

資訊視覺化呈現之發展與挑戰

Development and Challenges of Visual Representation of Information

楊正仁

Cheng-Zen Yang

元智大學資訊工程學系

Department of Computer Engineering and Science

Yuan Ze University

czyang@syslab.cse.yzu.edu.tw

摘要

人類所要處理的資訊量，已經隨著電腦及通訊科技的進步而越來越多。如何在有限的螢幕空間中將這些大量的資訊呈現在使用者的眼前，充滿了各式各樣的挑戰。資訊視覺化的研究領域即在探討這些相關的問題。它也是在發展人機介面互動中頗受重視的一項研究主題。本篇論文先概述了近年來在這個領域上的相關研究及發展，並接著討論未來可能的資訊視覺化研究發展方向，以及將會面臨的各項挑戰。這些挑戰不僅僅牽涉到資訊電腦技術，更牽涉到人類視覺感官上的研究以及人類知識模型的探索，使得資訊視覺化的研究極具挑戰性。

Abstract

As the development of computer and communication technologies rapidly progresses, the amount of manipulated information is thousand times larger than the amount of information ten years before. Visualizing a large amount of information in a limited screen space is full with challenges. Therefore, research on information visualization emerges and has been paid much attention in human-computer interaction design for effectively exploring information. In this paper, we first review past research achievements and then discuss several challenges that will be met in future development. To overcome these challenges, further research efforts on computer technology development, perception research, and knowledge model exploration are required.

關鍵詞: 資訊視覺化、人機介面互動、資訊呈現。

Keywords: information visualization, information representation, human-computer interaction.

壹、前言

在廿世紀中，電腦的發明徹底改變了人類管理運用資訊的方式與環境。隨著電腦科技的進步，以往儲存在紙本中的資訊，逐漸被數位化並以電腦科技加以組織管理。也由於多媒體科技的進步，在近十年中，影像、聲音、視訊等資訊也大量被生產製造出來。更由於 1990 年代中期網路科技及 Web 科技的興起，人類現今所能存取的數位資訊數量，已經遠遠超過十年前的資訊量。根據 Courlouris, Dollimore & Kindberg (2001)所記載，在 1989 年 7 月時，連線到 Internet 的電腦數量為 13 萬部，在 1999 年 7 月時則至少有 5 千 6 百萬部。成長了 400 倍以上。而 Web 伺服器的數量成長更為驚人。在 1993 年 7 月時，才約有 130 部 Web 伺服器，但在 1999 年 7 月時，已經大約有六百六十萬部，成長了約 5 萬倍。同時在網頁數量方面，截至 2003 年 3 月為止，著名的 Google 搜尋引擎已經號稱可以搜尋到三十多億個網頁。這些都足以顯現，在目前數位網路科技風潮下，人類所受到的資訊衝擊有多麼劇烈。

這些快速成長的資訊量，固然促進了人類之間資訊交換上的便利，但卻也因為資訊數量實在過於龐大，並且仍然非常迅速地成長，因此「如何搜尋到重要資訊」已經成為目前人們搜尋資訊上最嚴重的問題。以往所遇到的「沒有資訊」或「缺乏資訊」的窘境，今日已經不再是個嚴重的問題。這也就是說，現在如果我們還找不到重要資訊，主要原因其實是因為資訊量太多，以致於在這麼大量的搜尋結果資訊中，被一些無用的資訊或所謂的垃圾資訊所干擾。因此如何找尋出真正符合我們所需的資訊，而避免被無用的資訊或所謂的垃圾資訊所干擾的搜尋技術，變得越來越重要。否則不但會因為這些無用資訊而降慢搜尋資訊的速度，甚至反而更可能會讓我們忽略掉重要的相關資訊。

由於這個問題日趨嚴重，新的搜尋檢索方法與資訊擷取技術不斷地被討論與研究發展，希望能使搜尋資訊的過程更有效率。然而，雖然這些資訊擷取技術能更精確地搜尋到相關資訊，可是真的要能將這些搜尋結果充分地被人使用，仍然還有兩個需要克服的「資訊呈現」(Information Representation)困難。首先是，儘管現在大尺寸的螢光幕普遍流行，但如何清楚明白地在有限的螢光幕空間上呈現這些搜尋結果還是一個不容易解決的問題。如果還需要將它們的特徵呈現出來，讓使用者可以迅速使用這些資訊，畫面呈現設計更需要巧妙的設計。然而這是一個很重要的需求，因為其實使用者在搜尋過程中，並不一定能精確地用文字描述出搜尋條件，常常在看見實際的搜尋結果後，才更能決定搜尋結果中何者較為

