

Three Dimensional Surface Measurement and Analysis of Human Body

Yi-Xue Yang and Pi-Hui Chang

Department of Industrial Engineering
National Tsing Hua University
Hsinchu, Taiwan

Abstract

For contact, safe and comfortable products, three dimensional anthropometric database is necessary for product designers. In the past, the usual methods of surface measurements, e.g., photogrammetry, Moire, cannot get 3D surface coordinates plentifully and quickly. This research use the 2.5D photo-electric scanning system to get ten thousands of 3D surface data in few minutes. It is composed of LCD projectors to project patterns on objects and CCD cameras to catch the distortion of patterns on the objects. For different parts of human body, we can adjust the CCD cameras and LCD projectors' layout to catch the whole 3D data on bodies. We can also construct the complete 3D surface data by proper software techniques. Choosing specific points on surface to construct the reference axis and origin, dividing samples into clusters by proper parameters, and comparing shape difference by suitable cutting planes, we would find out typical surface models in difference clusters. This anthropometric method could widely apply to head, foot, and female breast measurements. The surface database will be helpful for respiratory equipment, helmet, oblique, and bust design.

keywords: Anthropometry, 3D surface measurement

三度空間人體曲面量測與分析

楊宜學 張碧慧

國立清華大學工業工程研究所

摘要

為生產更密合、安全與舒適的產品，三度空間的人體曲面量測資料庫已是不可避免的設計要求。在以往常使用的三度空間曲面量測方法，如光鏡法、流紋法都無法迅速且大量地取得曲面座標資料。本研究採用的2.5D光電系統，是以LCD投影器投射出圖案，並以CCD照相機取像分析，能在數秒內取得數萬點的三度空間曲面座標。考量不同的人體量測部位，配合以適當的儀器整合配置與資料處理技術，將可以完整地建構出三度空間立體曲面。選擇曲面上的特定點建構曲面分析的參考中心與座標軸，以通切的參數將量測曲面結果分組，並選擇通切的剖面比較形狀上的差異，我們將有系統地找出不同組中的標準立體曲面。如頭型、腳型、女性胸型的曲面量測，都可以藉由此法來快速獲得曲面尺寸，以方便應用於呼吸防護具、頭盔、鞋楦、與女性內衣的設計上。

關鍵詞：人體計測；三度空間曲面量測

壹、前言

聯合國國際勞工組織指出，有相當多的勞工所處的環境充滿有毒化學物質。而依據國內勞保給付資料，86% 的勞保給付案件是由塵肺症職業病所引起，此顯示了被列為最後一道防線的呼吸防護具之重要性。然因國內呼吸防護具多屬進口，臉型的不合導致密合度不佳影響保護效果，且造成穿戴不適，降低使用意願。因此，如何量測人體 3D 立體曲面以解決相關產品如護目鏡、安全帽、胸罩、工作手套、鞋子等在使用上的相同問題，並進而建立標準人體 3D 立體曲面模型，以方便產品設計與製造，將十分重要。

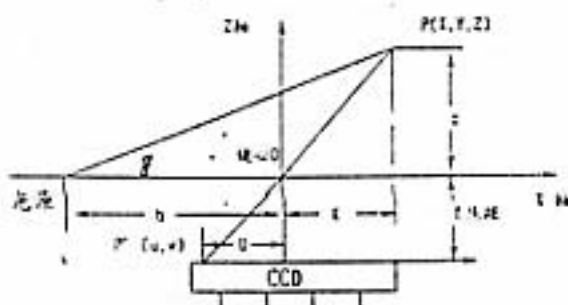
而隨著精密科技的發展，人體 3D 立體量測技術由早期接觸式的皮尺、軟鉛線、標距陣法與水平法，演進到近期的立體照相法、圖案投影法、幾何光學法、液紋法及聲納法等非接觸式量測，其等雖在量測精度上有相當的提升，但仍有些結果分析不易、量測時間過長、投射光有害人體等缺點。

因此本研究將採用工研院光電所以圖案投影與立體攝影結合、基於三角測距原理的幾何光學法所研發出的 2.5D 光電式量測系統來進行量測，並在經過取像、分析後得出 3D 曲面座標。另再經由後續整合、等高線處理與參數比較而加工製作成標準模型以方便產品設計與製造。

貳、量測儀器與量測原理

2.5D 光電式量測系統為一光學式非接觸性量測裝置，包含取像、資料分析兩子系統。取像子系統由液晶投影器(LCD)及電子照相機(CCD)所組成，LCD可投射14種不同的規則條紋至受測物上，CCD則攝入受測物表面的條紋，再經由影像卡傳輸資料給資料分析子系統，進行資料分析、產生物體 3D 座標並顯示出點資料影像。

