

多向度認知空間之分析及視覺化模式之研究

林正偉* 陳玲鈴*

* 國立台灣科技大學工程技術研究所設計學程

(收件日期:86年5月12日;接受日期:87年1月26日)

摘要

產品設計上常以多向度評量法(Multidimensional Scaling;或 MDS)建構之認知空間進行設計分析。而多維度的資料空間架構在三個維度以上時,於視覺化及設計分析上有其困難性。本研究藉由探討平行座標系統的理論基礎,與 MDS 架構之認知空間的顯示特性,發展以平行座標系統建構 MDS 多向度認知空間的視覺化模式,並將自動化系統於全球資訊網(World-Wide-Web 或 WWW)環境中實現。其中針對平行座標系統中視覺化的主要盲點—平行軸的排序問題—提出解決建議,就軸間關係藉由認知空間中各屬性間或屬性與向度間之夾角予以表達,輔以將屬性群集的方式,運用圖形理論(Graph Theory)和離散最佳化(Discrete Optimization)的計算方法提出較佳解建議,作為自動化系統之預設模式。

本研究之目的在提出自動化整合多維認知空間之分析及視覺化的模式,發展之系統將作為 MDS 自動化系統之一環,以建構具良好直覺性的互動式整合環境,輔助設計師進行設計分析及決策應用。

關鍵詞:多向度評量法、認知空間、多維度空間視覺化、平行座標系統、全球資訊網

一、前言

「產品認知空間」是在產品設計上常用來了解目前消費市場中,消費大眾對不同產品的認知情形,或發掘潛在市場空間,及進行產品定位或產品改良常用的設計分析工具(莊明振 1988;林榮泰 1993;翁註重 1994;Moore 1993;Green 1989)。而產品認知空間的建立可以應用多向度評量法(Multidimensional Scaling 簡稱 MDS)(莊明振 1988; Schiffman 1981; Kruskal 1978; Young 1987)進行相似性或偏好性分析,以建構產品的多向度認知空間。但多向度的認知空間架構在三個維度以上時,於視覺化及設計分析與決策探討上有其困難性和累贅性。

故本研究將先探討目前多維度空間資料視覺化的幾種模式,並比較其在實際應用上的優點及缺點,再深入討論在計算幾何(Computational Geometry)上多維度資料視覺化的平行座標系統(Parallel Coordinates) (Inselberg 1985)架構,探討此系統的相關特性及相關顯示方式的應用。再者,分析 MDS 顯示空間之特性,探討運用平行座標系統架構的特點,建構 MDS 之多維度認知空間的可能視覺化模式,特別是在協助資料認知與解釋(Interpretation)上的應用。其

中就以平行座標為基礎架構，將 MDS 建構之多維度空間資料視覺化的實現過程中的主要問題—平行軸之排列問題—加以深入分析。

由於平行座標圖上座標軸是以線性方式展開，在平面圖上的每一個維度軸，僅能顯示出資料分布在該軸與至多相鄰兩軸間是否有某些特定的關聯，因此不同的維度軸排列順序，能傳遞給使用者的訊息量即訊息特性亦會不同。因此座標軸間排列的次序關係，將以認知空間中各屬性間或屬性與向度間的夾角作考慮，使多向度空間中相近之屬性或向度在平行座標系統中亦能相鄰，以協助向度意義的認知和詮釋。本研究將探討並發展最佳化軸序排列方式的運算模式，以供實際顯示模式時之應用。本研究之整體架構如圖 1 所示。

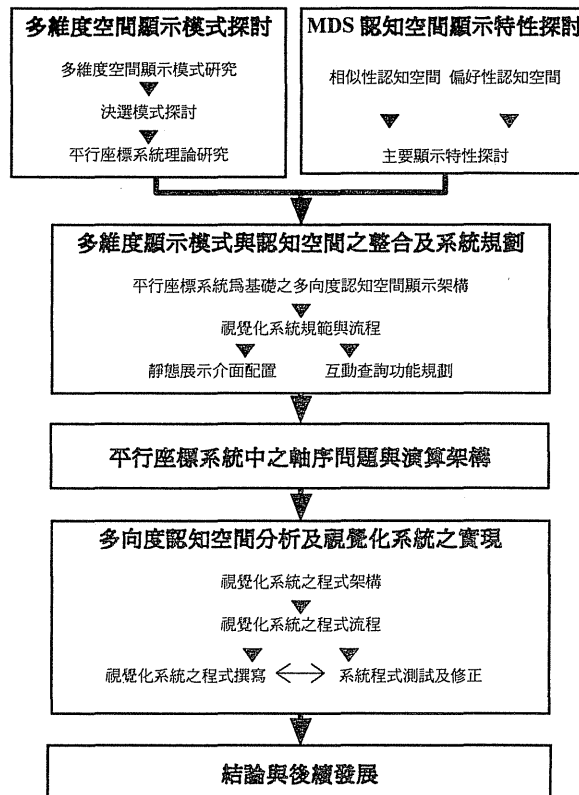


圖1 研究架構

二、多維度空間顯示模式探討

2-1 多維度空間顯示模式之探討

將三維以上空間資料視覺化之方式，主要有三種解決方式。一為採用一連串 2D 投影圖的顯示方式；二為採用星狀圖(Star Diagram)的顯示方式；三為平行座標系統(Parallel Coordinates)的顯示模式。其中 2D 平面垂直座標系統為多數人所熟悉，因此對資料點在其間的分佈狀況和特性具有高度的直覺性，是這種展開一系列 2D 平面投影圖的優點。然此種顯示模式有下列缺點：

(一)當資料空間中維度軸的數目 n 不斷增加時，2D 投影圖的數目以近 $n^2/2$ 的倍數成長，對使

用者的認知與訊息的傳遞和瞭解都造成較大的負擔，降低了將資料分佈狀況視覺化的利益。

(二)空間中兩相距甚遠的點，可能投影至平面上相距很近之兩點，使得 2D 平面投影圖不一定能夠正確表示資料在真正空間中的配置特性，並可能造成誤導。

星狀圖的顯示方式是將 n 維度空間中的各個維度軸都拉至二度空間平面上，捨棄原來在垂直座標系統中各維度軸相互垂直的關係，而令這些維度軸在同一個平面上展開。展開的方式是令這些維度軸在平面上由同一定點向外呈星狀擴散出去，如圖 2 所示，即由這些維度軸以該點為圓心將此圓等分。故將 n 維空間中的資料點的 n 個維度軸在平面上展開後，會以兩兩軸間彼此的夾角為 $360/n$ 度散佈開來。

原來在 n 維垂直座標空間中代表一項資料的一個點，在星狀平面圖上轉化為一條圍成多邊形的封閉折線來表示該筆資料。然而，此線段所圍成之多邊形的大小和形狀，可提供某些特定的資訊，協助人眼在認知資料分布狀況時，對整體資料分布狀況的某些性質更具直覺性。此種視覺化的方式，運用一張 2D 平面圖來顯示高維度中資料配置的狀況，大幅簡化了多向度空間視覺化的問題。但亦存在以下缺點：

- (一)星狀圖上的所有維度軸，皆由一定點向外分散擴張，對維度軸而言僅具有單向延伸的能力，但空間中的資料點分布卻有向正負兩方向雙向延伸的可能性，因此該顯示模式只適合於顯示某些特例。
- (二)圖上所有的維度軸間的夾角和受限於 360 度中，因此當維度軸數目愈大，所有兩軸間的夾角就愈來愈小，資料分布狀況的清晰性和易讀性相形漸差，影響視覺化的效果。
- (三)針對資料分布狀況的顯示而言，由於星狀圖上的所有維度軸是以某一順序排列展開，在星狀圖上的每一個維度軸，僅能顯示出其與相鄰兩軸間是否有某些特定的關聯，因此不同的維度軸排列順序，能傳遞給使用者的訊息量即訊息特性可能不同，如何選擇最適當的排列方式以符合使用者需求，是此視覺化方式的另一問題。

平行座標系統的顯示方式亦是將 n 維度空間中的各維度軸，都拉至二度空間平面上，捨棄原來垂直座標系統中各維度軸相互垂直的關係，而將這些維度軸在同一個平面上以相互平行的方式呈某一順序展開。較之前述的星狀圖顯示方式，猶如將星狀圖的中心定點移至無限遠處，令所有的維度軸平行排列在 2D 平面上。故原先在 n 維垂直座標空間中代表一項資料的點 $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ 轉化為在平行座標平面上的一條轉折線段 $X_1X_2X_3 \dots X_n$ ，如圖 3 中顯示出在 n 維空間中的資料點在平行座標系統中的展開情形。