重要。我們對這個困難稱之為「實體呈現」(Entity Representation)的問題。第二,則是如何將資訊之間的關連性也呈現出來,使得瀏覽的過程更有效率。否則如果僅僅列出資訊實體,使用者就必須自行建構出彼此之間的關係,這樣將會耗費使用者大量的時間與人力。這個「相關性呈現」(Relevance Representation)的問題,一樣也是重要的需求。如果這兩個資訊呈現的問題不能夠有效處理,那麼使用者也只能對大量的搜尋結果徒呼負負,仍然需要花費極多的時間作地毯式地瀏覽。

然而如何能在有限的螢光幕空間中將大量搜尋資訊充分地呈現在使用者的眼前,充滿高度的挑戰。這是因為我們面臨到兼顧資訊呈現的品質與數量兩難的問題。同時,為了讓使用者能迅速找到相關的資訊來瀏覽,還要再顯示出來許多資訊與資訊之間的關係,並且不讓螢光幕畫面更為混亂,尤其是是難上加難。在有限的螢光幕空間裡,顯現大量搜尋結果資訊與這些錯綜複雜的關係,使得「資訊呈現」問題的複雜度大為提高。因此,資訊視覺化(Information Visualization)在近幾年的電腦研究領域中,十分受到重視,也成為人機介面互動(Human-Computer Interaction)相關研究發展中頗受重視的一項研究主題。因此隨著網路科技的進步,資訊視覺化相關技術的研發,成為近年來歐美學術界及資訊產業界熱門的研究領域之一。

在本篇論文中,我們將先綜整資訊視覺化領域過往的相關研究成果,但更重要的是,將討論未來資訊視覺化研究中所將面臨的各樣挑戰。論文的內容安排如下,首先將在第二節概述近年來在這個領域上的相關研究及發展。這些過往的研究成果已經在資訊視覺化的問題上有豐盛的貢獻,將使得我們可以有效率地搜尋資訊,瀏覽資訊,並且發掘資訊。受限於篇幅,我們只能摘取其中重要的相關研究來論述。然而面對巨量資訊的新挑戰,過往的研究成果仍有不足的地方。在第三節中,我們就進一步討論未來可能的研究發展方向及將會遭遇的挑戰。這些挑戰不僅包含電腦科技層面,更包括心理認知學層面及知識模型的探討。透過這些討論,將可以對未來資訊視覺化的發展具有全盤性的認識。最後,第四節則是本篇論文對未來十年內資訊視覺化呈現之發展與挑戰的結語。

貳、資訊視覺化技術之發展現況

由於資訊的特性不同,所適用的視覺化方式也不一樣。因此在這一節中,我們將先說明在視覺化過程當中,這些資訊的分類。並按著這些資訊的分類,回顧各種資訊視覺化相關技術發展的現況。由於篇幅的關係,許多資訊視覺化的技術並無法在此提及或說明,我們只能摘取一些重要的資訊視覺化技術來介紹。若希望更進一步瞭解其他資訊視覺化相關研究成果,在 Card, Mackinlay & Shneiderman (1999), Ware (1999) 及 Spence (2001) 這三本書中則提供了很

好且豐富的參考資料。更詳盡的資料，可以參考 ACM 的 CHI 會議論文集，與 IEEE 的 Visualization 會議與 InfoVis 會議的論文集。

2.1 資訊視覺化發展的分類

因為視覺是人類感官知覺中最具影響力的一個感知來源，早期在電腦具備繪圖能力的時候，就已經有不少資訊視覺化的研究。然而，早期所要視覺化的資訊中，數值資料佔了相當大的比例。使用者多半是從事研究的科學家或工程師，他們需要將許多數值運算的結果繪出在螢光幕上，加以判斷各式各樣變數的影響。因為這些數值資訊的性質不如今日所要處理的資訊那麼複雜，因此在這些早期視覺化研究中，主要是討論如何將數值資料加以視覺化，相關的研究方展包括「科學視覺化」(scientific visualization)，「資料視覺化」(data visualization)、「體容積視覺化」(volume visualization)等等相關議題。在這些領域中，也隨著電腦繪圖技術的進步，有著長足的發展。DeFanti, Brown & McCormick (1989)即曾說明何謂「視覺化」(visualization)，並詳細地討論科學性視覺化所需要的環境及相關工具。Card, Mackinlay & Shneiderman (1999)並將這些領域中的重要論文收集成冊，讓我們可以從中瞭解過往在這些相關領域上的發展。但由於我們將著重討論在不同資訊實體(information entity)之間的關係視覺化，這也是一般使用者所需要並且會用到的視覺化方式，因此這些偏重於數值資料的視覺化方法，將不在本論文中進一步討論。