2.5D系統之量測原理乃根據三角測距法，現以LCD投影器與CCD照相機之投光取像系統關係圖說明如下：



圖一：2.5D光電式量測系統之三角測距法

圖一中，LCD 投光到計測點 P，並反射而成像於 CCD 之 (u, v) 上，f 為 CCD 的焦距，b 為光源中心與 CCD 中心之距離，q 為待測點與光源中心連線和 X 軸間所形成的夾角，依三角形相似原理，於 XY 平面上可

得： $\frac{x}{z} = \frac{u}{f}$ ， $x = \frac{bu}{f \cos q - u}$ ，於 YZ 平面上可得

$-\frac{y}{z} = \frac{v}{f}$ ， $y = \frac{bv}{f \cos q - u}$ ，因而 $z = \frac{bf}{f \cos q - u}$ ，若

經由校正板配合 CCD 與 LCD 校正可得 f, b, q, u, v 之值，則可計算出 CCD 取像範圍中的 X, Y, Z 座標。為求一次取得一個面的 3D 座標，LCD 投射出的 14 個 pattern 將給定格雷碼 (Gray Code) 來辨識 LCD 投射條紋的位置，以了解那一個條紋是由那一個角度投射出。

參、立體曲面量測

以光學投光式的量測方法，並無法量測到未投光部份的完整立體面，而對於精緻變化的曲面時 (如臉型)，就必須整合多台的量測裝置，已取得完整的量測面。以頭型量測為例，單獨以一台的 LCD 投光器配合 CCD 照相機取像，大約只能取得半邊臉部的立體資料。若在仔細分析臉部結構，由於光學投影受到臉部形狀的遮擋，在鼻下或另一邊的鼻，其都將無法接受到條紋的投射，因而至少需配合 8 台 LCD 與 8 台的 CCD，上方與下方各 4 台 LCD 與 4 台 CCD，由向下與向上傾斜 30 度的立體結構設置來投光與取像，方可得到擬似的立體曲面結果。但若考慮頭部的對稱性，後腦的變化單純部位，我們將可以進行單邊接觸的量測，再以鏡射的方式來建構虛擬的另外一邊，如此一來，頭部量測儀器的設置可縮減至 4 台 CCD 與 6 台 LCD，目前以完成設置如圖二所示。

但對於不同的人體曲面量測部位時，如胸部、足部等較簡單的輪廓面，將可以單純的水平投光配置，以 4 台 LCD 與 4 台 CCD 配置，來完成我們的需求。



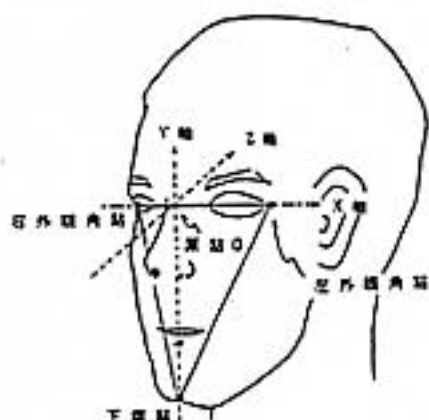
圖二：目前設置完成之頭型量測儀器結構

肆、曲面資料處理與整合

量測所得的資料僅為投影表面的標點資料，必須經由處理與整合方可使用於將來的曲面比較與應用。在資料處理上，為配合將來的分析用，應設定每個被测物上的標準原點與參考座標軸，並將所有量測面依此軸向歸零與旋轉。最後再進行等高線與縱剖面處理，截剪、鏡射與整合等工作，以下將分別闡述之。

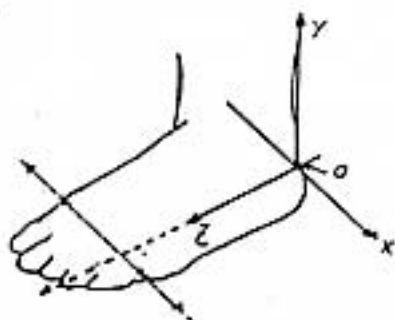
a、座標軸歸零與旋轉

在頭型資料的處理上，我們將定義呼吸防護具所使用的臉部為最重要的參考面。因此，我們將如圖三所示，定義兩外眼角連線為X軸，連線中點為原點，而原點與下合角的連線為Y軸，而經由原點同時垂直X軸與Y軸的軸向即為Z軸，此三軸將建構完整的座標參考面，但由於人的臉型未必成為對稱，經過原點而垂直X軸的Y軸有可能無法通過下合點，此時將參考下合點的Y、Z軸座標，的壹移動X值以建構Y軸。



