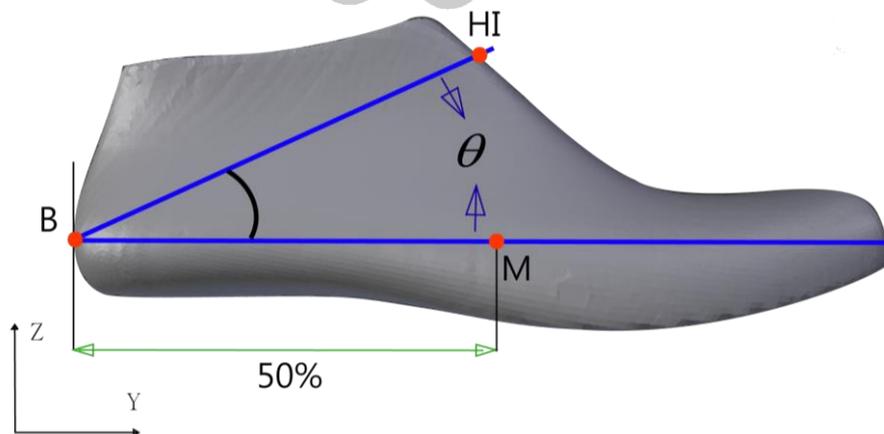


圖 19 楦高背圍特徵點

E. 足趾圍與楦趾圍

首先找出位於足中線上前 85%位置的點 D，接下來在 X 軸上 75%位置的法線，以外側足球點的方向為方向，相交至輪廓後產生交點 T1，D 與 T1 兩點連線會形成剖面線，以此剖面線平行 Z 軸即可構成足趾圍剖面。此一剖面與足部 STL 網格資料相交之集合即可為足趾圍，在此楦趾圍的特量方法與足趾圍相同，如圖 20、圖 21 所示。

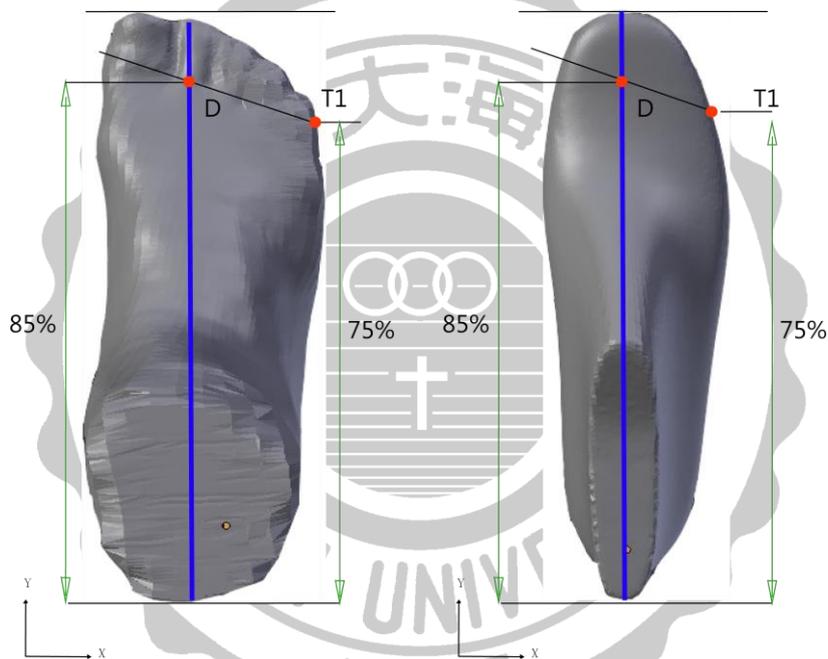


圖 20 足趾圍特徵點

圖 21 楦趾圍特徵點

3-3 建立圍度特徵平面方程式

在鞋楦與足部的各項圍度特徵點依序被辨識、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。

若一個平面法向量 $\vec{n} (a, b, c)$ 且通過一個特徵點 (x_1, y_1, z_1) ，則此平面方程式為 $d = ax_1 + by_1 + cz_1$ (如：足腰圍、楦腰圍)。由兩特徵點之連線並平行 X、Y、Z 任意之一軸所定義，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 四個係數之值可由以下條件求得，(如：足掌圍、楦掌圍)。

平行於 X 軸，因此四個係數之值，如公式 3-3 所示：

$$a = 0, b = z_2 - z_1, c = y_1 - y_2, d = y_1 z_2 - z_1 y_2 \quad (3-3)$$

平行於 Y 軸，因此四個係數之值，如公式 3-4 所示：

$$a = z_2 - z_1, b = 0, c = x_1 - x_2, d = x_1 z_2 - z_1 x_2 \quad (3-4)$$

平行於 Z 軸，因此四個係數之值，如公式 3-5 所示：

$$a = y_2 - y_1, b = x_1 - x_2, c = 0, d = x_1 y_2 - x_2 y_1 \quad (3-5)$$

由三個特徵點所定義空間中任意三點不共線，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 四個係數之值，(如：足趾圍、足楦圍)，如公式 3-6 所示：

$$\begin{aligned} a &= (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1) \\ b &= (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (z_3 - z_1)(x_2 - x_1) \\ c &= (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1) \\ d &= ax_1 + by_1 + cz_1 \end{aligned} \quad (3-6)$$

3-4 實體模型的切層演算

由於快速原型是以疊層製造 (Layered Manufacturing) 的方法來進行，所以其過程是以2.5D的薄層堆疊成為3D之實體，而每一個2.5D薄層的幾何形狀是經由計算實體模型與水平切層面的交集而得來，此部分說明實體模型的切層程序。

3-4-1 STL 之檔案格式

標準模板庫 STL (Standard Template Library) 檔案，它表示著許多的小三角平面的集合所構成的實體模型，每個小三角平面是由他的三個頂點與一個單位法向量所描述，每個頂點都有一組 X, Y, Z 座標，而單位法向量可指示出每個三角平面的哪一面是面向物體的外側。STL 的檔案格式有兩種，一種是 ASCII (American Standard Code for Information Interchange) 文字格式，另一種則是二進位 (Binary) 格式 (Chua, 2003)。

本研究將掃描得到之鞋楦與足型的點群資料，經由三角網格化後以 ASCII 純文字格式之 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 22 為 ASCII 的 STL 的資料處理與運算時之格式，其中一個三角平面的演算紀錄資料結構範例：

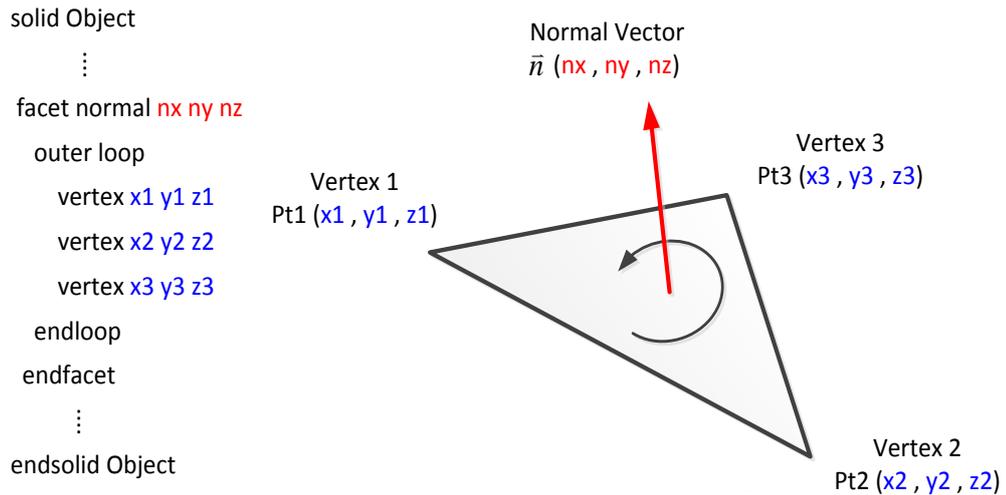


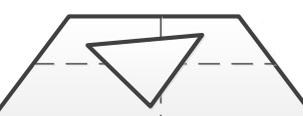
圖 22 STL 之資料結構

STL 存在右手定則的特性，它說明檔案中資料的先後順序是有特殊意義的，即法向量符號的標示 n 是由 $Pt1-Pt2$ 向量與 $Pt2-Pt3$ 向量的外積而產生，facet normal 這一行記錄此三角平面的法向量 nx 、 ny 、 nz ，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，在檔案格式中都是以七行為一組記錄每一個三角平面。而在後續的讀取演算資料以及處理上，只需讀取三個頂點的 X 、 Y 、 Z 座標以及法向量即可。

3-4-2 三角網格切層法(Triangle Slicing)

鞋楦與腳型的圍度特徵，都是由特徵平面與鞋楦或腳型 STL 檔案中，計算切層平面與許多三角平面交集的結果。因此需要對哪些三角平面會與切層平面交集進行探討，對於 STL 中的任意一個三角平面，其與一切層平面之可能交集的情況有 5 種情形(林耕莘, 2000)、(Choi, 2002)，如表 8 所示：

表 8 三角網格的相交種類

(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切層平面上	
(d)與三角平面之一頂點相交	
(e)三角面與切層平面共平面	

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)表示三角平面僅有一邊在切層平面上。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 23 所示。

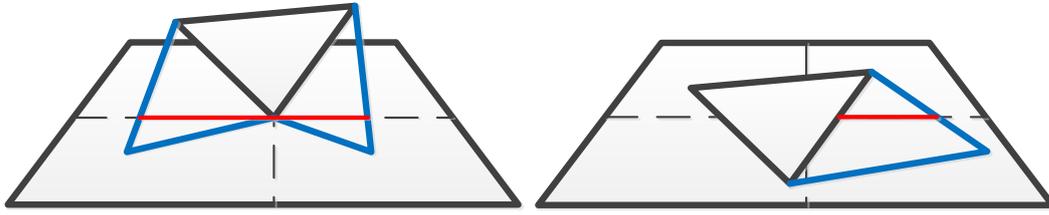


圖 23 三角網格與切層平面相交之種類

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。

對於一個切層平面，必須搜尋整個模型來找出滿足圖(a)(b)(c)情形之三角平面，然後計算交點，這是相當花費電腦計算判斷的時間，為了克服這個問題，首先必須計算每一個三角平面的最高高度(T_{max})與最低高度(T_{min})，利用將點資料空間分區(Spatial Partitioning)的觀念，切層面高度判斷如下：

$$T_{max} > Z_{slice} > T_{min}$$

在實體模型的高度尺寸範圍內，劃分成幾個相同高度的區間，，再依照每個三角形的，將完全或部分位於某一區間的三角形編號紀錄於該區間，如圖 24，完成此記錄後，要搜尋切層平面所經過之三角形就不需要花費過多時間在整個模型資料中搜尋，而只需要在切層平面高度所相關的區間資料中做搜尋。

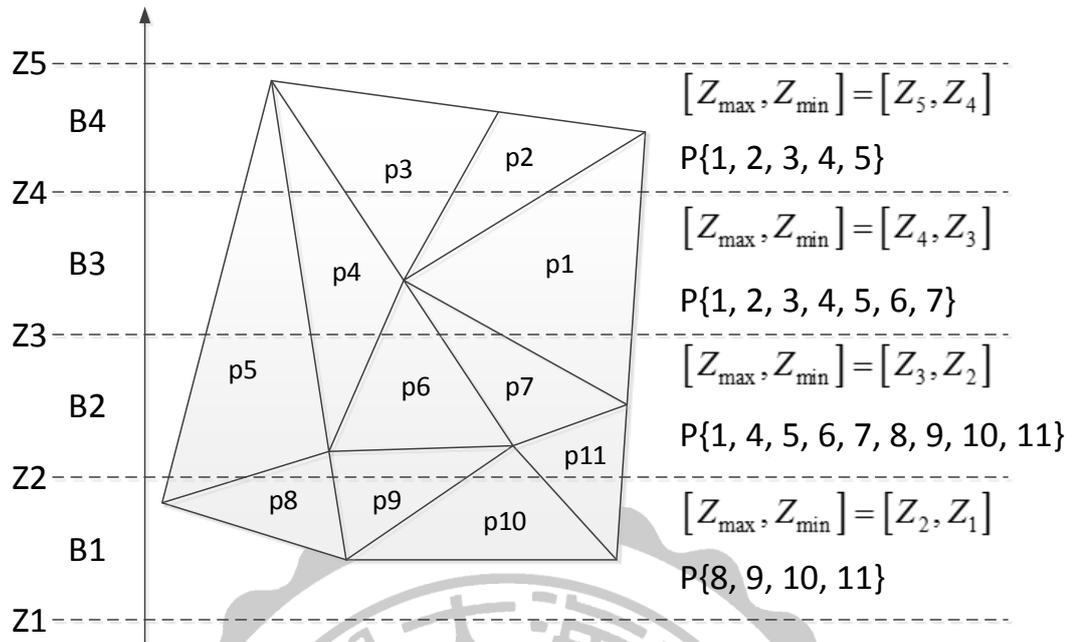


圖 24 平均高度切層

當確定某一三角形與切層面有交點，便開始進行其交點座標之計算，三角形兩個邊與切層面相交於兩點，分別與利用內插法，可快速求得其交點公式 3-7。而此兩交點即為交線之端點，如圖 25。