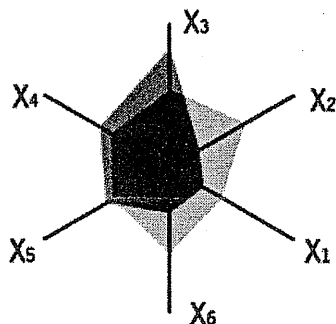


圖2 星狀圖的顯示模式

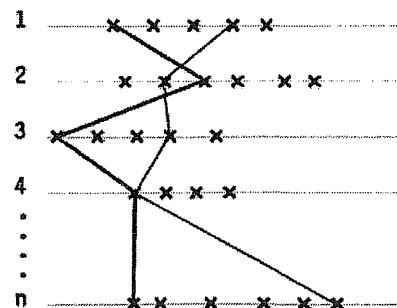


圖3 平行座標系統的顯示模式

此種視覺化模式，同樣是運用一張 2D 平面圖來顯示高維度中資料配置的狀況，將多向度

空間視覺化的問題大幅簡化。由於維度軸平行排列且具備朝正負兩方向雙向延伸的條件，此模式提供了顯示資料群集、離散或線性分布狀況的能力及方便性〔Inselberg1994〕。

然而，此種平行座標系統的顯示模式亦存在著與星狀圖中的第三項問題類似之向度軸排序問題。因之，綜合前述各項視覺化模式的特性探討與問題分析可知，星狀圖與平行座標系統都具有將多向度空間視覺化的顯示方式大幅簡化的優點，同時降低使用者識認上的負擔，且較不會對使用者造成可能的誤導。而其中平行座標系統又兼具有星狀圖的多數優點，且沒有星狀圖之軸間角度與維度軸單向延伸的諸多限制問題。故本研究對多向度空間視覺化的顯示模式，以平行座標系統的架構為基礎，並尋找可能的輔助模式加以配合運用。

2-2 平行座標系統理論與特性探討

平行座標系統理論主要是由 Inselberg 於 1985 年提出平行座標系統的架構基礎，而 Wegman 對平行座標系統的部分重要特性再加以研究，往後並陸續出現平行座標系統在不同領域上輔助進行資料簡化(Data Streaming)、資料探採(Data Mining)及決策運用〔Lee 1996〕。以下就平行座標系統之重要特性加以探討。

2-2.1 平行座標系統與垂直座標系統之對偶特性(Duality)

在顯示資料於軸間分布的情況上，平行座標系統與垂直座標系統之間具有多重的對偶特性〔Inselberg1985;Wegman1990〕。透過對這些特性的了解，可協助使用者在解讀資料分布狀況時，借助對垂直座標系統既有的熟悉概念，亦能對平行座標系統具相當程度之直覺性。下列是兩座標系統間重要的兩項對偶特性：

(1)線一點之間的對偶特性

將垂直座標系統上共線的各點繪製(Mapping)至平行座標系統上時，顯示各資料值的各個線段或其延長線會相交於同一共點 \bar{L} 上；將平行座標系統上共點的各個座標值對應至垂直座標系統上時，這些資料點會共線，如圖 4 所示。此特性可以協助人眼直覺地判斷和反應在平行座標平面上，兩軸間資料分布的共線情況。

(2)旋轉(Rotations)－位移(Translations)之間的對偶特性

如圖 5 所示，將垂直座標系統上一直線 L 以點 O 為中心旋轉時，繪製到平行座標系統上，則直線 L 之對應點 \bar{L} ，會沿著代表資料點 O 的線段 \bar{O} 或其延伸線上位移。

然而，若詳細探討在垂直座標系統上直線 L 旋轉方向，與相對應的平行座標系統上之對應點 \bar{L} 的位移方向之關聯時，發現當 L 由斜率 $m = 1$ 的方向沿順時針旋轉時，平行座標平面上之對應點 \bar{L} 將由無限遠處逐漸靠近；當直線 L 旋轉至 II、IV 象限時(即斜率 m 為負值時)，對應點 \bar{L} 將位移至平行的兩軸間；當直線 L 復旋轉至 I、III 象限內，而逐漸再次接近斜率 $m = 1$ 的方向時，對應點 \bar{L} 將位移至兩軸外的另一側，並逐漸位移至無限遠處；依此方式循環。如圖 6 所示，因此直線在垂直座標平面上旋轉時斜率 $m = 1$ 的方向，對於相對應的平行座標平面上的位移點有重要意義。反之，在平行座標系統上一資料 A 以點 L 為中心旋轉時，繪製到垂直座標系統上，則資料點 A 會沿著直線 L 位移，如圖 7 所示。

2-3 MDS 認知空間顯示特性探討

多向度評量法的輸入通常可分為兩類：受測者對不同刺激物(Stimuli)間的相似性(Similarity)所作的評估，以及受測者針對一組屬性(Attributes)對不同刺激的偏好程度(Preference)所作的評估。多向度評量法的輸出為不同刺激在認知空間(Perceptual Space)或稱刺激物空間(Stimulus Space)中之位置。

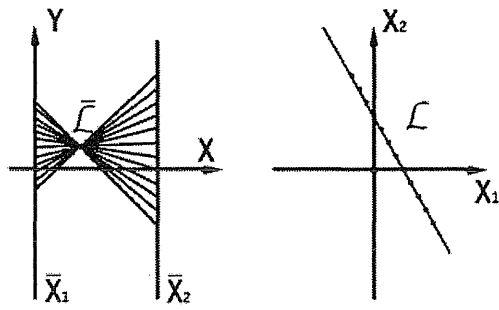


圖 4 “線一點；點—線”的對偶特性

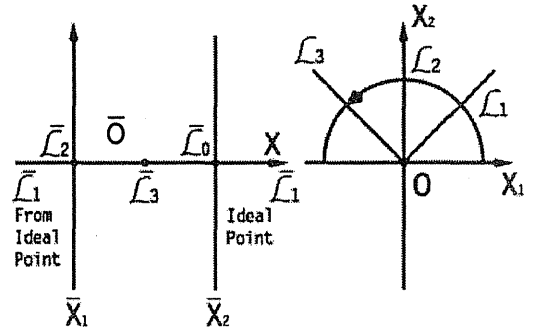


圖5 旋轉→位移的對偶特性

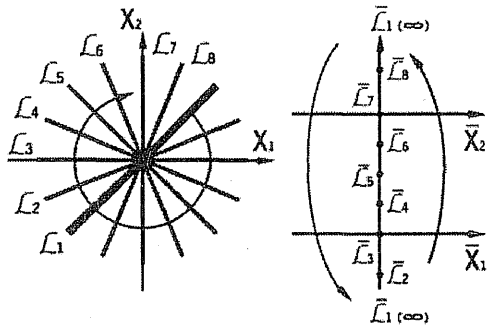


圖6 旋轉→位移的相關移動位置關係

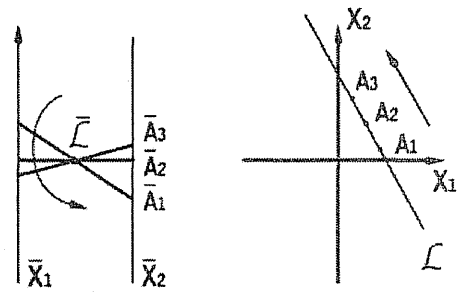


圖7 位移→的旋轉的對偶特性

相似性認知空間的顯示模式中，主要能傳達刺激物在認知空間中的分布，刺激物在空間中的群化現象，以及進行向度意義的詮釋〔翁註重 1994〕。如圖 8-9 所示，為吉祥物造形認知研究〔柯凱仁 1996〕中，90 位受測者對 18 個吉祥物為刺激物的相似性資料，經 MDS 演算後所架構的 2 維認知空間圖。其中圖 8 為相似性資料經 MDS 之 INDSICAL 軟體所標示出之刺激物(吉祥物)相似性認知空間分布圖〔Kruskal 1990; Carroll 1990〕；再者，圖 9 為研究者將代表刺激物的圖形依其相對位置標繪至認知空間圖上的情形。

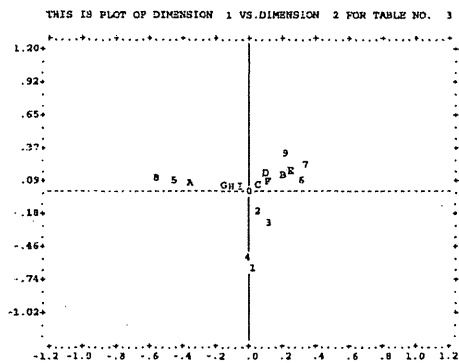


圖 8 INDSICAL 軟體輸出之相似性空間圖〔柯凱仁 1996〕

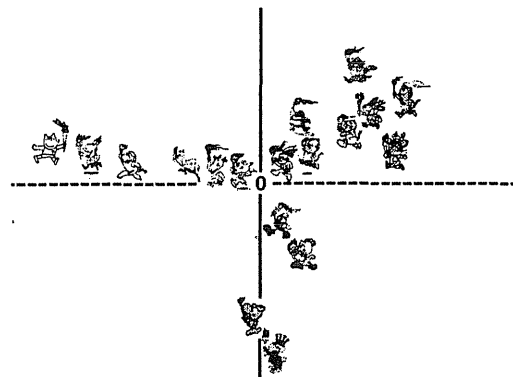


圖 9 研究者將刺激物圖像投影至認知空間〔柯凱仁 1996〕

在偏好性判斷的分析模式中，因資料處理的不同而分為兩類：一、只分析偏好性判斷的模式，二、同時分析相似性與偏好性資料的模式〔翁註重 1994〕。因此，在偏好認知空間的顯示模式中，除了能傳達前述相似性認知空間中，刺激物在認知空間中的分布，刺激物在空間中的群化現象，以及進行向度意義的詮釋外，受測者評估不同刺激偏好程度的各個屬性，其分別在偏好性認知空間上的投影向量位置，或是認知空間中代表個別受測者或族群偏好的理想點(Ideal Point)的分布位置，透過不同的偏好性分析運算，都可以在偏好性空間中加以顯示。如以下圖 10 及圖 11 所示，為吉祥物造形認知研究〔柯凱仁 1996〕中，90 位受測者以 18 個吉祥物為刺激物，針對 14 項屬性為評估意見的偏好性資料，經 MDPRF 軟體〔Chang 1990〕演算後所架構的 2 維偏好性認知空間圖。