人類所要處理的資訊，除了上述這些非結構化的數值資料(physical numerical data)外，還有許多結構化的邏輯資料型態(structured logical data)。在這些結構化的資訊實體之間，彼此的關係從簡單到十分錯綜複雜都有可能。例如關連式資料庫(relational databases)中的各個記錄(records)，或是文章中的參考索引(citation index)。這些結構化資料的數量隨著電腦科技應用層面越來越廣泛，所儲存的量也越來越龐大。如果依照這些資訊之間的關係結構上來分類，我們可將這些結構化的資訊按照其視覺化維度，區分成為以下四類：一維、二維、三維及多維的資訊。

在一維的結構化資訊中，各項資訊之間的關連是一種線性關係(linear relationship)，或是一種串流關係(stream relationship)。例如某本書的不同版次，或是個人所記錄的日誌。然而通常這種一維關係大多是一種時間上關連的關係，並不常需要特別單獨地視覺化呈現出來。因此呈現這種關係時，常結合在二維以上的視覺化結構中，與其他關係一起呈現。目前已經很少單獨對一維線性關係深入地研究。

在二維的資訊結構上則有非常豐富的研究成果。這主要是因為電腦的螢光幕本身即是一種二維的平面。因此，呈現二維的資訊結構是最直接的視覺化應用。在二維資訊結構中，最典型的的就是 XY 軸座標圖的視覺化結構。另外，階層關係(hierarchical relationship)及網路關係(network relationship)也都是常見的視覺化結構。許多三維以上結構的視覺化，也必須在最後呈現階段考慮如何在二維的平面上呈現，因此許多新的二維投影及透視方法不斷地被研究發展出來。

然而，資訊與資訊間的關係不僅僅是一種二維關係，更常會出現一些三維的關係結構。由於人類的視覺為立體空間，因此在資訊視覺化時，以三維空間結構表示則將會更符合人類感知的需求。在這方面，相關的研究也因此非常十分熱門。但是因為以三維空間來顯示資訊結構，終究需要以二維的電腦螢幕來呈現，因此在投影或平面展開的過程中，或多或少會遇到視覺混亂(visual clutter)的問題，也就是原本清楚視覺化的三維架構，在投影之後卻可能發生眾多資訊擁擠在二維畫面的一個小區域中的情況。這種混亂的情況讓使用者難以辨別不同的資訊。如何減輕視覺混亂的程度，也就成為資訊視覺化中一個重要的研究課題。

有些資訊架構之間的關係，已經超過了三維。面對這些複雜的資訊架構，也有不少研究提出不同的視覺化方法，有的是以同一畫面中選取幾組不同的三個維度來視覺化，有的則是以顏色、或圖形來表示不同維度。雖然 Ware (1999)曾提出了至少七種視覺化屬性可以使用，但是由於螢幕畫面的大小限制，以及資訊關係上存在不少的關連，通常只能顯示出有限的維度(Ware, 1999)。有的研究更利用圖像 icon)的意涵(interpretation)來表達多重的意義(Spence, 2001; Ware, 1999)，但是由於同一個圖像在不同的文化中可能具有截然不同的意義，在視覺化的過程當中，更具備挑戰性(Ware, 1999)。

2.2 相關資訊視覺化的技術

隨著資訊技術不斷地進步，資訊視覺化的技術也不斷演進。從 1990 年之後，大約逐漸步入研究的高峰。在這一節中，我們將介紹過往相關的資訊視覺化技術成果。所討論的範圍將以呈現資訊實體之間關係的相關技術為主，著重在研究成果最豐碩的二維及三維視覺化技術上。這些資訊實體，一般而言都以資訊物件(information object)的方式呈現在螢幕畫面上。如何將這些資訊物件間的邏輯關係視覺化，是資訊視覺化中的一大挑戰，也是未來十年內資訊視覺化研究的主流。

2.2.1 Fisheye Views

Fisheye Views (Furnas, 1986; Sakar, 1994) 最早是由 Furnas 以魚眼的特有彎曲弧度特性所發展而成的視覺化技術。其作法類似用一個魚眼鏡頭在螢幕畫面上移動，當畫面上的物件位置在鏡頭中央時，連同周遭附近的事物都將依照比例放大。使用者也將因此特別注意這個區域。因此，透過這種方式，將可以使重要的資訊關係空間清楚的呈現出來，並且凸顯在使用者面前。同時，物件之間仍保持某種程度的相對位置，整體關係依舊可以清楚掌握。因此 Fisheye Views 的觀念應用相當廣泛，例如 Document Lens (Robertson & Mackinlay, 1993) 以及 Self-Organizing Map (Yang, Chen & Hong, 1999)都用到類似的觀念。