交點座標為：

$$x = x_1 + t(x_2 - x_1)$$

$$y = y_1 + t(y_2 - y_1)$$

$$t = \frac{Z_{slice} - z_1}{z_2 - z_1}$$

(3-7)

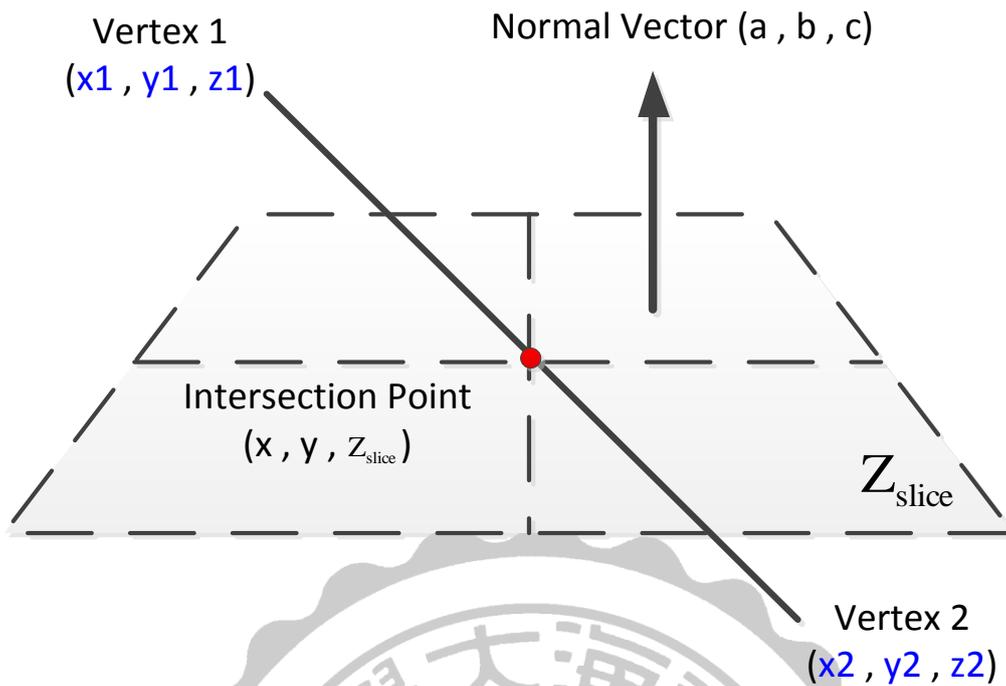


圖 25 平面通過兩點之間與其向量

最後只要只要三角平面與切層平面相交只有產生兩個交點，則此兩點之空間座標即為所求。最後切層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 26 所示：

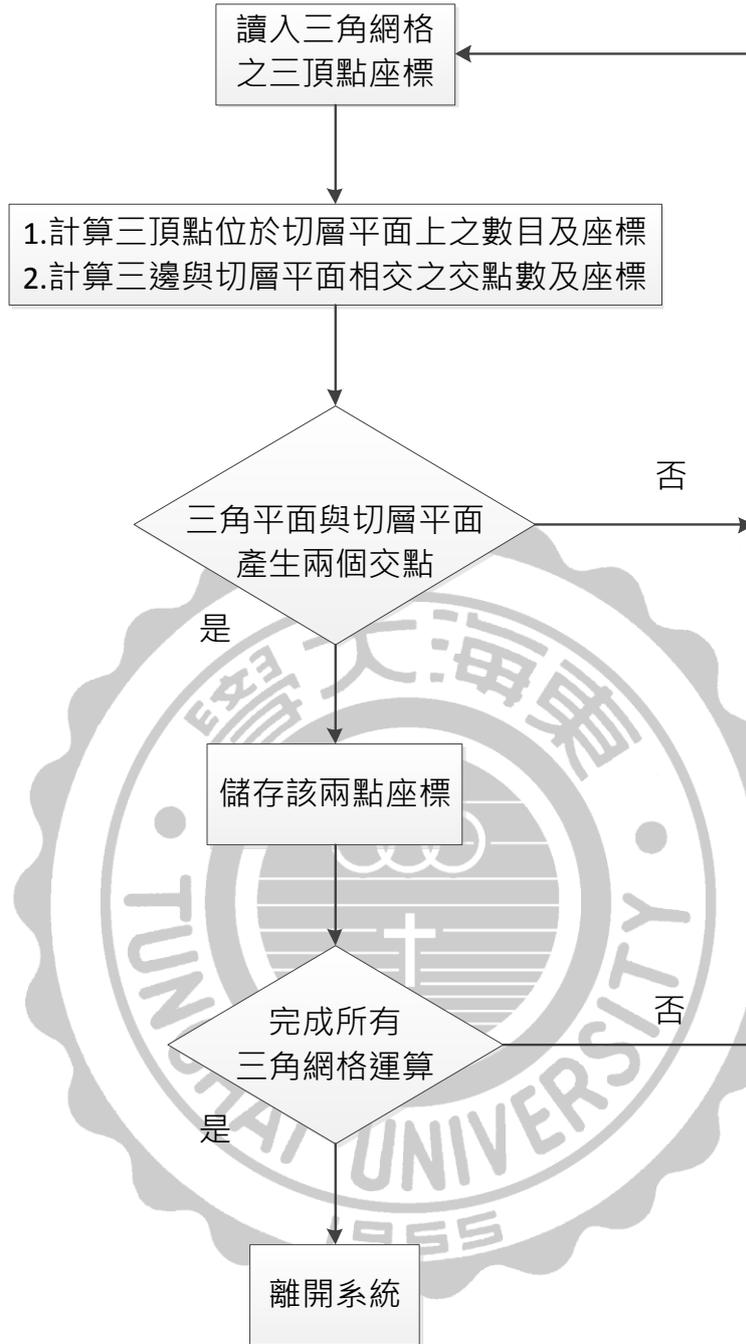


圖 26 切層法則運算流程

第四章 鞋楦與腳型特徵之系統建構

本研究建構程式系統工具主要使用 Matlab 程式語言，完成建立一套標準作業流程與自動化的運算系統。整個系統架構，包括：運算擷取病患腳型與足部特徵資料，以及擷取鞋楦特徵資料，進行 SOM 類神經網路的分類，最後尋找出適合的鞋楦群集。本系統的作業流程，如圖 27 所示。



圖 27 研究系統作業流程

4-1 擷取腳型與鞋楦特徵

此部分研究是以 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 28 所示，分別對於腳型及鞋楦外型的 STL 檔案進行各項尺寸、特徵做量測運算與擷取。

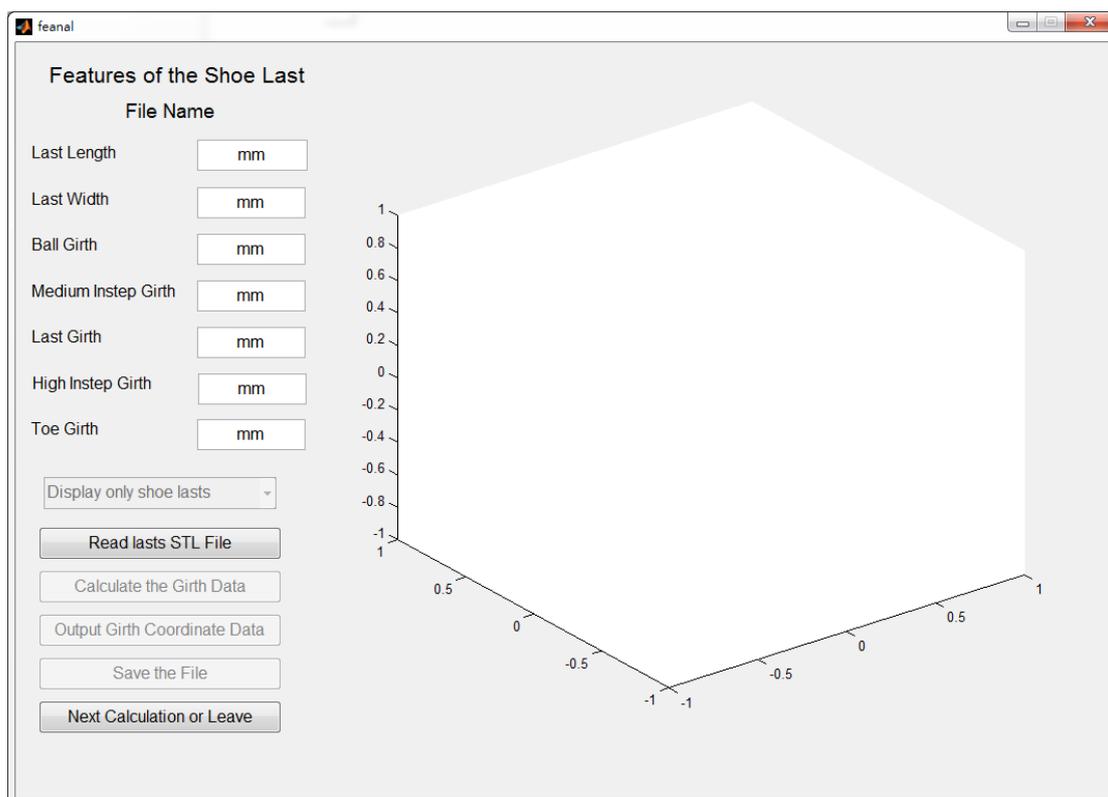


圖 28 特徵擷取分析操作系統

系統介面的左上畫面，可顯示計算出的各項特徵圍度，左下畫面，為可使用各個功能，其功能包含讀取、計算、儲存資料以及離開程式，右邊顯示所讀入計算之腳型或鞋楦外觀。

4-1-1 讀取檔案

開啟操作視窗時，首先系統會要求操作者選擇擷取、分析類型，如圖 29 所示，操作者一進入系統時可以選擇要進行分析的類型，分別對鞋楦(Shoe Last Model)或者腳型(Foot Model)進行運算。

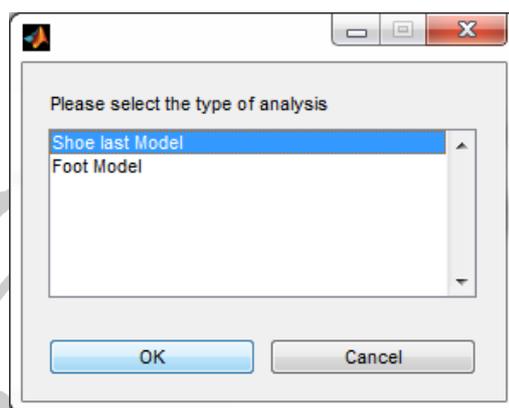


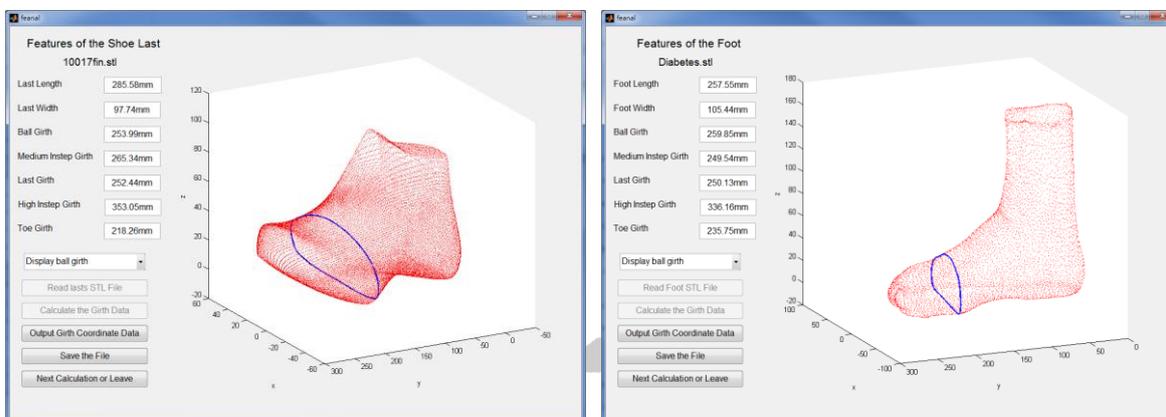
圖 29 選取分析類型

由於物件的外形是以三角網格的 3D 圖檔格式(.STL)，作為儲存檔案形式，所以在此只限以 ASCII 格式的 STL 檔的圖形檔案，因此無法讀取其他格式的圖形檔案。在進行讀檔的過程中，系統會根據之前所選擇的分析類型，自動計算出物件的長與寬；並且在此系統的右方圖形欄中顯示物件外形。