其中圖 10 為偏好性資料經 MDPRF 軟體所標示出之 18 個刺激物(吉祥物)以及 14 個屬性在偏好性認知空間上的分布圖；而圖 11 為研究者將代表刺激物的圖形依其相對位置標繪至認知空間圖上，並經由分析判斷屬性中較具獨立特性者，以及藉由 Population Matrix〔Chang 1990〕中屬性與向度的接近程度來協助詮釋向度的意義後，所得之偏好性認知空間圖的示意結果。

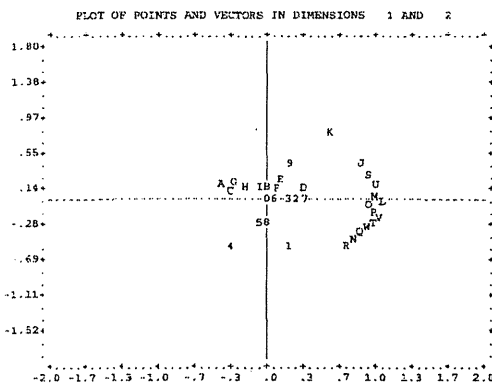


圖10 MDPRF軟體輸出之偏好性空間圖〔柯凱仁1996〕

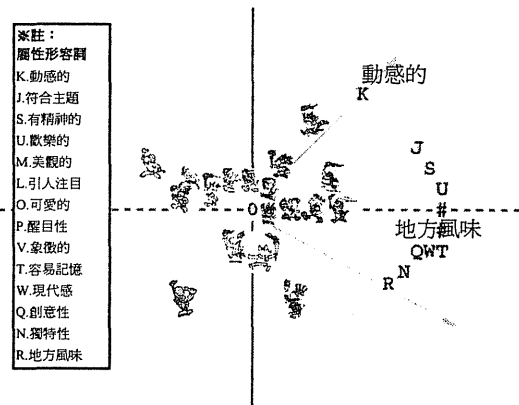


圖11 研究者分析屬性特性後標示之偏好性認知空間圖〔柯凱仁1996〕

2-3.3 主要顯示特性之探討

綜合前述對相似性及偏好性認知空間顯示模式之分析，就現有之 MDS 運算的 KYST、INDSCAL、PROFIT、MDPRF、PREFMAP 等軟體而言，顯示模式中輸出之基本圖示資料為：

- (一)向度軸的標示。
- (二)標示座標圖中各刺激物分布位置。
- (三)標示座標圖中各屬性向量之分布位置。
- (四)標示座標圖中某一族群之各受測者分布位置。
- (五)標示座標圖中某一族群之理想點分布位置。

以上五項資料為顯示模式中之基本分布特性，在本研究所提出之顯示模式中必須清楚提供。

再者，由前述分析在研究者進行認知空間之分析的過程中，有多項後續進行步驟，其中下列幾項特性的顯示是不需要進行其他運算，而可以在自動化工具中直接予以視覺化表達者(延續前述編號五)：

- (六)將代表刺激物圖像依其相對位置直接圖示於座標空間中。
- (七)將屬性名稱依其相對向量分布位置直接標示於座標空間中。
- (八)將所有向度軸上之刺激物圖像的正向投影分布圖示表達。
- (九)將刺激物在各屬性上的正向投影分布位置圖示表達。
- (十)將代表某一族群的理想點位置直接標示於具刺激物圖像之認知空間中。

以上五項特性的圖示，將使認知空間視覺化的模式提供更直覺而方便的圖形化資訊，並透過自動化的顯示模式輔助研究者進行認知空間之分析，若在顯示模式中加以提供，將使認知空間的視覺化模式具加值性。本研究以下先探討多維度空間與認知空間整合，再循序就以上各項顯示特徵逐步發展。

三、多維度顯示模式與認知空間之整合及系統規劃

3-1 以平行座標系統為基礎之多向度認知空間顯示架構

應用平行座標系統的架構特長，本研究探討發展多向度評量法建構之多維度認知空間的視覺化模式，特別是在資料認知與解釋(Interpretation)上的協助。故以平行座標系統來顯示多維度的認知空間時，本研究將前述 2-3.3 討論之認知空間各項特性的顯示需求，整合入平行座標系統的架構中。

其中前五項之基本分布特性的顯示，第(一)項即為平行座標系統中的平行座標軸。再者，第(二)、(四)、(五)項資料在垂直座標系統上皆為資料點，故轉化為平行座標系統中代表每筆資料之每條折線線段。而第(三)項關於屬性向量資料的顯示，一則由於在偏好性研究中，在屬性向量的兩端可以是兩個具相對意義的描述，因此該向量具兩端延伸的意義；二則對屬性的進一步分析過程中，研究者探討刺激物在各屬性上的正向投影分布情形，即是在資料空間中各筆資料以該方向為軸向，探討所有資料在該軸向上的分布狀況；故屬性向量具兩端延伸及軸向的特質，在本研究中將屬性資料亦以平行的座標軸加以顯示。

在 2-3.3 中第(六)至第(十)項資料特性的圖示，其中第(六)項刺激物圖像的顯示，可以透過自動化的方式將代表各刺激物的圖像顯示於表示該刺激物之折線線段旁，或運用互動查詢的方式避免畫面過於凌亂；而第(七)項屬性名稱可以在各屬性軸上直接標示；第(八)、(九)項刺激物圖像在向度及屬性上的投影，實為各折線在各軸度上之交點，在平行座標架構中已清楚圖示，故顯示模式中亦可運用互動查詢的方式顯示刺激物的圖像；第(十)項理想點位置在平行架構的認知空間顯示模式中以一筆資料折線的方式加以強化表達。

綜合前述，對於以平行座標系統為基礎，導入 MDS 之運算結果後，針對「多向度認知空間之分析及視覺化模式」之建構，本研究提出此架構之三項主要特性並加以描述：

3-1.1 屬性軸(Attributive Axes)與向度軸(Dimensional Axes)之並列

在 MDS 之偏好性分析中，將屬性投回所建構的空間中，是協助向度意義詮釋的重要過程。但是當向度數目在 3 個以上時，在垂直座標空間中進行向度意義詮釋，於顯示與分析上都有相當之困難性。藉由平行座標系統中座標軸的展開方式，本研究提出在顯示模式中將代表屬性向量分布之屬性軸，與 MDS 演算出之向度軸，綜合依序排開於平行座標系統中。由於平行座標圖

中座標軸是以線性方式展開，座標軸間排列的次序關係對於圖形所能傳達的資訊量有很大的影響，故本研究以軸與軸間的相關性作考慮，以使得相關性高之屬性軸與屬性軸、或屬性軸與向度軸間能盡量相鄰，以協助對屬性群化的認知及向度意義的詮釋，如圖 12 所示(圖中 $D_{1,2,3...}$ 表不同之向度軸； $A_{1,2,3...}$ 表不同之屬性軸)。其中針對軸序排列的相關問題，與所應用之數學上的演算法(Algorithm)，本研究將於之後單元深入討論。

3-1.2 向度軸及屬性軸上刺激物圖像(Icon)的顯示

在平行作標系統的顯示架構中，由於代表每個刺激物的每筆資料皆以一條折線顯示，刺激物在每個向度軸或屬性軸上的分布情形，即為折線在這些平行軸上的相交點(Intersections)。為協助使用者更直接了解刺激物在屬性及向度上的分布狀況，並協助向度軸意義的詮釋，本研究提出藉由平行座標系統的此一特性，於這些平行展開的向度軸上，將代表刺激物的小圖像(Icon)，可透過互動方式顯示於代表該刺激物的交點旁，取代過去在垂直座標系統上，使用者須自行尋找資料點在各軸向上投影的方式。

3-1.3 等間距及相關性間距的平行座標軸顯示模式之並用

圖 12 所展示之平行座標軸的排列展開方式，其軸序的排列是將關係近者就近展示，以告知研究者某些軸別間是較有關聯的，但對於彼此間關係究竟多大多小，卻無法明顯地加以顯示。本研究嘗試規劃另一顯示方式，即透過平行的各軸間距離之近遠，來表達軸間相關性之大小，對既有之平行座標顯示模式稍作修改。由於在 2 維的垂直座標認知空間中，投影於座標空間中屬性向量間之夾角，即代表彼此間的相關性，但在高維空間中垂直座標系統對此特性之顯示依舊困難，因此本研究除透過平行座標系統來展示高維的認知空間之資料分布外，並嘗試就圖上平行各軸間間距大小來表達彼此關係之遠近，以表達在高維認知空間中屬性軸間或屬性與向度軸間彼此之關聯性，如圖 13 所示。