但是因為 Fisheye Views 只考慮畫面上的二維平面視覺放大效果，並不針對各個不同資訊物件的特性加以考慮，因此如果要得到清楚的視覺化畫面，必須配

合其他針對資訊物件設計的視覺化方法，從基本的物件放置位置開始考量。而這類利用空間扭曲(space distortion)來視覺化的技巧，在(Leung & Apperley, 1994; Carpendale, Cowperthwaite & Fracchia, 1997)有更詳盡的分類與討論。目前也成爲與其他視覺化技術共同搭配的主要技術之一。

2.2.2 Perspective Wall

Perspective Wall (Machinlay, Robertson & Card, 1991)利用人類的視覺投影方式，將相關物件貼在三面立體相鄰的牆上，中間的牆面是視覺的焦點，凸顯在螢光幕前。左右的牆面則向後縮向螢光幕後，放置其他相關但暫時不被瀏覽的物件。然後使用者可以利用水平旋轉的方式，將左右牆面的資訊移到中間牆面來瀏覽相關的資訊。因此不但可以凸顯所要觀察的資訊，更方便使用者瀏覽。

就空間扭曲的分類觀點來看，Perspective Wall 可算是 Fisheye Views 的三維擴展版本。這種方式非常適合顯示一些具有線性關係的資訊。但是卻不容易顯示複雜的資訊物件關係。Fairchild (1993)曾提出 Sphere Visualization 以球體來改進牆面的不足，但是即使如此，球體方式能夠表現的資訊關係仍然有限。

2.2.3 Treemaps

Treemaps 是由 Johnson 及 Shneiderman (1991) 所提出的一種二維的視覺化方法。在 Treemaps 中，階層式的資訊架構按照不同的階層以遞迴(recursive)的方式將從屬關係用內含巢狀矩形(nested rectangle)的方式顯現。因此，在空間使用上，可達到最好的使用效率。同時，矩形的大小可以表示出各個資訊物件某種屬性上的大小關係。例如，在以 Treemaps 表現檔案系統(file system)的情況時，每個矩形的大小分別表示出或者是該目錄(directory)下所有檔案的總和，或是某檔案的大小。因此，使用者也能很快掌握到底是哪些目錄佔有大部分空間。其他相關的應用包括決策支援系統中的分析階層過程(Analytic Hierarchy Process) (Asahi, Turo & Shneiderman, 1995)及 Self-Organizing Map (Yang, Chen & Hong, 1999)等。

但是，Treemaps 的視覺化方法卻存有兩個問題。首先，它的階層關係視覺化方式與人類習慣的樹狀圖有很大的不同，因此使用者無法在看到視覺化結果圖形時馬上掌握住整體架構，許多使用者要花不少時間學會看懂 Treemaps (Shneiderman, Feldman, Rose & Grau, 2000)。第二，如果是一個階層關係複雜的結果，Treemaps 會讓許多階層架構中的深層資訊擠在一個很小的區域中，視覺上並不容易區別，容易令使用者疏忽一些重要資訊。如果使用者希望深入瞭解這些擁擠的區域，也必須配合 Zooming 或 Fisheye 的效果來放大視覺呈現，但是如此一來，不是失去全域性的視野，就是會得到一個扭曲的 Treemaps。

2.2.4 Cone Trees

Cone Trees (Robertson, Mackinlay & Card, 1991) 基本上是以一個 3D 立體角錐形來表示一個最簡單的二層的階層關係。父物件(parent object)位置於角錐的頂端，子物件(child object)則至於角錐底部圓盤的邊上。彼此之間用線條表示出連接關係。因此，透過一層層的角錐體延伸，能夠將大型的階層關係表示在一個 3D 立體的空間之中。如果從頂點向下投影在一個平面上，則構成一個 2D 的平面 Cone Tree。相關的技術被應用在 fsvis (Carriere & Kazman, 1995)，WebQuery (Carriere & Kazman, 1997)，及 LyberWorld (Hemmje, Kunkel & Willet, 1994)。另外碎形演算法也曾加入來改進 Cone Trees，以提高空間使用效率(Koike & Yoshohara, 1993; Koike, 1994)。