4-1-2 特徵資料分析運算

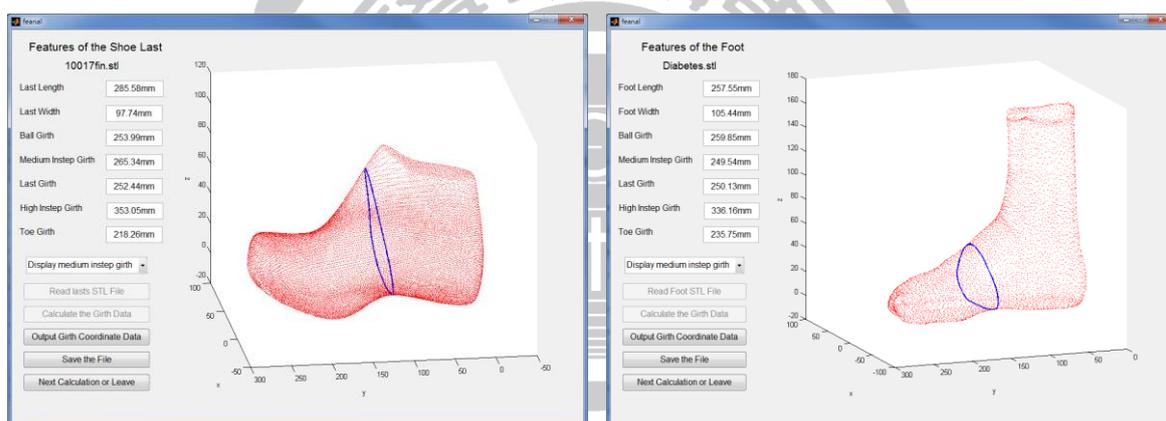
完成讀取鞋楦或是腳型的 STL 檔案後，接下來則要進行長度、寬度、掌圍、腰圍、背圍、趾圍以及高背圍的擷取計算。此階段經由系統運算所得到的結果將會呈現在左方的訊息欄中，而各特徵圍度資料也可以在

右邊視窗欄中，操作可以用滑鼠點擊操作視窗中得按鈕來顯示腳型的各圍度資料圖形，結果如圖 30、圖 31、圖 32、圖 33、圖 34 及圖 35。



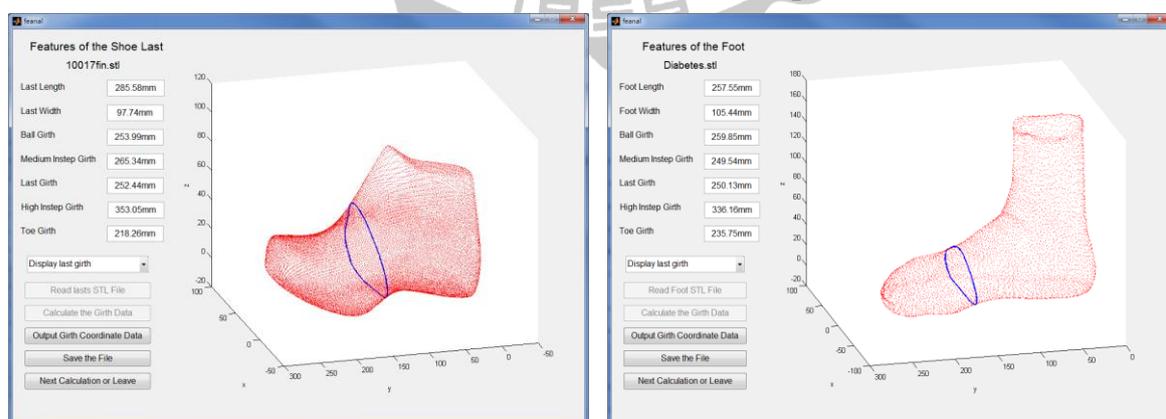
(a) 楦掌圍 (b) 足掌圍

圖 30 楦(足)掌圍 (Ball Girth)



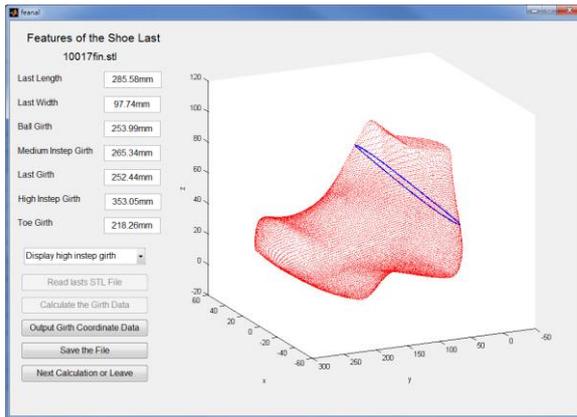
(a) 楦背圍 (b) 足背圍

圖 31 楦(足)背圍 (Medium Instep Girth)

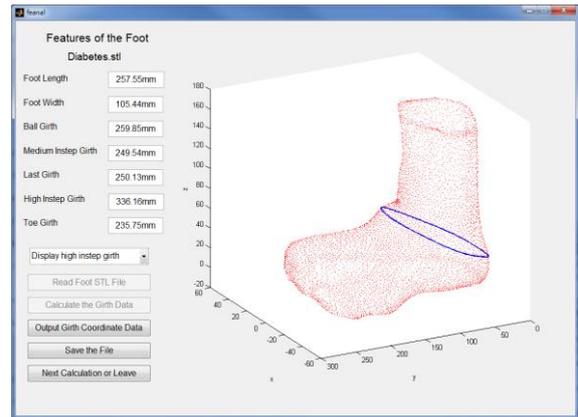


(a) 楦腰圍 (b) 足腰圍

圖 32 楦(足)腰圍 (Waist Girth)

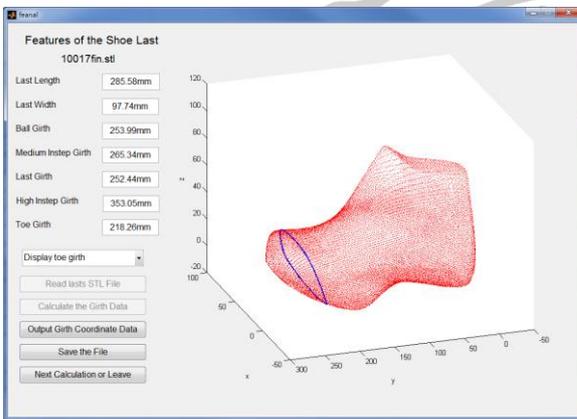


(a) 楦高背圍

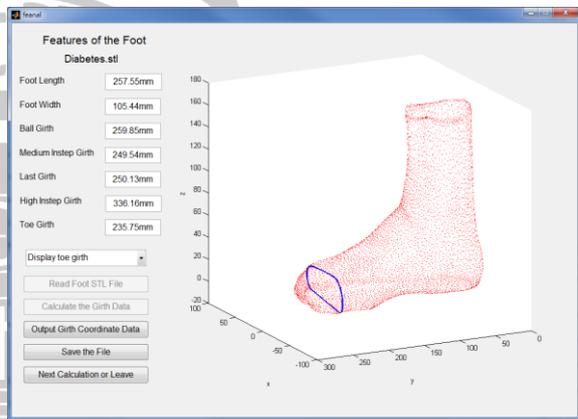


(b) 足高背圍

圖 33 楦(足)高背圍 (High Instep Girth)

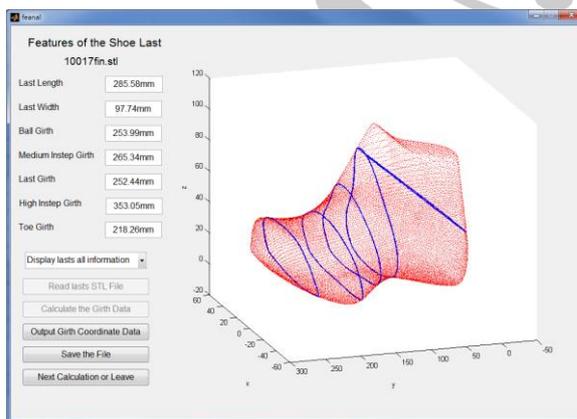


(a) 楦趾圍

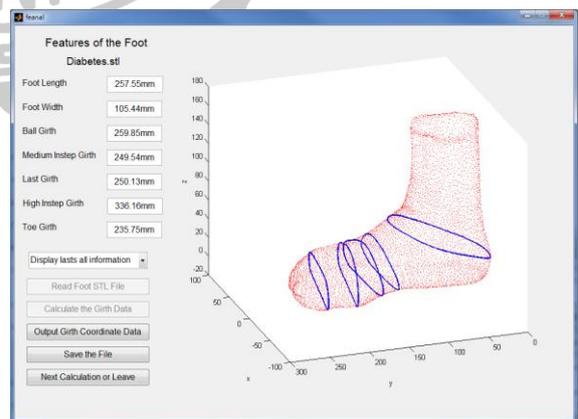


(b) 足趾圍

圖 34 楦(足)趾圍 (Toe Girth)



(a) 楦所有圍度



(b) 足所有圍度

圖 35 各項圍度的資料顯示

4-1-3 輸出資料及儲存檔案

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 SOM 類神經網路分類、模糊分析以及比對。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。系統所儲存之各項特徵圍度數值的 Excel 檔案，如表 9 及表 10 所示之 7 種圍度的格式。

表 9 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)	足高背圍 (mm)	足趾圍 (mm)

表 10 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)	楦高背圍 (mm)	楦趾圍 (mm)

4-2 SOM 類神經網路分群

後續以 Matlab 程式撰寫一自組織映射圖網路(Self-Organizing Map)的網路架構系統，用於對大量鞋楦資料進行於非監督式學習網路模式的程式，這一部分也是以 Matlab 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 36 所示。

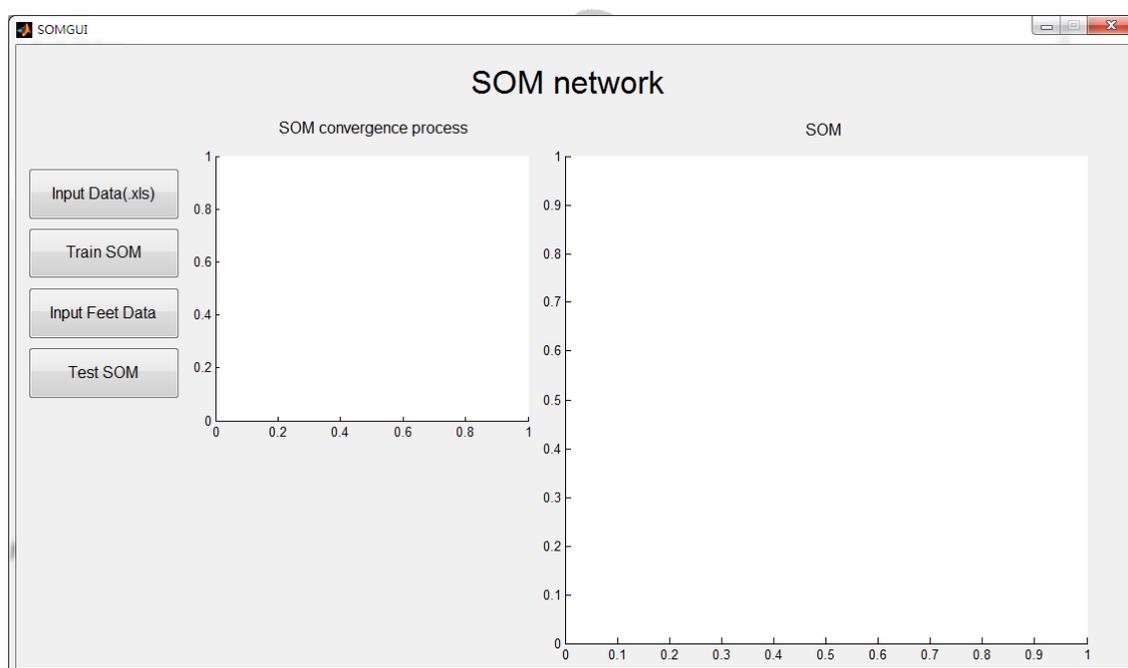


圖 36 SOM 類神經網路分析操作系統

此系統將針對 4-1-3 章節中，系統在所儲存的大量鞋楦資料，進行程式的訓練，利用類神經網路理論分析、分群得到樣本空間中樣本點的聚類，再輸入腳型特徵得到腳型與楦型在設計上的關係，尋找較適合的集聚樣本。關於這個部分的系統架構流程，如圖 37 所示。