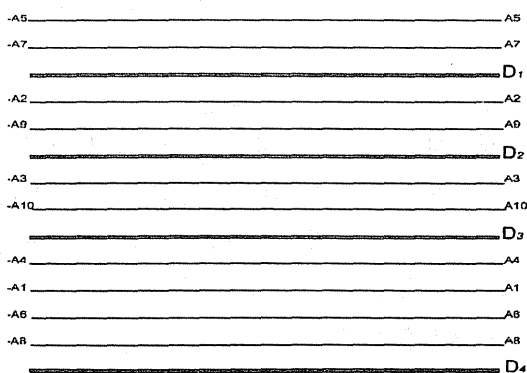


圖 12 屬性與向度軸展開圖

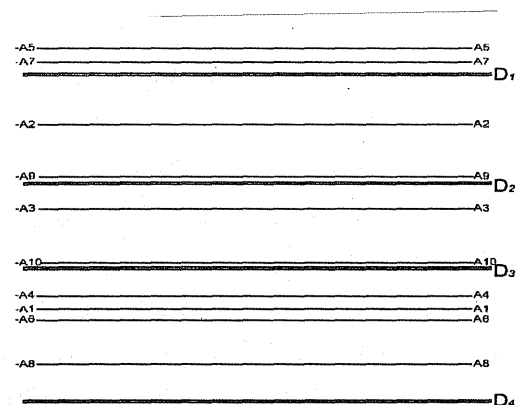


圖 13 表現軸間關係大小之展開方式

3-2 多向度認知空間視覺化系統之規劃

3-2.1 基本架構規範

(1) 平行座標軸(Parallel Axes)

本系統中之平行座標軸共計有以下兩類：

- (一)向度軸(Dimensional Axes) D_i 數個
- (二)屬性軸(Attributive Axes) A_i 數個

其中向度軸 D_i 與屬性軸 A_i 的排列次序經自動化演算後預設呈現，使關係較近之屬性軸與屬性軸、或屬性軸與向度軸能就近顯示。

(2)資料折線(Data Polygon)

本系統中於平行座標圖上代表資料分布之資料折線，共計有以下三類：

- (一)代表刺激物之資料折線(Stimulus Polygons)
- (二)代表某一族群各受測者之資料折線(Subject Polygons)
- (三)代表某一族群理想點之資料折線(Ideal point Polygons)

其中各刺激物折線在屬性上之分布值應採刺激物在屬性上之正向投影值，而非在屬性上之原始資料分布值，由於本視覺化模式是對 MDS 建構之認知空間加以顯示，故刺激物在屬性上之分布應採建立後之空間中的正向投影分布值。

3-2.2 資料圖像顯示規範

本系統中資料圖像之顯示，有以下兩類：

- (一)刺激物圖像之顯示
- (二)刺激物圖像於向度軸或屬性軸上投影分布之顯示

其中刺激物圖像之顯示，在平行座標圖中，每個刺激物以一折線而非一個座標點表示，所以代表該刺激物之圖像在座標圖中並無一固定點的位置表達；故顯示方式可能採取於某一特定位置顯示，或透過研究者互動查詢之方式達成。

再者，刺激物圖像於向度軸或屬性軸上投影分布之顯示，即刺激物折線於這些平行軸上的相交點；故可依據軸上交點之分布，將代表該刺激物之圖像顯示於該交點旁，或透過自動化排序之演算，分別將靠近於各軸上兩端或中心附近之數個刺激物圖像加以顯示。

3-3 系統流程設計

本視覺化系統之建立，主要在將 MDS 運算後之資料值讀入後，經過部份演算再以互動方式展示。系統之主要流程如圖 14 所示。

本系統流程中所描述之各項資料項目，其中可包含相似性分析中 KYST 及 INDSICAL 演算結果的各項數值，與偏好性分析中 PROFIT、MDPREF 及 PREFMAP 演算結果的各項數值。針對不同資料之輸入，而有不同結果之顯示。流程中關於數值資料處理之部份，主要為平行座標軸排序方式之演算，所得之最佳化軸序排列之建議將作為系統展示時之預設值。

再者，認知空間上相關圖像或文字名稱之對應顯示，讓研究者對於空間中所分布之各項資料有更迅速而直覺的認知。顯示空間並透過互動查詢之方式，除了提供對名稱或圖像的資訊外，並提供研究者互動式改變軸序、軸別之各項特性，再依研究者互動查詢後輸入之不同要求，回饋運算後並更新顯示。

3-4 系統介面規劃

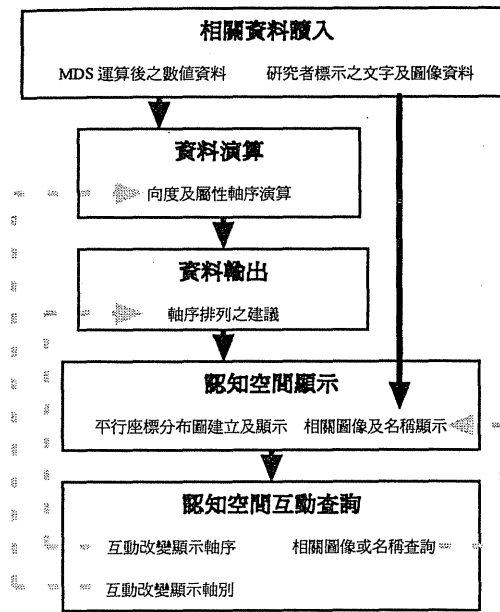


圖 14 系統流程圖

3-4.1 靜態展示介面配置

平行座標展示空間中代表向度及屬性之平行座標軸的配置與標示如下：

- (一)數個向度軸 D_i 以Dim1、Dim2、Dim3...標示，向度軸數目代表所展示之認知空間的維度數目。
- (二)數個屬性軸 A_j 各自透過自動化方式將屬性名稱標示於屬性軸之一端或兩端。

向度軸與屬性軸之排列順序乃是透過演算方式，取得最佳化之軸序排列建議展開，使軸與軸間能將彼此間關係較近者就近排列，以便研究者分析屬性與屬性間、及屬性與向度間之關聯，依據 3-2 之系統規範，將刺激物折線分布位置投於平行座標圖中，如圖 15 所示。而圖 16 所示為表現軸間相關性的顯示模式，將各軸的相關性大小，轉化為平行座標軸間距離的近遠加以視覺化地表達。

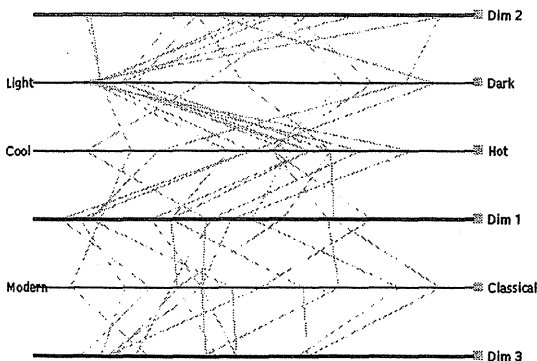


圖15 平行座標展示空間圖

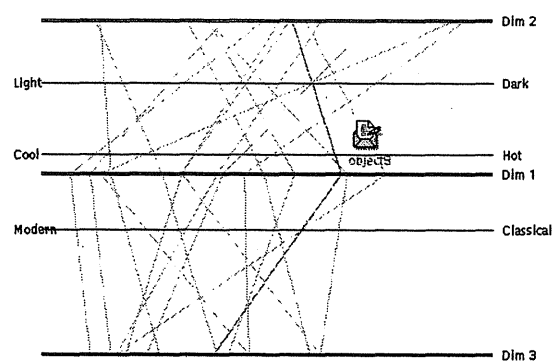


圖16 屬性與向度軸並列之相關性表現顯示模式

而圖中所展示之刺激物分布，除了刺激物在各向度軸上之分布位置外，並展示出各刺激物

在所有屬性上之正向投影分布狀況，這樣的展示方式可以協助研究者對屬性上刺激物分布之特徵有更深入的了解。但是，將刺激物在所有軸度上之分布都顯示出來，所顯示之分布圖相形複雜。故本系統必須再提供僅顯示向度軸之顯示模式，與僅顯示屬性軸之顯示模式，使系統依研究者分析之需求而有不同模式之選擇，如圖 17 及圖 18 所示。