雖然 Cone Trees 能清楚的顯示出資訊間整體的階層架構，且能有效的利用螢幕空間，但是由於立體空間的關係，無法完全避免前後物件重疊的視覺混亂的情況。另外，如果要將被遮住的物件移到前端，必須轉動不同的圓錐體，操作過程並不容易。同時，如果顯示的層數過多，則下層的物件將會在底層非常擁擠，使用者將非常不容易辨別。

2.2.5 Multilevel Visualization

這種多層次視覺化的方式，則是將屬於同一層關係的物件放在同一個 2D 平面上，不同層次的物件則以不同的平面來放置，呈現在 3D 空間中(Eades & Feng, 1996)。因此使用者可以清楚的分辨屬於同一層的物件，也能循著不同層次的翻動，分辨出物件之間的相連關係。在 CardVis (Mukherjea & Hara, 1999)中就使用了類似的技術將 Web 搜尋引擎上的結果視覺化出來。

但是這種多層次的視覺化方式，容易出現層次重疊情況，如果每層的板面是透明的，不但物件會與物件重疊，線條關係也可能相互重疊。因此對使用者而言，不容易掌握整體資訊的概況。如果每層的板面是不透明的，使用者則看不見被最上面層次的平面所遮蓋的物件，因此所能呈現的資訊結構有限。

2.2.6 Hyperbolic Viewer

Lamping, Rao & Pirolli (1995) 提出以 Focus+Context 為基礎的視覺化技術，用來視覺化大型的階層結構。作法是將一個從中心散射出去的樹狀階層結構放在一個雙曲面(hyperbolic plane)上。使用者可以利用滑鼠將平面旋轉，使重要的資訊物件移到雙曲面的頂端。由於是一個雙取面，因此也同時具有 Fisheye Views 的放大效果。利用這種作法，可以清楚的看出物件與物件之間的階層關係。同時，較重要的資訊則可以移至中心位置，會有更清楚的視覺效果。類似的相關研究包括的 Latour (Herman, Melancon, de Ruiter & Delest, 1999)及 Core Trees (Yang & Kao, 1999)。

然而由於 Hyperbolic Browser 是以旋轉移動雙曲面的方式來瀏覽階層結構，因此在旋轉移動物件後，物件的位置並不會重新計算放置，以增加空間的使用效率。另外，在移動過程中，物件可能會擠在某些邊緣區域，使得使用者並不容易分辨出這些資訊物件。不過，由於使用者可以用滑鼠迅速調整雙曲面，相當利於瀏覽，因此目前 Hyperbolic Viewer 的視覺化方式仍應用在許多場合中(Hiraishi & Mizoguchi, 2001; Chen et al, 2003)。

2.2.7 H3 Viewer

在 H3 viewer 中 (Muzner & Burchard 1995; Munzner, 1997) 將資訊物件間所存在的連接關係，對應到一個 3D 立體的雙曲球形空間中。透過了 Focus+Context 及旋轉移動的技術，使用者可以清楚的看出來整體圖形相連的大致情況。同時，由於 3D 空間的特性，所能放置的物件數目也可達數千個以上。

雖然 H3 能夠在有限的螢幕空間中呈現出非常多的物件，並且也顯示出整體圖形的連接狀況，但是由於物件之間的線條在 3D 立體的雙曲球形空間中前後互相交錯，因此當呈現在 2D 的螢幕平面上時，這些交錯的線條並不容易分辨。同時，物件與物件也會因為前後的 3D 位置而在 2D 的螢幕平面上重疊，造成視覺上的混淆。

參、資訊視覺化未來的挑戰

我們這一節中，將討論資訊視覺化技術在未來十年內，相關研究發展時所將遇到的挑戰。由於資訊視覺化本身是美學與工藝的結合，同時還必須考慮人類使用上的方便性以及心理因素，因此整體的研究發展是相當繁複且非常具有藝術性。這些挑戰，不僅包括資訊技術上的問題，也包含人類視覺感官與心理認知上種種的課題。

3.1 資訊技術相關的挑戰

3.1.1 高效能繪圖的需求

電腦繪圖是資訊視覺化的核心技術。雖然一些複雜的資訊物件可以用簡單的節點圖形或標籤文字來代表，但是即使如此，當畫面上的節點個數或是線條數目等圖形數量龐大時，如果沒有高效能繪圖技術的支援，便無法用平滑的動畫效果來呈現球面或牆面旋轉，使人類視覺可以順暢地看見圖形上的變化。如此將阻礙使用者瀏覽資訊的順暢性。因此，不論是高效能的繪圖軟硬體，或是快速的繪圖演算法，都需要更進階的資訊技術研究與發展。就目前相關資訊科技的發展現況來看，離理想程度仍有一段距離。