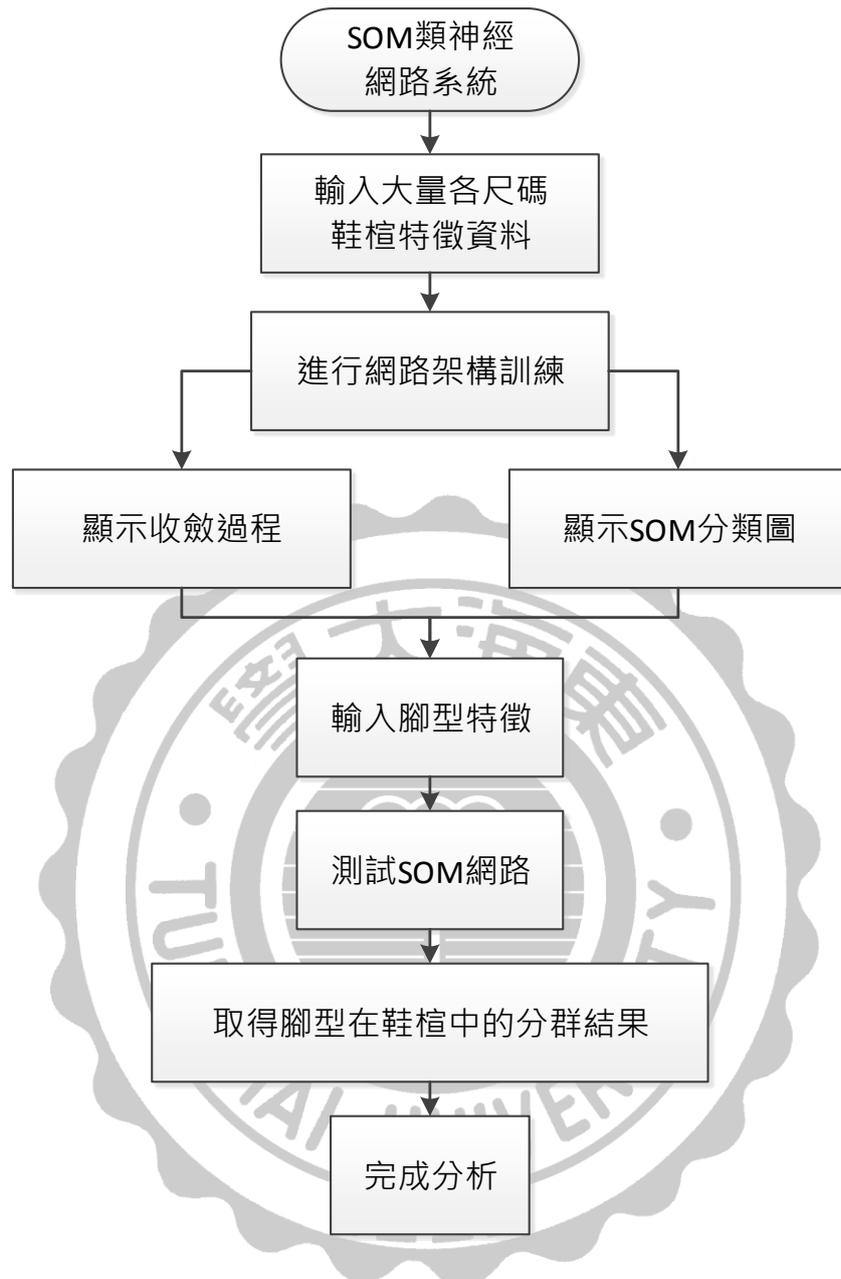


圖 37 SOM 網路系統架構流程圖

4-2-1 SOM 網路建立

首先說明自組織映射網路的設計架構，在演算 SOM 網路之前必須探討所需要的輸入層、輸出層以及權重值，本研究網路設計如下。

- 輸入層：

表示網路的輸入變數，即訓練網路的輸入向量，或稱特徵向量，其處理單元數目依問題而定，每一個處理單元代表著輸入向量的每一個元素，亦即該輸入資料所擁有的特徵。本研究中將鞋楦的樣本當作訓練樣本，總訓練樣本共有 60 組數據，鞋楦的輸入變數為特徵中 7 個圍度之長度資料。

- 輸出層：

由於 SOM 模式可將所有樣本依其特性的相似度映射至二維拓撲上的不同位置，特性較相似的樣本會有較相近的位置，特性較相異的會有較遠的位置。因此，SOM 拓撲單元數量之多寡將影響以後對樣本聚類判斷的精確性，若單元數量太少，則所有樣本的聚集度均提高，不易準確判斷樣本的類型特性。相對的，若單元數量太多，則所有樣本的聚集度均降低，難以判斷樣本的類型。依據經驗可將單元數量設定為樣本數的 60%~70% 之間(張華成，1999)。本研究鞋楦樣本為 60、因此將輸出神經元數設定為 36(6x6)。如表 11 所示。

表 11 程序相關參數描述

輸入層神經元參數	7
輸出層的層維數	2
輸出神經元	36
初始學習速率	1
初始鄰近半徑	1
訓練次數	100
樣本數目	60

- 輸入層與輸出層間的權重值：

網路中所有神經元連結權重的初始值可以隨機亂數產生，神經元間有著鄰近關係，讓優勝的神經元在進行連結權重調整時，也會將這樣的訊息傳遞給鄰近的神經元，讓鄰近的神經元也隨著進行連結權重調整，進而調整該神經元的連結權重。

本研究 SOM 神經網路架構如圖 38 所示，Input 代表輸入變數向量，每個輸入變數透過權重來連結輸出層的神經元，這些神經元代表著訓練輸入資料經由拓樸映射的結果。

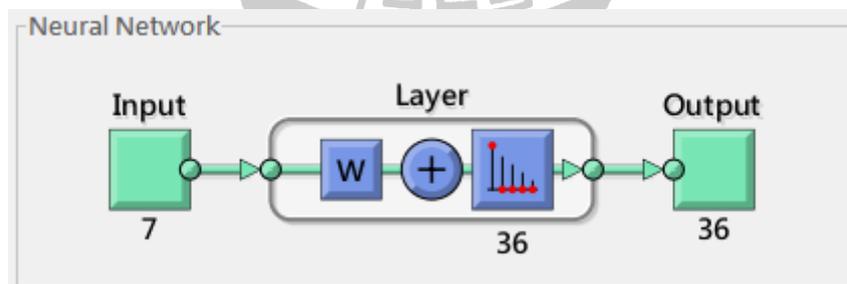


圖 38 網路架構

不同的參數設定對 SOM 網路的學習會有不同影響，例如：以較大的矩陣進行學習，則需花費較長的時間而缺乏效率，但若以較小的矩陣

進行學習，則雖然在學習效率提昇了，但是分類的結果往往難以分析。另外，若以較大鄰近半徑進行學習，同樣需花費較長時間而效率不彰，反之則收斂速度較快，但學習效果卻不佳。至於學習速率的設定，也會面臨相同的問題。由於參數的設定組合很多，必須反覆加以嘗試與判斷結果，因此建議使用二階段方式進行網路學習，先以較少的學習循環數與較高的學習速率和較小鄰近半徑進行學習，使其以最快的速度收斂，並重覆進行多次，以選擇最佳收斂值的網路參數，再者，將第一階段所選出的最佳網路連結加權值，用較多的學習循環與較低的學習速率和較大鄰近半徑進行第二次學習，以慢慢調整其網路加權值。

4-2-2 輸入鞋楦特徵資料

儲存在 Excel 檔案中的腳型資料、鞋楦特徵數值資料，將作為此部分操作系統輸入資料的來源。操作者須點擊操作系統上 **Input Data(xls)** 的功能按鈕，開啟讀入檔案的對話框以讀入相關數據資料；本系統只能接受 Excel(*.xls) 的檔案，不接受讀取其他檔案格式。

4-2-3 進行網路架構訓練

完成讀入資料後，即可點選 **Train som** 功能按鈕，接著系統將打開程式介面，並開始訓練類神經網路，訓練過程中可以看見神經元間拓樸架構配重位置的動態模擬過程，如圖 39、圖 40 所示。

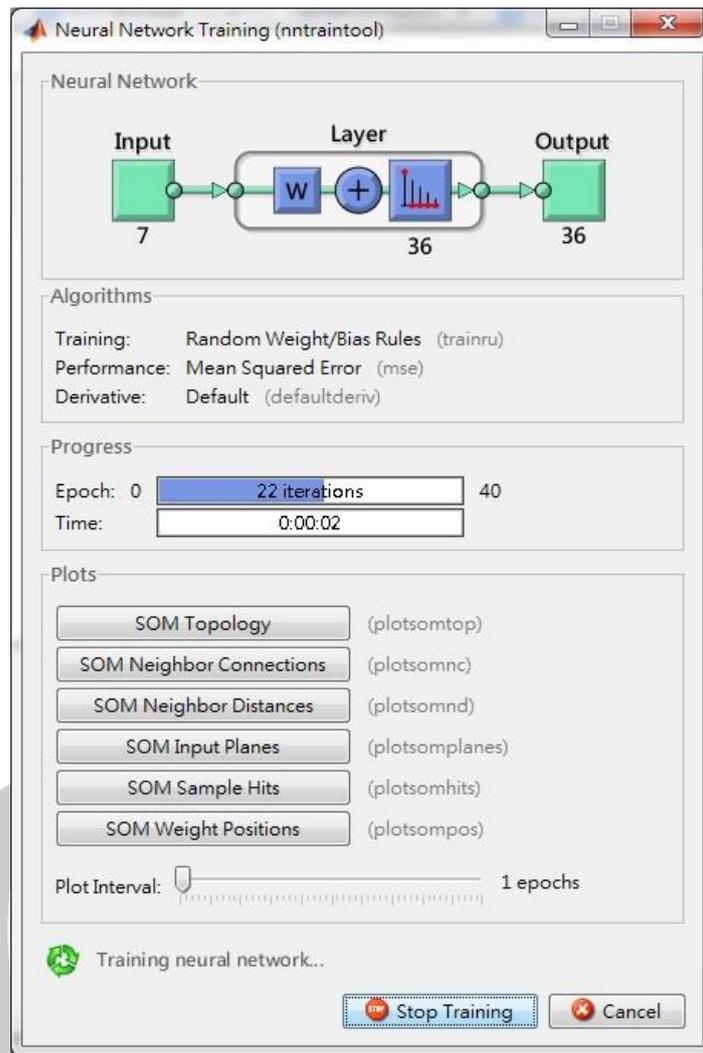


圖 39 SOM 神經網路運算介面

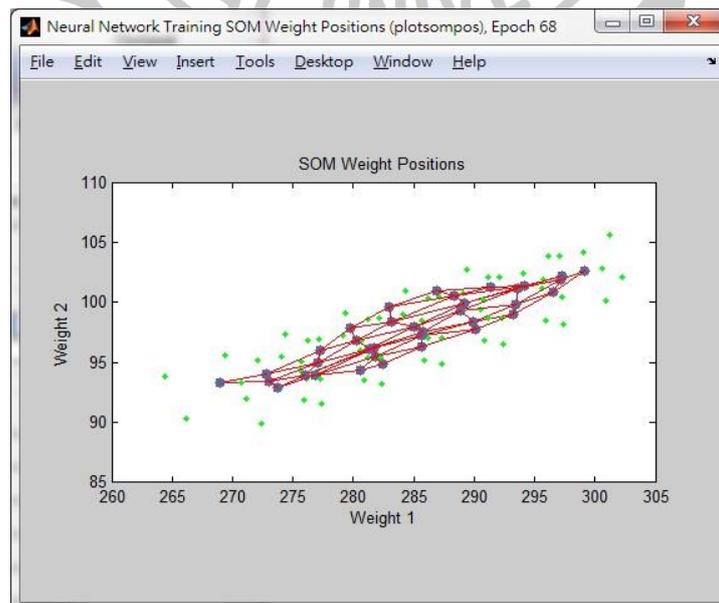


圖 40 神經元間的拓樸架構

訓練完畢後會直接出現網路的收斂過程，以及 6x6 的拓樸映射圖，經過若 100 次數訓練後，神經元間的拓樸結構逐漸形成，網路的連結權重逐漸收斂，讀入的鞋楦樣本透過此演算法，從中尋找某些相似的特性，然後再將這些具有相似特性的樣本聚集成一類，在 6x6 的表格中每一格越靠近代表關係越強烈，如圖 41 所示。

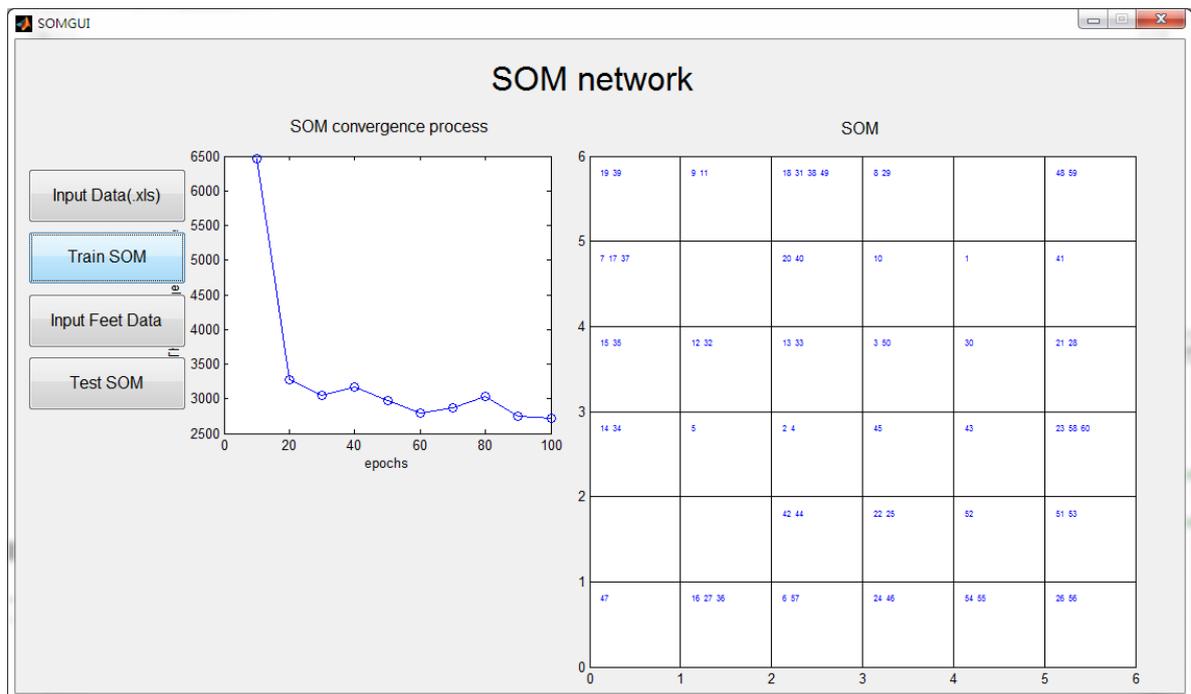


圖 41 SOM 類神經網路分析結果

訓練完畢後所產生的拓樸映射圖中，並不會每一次運算的樣本位置結果都相同，因為每一筆輸入向量所對應出的優勝神經元都不盡相同，因此每一個神經元被調整的次數及時機也不一定相同或有規則可循，完全端視輸入向量間中的分佈關係，但是樣本聚類的方式將相似。