圖三：頭型分析時參考座標之選定

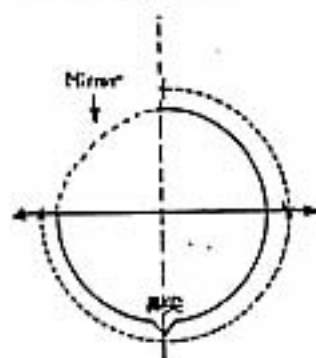
在腳型的分析上，將如圖四所示，以腳跟為原點，調整第一腳趾母球與第五腳趾母球連線平行X軸，以建立腳型分析的座標系。



圖四：腳型分析時參考座標之選定

b、等高線、縱剖面處理、截剪、鏡射與整合

為方便將來資料之應用，原本不規則的量測結果必須經由等高線與縱剖面處理，以重新建構新的資料檔。此時必須考量表面的起伏狀況與量測資料點的密度不均等處理困難面，以適切的排序方法和內插法來建構整個剖面。建構完成的剖面，將截剪去重複的部份再將所有檔案接合，以完成整個立體量測面。此時若有需要處理鏡射問題，需選定鏡射對稱面與鏡射範圍。以頭型處理為例，如圖五所示，鏡射當以YZ平面為對稱面，並以兩耳球連線為切開的剖面，鏡射後腦部部位。



圖五：頭型後腦部位鏡射之示意圖

伍、標準立體曲面的分析與製作

整合完成的结果只是個人的實體三度空間座標，在應用上，僅代表個人的尺寸。為了方便產品設計時的標準應用，將配合隨機分層抽樣，量測適當人數的樣本，以建立國人立體曲面資料庫。積而藉由比較曲面間的差異以建構標準立體曲面，提供標準尺寸供產品設計者使用。

個人立體曲面上的差異，可以由尺寸大小上的差異與立體形狀上的差異來共同表示。本研究的作法是先選定適切指標參數進行尺寸分析，再以差異加權的方式計算曲面形狀差異。

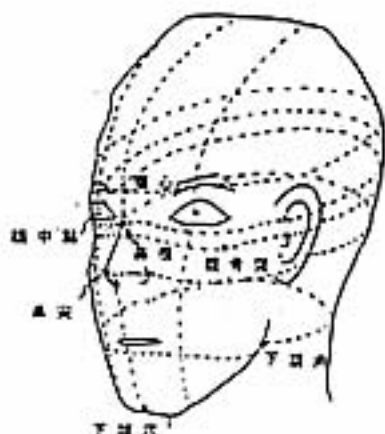
		TOTAL												
		100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160
長	100													
	105													
	110													
	115													
	120													
	125													
	130													
	135													
	140													
	145													
150														
155														
160														
		100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160

圖六：臉長、臉寬分群雙變數表

在尺寸分析的指標參數選擇上，以頭型為例，我們可依美國 NIOSH(1974)測試全面罩式呼吸防護具參數，以臉長、與臉寬 k ，做出雙變數表(如圖所示)，選取適當尺寸範圍分群。而腳型分析上可依 Yavatican(1993)將足部以腳長及腳寬分群。在

一群中的樣本將有著相近的尺寸大小，但卻可能有著相當的形狀差異。

在立體形狀差異的比較上，常使用的比較方法有兩大類：一為直接比較法(Direct Method)，二為有限單元法(Finite Element Method)，如 Coblenz(1991), Ratnaparthi(1992)，與 Yatapanaq(1992)是以此法分析。至於採取何種立體形狀比較方式，將依被測物的應用面來考量。

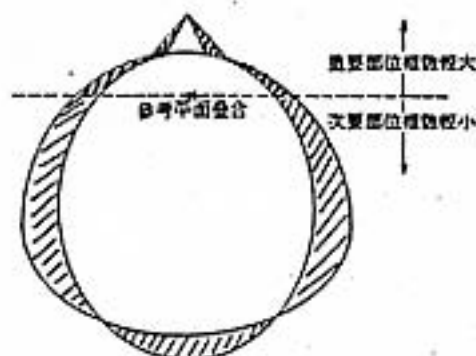


圖七：頭型立體形狀比較選取的比較剖面

在標準立體頭型的研究中，我們將使用差距加權的方式來計算曲面差異，選取如圖七所示的臉部重要六條水平封線與三條縱剖面來比較，而為何使用加權差距比較，是因為在頭型的相關器具設計上，顏面的設計參考成分重於後腦殼部份，因而以加權方式加強臉部差異權重。如圖八所示我們將以建構的 XY 平面將封面分為臉部與後腦殼兩個部份，在水平剖面上的比較，在封面以前的面積差異部位（粗斜線）將較後腦殼差異部位（細斜線）給予較高的權重，同理，縱軸亦然。