3.1.2 人機互動介面的設計

由於每個使用者的使用習慣與工作需求多多少少都有不同之處，因此資訊視覺化的呈現除了考慮畫面美觀之外，還必須考慮人機介面上的操作便利性，才能配合使用者的多樣行為習慣，發揮最大效果。如果有些視覺化的畫面效果雖然美觀，但是當使用者需要深入探索某一部分的資訊時，卻需要經過繁複的操作手續才能瀏覽資訊，將大為減低資訊使用的效率。例如在 3D Cone Trees 中，如果要將第 N 層的某一個節點移到畫面前讓使用者清楚看到，必須先旋轉它的前 N-1 層的祖先節點，將他們也移到畫面前來。這種繁複的瀏覽程序就會造成資訊使用上的不便，因此必須再配合其他快速的查詢方式來呈現。

在 2D 視覺平面上，旋轉、拉近/拉遠(zoom in/out)、Focus+Context、空間扭曲、畫面捲動(scrolling)都可運用在人機互動介面上以增加其便利性；在 3D 視覺空間中，除了 2D 平面常用的視覺化技巧之外，我們還可以藉著改變不同視角，立體空間座標轉換來使畫面更為清楚；甚至，還可以利用虛擬實境(virtual reality)的相關技術，使人機互動視覺化介面的操作更便利。但是雖然已經有如此多視覺化技術，整體人機介面上的操作便利性，還是與資訊結構的複雜程度息息相關。對複雜的資訊結構呈現而言，需要更俐落的人機介面設計，以幫助使用者順利運用資訊。

3.1.3 缺乏完整的視覺化開發工具

在發展資訊視覺化的技術時，另外一個困難的是缺乏一個完整的視覺化開發工具來輔助視覺化的研究，這是因為資訊視覺化的過程與資訊本身的特質緊密地相關，因此難以有一個視覺化工具可以符合各種視覺化過程的需求。例如在 Fayyad, Grinstein & Wierse (2002) 所編輯的書中，就討論資訊視覺化在資料探勘(data mining)與知識探索(knowledge discovery)上相關的應用。

目前雖然有不少電腦繪圖相關規格及技術的開發，如 OpenGL、VRML 等語言或繪圖程式庫，但是由於資訊視覺化是以資訊導向(information oriented)為主，除非對被視覺化的資訊結構具有深入的瞭解，也明白何種資訊需要被視覺化，否則不容易視覺化出有意義的東西出來。也因為資訊視覺化與專業領域知識(domain knowledge)關連極大，目前絕大部分的視覺化環境都偏向以客戶訂製(customized design)的方式開發。因此也使視覺化相關技術開發時期增加。

3.2 視覺感官上的需求與限制

3.2.1 量與質兩者取舍的兩難

就資訊的掌握度而言，如果在一個有限的螢幕空間中能夠盡可能呈現大量的資訊，將可幫助使用者掌握資訊。這也就是在某些視覺化研究中，特別會考慮空

間使用率的一個原因。例如在 Treemaps 中，它的空間使用率就非常的高。但是由於人類視覺上的限制，如果在一個畫面中出現的資訊過多，反而容易產生視覺混亂、讓使用者無所適從。因此在視覺化過程中，如何在資訊呈現的數量上與資訊呈現的品質上達到令人滿意的地步，是一件難以取捨的問題。

目前這個問題除了有不少電腦專家研究之外，也包含了多位心理學者、生理學者等的研究(Ware, 1999)。雖然有一些初步的通則可以當作相關技術開發的指引，但是在實際評估上，仍舊需要根據使用者的反應來評斷視覺化技術的優劣，並沒有一個明確的量化指標可以清楚的訂出哪一種設計會使大部分的使用者都感到滿意。

3.2.2 多維資料的感知效果

由於在人類使用的資訊中，也常會遇到一些多維的資訊關係，尤其在資料探勘(data mining)上，複雜的資訊關係更是常見，因此多維關係的視覺化是相當有必要性的。然而，受限制於人類視覺感官上只有三維空間的感知，因此如何將這些多維關係的資訊視覺化在 2D 或 3D 的畫面中，便具有相當大的挑戰。目前雖然有一些初步的研究成果(Card, Mackinlay & Shneiderman, 1999; Ware, 1999; Fayyad, Grinstein & Wierse, 2002)，但是離使人類清楚且有效的感知的目標上，還有一段很長的距離。