4-2-4 測試腳型樣本

接下來點選 **Input Feet Data** 的功能按鍵，將患者腳型的特徵資料輸入至此訓練完成的網路，讀入的格式也只能接受(.xls)的格式。在讀入資料後操作者須再點選 **Test SOM** 的功能按鈕，程式系統將會把腳型自動歸類在某一個分群聚類中，最後就可以搜尋到與測試腳型高度相關的鞋楦。其中藍色數字及紅色數字各為鞋楦以及腳型，如圖 42 所示。

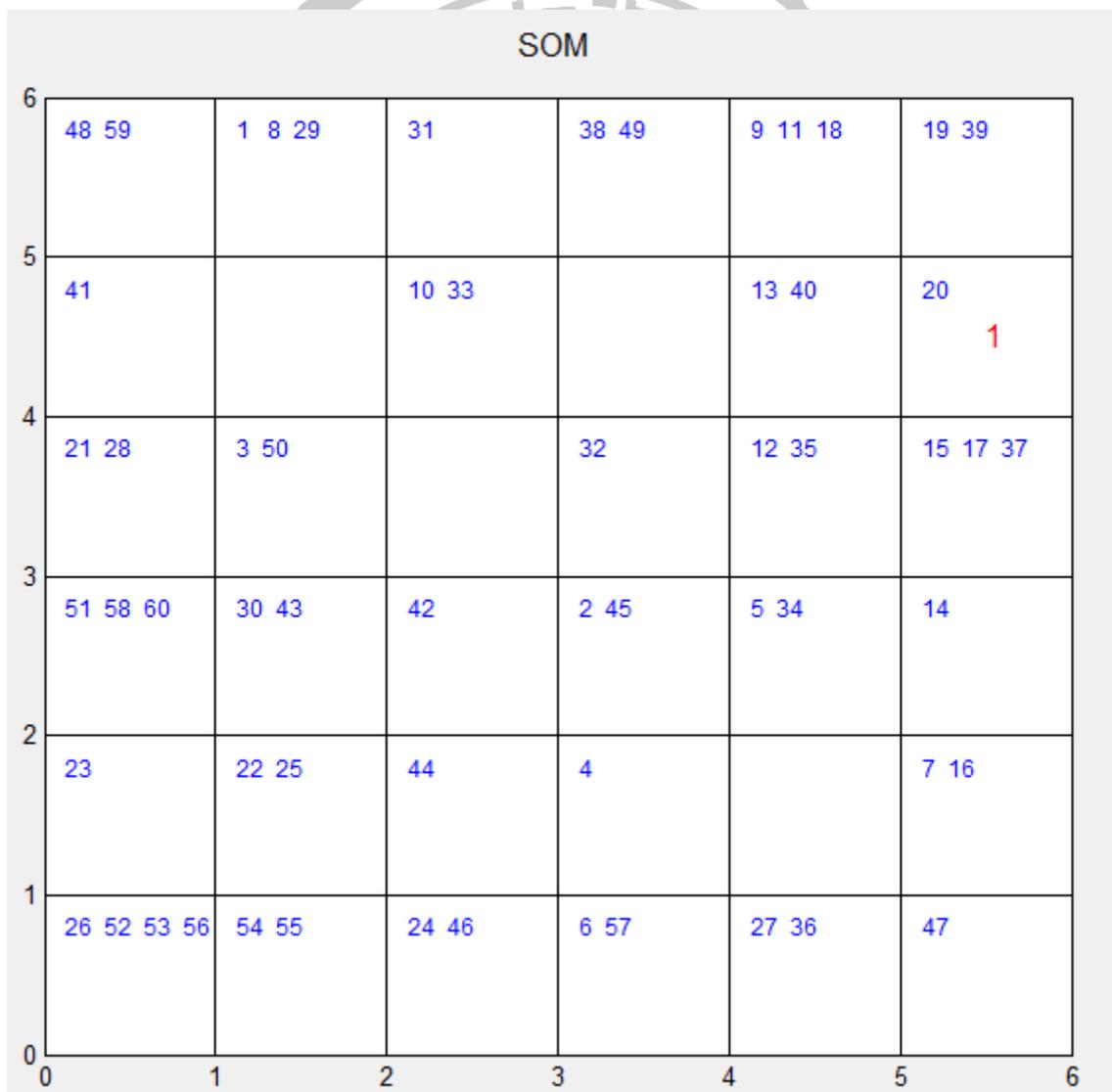


圖 42 測試樣本的聚類落點

第五章 實例驗證

為確認在第四章中所建立的之標準操作系統的可行性，本研究實際進行 1 位糖尿病患者的足部量測，以及收集 60 支鞋楦為樣本，作為系統實驗的驗證。其中在受測患者的部分，以 Wagner 糖尿病分級 0 級、成年男性右腳為主，量測時因考慮到患者在穿鞋時也必須穿著襪子，以及系統運算趾圍的部分不可以運算到腳趾間內溝的距離，會與鞋楦的趾圍相差甚遠，因此糖尿病患者量測時必須穿著薄襪子。患者之足部已經變形、病變、潰瘍或是扁平足等的腳則不適用於本研究之系統，將不進行探討。在鞋楦樣本部分則用以男用皮鞋款，大小為 8 號至 10 號半之鞋楦為主，共有 60 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 60 支鞋楦樣本中搜尋、分類、找出最適合受測者的鞋楦。

5-1 建立足部及鞋楦外形資料

本研究實例驗證中，對於受測患者腳型及鞋楦，皆採用雷射三次元逆向工程設備。對於鞋楦的掃描工作，以本研究室之設備-泰智 LSH 800 3D 雷射掃描器完成此工作，其量測精度為 0.05mm，如圖 43 所示。



圖 43 泰智 LSH 800 3D 雷射掃描器

在患者腳型掃描上，本研究室採用腳型專用的雷射掃描器，以龍騰科技股份有限公司所提供的設備，來完成糖尿病患腳型的掃描，其量測精度為 0.05mm，如圖 44 所示。



圖 44 龍騰 3D 雷射掃描器

5-2 點群處理、座標轉換

在完成取得所有患者腳型及鞋楦樣本的點群資料後，因上述兩種逆向雷射掃描設備皆無法一次性產生完整的外型資料，掃描之後的各個樣本將根據四個角度產生四個面向的 STL 檔案，因此必須再進行點群疊合的處理，故本研究於 Geomagic 軟體中進行點群疊合、修補破面及三角網格化等相關工作。如圖 45 所示。

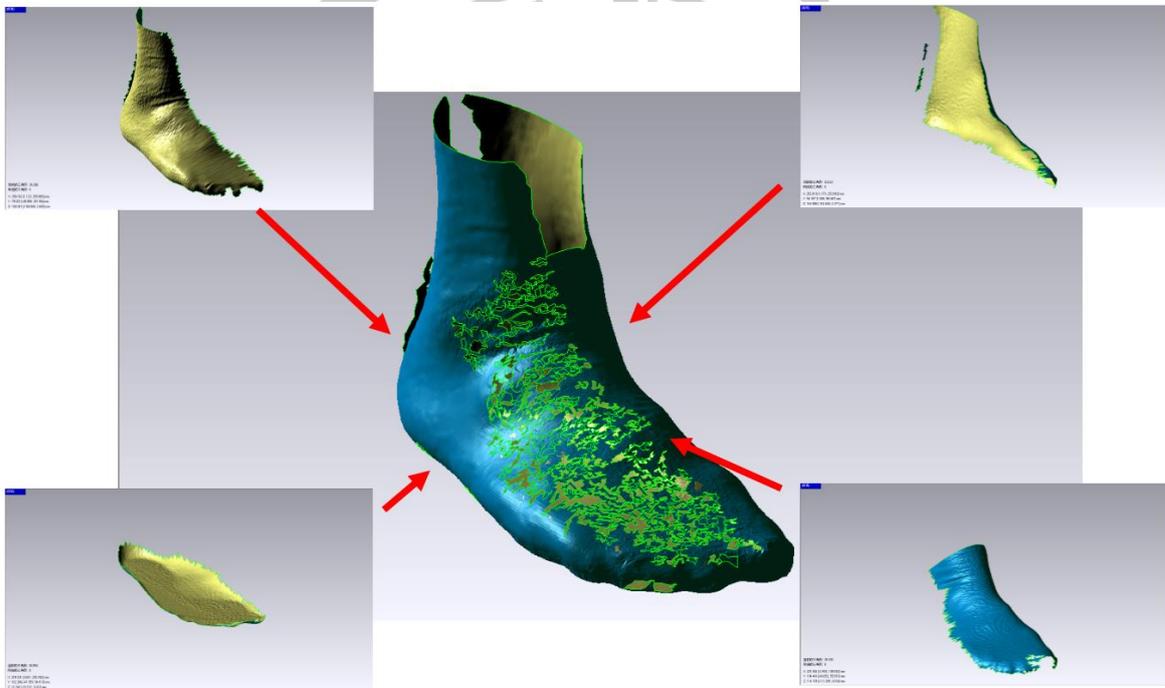


圖 45 點群疊合

截取病患腳型及鞋楦完整的外型點資料後，接下來必須將圖面資料上的破洞與雜訊加以處理，並且控制點群資料在 15000 個點之內，以利後續加快運算速度及減少讀取錯誤機率，如圖 46、圖 47 及圖 48 所示。



圖 46 破洞處理



圖 47 雜訊消除處理



圖 48 縮點處理

在系統自動化截取患者腳型及鞋楦的特徵圍度資料前，必須將每一個患者腳型以及鞋楦資料，在空間擺放至相同的位置及方向上，使系統能正確的截取各個特徵圍度資料，因此本研究利用 Geomagic 軟體將患者腳型及鞋楦資料進行移動、旋轉至相同的位置及方向上。資料處理在 3-1 章節中已有詳細的說明，最後完成坐標轉換的患者腳型及鞋楦點群資料，其位置及方向，如圖 49 及圖 50 所示。

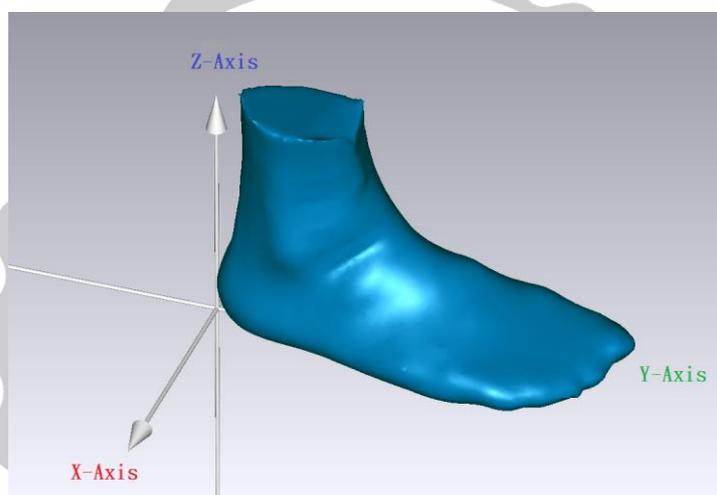


圖 49 腳型座標轉換

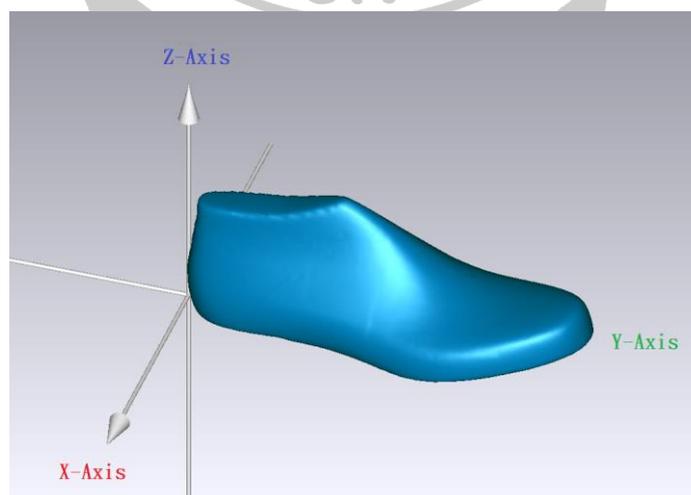


圖 50 鞋楦座標轉換

5-3 特徵分析運算與類神經系統分群

(1) 特徵分析運算

將每一個已完成座標轉換的足部、鞋楦外型 STL 檔案，藉由本研究所建立之程式系統進行特徵分析以及運算，所得到各項腳型及 60 雙鞋楦特徵圍度與資料儲存結果，如表 12 以及表 13 所示。