將九個剖面間的加權差異加總，可以得到兩個體間的差異總值，此時若將某人，與該群中其餘樣本人間的差異加總，即代表某人相對於該群的整體差異。因此，我們可以選取某群中具有最小整體差異值的人為該群的立體頭型標準人，在設計上即應以其為參考指標。整個理論，計算程式如下所示：

1. 剖面差異 = $k_1 \times$ 臉部剖面差 + $k_2 \times$ 後腦殼剖面差 ($k_1 > k_2$)
2. 樣本人間的差異 = 加總水平剖面差異 + 加總縱剖面差異 (樣本人 = n)
3. 樣本人相對於該群之整體差異 = 加總個人間差異 ($i = 1 \sim n-1$)
4. 該群之標準人 = $\text{Min} |$ 個人與該族群之整體差異 $| i = 1 \sim n$



圖八：曲面差異比較之差距加權示意圖

陸、應用介面軟體：

取得的量測資料必須配合以適切的面形介面軟體，以提供直接於畫面上的編輯與分析；該軟體需具備以下功能：

- a. 立體展示量測結果，可供任意角度的視角觀視
- b. 螢幕上以滑鼠取點、取線，並可立即儲存以供轉換與計算分析用
- c. 螢幕上的立即修改、複製、貼料、平滑化與旋轉等功能

柒、結論與展望：

立體曲面的量測與立體標準模型尺寸的建立，是產品設計的一個趨勢。本研究僅提供一方便的人體立體曲面計測方法，與分析模式，頭型、腳型、胸型等立體面都可以此方式為雛型，層層發展、建構。而標準立體曲面的建立將可以提供我們一個更舒適、安全的生活，請讓我們拭目以待。

*臉長：為鼻眼點至下顎點的垂直長度，臉寬：為兩眼骨突出之水平間距

**腳長：大腳趾尖至足跟間距，腳寬：大腳趾至第五腳趾的母趾間距

捌、參考書目

1. 工研院工安衛中心，「呼吸防護具市場調查報告」，1994.06。
2. 行政院主計處，「人力資源調查統計年報」，民國81年。
3. 行政院勞委會勞工安全衛生研究所，「中華民國八十年台灣地區勞工工作環境安全衛生狀況調查報告」，1993。

4. Bunn, D.I.G. and Turnen, T. (1967). "The Measurement of Skull Shape and Size", *Journal of Anatomy*, P.82-87.
5. Cobb, J (1971). "A Projected Grid Method for Recording the Shape of the Human Face", RAE Technical Reprt 71184.
6. Coblenz, A., Mollard, R. and Ignazi, G.(1991). "Three-dimensional Face Shape Analysis of French Adults, and its Application to the Design of Protective Equipment", *Ergonomic*, 34(4), P.497-517.
7. Kawano, Y. (1987). "Three dimensional Analysis of the Face in Respect of Zygomatic Fractures and Evaluation of the Surgery with the Aid of Motic Topography", *J.Crano-Max.-Fac.Surg.* 15, P.68-74.
8. Keefe, M., Riley, D.R., Worms, F.W., Speidel, T.M. (1982). "Automated System for Stereometric Analysis of the Human Face", *Biostereometrics*, P.15-21.
9. Loopyrid, G. and Blaustein, M. (1985). "A New Equipment for Photogrammetric Acquisition of Facial Data", *SPIE Vol.602 Biostereometrics*.
11. Lovesey, E.J. (1966). "A Method for Determining Facial Contours by Shadow Projection." Royal Aircraft Establishment Technical Report TR661.
12. Moss, J.P., Limney, A.D., Grindrod, S.R. and Mc C.A. (1989). "A Laser Scanning System for the Measurement of Facial Surface Morphology", *Opt and Laser in Engineering*, 10, P.179-190.
13. Ratnaparkhi, M.V., Ratnaparkhi, M.M. and Robinette, K.M., (1992). "Size and Shape Analysis Techniques for Design", *Applied Ergonomics*, 23(3), P181-185
14. Yatapanage, K.G. and Post, K. (1992). "Measurement of 3-D Facial Contours for the Design of Half-Face Respiration", *AM.IND.HYG.ASSOC* 53(1), P.19-26.
15. Yavatkar A.(1993). "An Ergonomic Approach to Shoe Last Design" *Interface '93*