3.2.3 美學感知上的要求

無論資訊視覺化的技術是否運用到複雜的視覺化演算法或是高效能的繪圖硬體，其實最重要的還是人類在視覺美學上的感知結果如何。雖然一張靜態的圖可能不如一段動畫來的生動，但是一段視覺混亂的動畫卻可能造成人們生理及心理上更大的不適。這在相關研究中，都曾經有相同的結論(Ware, 1999)。我們可以發現，視覺效果設計的品質好壞，深深地左右視覺化技術成果的成敗。

這也是資訊視覺化技術研發中的一個很重要而且也相當困難的問題之一。視覺感知的美感，不僅牽涉到心理與生理層面、也牽涉到文化與藝術層面。如何將複雜的資訊關係呈現出來而具有最適當的感知效果，仍待未來在認知科學及視覺生理學的研究中深入地探討。

3.3 資訊結構的呈現

3.3.1 資訊關係的結構模型

以上我們所討論的資訊視覺化技術，對資訊與資訊之間關係的存在與否，是用一種二元性的連接關係來表示。但是，資訊與資訊之間的關係有可能是一種模糊(Fuzzy)的關係，也可能是一種條件機率式的關係。這些複雜的關係模型，都將

使視覺化設計的考量更困難。目前正有些研究針對不同的關係結構來視覺化(Ware, 1999)。但將來如果有新的關係模型建立之後，新的資訊視覺化技術也勢必需要發展出來。

3.3.2 知識管理架構的建立

資訊的處理方式也會影響整體視覺化的效果。而知識管理(knowledge management)的技術進步，將會使資訊視覺化的要求更多樣化。這是因為，不同知識模型的建立對於資訊的分類、處理及運用，都將會有本質上的改變。因此資訊視覺化的發展，必須也能夠配合知識管理架構上的演變。面對越來越複雜的知識管理架構，資訊視覺化的技術開發也面臨不小的挑戰。

肆、結論

人類所要處理的資訊量，已經隨著電腦及通訊科技的進步而越來越多。這些快速成長的資訊量，固然促進了人類之間資訊交換上的便利，但如何在有限的螢幕空間中將這些資訊呈現在使用者的眼前，並不是一件容易的事。同時，為了讓使用者真的能迅速找到非常相關的資訊，重要的資訊以及許多資訊與資訊之間的關連也需要顯示出來，這也同時不是一件容易的事。資訊視覺化的研究領域即在探討這些相關的問題。它也是在發展人機介面互動(human-computer interaction)中頗受重視的一項研究主題。

本篇論文中，我們先概述了近年來在這個領域上的相關研究及發展。由於篇幅限制，僅能選擇具有重要影響的幾項研究成果報告出來。至於其他許多相關的研究成果，雖然大部分還只是初步的研究成果，但從目前相關的應用中，我們相當確信資訊視覺化能夠使得人類在資訊的利用上更有效率，也是未來一個重要的研究領域。

從後續論文討論中，更再進一步說明資訊視覺化未來研究發展方向極具挑戰性。不僅需要資訊電腦技術上更多的進展，更需要在人類視覺感官上更深入地討論與研究，同時還需要對人類知識模型進一步地探索並建立適當的基礎模型。使得資訊視覺化所需要深入研究的層面相當廣泛。

但從應用的角度而言，資訊視覺化技術的應用層面卻更為廣泛。如果許多邏輯資訊也能夠具體地以圖像方式或動畫方式呈現在使用者眼前，那麼將能幫助使用者深深掌握助資訊的脈動。俗語說「一幅圖畫勝過千言萬語」，這正是資訊視覺化所具備的特質，也是我們在從事相關研究所努力的最終目標。

參考文獻

1. Asahi, T., Turo, D., and Shneiderman, B. (1995). Using treemaps to visualize the Analytic Hierarchy Process. *Information System Research*. 6(4). 357-375.
2. Card, S. K., Mackinlay, J. D. and Shneiderman, B. (1999). *Readings in information visualization - using vision to think*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
3. Carpendale, M. S. T., Cowperthwaite, D. J., and Fracchia, F. D. (1997). Extending distortion viewing from 2D to 3D. *IEEE Computer Graphics and Applications*, July/Aug., 42-51.
4. Carriere, J., and Kazman, R. (1995). Interacting with huge hierarchies: beyond cone trees. *Proceedings of the IEEE InfoVis '95, IEEE Symposium on Information Visualization*. Atlanta, GA. 74-81.
5. Carriere, J., and Kazman, R. (1997). WebQuery: searching and visualizing the web through connectivity. *Proceedings of the 6th WWW Conference*. 701-711.
6. Chen, H., Zeng, D., Atabakhsh, H., Wyzga, W., and Schroeder. (2003) COPLINK: Managing Law Enforcement Data and Knowledge. *Communications of the ACM*, 46(1), 28-34.
7. Courlouris, G., Dollimore, J. and Kindberg, T. (2001). *Distributed systems - concepts and design*. England: Pearson Education Ltd.
8. DeFanti, T. A., Brown, M. D. and McCormick B. H. (1989). Visualization: expanding scientific and engineering research opportunities. *IEEE Computer*, 22(8), 12-25.
9. Eades, P., and Feng, Q.-W. (1996). Multilevel visualization of clustered graphs. *Proceedings of Graph Drawing '96*. Berkeley, CA. 18-20.
10. Fairchild, K. M. (1993). Information management using virtual reality-based visualizations. In A. Wexelblat (Eds.), *Virtual Reality: Applications and Explorations*. (pp. 45-74). Cambridge, MA: Academic Press Professional.
11. Fayyad, U., Grinstein, G. G., and Wierse, A. (2002) *Information visualization in data mining and knowledge discovery*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