表 12 輸出腳型特徵圍度分析之數據資料

	長度 (mm)	寬度 (mm)	掌圍長 (mm)	背圍長 (mm)	腰圍長 (mm)	高腳背圍長 (mm)	趾圍長 (mm)
1	257.56	105.44	259.85	249.54	250.13	336.16	235.75

表 13 輸出鞋楦特徵圍度分析之數據資料

檔案名稱 (楦)	長 (mm)	寬 (mm)	掌圍長 (mm)	背圍長 (mm)	腰圍長 (mm)	高背圍長 (mm)	趾圍長 (mm)
1_D901.stl	285.58	97.74	245.99	257.34	244.45	353.06	218.26
2_D902.stl	282.12	98.66	252.94	262.54	253.69	342.00	215.14
3_D903.stl	287.28	97.04	254.46	264.46	251.82	351.78	213.24
4_D904.stl	284.08	98.98	255.11	256.26	252.63	339.26	218.78
5_D905.stl	285.89	95.14	251.70	261.66	248.74	334.23	213.54
6_D906.stl	286.18	100.33	253.35	263.64	251.50	349.06	230.64
7_D907.stl	274.36	97.38	244.19	245.61	239.21	329.69	223.37
8_D908.stl	282.37	93.20	244.87	261.48	244.70	355.82	206.43
9_D909.stl	276.16	93.65	238.22	251.07	235.70	339.34	199.96
10_D910.stl	280.71	96.78	248.02	259.15	247.70	348.07	210.80
11_D801.stl	275.58	94.32	237.38	248.33	235.89	340.70	210.62
12_D802.stl	272.12	95.17	243.98	253.23	244.70	329.88	207.52
13_D803.stl	277.28	93.66	245.60	255.25	243.05	339.53	205.82
14_D804.stl	274.08	95.50	246.13	247.24	243.74	327.32	211.08
15_D805.stl	275.89	91.82	242.90	252.51	240.04	322.54	206.07
16_D806.stl	276.18	96.83	244.50	254.43	242.71	336.86	222.58
17_D807.stl	264.36	93.83	235.29	236.65	230.49	317.67	215.23
18_D808.stl	272.37	89.90	236.20	252.22	236.03	343.22	199.12
19_D809.stl	266.16	90.26	229.59	241.98	227.16	327.05	192.72
20_D810.stl	270.71	93.33	239.19	249.91	238.88	335.67	203.29
21_D1001.stl	295.58	101.16	254.61	266.35	253.01	365.42	225.91

續表 13

檔案名稱 (檔)	長 (mm)	寬 (mm)	掌圍長 (mm)	背圍長 (mm)	腰圍長 (mm)	高背圍長 (mm)	趾圍長 (mm)
22_D1002.stl	292.12	102.16	261.91	271.84	262.68	354.12	222.77
23_D1003.stl	297.28	100.42	263.32	273.66	260.58	364.02	220.66
24_D1004.stl	294.08	102.47	264.09	265.28	261.53	351.20	226.48
25_D1005.stl	295.89	98.47	260.51	270.81	257.44	345.92	221.01
26_D1006.stl	296.18	103.84	262.20	272.85	260.29	361.26	238.70
27_D1007.stl	284.36	100.93	253.09	254.56	247.93	341.70	231.51
28_D1008.stl	292.37	96.50	253.54	270.74	253.36	368.42	213.74
29_D1009.stl	286.16	97.04	246.84	260.16	244.23	351.62	207.20
30_D1010.stl	290.71	100.23	256.86	268.38	256.53	360.47	218.30
31_H801.stl	280.58	96.03	241.69	252.84	240.17	346.88	214.44
32_H802.stl	277.12	96.91	248.46	257.89	249.19	335.94	211.33
33_H803.stl	282.28	95.35	250.03	259.86	247.43	345.66	209.53
34_H804.stl	279.08	97.24	250.62	251.75	248.19	333.29	214.93
35_H805.stl	280.89	93.48	247.30	257.08	244.39	328.39	209.81
36_H806.stl	281.18	98.58	248.93	259.04	247.10	342.96	226.61
37_H807.stl	269.36	95.60	239.74	241.13	234.85	323.68	219.30
38_H808.stl	277.37	91.55	240.53	256.85	240.36	349.52	202.78
39_H809.stl	271.16	91.95	233.90	246.52	231.43	333.19	196.34
40_H810.stl	275.71	95.06	243.60	254.53	243.29	341.87	207.04
41_H901.stl	290.58	99.45	250.30	261.85	248.73	359.24	222.08
42_H902.stl	287.12	100.41	257.43	267.19	258.18	348.06	218.96
43_H903.stl	292.28	98.73	258.89	269.06	256.20	357.90	216.95
44_H904.stl	289.08	100.73	259.60	260.77	257.08	345.23	222.63
45_H905.stl	290.89	96.81	256.11	266.24	253.09	340.08	217.28
46_H906.stl	291.18	102.09	257.78	268.25	255.89	355.16	234.67
47_H907.stl	279.36	99.15	248.64	250.08	243.57	335.69	227.44
48_H908.stl	287.37	94.85	249.21	266.11	249.03	362.12	210.09
49_H909.stl	281.16	95.34	242.53	255.61	239.97	345.48	203.58
50_H910.stl	285.71	98.50	252.44	263.76	252.11	354.27	214.55
51_H1001.stl	300.58	102.88	258.91	270.86	257.29	371.60	229.73
52_H1002.stl	297.12	103.91	266.39	276.50	267.18	360.18	226.58
53_H1003.stl	302.28	102.11	267.75	278.27	264.96	370.15	224.37
54_H1004.stl	299.08	104.21	268.58	269.79	265.97	357.18	230.34
55_H1005.stl	300.89	100.14	264.91	275.39	261.79	351.77	224.75
56_H1006.stl	301.18	105.59	266.63	277.46	264.68	367.35	242.73
57_H1007.stl	289.36	102.70	257.54	259.03	252.29	347.71	235.58
58_H1008.stl	297.37	98.15	257.88	275.37	257.70	374.72	217.40
59_H1009.stl	291.16	98.74	251.16	264.70	248.50	357.77	210.82
60_H1010.stl	295.71	101.95	261.27	272.99	260.94	366.67	222.06

在鞋楦的樣本方面，因為這 60 支鞋楦樣本在設計、製造時皆加入鞋墊的考量，所以需要再減少 4 mm 的鞋墊以及襪子厚度，因此除了高背圍之外所有的鞋楦圍度需再減少鞋墊兩邊的總和 8 mm。如表 14 所示。

表 14 減去鞋墊厚度之鞋楦特徵圍度數據資料

檔案名稱 (楦)	長 (mm)	寬 (mm)	掌圍長 (mm)	背圍長 (mm)	腰圍長 (mm)	高背圍長 (mm)	趾圍長 (mm)
1_D901.stl	285.58	97.74	237.99	249.34	236.45	353.06	210.26
2_D902.stl	282.12	98.66	244.94	254.54	245.69	342.00	207.14
3_D903.stl	287.28	97.04	246.46	256.46	243.82	351.78	205.24
4_D904.stl	284.08	98.98	247.11	248.26	244.63	339.26	210.78
5_D905.stl	285.89	95.14	243.70	253.66	240.74	334.23	205.54
6_D906.stl	286.18	100.33	245.35	255.64	243.50	349.06	222.64
7_D907.stl	274.36	97.38	236.19	237.61	231.21	329.69	215.37
8_D908.stl	282.37	93.20	236.87	253.48	236.70	355.82	198.43
9_D909.stl	276.16	93.65	230.22	243.07	227.70	339.34	191.96
10_D910.stl	280.71	96.78	240.02	251.15	239.70	348.07	202.80
11_D801.stl	275.58	94.32	229.38	240.33	227.89	340.70	202.62
12_D802.stl	272.12	95.17	235.98	245.23	236.70	329.88	199.52
13_D803.stl	277.28	93.66	237.60	247.25	235.05	339.53	197.82
14_D804.stl	274.08	95.50	238.13	239.24	235.74	327.32	203.08
15_D805.stl	275.89	91.82	234.90	244.51	232.04	322.54	198.07
16_D806.stl	276.18	96.83	236.50	246.43	234.71	336.86	214.58
17_D807.stl	264.36	93.83	227.29	228.65	222.49	317.67	207.23
18_D808.stl	272.37	89.90	228.20	244.22	228.03	343.22	191.12
19_D809.stl	266.16	90.26	221.59	233.98	219.16	327.05	184.72
20_D810.stl	270.71	93.33	231.19	241.91	230.88	335.67	195.29
21_D1001.stl	295.58	101.16	246.61	258.35	245.01	365.42	217.91
22_D1002.stl	292.12	102.16	253.91	263.84	254.68	354.12	214.77
23_D1003.stl	297.28	100.42	255.32	265.66	252.58	364.02	212.66
24_D1004.stl	294.08	102.47	256.09	257.28	253.53	351.20	218.48
25_D1005.stl	295.89	98.47	252.51	262.81	249.44	345.92	213.01
26_D1006.stl	296.18	103.84	254.20	264.85	252.29	361.26	230.70
27_D1007.stl	284.36	100.93	245.09	246.56	239.93	341.70	223.51
28_D1008.stl	292.37	96.50	245.54	262.74	245.36	368.42	205.74
29_D1009.stl	286.16	97.04	238.84	252.16	236.23	351.62	199.20
30_D1010.stl	290.71	100.23	248.86	260.38	248.53	360.47	210.30
31_H801.stl	280.58	96.03	233.69	244.84	232.17	346.88	206.44
32_H802.stl	277.12	96.91	240.46	249.89	241.19	335.94	203.33
33_H803.stl	282.28	95.35	242.03	251.86	239.43	345.66	201.53

續表 14

檔案名稱 (檔)	長 (mm)	寬 (mm)	掌圍長 (mm)	背圍長 (mm)	腰圍長 (mm)	高背圍長 (mm)	趾圍長 (mm)
34_H804.stl	279.08	97.24	242.62	243.75	240.19	333.29	206.93
35_H805.stl	280.89	93.48	239.30	249.08	236.39	328.39	201.81
36_H806.stl	281.18	98.58	240.93	251.04	239.10	342.96	218.61
37_H807.stl	269.36	95.60	231.74	233.13	226.85	323.68	211.30
38_H808.stl	277.37	91.55	232.53	248.85	232.36	349.52	194.78
39_H809.stl	271.16	91.95	225.90	238.52	223.43	333.19	188.34
40_H810.stl	275.71	95.06	235.60	246.53	235.29	341.87	199.04
41_H901.stl	290.58	99.45	242.30	253.85	240.73	359.24	214.08
42_H902.stl	287.12	100.41	249.43	259.19	250.18	348.06	210.96
43_H903.stl	292.28	98.73	250.89	261.06	248.20	357.90	208.95
44_H904.stl	289.08	100.73	251.60	252.77	249.08	345.23	214.63
45_H905.stl	290.89	96.81	248.11	258.24	245.09	340.08	209.28
46_H906.stl	291.18	102.09	249.78	260.25	247.89	355.16	226.67
47_H907.stl	279.36	99.15	240.64	242.08	235.57	335.69	219.44
48_H908.stl	287.37	94.85	241.21	258.11	241.03	362.12	202.09
49_H909.stl	281.16	95.34	234.53	247.61	231.97	345.48	195.58
50_H910.stl	285.71	98.50	244.44	255.76	244.11	354.27	206.55
51_H1001.stl	300.58	102.88	250.91	262.86	249.29	371.60	221.73
52_H1002.stl	297.12	103.91	258.39	268.50	259.18	360.18	218.58
53_H1003.stl	302.28	102.11	259.75	270.27	256.96	370.15	216.37
54_H1004.stl	299.08	104.21	260.58	261.79	257.97	357.18	222.34
55_H1005.stl	300.89	100.14	256.91	267.39	253.79	351.77	216.75
56_H1006.stl	301.18	105.59	258.63	269.46	256.68	367.35	234.73
57_H1007.stl	289.36	102.70	249.54	251.03	244.29	347.71	227.58
58_H1008.stl	297.37	98.15	249.88	267.37	249.70	374.72	209.40
59_H1009.stl	291.16	98.74	243.16	256.70	240.50	357.77	202.82
60_H1010.stl	295.71	101.95	253.27	264.99	252.94	366.67	214.06

(2) 類神經系統分群

在此以本研究所建立之自組織映射類神經網路分群、搜尋系統，對於足部特徵數值資料以及鞋楦特徵數值資料進行分析。首先將 60 支鞋楦的特徵數值資料減去鞋墊厚度後，經由類神經網路分群之後，再將此位受測者足部資料，輸入至網路中驗證，即可搜尋所得到相近的鞋楦號碼如圖 51 所示。