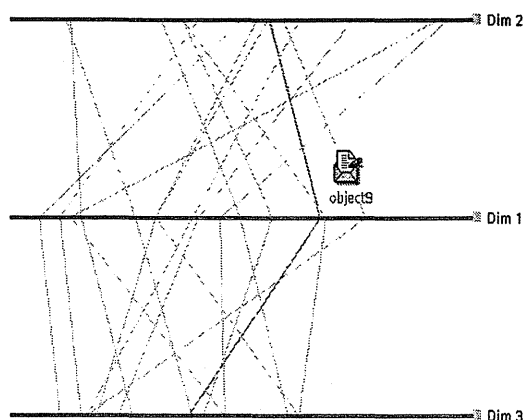


圖17 等距向度軸顯示模式

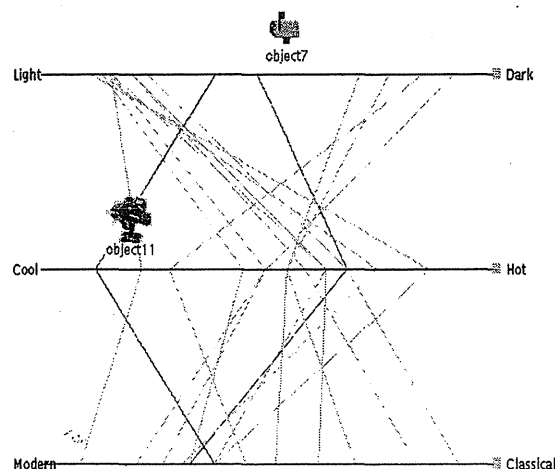


圖 18 等距屬性軸顯示模式

3-4.2 互動查詢功能規劃

展示空間中可供互動查詢之資訊為：資料折線相關資訊之查詢，與平行座標顯示模式之互動改變。其中資料折線可能為各刺激物、某一族群之各受測者、某一族群之理想點；依據 3-2 之討論，與資料折線相關之互動資訊為下列幾項：

- (一)查詢某一資料折線之名稱或代表圖像並加以互動顯示。
- (二)查詢某一資料折線在平行座標空間中之分布狀況並加以強調顯示。

因此在平行座標圖中對於資料圖像或名稱的顯示，可以透過互動查詢之方式，當研究者在座標圖上選擇某一折線時，即自動地將代表該資料之圖像或名稱顯示於使用者選擇處之附近加以顯示說明如圖 16~18 所示。而使用者可同時查詢數筆資料(圖 19 所示)，或重複點選某筆已經加強顯示之資料後，回復為原先狀態(圖 20 所示)。

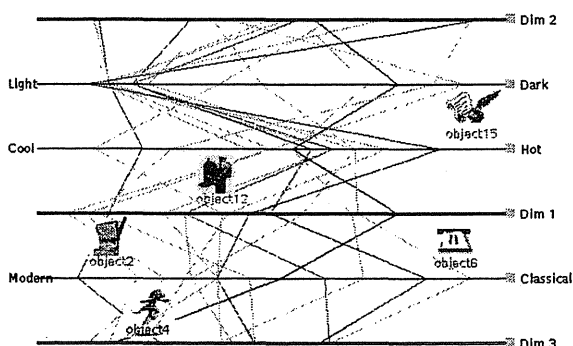


圖19 數筆資料查詢結果

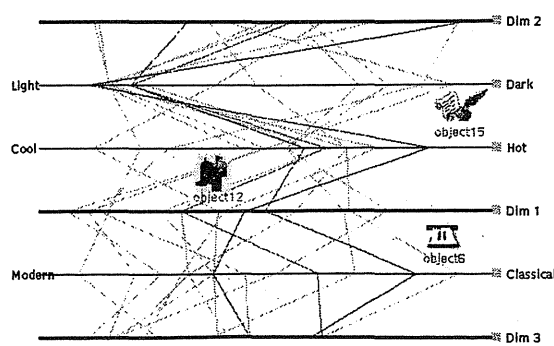


圖 20 重複選取後刪除部分選擇

再者，平行座標顯示模式之互動改變部份，主要在於將代表屬性及向度之各平行軸之軸

序、軸別、與軸間距離作互動的改變。依據前述之討論，與各平行座標軸相關之互動顯示模式為下列幾項：

- (一)互動式改變平行座標軸序並將重新排序結果加以顯示。
- (二)互動式選擇欲顯示之軸別為向度軸模式、屬性軸模式、或向度軸與屬性軸並列模式。
- (三)互動式選擇欲顯示之各個平行軸。
- (四)互動式選擇欲顯示之平行軸間距為等距模式或相關性模式。

以第(一)項而言，由於平行座標系統僅能展現資料折線在相鄰兩軸間之分布特徵，雖然經由前述討論中可知，系統會透過演算法所得之最佳軸序建議解優先展示，但研究者若欲檢視資料折線在某兩軸間的分布特徵，必須提供互動的模式讓研究者進行必要之搬移與查詢，如圖 21 及圖 22 所示。

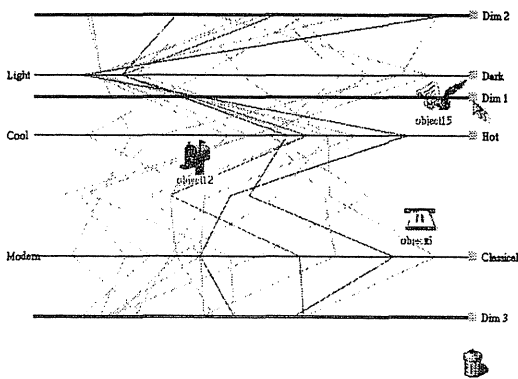


圖21 研究者拖曳平行座標軸

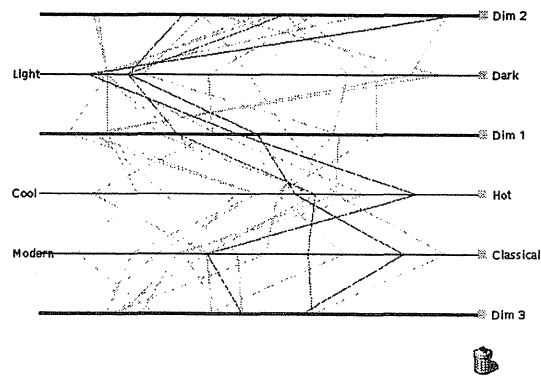


圖22 依落點位置重新排列結果

以第(二)項而言，當研究者所進行之研究為具屬性的偏好性研究時，平行座標展示空間中會有數個向度軸與多個屬性軸出現。然而，研究者在進行分析之過程中，有時是對資料在空間中之分布情形有興趣，有時是對資料在屬性上或向度上之投影分布有興趣，有時是對屬性與向度之關聯有興趣；為避免顯示模式過於雜亂，因此本系統規劃透過互動選擇之功能，將顯示模式分類簡化，讓研究者依其分析過程中之需求作互動性的選擇。

以第(三)項而言，研究者在進行分析之過程中，有時會對數個屬性軸與屬性軸間，或屬性軸與向度軸之間關係較近者有興趣，而欲顯示資料折線在這些軸間之分布情形；同樣為避免軸數較多時，顯示空間之限制或雜亂，本系統規劃透過互動之模式，將不欲顯示之平行軸在展示空間中暫時去除，如圖 23 及圖 24 所示。

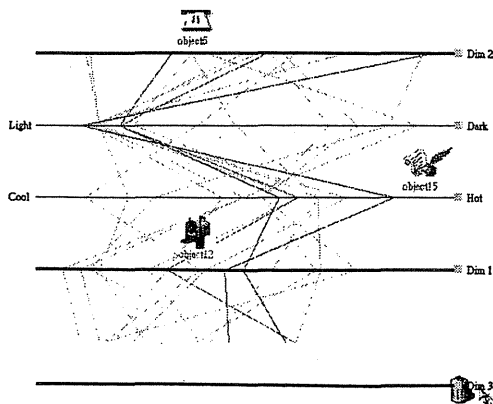


圖23 研究者拖曳平行座標軸至垃圾箱

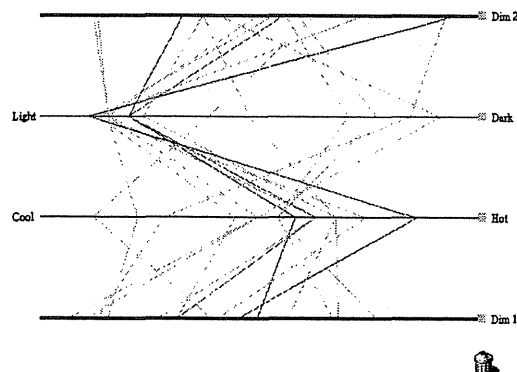


圖24 刪除座標軸後重新排列結果

以第(四)項而言，此種顯示模式亦是於具屬性之偏好性認知空間中才具有價值(由於相似性認知空間中，向度軸間之相關係數皆為 0)，且在於了解軸與軸間的關聯性，若將資料折線在所有不等距之平行軸上的分布皆展示出來，因軸間距離可能很小，所顯示之結果會相當怪異。由於此模式側重於關心軸於軸間之關聯；且以所有平行軸之相關性而言，向度軸間夾角為 90 度，原本相關性即為 0，於展開時彼此間應會放在距離較遠的位置，故本系統規劃當平行軸間為不等距之相關性顯示模式時，僅將資料於空間中之分布位置(即資料折線於各向度軸上之分布情形)加以顯示，而不顯示資料在所有屬性上之正向投影分布情形，如圖 16 所示。