12. Furnas, G. W. (1986). Generalized fisheye views. *Proceedings of CHI'86, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York. 16-23.
13. Hemmje, M., Kunkel, C., and Willet, A. (1994). LyberWorld - a visualization user interface supporting fulltext retrieval. *Proceedings of ACM SIGIR'94*. Dublin.
14. Herman, I., Melancon, G., de Ruiter, M. M., and Delest, M. (1999). Latour - a tree visualization system. *Proceedings of International Symposium on Graph Drawing GD'99*. 392-399.
15. Hiraishi, H., and Mizoguchi, F. (2001) Design of a visual browser for network intrusion detection. *Proceedings of Tenth IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises WET ICE 2001*. 132 -137.
16. Johnson, B., and Shneiderman, B. (1991). Tree-maps: A space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures. *Proceedings of IEEE Visualization '91 Conference*, San Diego. 284-291.
17. Koike, H. (1994). Fractal views: a fractal-based method for controlling information display. *ACM Transactions on Information Systems*. 13(3). 305-323.
18. Koike, H., and Yoshohara, H. (1993). Fractal approaches for visualizing huge hierarchies. *Proceedings of IEEE VL'93, IEEE Symposium on Visual Languages*. Los Alamitos, CA. 55-60.
19. Lamping, J., Rao, R., and Pirolli, P. (1995). A focus+context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies. *Proceedings of CHI'95, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York. 401-408.
20. Leung, Y. K., and Apperley, M. D. (1994). A review and taxonomy of distortion-orientation presentation techniques. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 1(2, June), 126-160.
21. Mackinlay, J. D., Robertson, G. G., and Card, S. K. (1991). The perspective wall: detail and context smoothly integrated. *Proceedings of CHI'91, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York. 173-180.
22. Mukherjea, S., and Hara, Y. (1999). Visualizing World-Wide Web search engine results. *Proceedings of 1999 International Conference on Information Visualization*. London, England. 400-405.

23. Munzner, T. (1997). H3: laying out large directed graphs in 3D hyperbolic space. *Proceedings of the 1997 IEEE Symposium on Information Visualization*. Phoenix, AZ. 2-10.
24. Munzner, T., and Burchard, P. (1995). Visualizing the structure of the World Wide Web in 3D hyperbolic space. *Proceedings of the 1st Symposium on the VRML Modeling Language*. San Diego, CA, 33-38.
25. Robertson, G. G., and Mackinlay, J. D. (1993). The Document Lens. *Proceedings of UIST'93, ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. 101-108.
26. Robertson, G. G., and Mackinlay, J. D., and Card, S. K. (1991). Cone trees: animated 3D visualizations of hierarchical information. *Proceedings of CHI'91, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York. 189-194.
27. Sarkar, M., and Brown, M. H. (1994). Graphical fisheye views. *Communications of the ACM*, 37(12), 73-84.
28. Shneiderman, B., Feldman, D., Rose, A., and Grau, X. F. (2000). Visualizing digital library search results with categorical and hierarchical axes. *Proceedings of DL'00, ACM Conference on Digital Libraries*. 57-65.
29. Spence, R. (2001). *Information visualization*. England: Pearson Education Ltd.
30. Ware, C. (1999). *Information visualization - perception for design*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
31. Yang, C. C., Chen, H., and Hong, K. K. (1999). Visualization tools for self-organizing maps. *Proceedings of DL'99, ACM Conference on Digital Libraries*. 258-259.
32. Yang, C.-Z., and Kao, C.-H. (1999). Visualizing large hierarchical information structures in digital libraries. *Proceedings of the Second Asian Digital Library Conference*. Taipei, Taiwan, ROC. 217-225.