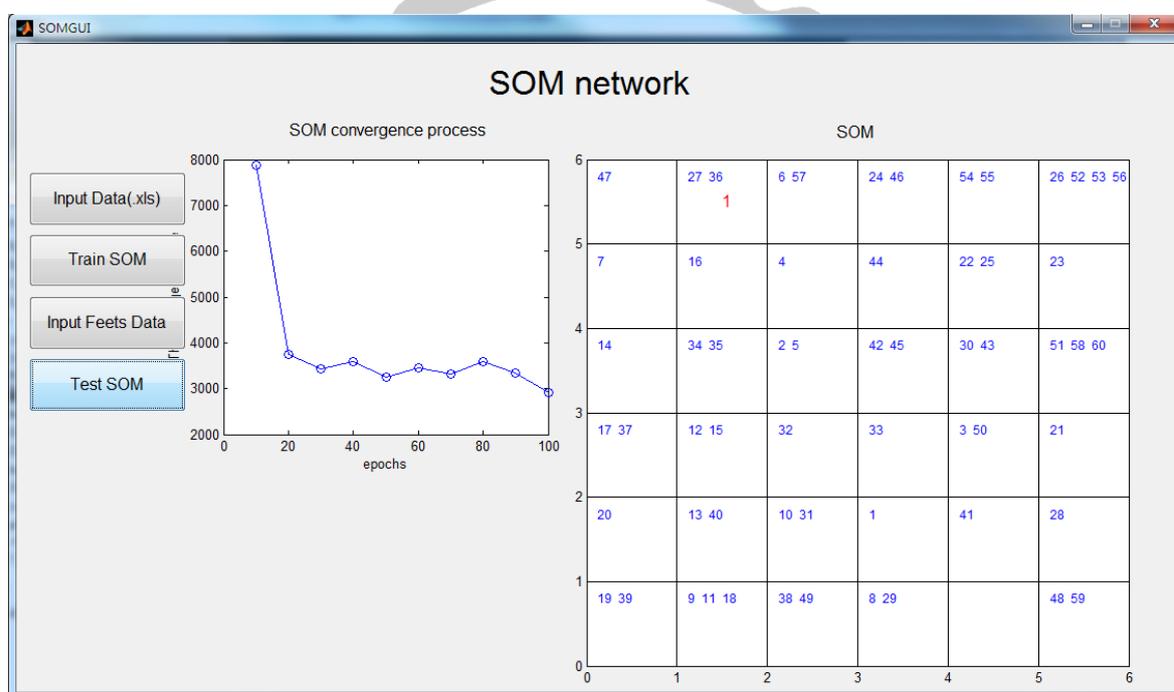


圖 51 受測者的分群結果

由上圖可知，在 SOM 類神經網路驗證病患腳型後，發現到較適合患者腳型的鞋楦為 27 號與 36 號鞋楦。但其 SOM 網路自動化分群是否正確將合適鞋楦分類，將在下一節中加入離圖上距離較近的 47 號鞋楦與 16 號鞋楦，以驗證分群的可行性。

5-4 AHP 問卷分析與 GRA 分析結果

經由 SOM 類神經網路分群，適合患者腳型的鞋楦已縮小其目標範圍，但卻還是無法決定真正一個適合的鞋楦，因此本研究以專家問卷的方法，取得各個特徵圍度資料之間的相對重要性，對象以財團法人鞋技中心的製鞋專家為主，一共得到 3 份問卷資料、數據，問卷計算結果，如表 15 所示。

表 15 問卷計算結果

問卷	成對比較矩陣	λ_{\max}	CI	W
1	$\begin{pmatrix} 1 & 7 & 9 & 3 & 1 \\ 1/7 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/9 \\ 1/9 & 3 & 1 & 1/5 & 1/9 \\ 1/3 & 3 & 5 & 1 & 1/5 \\ 1 & 9 & 9 & 5 & 1 \end{pmatrix}$	5.3202	0.0800	$\begin{pmatrix} 0.3576 \\ 0.0345 \\ 0.0481 \\ 0.1382 \\ 0.4216 \end{pmatrix}$
2	$\begin{pmatrix} 1 & 9 & 9 & 5 & 1 \\ 1/9 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/9 \\ 1/9 & 3 & 1 & 1/3 & 1/7 \\ 1/5 & 3 & 3 & 1 & 1/5 \\ 1 & 9 & 7 & 5 & 1 \end{pmatrix}$	5.1878	0.0470	$\begin{pmatrix} 0.4167 \\ 0.0326 \\ 0.0546 \\ 0.1060 \\ 0.3901 \end{pmatrix}$
3	$\begin{pmatrix} 1 & 7 & 9 & 5 & 1 \\ 1/7 & 1 & 1/3 & 1/3 & 1/9 \\ 1/9 & 3 & 1 & 1/3 & 1/7 \\ 1/5 & 3 & 3 & 1 & 1/5 \\ 1 & 9 & 7 & 5 & 1 \end{pmatrix}$	5.2297	0.0574	$\begin{pmatrix} 0.4091 \\ 0.0349 \\ 0.0554 \\ 0.1073 \\ 0.3930 \end{pmatrix}$

由上可得知此問卷之評比值符合一致性，因此所求得之各個權重可以使用，再以幾何平均法求得五項特徵圍度之綜合權重，如下所示：

$$W_B = \sqrt[3]{0.358 \times 0.417 \times 0.409} = 0.394$$

$$W_L = \sqrt[3]{0.035 \times 0.033 \times 0.035} = 0.034$$

$$W_M = \sqrt[3]{0.048 \times 0.055 \times 0.055} = 0.053$$

$$W_H = \sqrt[3]{0.138 \times 0.106 \times 0.107} = 0.116$$

$$W_T = \sqrt[3]{0.422 \times 0.390 \times 0.393} = 0.401$$

專家一致認為在糖尿病足上，趾圍與掌圍在圍度上是非常重要的，其原因可能是患者末梢血流變慢，較容易出現浮腫的地方，至於腰圍與背圍權重值較低的部分，後續會加上灰關聯分析判斷，因此權重值較低的部分還是可以使用。

接著將患者的腳型對應於 SOM 類神經網路求得兩鞋楦，將特徵圍度資料，利用 Matlab 以灰關聯分析將患者腳型為參考數列，四隻鞋楦為比較數列，如表 16，運算出四隻鞋楦與腳型之間的灰關聯度，如表 17 所示。

表 16 腳型與鞋楦圍度

特徵圍度 腳(楦)	掌圍(mm)	腰圍(mm)	背圍(mm)	高背圍(mm)	趾圍(mm)
病患	259.85	249.54	250.13	336.16	235.75
27 號	253.09	254.56	247.93	341.70	231.51
36 號	248.93	259.04	247.10	342.96	226.61
47 號	248.64	250.08	243.57	335.69	227.44
16 號	244.50	254.43	242.71	336.86	222.58

表 17 病患腳型與鞋楦之灰關聯度

特徵圍度 灰關聯度	掌圍(mm)	腰圍(mm)	背圍(mm)	高背圍(mm)	趾圍(mm)
27 號楦	0.7986	0.8422	0.9241	0.8287	0.8634
36 號楦	0.7105	0.7383	0.8984	0.7976	0.7457
47 號楦	0.6604	0.9758	0.7687	0.9789	0.7457
16 號楦	0.5868	0.8168	0.7461	0.9689	0.6234

在後續的研究以及作法上，需要對各個圍度的相對重要性賦予其權重值，而每隻鞋楦可由以下公式所示，得到其綜合評估值 R，本研究稱之為舒適度(Fitness value)。所有的鞋楦可以根據 R 值的大小，計算對患者而言的舒適度，而得到最適合的鞋楦；所有圍度的專家權重數值，將使用層級分析法(AHP)來設定其圍度權重；另外使用灰關聯分析(GRA)，對其患者腳型與鞋楦的特徵圍度資料，進行分析與運算，最後產生特徵圍度間的灰關聯度。

$$R = W_B F_B + W_L F_L + W_M F_M + W_H F_H + W_T F_T$$

R = 鞋楦綜合評估值(舒適度)

W_B = 掌圍權重值

F_B = 掌圍之腳與楦灰關聯度

W_L = 腰圍權重值

F_L = 腰圍之腳與楦灰關聯度

W_M = 背圍權重值

F_M = 背圍之腳與楦灰關聯度

W_H = 高背圍權重值

F_H = 高背圍之腳與楦灰關聯度

W_T = 趾圍權重值

F_T = 趾圍之腳與楦灰關聯度

5-5 實驗結果與討論

在實例驗證以及系統分析之後所得到數據、分群位置、特徵圍度權重值以及腳和鞋楦的灰關聯度，經討論後可得到下列結果：

- (1) 運用 SOM 做映射時，可以得到許多類別的群集映射於拓樸圖上，且每一個群集都由一個或數個同類別的映射空間所組成，本研究的系統拓樸圖以 6*6 的表格呈現。而自行分類鞋楦上，將特徵圍度資料相近的鞋楦歸類在同一個格子中，再以患者腳型輸入驗證，以尋找到對患者腳型較適合的鞋楦。而從結果可以發現，糖尿病患者的腳型落點於 27 號及 36 號鞋格子中，說明患者若要客製化鞋子，可從這兩隻鞋楦優先選擇。
- (2) 本研究雖然經由拓樸圖得到合適的鞋楦群集，但若隨著拓樸結構的表格放大或縮小可以得到更精準或是更多雙合適的鞋楦，而根據此群集分類結果可以找到每位糖尿病患，最適合的腳型鞋楦。
- (3) 在後續持續增加鞋楦樣本及不同類型的鞋楦，並建立更大更多的鞋楦資料庫，研究及作法上可以加入更多運算法則及圍度上的考量，針對糖尿病患的需求，快速客製化出不同鞋款。

(4) 將所得到之各項特徵圍度權重以及灰關聯度，代入以下舒適度函數之

綜合權重式子。 $R = W_B F_B + W_L F_L + W_M F_M + W_H F_H + W_T F_T$ ，得到之

結果如下：

$$R_{27} = 0.394 \times 0.799 + 0.034 \times 0.842 + 0.053 \times 0.924 + 0.116 \times 0.829 + 0.401 \times 0.863 = 0.835$$

$$R_{36} = 0.394 \times 0.711 + 0.034 \times 0.738 + 0.053 \times 0.898 + 0.116 \times 0.798 + 0.401 \times 0.746 = 0.744$$

$$R_{47} = 0.394 \times 0.660 + 0.034 \times 0.976 + 0.053 \times 0.769 + 0.116 \times 0.979 + 0.401 \times 0.724 = 0.738$$

$$R_{16} = 0.394 \times 0.587 + 0.034 \times 0.817 + 0.053 \times 0.746 + 0.116 \times 0.969 + 0.401 \times 0.623 = 0.661$$

由上可得知，經由問卷分析各個特徵圍度間的相對重要性，以及鞋楦的灰關聯度評估項目，就數值上的比較意義來看，27 號鞋楦的舒適度是高於其他雙鞋楦，因此，評估此患者可選擇此鞋楦。

第六章 結論與建議

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 研究成果與貢獻

在本研究中以逆向工程量測技術，快速取得準確的鞋楦以及患者足部之外型資料，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，可以建立鞋楦設計資訊的資料庫。另一方面對現行之鞋楦進行類神經網路分群、AHP 以及 GRA 運算，為患者快速尋找適合的鞋楦，經驗證後對於尋找合適的鞋楦確實有所幫助。

本研究具體研究成果與貢獻茲歸納如下：

- (1) 以切層演算法發展自動化程式系統，藉由此套程式可以讀取人體足部以及鞋楦之 STL 模型資料，而後直接進行其相關特徵資料之量測、擷取，減少傳統人為量測操作上的誤差。
- (2) 以自組織映射網路圖發展自動化程式系統，藉由此套程式可以在現有的鞋楦中，為患者快速尋找到較適合的鞋楦，減少重複製造其類似鞋楦的成本。

- (3) 藉由層級分析法與灰關聯分析法，將所搜尋到較適合的鞋楦給予舒適度評價，以量化的方式了解此鞋楦對於患者舒適程度，來決定是否使用此鞋楦做為快速客製化之選擇。
- (4) 對於輕症狀之糖尿病患者，在預防糖尿病所產生糖尿病足的併發症上，不再是只能市面上選擇一雙合適雙腳的鞋，以及訂製傳統客製化的鞋款，藉由本研究可達成快速且成本低的客製化糖尿病鞋款，並可降低潰瘍發生的可能性。

6-2 後續研究與建議

本研究尚有下列各項可作為未來繼續研究發展的方向：

(1) 加入鞋墊設計

對於糖尿病患者來說，糖尿病鞋的鞋墊也是鞋樣設計中重要的一環，因此若加入鞋墊設計為後續研究，將可讓研究更佳完善。

(2) 加入動態實驗

在研究上針對個人腳型搜尋最適合的鞋楦，在理論上是可行，但在後續實際患者穿著所製造的客製化鞋，所產生的可能不良影響，可加入動態實驗來得知研究上所需加強的部分，是後續可以加以研究的方向。