四、平行座標系統中之軸序問題與演算架構

4-1 軸序對顯示模式及提供資訊量的影響

平行座標系統的視覺化模式提供在二維平面上顯示高維度的資料空間架構，其與垂直座標系統之間多重的對偶特性，提供人眼在解讀平行座標系統中資料分布狀況時具直覺性。但在平面座標圖上將所有維度軸平行展開後，所有維度軸是以某一次序排列在一平面上，但在同一張圖中，僅能展示出資料在某一維度軸與其相鄰兩軸(或一軸)間的分布關係，而無法在一張圖上展示出資料在所有兩兩軸間的分布情況。

基於平行座標系統與垂直座標系統間的對偶特性，提供使用者解讀圖形資訊時更具直覺性，所以不同軸序排列所顯示出的圖形能傳遞給使用者的資訊量有相當大之差異，因之如何決定平行展開時各維度軸的排列順序，以傳遞給使用者恰當和足夠的資訊，並能兼顧使用者的主觀期望，是以平行座標系統為架構，將資料視覺化的重要問題。

而在本研究中，軸序亦傳達屬性軸與屬性軸，及屬性軸與向度軸間關係性之遠近，因此如何對軸序排列作最適切之自動化演算建議，為本研究之自動化系統在實行化上的重要問題。

4-2 軸間關係與軸間夾角之探討

經由前述探討可知，較佳化的軸序排列建議，是平行座標系統視覺化中的重要問題。本研究應用軸間夾角之大小來描述軸間關係之遠近。本研究之顯示模式中兩兩軸間的關聯性的遠近，事實上仰賴於代表這些軸度之向度與屬性，在垂直座標空間中夾角之大小。當兩軸間夾角愈小時，代表此兩軸間的相關性愈高。而高維垂直空間中兩兩軸間之夾角，可藉由 MDS 演算後所輸出的數值中，屬性與屬性間的相關係數(Correlation)矩陣，以及屬性與向度間的相關係數矩陣求得。由於相關係數值為兩軸間夾角 θ 的餘弦值($\cos \theta$)，故可求得夾角 θ 值。

因此，在本研究中軸與軸間關係的遠近，可轉化為距離(Distance)的概念加以描述。當兩軸間在空間中的夾角值愈小時，表示兩者關係愈近，故兩軸間的距離愈短。運用夾角的數值 θ ，直接轉化為描述軸間距離的數值 d_i ，進而得到兩兩軸之間的距離矩陣。

4-3 運用屬性群集及圖形理論之演算法

綜合前述分析，在偏好性認知空間上，愈接近某一向度軸之屬性，其意義與該向度軸的意義愈相近。因此在本研究之顯示模式中，除考慮將所有軸間關係愈近者就近顯示之外，每一屬

性應該盡量靠近與其關係最近的那一個向度軸，以協助該向度軸意義之詮釋。故本研究將屬性依向度分群的概念，發展軸序排列最佳化演算法。以下以 $\text{dist}(U, V)$ 代表 n 度空間中兩個向量 U, V 之間的角度差異，亦即 $\text{dist}(U, V) = \cos^{-1}(U \cdot V)$ 。如圖25所示，在2度空間中，一屬性軸與距其最近之向度軸間之角度差異最多為45度，亦即 $\cos^{-1}(1/\sqrt{2})$ 。如圖26所示，在三度空間中，此最大角度差異最多為 $\cos^{-1}(1/\sqrt{3})$ 度。一般而言，在 n 度空間中，此最大角度差異最多為 $\cos^{-1}(1/\sqrt{n})$ 度。以下我們用 h 來代表此最大角度差異。

軸序排列最佳化演算法

輸入：向度軸 $D_i, i = 1, \dots, n$.

屬性軸 $A_j, j = 1, \dots, m$.

輸出：向度軸之位置 $\text{loc}(D_i), 0 \leq \text{loc}(D_i) \leq nh$.

屬性軸之位置 $\text{loc}(A_j), 0 \leq \text{loc}(A_j) \leq nh$

屬性軸之方向 $\text{sign}(A_j) = \pm 1, \text{sign}(A_j) = -1$ 表示屬性軸必需對原點鏡射。

步驟一：以向度為基分群，將各屬性分至與其最接近之向度軸的該群中。

for $i = 1$ to n do

$G_i = \varnothing$

for $j = 1$ to m do

if $\text{dist}(A_j, D_i) = \text{Min}_{i=1, \dots, n} \text{dist}(A_j, D_i)$ then

$G_i = G_i \cup A_j$

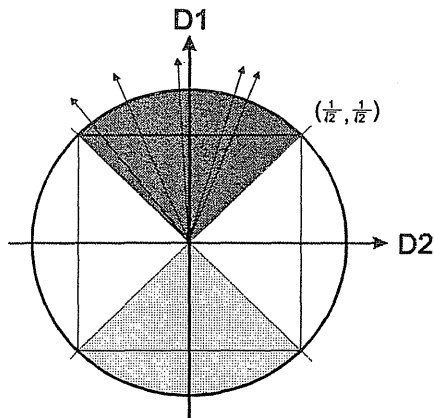


圖25 於2維空間中D1向度所涵蓋之屬性範圍及範圍界線單位向量座標值

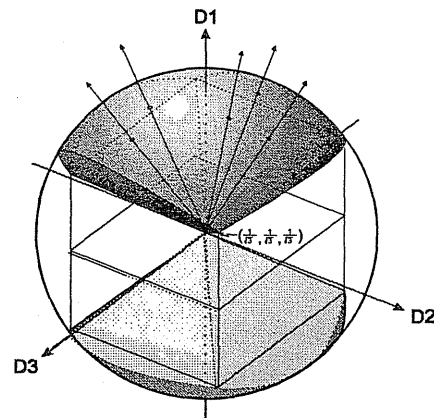


圖26 於3維空間中D1向度所涵蓋之屬性範圍及範圍界線單位向量座標值

如圖25 所示為2維空間中兩向度D1、D2所涵蓋之屬性範圍，其中灰色區域為D1所涵蓋之區域；而如圖26 所示為3維空間中三向度D1、D2、D3所涵蓋之屬性範圍，其中灰色區域為D1所涵蓋之區域。

步驟二：計算以向度為基分群後，兩兩向度所涵蓋之屬性群 G_i 及 G_j 間之距離。

for every pair of axis group G_i and G_k do

$$d_{ik} = \text{Min}_{A \in G_k} \text{dist}(D_i, A)$$

$$d_{ki} = \text{Min}_{A \in G_i} \text{dist}(D_k, A)$$

$$\text{dist}(G_i, G_k) = \text{Min}(d_{ik}, d_{ki}, \pi/2)$$

向度軸的排序方式，以彼此間關係遠近為基。而向度關係的遠近，是藉由該向度所涵蓋的各個屬性，與另一向度間的夾角中最小者為依據；又由於兩向度間各會得到一個與對方最近之數值，再取其中較小者為兩向度所涵蓋之屬性群間之距離。

步驟三：以前一步驟中所計算出之距離，應用Traveling Salesman演算法[Reingold et. al 1977] 計算一經過每一向度所涵蓋之屬性群 G_i 之最短路徑。以 $G_{1*}, G_{2*}, \dots, G_{n*}$ 代表 G_i 之最佳化排序。

將上述之向度間距離矩陣藉Traveling Salesman演算法得向度軸之排列順序，如圖27所示；展開後如圖28所示。

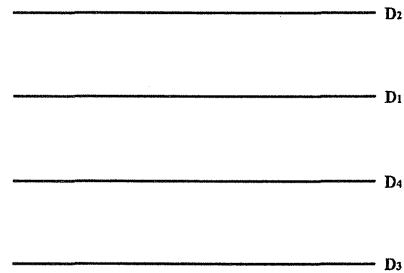
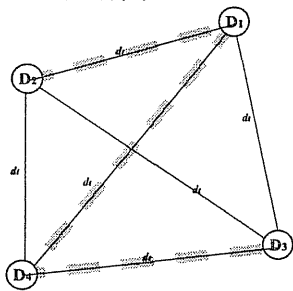


圖27 代表4個向度軸間關係的完整圖形，粗虛線代表Hamiltonian Path之最佳解

圖28 由圖30之最佳解展開後之向度軸的平行排列方式

步驟四：依據 G_i 的最佳化排序設定向度軸 D_{i*} 之位置。

for $i = 1$ to n do

$$\text{loc}(D_{i*}) = h/2 + (i - 1)$$

如圖29所示，向度軸間以等距 h 排開，並於兩側預留 $h/2$ 的範圍。

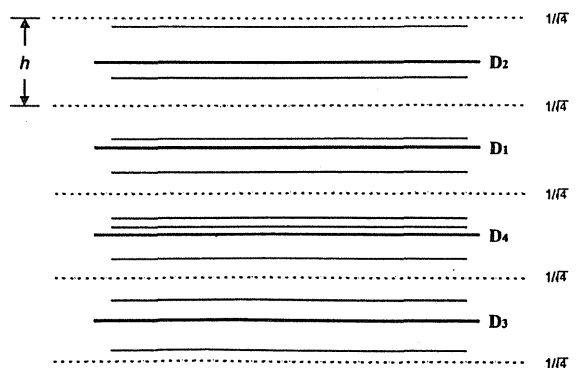
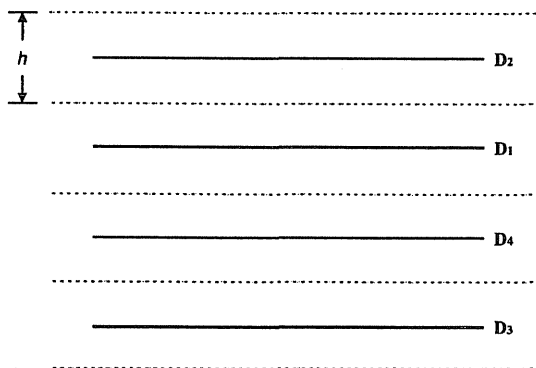