(3) 加入其他不同潰瘍程度的糖尿病患腳型

研究對象以輕症狀之糖尿病患者為主，對於中度與重度症狀的糖尿病患的腳型，還是得依靠市售糖尿病鞋與專門的客製化鞋型。因此在未來的研究上，可再針對不同的程度的病患作後續研究發展方向。

(4) 鞋楦網際網路服務應用

網路網路的應用是未來的趨勢，讓不同國家或不同地區的使用者可以彼此交換資訊、共享資源，利用網路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、發展電子商店及鞋楦開發等協同產品，都是未來可以研究的方向。



參考文獻

一、中文部份：

曹文彬，客製化人體足部之鞋楦特徵設計之研究，2007，東海大學工業設計系碩士論文。

張華成，應用類神經網路模式於產品造形特徵辨識之研究，1999，國立成功大學工業設計系碩士論文。

李雲婷，中國力學虛擬人足部有限元建模及其糖尿病鞋研究上的臨床應用，2009，上海交通大學碩士論文。

黃建立，基於 SOM 的電阻焊接的線上品質監控系統，2011，逢甲大學自動控制工程碩士論文。

陳靜如，類神經網路於鞋墊舒適度預測與評價，2010，東海大學工業設計系碩士論文。

張斐章、張麗秋，類神經網路導論，2010，滄海書局。

沈惠民、林東亮、鍾進燈、許惠恆，糖尿病足之臨床評估與治療，2011，22:254-265，內科學誌。

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，2000，國立中正大學機械系碩士論文。

杜信宏，3D 動態腳型資料庫之建立與應用，2002，國立清華大學工業工程與工程管理碩士論文。

金濤、童水光，逆向工程技術，2005，新文京開發出版。

張仲卿，逆向工程系統技術及應用，2003，高立圖書。

陳雪芳、孫春華，逆向工程與快速成型技術應用，2010，機械工業出版。

陳涵栩，2003，糖尿病的自主神經病變，臨床醫學，51(6)，130-135。

王永慧，2004，糖尿病患者足底壓力改變與足潰瘍的關係，國外醫學內分泌學，24(5)，324-326。

鄭豐聰，1998，腳型尺碼資訊系統與鞋楦設計關係之研究，國立交通大學工業工程與管理研究所碩士論文。

楊凱傑，2013，應用類神經網路於球鞋造形曲線認知與設計之研究，東海大學工業設計系碩士論文。

二、英文部份：

- Apelqvist, J., Ragnarson-Tennvall, G., & Larsson, J. (1995). Topical treatment of diabetic foot ulcers: an economic analysis of treatment alternatives and strategies. *Diabetic Medicine*, 12(2), 123-128.
- American Diabetes Association. (2004). Preventive foot care in diabetes. *Diabetes Care*, 27(1), 63-64.
- American Diabetes Association. (2010). Standards of medical care in diabetes—2010. *Diabetes Care*, 33(Supplement 1), S11-S61.
- Alavi, A., Sibbald, R. G., Mayer, D., Goodman, L., Botros, M., Armstrong, D. G., ... & Kirsner, R. S. (2014). Diabetic foot ulcers: Part I. Pathophysiology and prevention. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 70(1), 1-e1.
- Boynton, A. C., Victor, B., & Pine, I. I. (1993). New competitive strategies: challenges to organizations and information technology. *IBM Systems Journal*, 32(1), 40-64.
- Boulton, A. J., Meneses, P., & Ennis, W. J. (1999). Diabetic foot ulcers: a framework for prevention and care. *Wound Repair and Regeneration*, 7(1), 7-16.
- Boulton, A. J., & Jude, E. B. (2004). Therapeutic Footwear in Diabetes The good, the bad, and the ugly?. *Diabetes Care*, 27(7), 1832-1833.
- Boulton, A. J., Cavanagh, P. R., & Rayman, G. (Eds.). (2006). *The Foot in Diabetes*. John Wiley & Sons.
- Bell, R. A., Arcury, T. A., Snively, B. M., Smith, S. L., Stafford, J. M., Dohanish, R., & Quandt, S. A. (2005). Diabetes foot self-care practices in a rural, triethnic population. *The Diabetes Educator*, 31(1), 75-83.
- Bernabéu, J. A., Germani, M., Mandolini, M., Mengoni, M., Nester, C., Preece, S., & Raffaelli, R. (2013). CAD tools for designing shoe lasts for people with diabetes. *Computer-Aided Design*, 45(6), 977-990.
- Consultation, W. H. O. (1999). Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications (Vol. 1). Part.
- Choi, S. H., & Kwok, K. T. (2002). Hierarchical slice contours for layered-manufacturing. *Computers in Industry*, 48(3), 219-239.
- Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2010). Rapid prototyping: principles and applications. *World Scientific*.

- De La Fuente, M., Ros, L., & Ortiz, A. (2010). Enterprise modelling methodology for forward and reverse supply chain flows integration. *Computers in Industry*, 61(7), 702-710.
- Gordois, A., Scuffham, P., Shearer, A., Oglesby, A., & Tobian, J. A. (2003). The health care costs of diabetic peripheral neuropathy in the US. *Diabetes Care*, 26(6), 1790-1795.
- Germani, M., Mandolini, M., Mengoni, M., Raffaelli, R., Montiel, E., & Davia, M. (2011). Methods and tools dedicated to shoes customization for people with diabetes. *International Conference on Innovative Methods in Product Design*. 698-706.
- Huijberts, M. S., Schaper, N. C., & Schalkwijk, C. G. (2008). Advanced glycation end products and diabetic foot disease. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 24(S1), S19-S24.
- Healy, A., Naemi, R., & Chockalingam, N. (2013). The effectiveness of footwear as an intervention to prevent or to reduce biomechanical risk factors associated with diabetic foot ulceration: A systematic review. *Journal of Diabetes and its Complications*, 27(4), 391-400.
- Jeffcoate, W. J., & Harding, K. G. (2003). Diabetic foot ulcers. *The Lancet*, 361(9368), 1545-1551.
- José Rupérez, M., Martín-Guerrero, J. D., Monserrat, C., Alemany, S., & Alcañíz, M. (2008). Modeling the contact of foot surface and shoe upper using artificial neural networks. *Journal of Biomechanics*, 41, S479.
- Kohonen, T. (1988). Self-organization and associative memory. *Self-Organization and Associative Memory*, 100 figs. XV, 312 pages.. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. Also Springer Series in Information Sciences, (8)1.
- Kotler, P. (1989). From mass marketing to mass customization. *Strategy & Leadership*, 17(5), 10-47.
- King, H., Aubert, R. E., & Herman, W. H. (1998). Global burden of diabetes, 1995–2025: prevalence, numerical estimates, and projections. *Diabetes Care*, 21(9), 1414-1431.
- Lavery, L. A., Armstrong, D. G., Wunderlich, R. P., Tredwell, J., & Boulton, A. J. (2003). Predictive value of foot pressure assessment as part of a population-based diabetes disease management program. *Diabetes Care*, 26(4), 1069-1073.
- Lampel, J., & Mintzberg, H. (2012). Customizing customization. *Sloan Management Re.*

- Mulder, G.D., & Armstrong, D.G. (2003). Management of diabetic foot ulcer in the elderly population. *Endocrinology*, 11(4), 46-53.
- Pecoraro, R. E., Reiber, G. E., & Burgess, E. M. (1990). Pathways to diabetic limb amputation: basis for prevention. *Diabetes Care*, 13(5), 513-521.
- Pine, B. J. (1999). Mass customization: the new frontier in business competition. Harvard Business Press.
- Rupérez, M. J., Monserrat, C., Alemany, S., Juan, M. C., & Alcañíz, M. (2010). Contact model, fit process and, foot animation for the virtual simulator of the footwear comfort. *Computer-Aided Design*, 42(5), 425-431.
- Rupérez, M. J., Martín-Guerrero, J. D., Monserrat, C., & Alcañiz, M. (2012). Artificial neural networks for predicting dorsal pressures on the foot surface while walking. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5349-5357.
- Singh, N., Armstrong, D. G., & Lipsky, B. A. (2005). Preventing foot ulcers in patients with diabetes. *Jama*, 293(2), 217-228.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Sun, J. H., Tsai, J. S., Huang, C. H., Lin, C. H., Yang, H. M., Chan, Y. S., ... & Huang, Y. Y. (2012). Risk factors for lower extremity amputation in diabetic foot disease categorized by Wagner classification. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 95(3), 358-363.
- Shieh, M. D., & Yeh, Y. E. (2013). Developing a design support system for the exterior form of running shoes using partial least squares and neural networks. *Computers & Industrial Engineering*, 65(4), 704-718.
- Toffler, A., & Shapiro, M. (1985). The adaptive corporation. New York et al.: McGraw-Hill.
- Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1995). Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges. *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, 2(1), 35-44.
- Praet, S. F., & Louwerens, J. W. K. (2003). The influence of shoe design on plantar pressures in neuropathic feet. *Diabetes Care*, 26(2), 441-445.
- Witana, C. P., Xiong, S., Zhao, J., & Goonetilleke, R. S. (2006). Foot measurements from three-dimensional scans: a comparison and evaluation of different methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(9), 789-807.

- Witana, C. P., Feng, J., & Goonetilleke, R. S. (2004). Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. *Ergonomics*, 47(12), 1301-1317.
- Yanhan, R., Guosheng, G., Min, Y., & Driver, V. R. (2014). Role of matrix metalloproteinases in chronic wound healing: diagnostic and therapeutic implications. *Chinese Medical Journal*, 127(8), 1572.



三、 網頁部分：

健保局(2013, 7月), 中央健康保險局電子報, 2014年3月10日取自

<http://www.nhi.gov.tw/epaper/ItemDetail.aspx?DataID=2667&IsWebData=0&ItemTypeID=7&PapersID=227&PicID=>

行政院主計總處生命統計(2012, 1月), 主要死因統計, 2014年2月15

日取自 <http://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=15409&CtNode=4595&mp=1>

搜狐健康(2012, 11月), 從腳看出你身體是否健康, 2014年3月20日

取自 http://health.sohu.com/20121112/n357234062_8.shtml

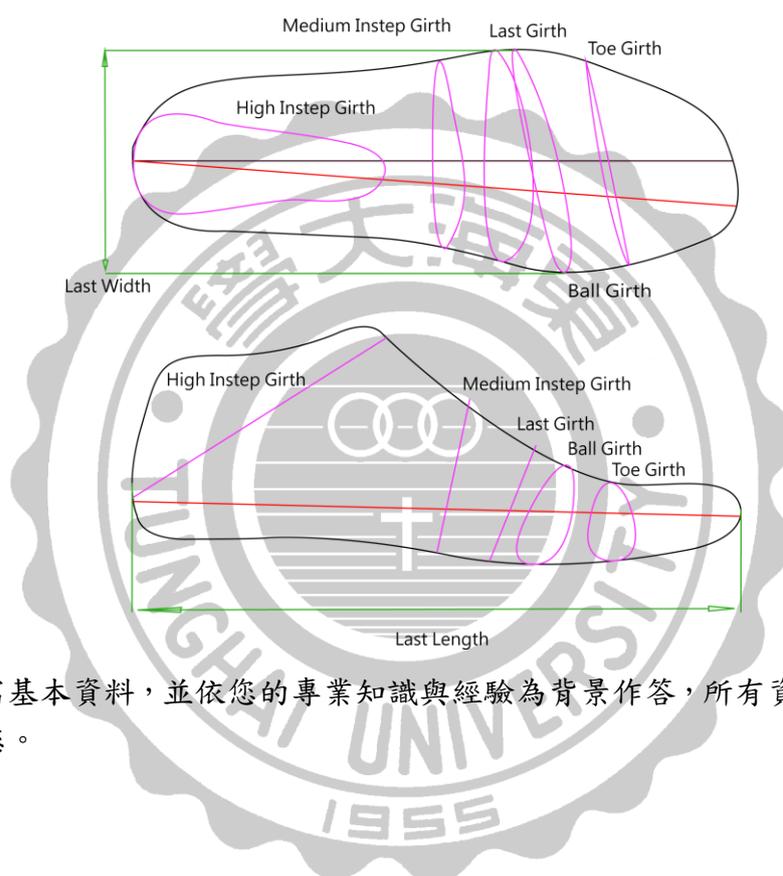


【附錄】

問卷設計

敬愛的受訪者 您好：

本問卷之目的，主要為糖尿病患者的腳型來設計鞋楦，因糖尿病患在穿鞋時的身理需求方面比正常人多，因此透過研究整理出五項設計屬性，分別是趾圍、掌圍、腰圍、背圍與高背圍，如下圖所示。透過您回答下列問題並給評分，所得到的評分結果將以層級分析法(AHP)來進行分析，藉此得到各個圍度間的強弱關係權重。



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，感謝您。

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：

您認為哪一項在設計學楦上，特徵圍度對於糖尿病患的腳型是較重要的，請在下框中區域，並依照您個人對於鞋類設計、製作的專業知識以及了解為背景作答，在表格上給予強烈程度的評分，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"/>	腰圍								
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"/>	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"/>	高背圍								
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"/>	趾圍								
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
腰圍	<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	
腰圍	<input type="checkbox"/>	高背圍								
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
腰圍	<input type="checkbox"/>	趾圍								

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