圖29 向度軸間以等距 h 展開

圖30 將屬性軸依軸間角度分配排開於向度軸間

步驟五：設定屬性軸 A_i 的位置。

```

for  $i = 1$  to  $n$  do
  for each  $A \in G_i$  do
    if  $dist(A, D_{i-1}) < dist(A, D_{i+1})$  then
       $loc(A) = loc(D_{i-1}) - dist(A, D_{i-1})$ 
    else
       $loc(A) = loc(D_{i+1}) + dist(A, D_{i+1})$ 
  
```

以屬性軸與其最近之向度軸間距離大小為排列依據，將分屬於同一向度群之屬性軸置於此向度之兩側。故屬性分布於以該向度軸為中心，向兩側各延伸 $h/2$ 的範圍，如圖30所示。但在平行座標系統上某一屬性軸可置於向度軸之兩側，決定因素以此屬性軸與該向度相鄰兩側向度間距離大小為準。

步驟六：決定各屬性軸是否須對原點鏡射。

```

for  $i = 1$  to  $n$  do
  for each  $A \in G_i$  do
    if  $(A \cdot D_i) < 0$  then
       $sign(A) = -1$ 
    else
       $sign(A) = +1$ 
  
```

相關性有正負兩種情形，為能更直覺表達相關關係，若某一屬性軸與該所屬之向度軸為負相關，則將該屬性軸鏡射後再加以顯示。

最後將演算結果之最佳化軸序排列建議之次序數列，與最佳化排列時之軸間距離分布之數列輸出，如表 1 所示為軸序排列與軸間距分布值之演算結果，與圖 11 中軸序分布情形相吻合。

表1 程式計算所得之軸序及分布情形

※分群結果 | D1: J, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W | D2: K

軸別	R	N	Q	W	T	P	V	O	L	D1	M	U	S	J	K	D2
分布值	0.084	0.108	0.132	0.176	0.182	0.207	0.207	0.246	0.248	0.25	0.251	0.285	0.334	0.398	0.55	0.75

另外，本研究將產品語意認知研究中〔翁註重 1994〕，研究者透過 PROFIT 分析所建立之 3 維偏好性認知空間上，屬性與向度之相關係數矩陣資料代入本演算法中，所得演算結果如表 2 所示；而表 3 所列為原研究者於分析比較後，以屬性協助向度意義詮釋後所得之結果，本研究修正後之演算結果與原研究者之分析結果有相當程度的吻合性。

表2 「產品語意認知研究」中3個向度與10個屬性計算後之軸序及分布情形

※分群結果 | D1: A3, A5, A6 | D2: A1, A2, A4, A7, A8, A9 | D3: A10 ;
加負號表該軸應鏡射顯示

軸別	D2	-A9	-A2	-A4	-A7	-A8	-A1	A6	D1	-A5	-A3	D3	-A10
分布值	0.304	0.442	0.464	0.48	0.482	0.52	0.531	0.737	0.912	1.088	1.143	1.52	1.758

表3 研究者分析向度意義之結果 [翁註重1994]

向度	具有之屬性意義			
D1	A3	A5	A6	A8
D2	A2	A4	A7	A9
D3	A1	A3	A7	A10

五、認知空間視覺化及分析系統之實現

本研究為視覺化模式之實證研究，經由前述對多維度空間顯示模式與認知空間特性整合之分析，及顯示模式自動化過程中所需要之各項演算架構之發展，本研究之「多向度認知空間之分析及視覺化模式」自動化系統，為能於實現後透過網際網路(Internet)之傳輸，及跨越平台(Cross Platform)之執行，將透過物件導向(Object-oriented)的程式語言－昇陽公司(Sun Microsystems)於1995年發展成熟之JAVA程式語言(Cornell 1996)，作為系統之軟體發展工具。

5-1 視覺化及分析系統之 JAVA 程式

本系統主要之平行座標展示空間的靜態顯示與互動查詢功能程式，所建立之程式說明如下：

表4 認知空間分析及視覺化系統檔案名稱與功能對應表

檔案名稱	類別定義及功能簡述
Main.java	public class Main extends Applet 系統初始化之類別程式
ParallelMgr.java	public class ParallelMgr extends Canvas 管理平行座標顯示空間之類別程式
ParallelPnt.java	public class ParallelPnt extends Object 資料折線類別程式
AxesMgr.java	public class AxesMgr extends Object 管理座標軸間相關資訊之類別程式
Axis.java	public abstract class Axis extends Object implements Observer 平行軸抽象類別程式
DimAxis.java	public class DimAxis extends Axis implements Observer 向度軸類別程式
AttrAxis.java	public class AttrAxis extends Axis implements Observer 屬性軸類別程式
AxesOrder.java	public class AxesOrder extends Applet 軸序及軸距演算類別程式
ControlPnl.java	public class ControlPnl extends Panel 互動控制面板類別程式
HotSpotMgr.java	public class HotSpotMgr 管理觀察點之類別程式
HotSpot.java	public class HotSpot extends Observable 觀察點類別程式
Coordinates.java	public class Coordinates 座標點類別程式
Dimensions.java	public class Dimensions 區域設定類別程式

檔案名稱	功能簡述
Main.html	嵌入主系統之Java Applet 及定義各個外部屬性之網頁程式

程式原始碼內容請參閱「多向度認知空間之分析及視覺化模式之研究」〔林正偉 1997〕。

5-2 視覺化及分析系統之實現狀況

本研究引用前述3-2所舉之吉祥物造形認知研究〔柯凱仁1996〕的原始調查數據，導入MDS之INDSCAL與MDPREF軟體後，分別運算2、3、4維度的相似性認知空間與偏好性認知空間架構。再

將MDS演算結果的數值資料檔案，以及刺激物圖像與屬性名稱的資料檔案共同輸入本研究之視覺化系統中，經系統對最佳化軸序及軸距進行演算後，本論文將系統建立之不同模式的平行座標展示空間，以及互動查詢之情況圖示於下。而由於篇幅限制，僅展示4維空間之視覺化結果。其中互動改變平行座標顯示模式的第二種方式，是在控制面板上選取欲顯示之模式，再於畫面中顯示。

如圖 31 所示為相似性認知空間架構之結果；圖 32 所示為等距模式之偏好性認知空間架構之結果；而圖 33 所示為相關性軸距模式之偏好性認知空間架構之結果。

本研究中實現之線上互動式系統，建置於國立台灣科技大學工程技術研究所設計學程之全球資訊網工作站伺服器上，網址為”<http://www2.dt.ntust.edu.tw/~jwlin/WebMDS>”。

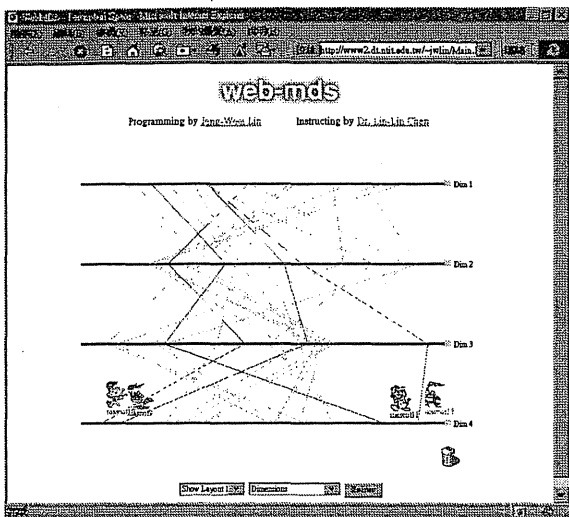


圖31 4維度相似性認知空間架構

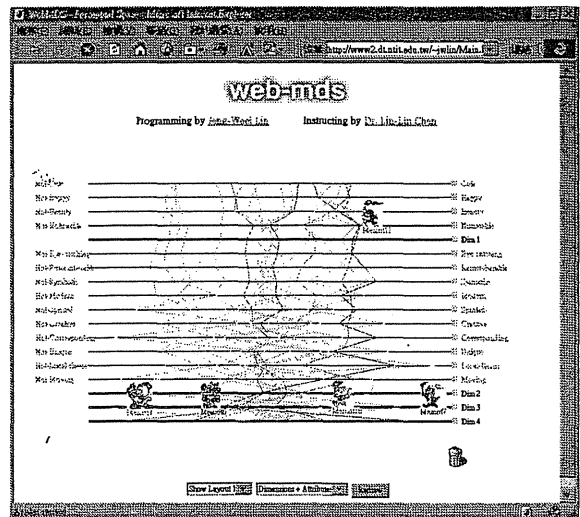


圖32 4維度等軸距模式之偏好性認知空間架構

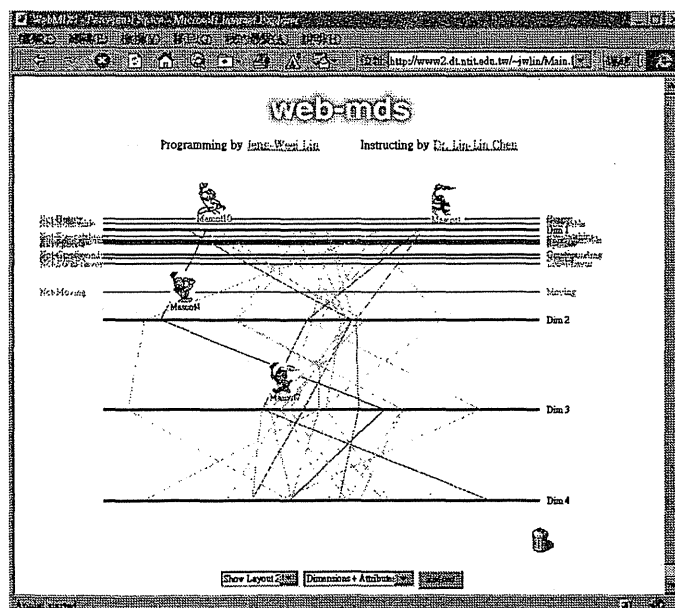


圖33 4維度相關性軸距模式之偏好性認知空間架構

六、結論與後續研究發展

本研究為建立多向度認知空間之分析及視覺化模式的實證研究，透過對多維度空間顯示模式之探討，以及MDS建構之認知空間的分析，提出「以平行座標系統為基礎，建立多向度認知空間之分析及視覺化模式」的方法，並對模式自動化顯示及協助分析過程中所需要之各項演算方式深入討論，而後就平行座標分析及顯示空間在WWW環境中予以實現。然而，本研究發展之空間的視覺化模式，除了可作為MDS建立之多向度認知空間的展示方式外，亦可應用於語意差異法之資料展示。

本研究對「多向度認知空間之分析及視覺化模式」之自動化系統相關問題有多項延續性發展建議如下：

- (一)就群集樹狀架構圖之配置及集群特徵之顯示於自動化系統中加以研究。
- (二)將分析及顯示系統嵌入網頁後，配合JavaScript及CGI程式，進行整合性視覺化系統之規劃及建置研究，並針對介面之適用度進行分析。
- (三)本研究規劃建置之分析及視覺化系統為WebMDS系統[Chen 1997]之一部份，未來各子系統之整合及相關問題有待後續研究。

致謝

本研究為國科會研究計劃「全球資訊網上多維認知空間建構與視覺化系統」(NSC-86-2213-011-005)之部份成果，研究期間感謝明志工專校長林榮泰教授，以及交通大學應用藝術研究所莊明振教授提供之寶貴意見，僅此致謝。

參考文獻

1. 莊明振,「多向度評量法在設計上之應用」, 77年技術與教學研討會論文集, 95-107頁, 1988。
2. 林榮泰、翁註重、林草英,「多向度評量法應用在產品語意認知的研究構想」, 82年技術與教學研討會論文集, 93-102頁, 1993。
3. 翁註重,產品語意的認知空間架構與向度討論—多向度評量法應用在產品語意學的研究, 國立台灣工業技術學院工程技術研究所設計技術學程碩士學位論文, 1994。
4. 柯凱仁, 1996,「吉祥物造型認知研究—以運動會為例」, 國立台灣工業技術學院工程技術研究所設計學程碩士論文。
5. 林正偉, 1997,「多向度認知空間之分析及視覺化模式之研究」, 國立台灣工業技術學院工程技術研究所設計學程碩士論文。
6. Carroll, J. Douglas and Chang, Jih Jie, 1990, "How to Use Indscal, A Computer Program for Canonical Decomposition of N-way Tables and Individual Differences in Multidimensional Scaling", *PC-MDS - Multidimensional Statistics Package Manual*, Brigham Young University, Provo, Utah, pp.71~78.
7. Chang, Jih Jie and Carroll, J. Douglas, 1990, "How to Use MDPREF, A Computer Program for Multidimensional Analysis of Preference Data", *PC-MDS - Multidimensional Statistics Package Manual*, Brigham Young University, Provo, Utah, pp.32~36.
8. Chen, L. L., Lin, J.W., Tu, C. H. and Chen, C. L., 1997, "WEBMDS: A WWW-Based System for Analyzing and Visualizing Multidimensional Perceptual Space", *CAADRIA '97 Workshops*, National Chiao Tung University, Taiwan.
9. Cornell, Gary and Horstmann, Cay S., 1996, *Core Java*, Sun Microsystems, Inc., Mountain View, California
10. Davison, Mark L., 1983, *Multidimensional Scaling*, John Wiley & Sons Co., New York, pp.40~47.
11. Green, P. E., Carmone, F. J. Jr. and Smith, S. M., 1989, *Multidimensional Scaling, concepts and applications*, Allyn and Bacon, Massachusetts.
12. Inselberg, A., 1985, "Intelligent Instrumentation & Process Control," *Proceedings of the Second Conference on Artificial Intelligence*, pp.302.
13. Inselberg, A. and Dimsdale, B., 1994, "Multidimensional Lines I: Representations," *SIAM Journal of Applied Math*, 54(2), pp.559.
14. Kruskal, B. and Wish, M., 1978, *Multidimensional Scaling*, Beverly Hills, CA: Sage University Series.
15. Kruskal, Joseph B., Young, Forrest W. and Seery, Judith B., 1990, "How to Use KYST, A Very Flexible Program to Do Multidimensional Scaling and Unfolding", *PC-MDS - Multidimensional Statistics Package Manual*, Brigham Young University, Provo, Utah, pp.59~62

16. Lee, H. Y., Ong, H. L., October 1996, "Visualization Support for Data Mining," IEEE Expert, Vol. 11, No. 5, pages 69 - 75.
17. Moore, L. and Pessemier, E., 1993, *Product Planning and Management: Designing and Delivering Value*, McGraw-Hill.
18. Reingold, E. M., J. Nievergelt, and N. Deo, 1977, *Combinatorial Algorithms: Theory and Practice*, Prentice-Hall.
19. Schiffman, Susan and S., Reynolds, M. Lance and Young, Forrest W., 1981, *Introduction to Multidimensional Scaling - Theory, Methods and Applications*, Academic Press, Orlando, Florida
20. Wegman, J., 1990, "Hyperdimensional data analysis using parallel coordinates," *J. American Statistical Assoc.*, 85, pp.664-675.
21. Wegman, J. and Shen, J., 1993, "Three-dimensional Andrews plots and the grand tour," *Computing Science and Statistics*, 25, 284-288.
22. Young, Forrest W., 1987, *Multidimensional scaling--history, theory, and applications*, Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.

Analysis and Visualization of Multidimensional Perceptual Space

Jeng-Weei Lin* Lin-Lin Chen*

* Graduate Studies in Design, National Taiwan University of Science and Technology

(Date Received : May 12,1997 ; Date Accepted : January 26,1998)

Abstract

Product perceptual space, which can be constructed by using Multidimensional Scaling (or MDS), is often applied at the design analysis stage in product design. One of the problems with applying MDS is the visualization and analysis of a perceptual space that requires more than three dimensions to represent. This research proposes a new model for visualizing multidimensional perceptual space based on Parallel Coordinates.

The basics of Parallel Coordinates, including the conversion to and from Cartesian Coordinates and the elegant duality properties between the two kinds of coordinates, are reviewed. By examining the characteristics of a perceptual space generated by MDS, special requirements for integrating multidimensional representations and perceptual spaces are identified. To facilitate analyzing and interpreting a multidimensional perceptual space, an integrated structure combining dimensional axes and attributive axes is developed in a Web-based environment. When using Parallel Coordinates, the parallel axes need to be carefully ordered so that important relationships among the axes can be recognized immediately. Finding an optimal ordering of axes, which minimizes the distances between adjacent axes, is formulated as a Hamiltonian Path problem in Graph Theory. Optimal ordering of parallel axes can then be found by using discrete optimization techniques. In addition, by taking angles among nearby axes into account, the optimal distances between axes can be computed automatically as a default layout, in which strongly correlated axes are placed close together. Finally, this paper demonstrates the analysis and visualization model by using Java programming language to implement a WWW-based system.

The goal of this research is to propose an integrated model to visualize and analyze the perceptual space. The developed system will be a subsystem of WebMDS, an integrated, intuitive, and interactive environment to designers for analyzing and visualizing multidimensional perceptual space.

Keywords: Multidimensional Scaling (MDS), Perceptual Space, Multidimensional Visualization, Parallel Coordinates, World Wide Web (WWW).