

以 4D(Dynamic Data-Driven Diagram)為核心內涵之 動態譜記資訊開源平台

陳瓊蕙

亞洲大學視覺傳達設計學系助理教授
e-mail : 7451616@gmail.com

林容君

亞洲大學視覺傳達設計學系碩士生
e-mail : sunny52724@hotmail.com

摘要

數位譜記不僅是圖解元件的組合，背後更隱含著大量數據庫，並且各個數位譜記元件之間具有關聯性，這些關聯性是由數據流、語意網路、開源式資料庫等數位模型組構而成。本研究以譜記理論為基礎，觀察紀錄現代核心家庭之人與物、物與空間、空間與時間的互動模式，建立一套可供譜記系統化、視覺化描述現代核心家庭朝向智慧化設計之空間計畫的方法。並據此方法機制建構一開源式視覺化平台，內涵 Time Line Tree、Time Arc Tree 與 Time Radar Tree 三種型態的動態譜記資訊模式，輔助建築設計專家更有效率進行資訊提取以及描述過去與現在事件模式的調查閱讀。

關鍵詞：數位譜記、資訊模式、開源式資料庫、數據分析、情境涵構。

Abstract

Digital diagram is not only a combination of pictorial elements, it implicates a large amount of data, and each digital diagram element is connected to others. These connection are constructed by digital model of data stream, semantic network, open source database etc. This study is based on diagram theories, observe and record interaction between man and objects, objects and space, and space and time in a modern nuclear family. Construct a method for diagram to systematically and visualized describe the space plan of a modern nuclear family toward a intelligent design. And based on these mechanism to construct a open source visualization platform which contain three dynamic diagram model: Time Line Tree, Time Arc Tree and Time Radar Tree, to assist designer

to retrieve information and check/review event pattern of past and present.

Keywords: Digital diagram, Information model, Open source database, Data analysis, Context aware.

1. 前言

近代社會的居住空間對於室內設計的需求，從最初只提供睡眠、炊煮、祭祀等用途，並沒有特殊的區隔或其他使用目的，直到十八世紀，家庭才開始跟社會保持距離，隔離出維護隱私的生活地帶。根據 Giddens(1986) 指出富有者按照現代的形式設計房屋，增設走廊使房間彼此獨立以維護隱私，並且在臥室之外設置起居室，這樣的動作成為室內設計的原始想法，建立各項生活機能的開端。隨著社會發展，居住空間也因應現代生活的需求，演變成具備客廳、餐廳、臥室、廚房、書房、衛浴設備與陽台等不同功能之領域，以符合休閒、生活、教育等家庭功能需求。

大英百科全書網路版(Britannica Online)對於核心家庭(Nuclear-Family)的定義，係指在社會學與人類學上經由婚姻關係或養父母關係組成的一群人，包含一位男性、一位女性及其為社會承認的子女。換言之，核心家庭是由夫婦及其子女兩代，共同組成之家庭。人類學家 George Peter Murdock 設立許多基本資料庫，包括《人類關係區域檔案》(Human Relations Area Files) 與《民族誌地圖》(Ethnographic Atlas) (Murdock, 1980,1981)，成為學界廣為所用的《標準跨文化樣本》(Standard Cross-Cultural Sample) (Murdock,et al.1969,1970)。在他們一系列的論述提到核心家庭是家庭組織的基本單位，由於每一個核心家庭在每一個階段的型態完全不同，對於住家環境的需要亦截然不同，必須根據實際的人口、年齡與性別結構，採取適宜的住宅與室內設計形式，方能解決實際的問題。若囿於家庭及社會條件的限制，至少應根據家庭型態的轉變，將既有住宅的室內形式

作合宜的調整改變，盡量滿足各階段家庭成員的不同需要。

台灣社會隨工商業蓬勃與科技進步，家庭生活形式也隨之轉變，從農村社會三代同堂、親族同聚的大家庭，逐漸轉變為以兩代同堂的核心家庭形式。再加上近年來環境感測器、資訊通訊與網路科技的發展，創造了新的智慧環境(Smart Environment)與生活型態。然而，建立智慧環境以反應使用者動態的生活需求，仍然是空間智慧化設計的重要研究課題，研究者不僅著眼於技術的開發，更應重視發展以使用者經驗導向為目標。換言之，「人-物-空間」是智慧化設計的三個核心發展向度，例如發展以使用者為導向的涵構覺察系統。然而，這些研究焦點可能偏向其一或者其二，「人-物-空間」的整合性思考有待多方探索。由上述趨勢觀之，當今「人-物-空間」的整合性思考，也同時考驗著設計者與工程師之間需要更緊密合作與跨領域的研究，尤其面對即將到來的社會議題，例如高齡化、少子化，家庭的物與空間如何協同作業，以協助維持家庭的運作、家庭成員的親情並且看護高齡者生活。因此，「人-物-空間」的關係更不僅僅是在一個家庭中能夠集中控制，更可能是分散各地、是無線而遠端控制，藉著科技家庭的定義再度回到強調親情與連繫的重要性，卻不再侷限於必需團聚在特定地點與特定的場所。

2. 建築與室內設計的專業思維因應資訊時代轉變

建築室內設計的過程中，其流程可分為資料搜集、設計發想、細部設計與計畫案實現等四個階段 (Jones,1992)。然而因資訊與通訊科技的發展，建築與室內設計的專業思維也正迅速的轉變，「譜記(Diagram)」在建築室內設計的發展過程中，始終扮演著非常重要的角色，譜記除了是教師與學生於設計工作室中相互溝通與交換設計想法的重要媒介，也因為數位設計工具的演進，產生許多前所未見的數位譜記生產方式，雖然我們仍然沿用「Diagram」這個慣用的術語，但是在本質上數位譜記與手繪譜記有著差異，也可以說數位譜記產生了新的意義與觀念 (Terzidis,2006)。有些三維電腦輔助設計軟體的資料結構非常完整，例如 SketchUP、AutoDesk Microstation、AutoCAD、3D Max 等等，這些專業軟體對於設計的細部資料可以巨細靡遺的紀錄。然而，大部分的建築系或是室內設計系的專業訓練並不是在於

訓練出繪圖員。本研究認為上述的三維電腦輔助設計軟體較適合設計已經進行到發展階段 (Design Development)，對於初步設計階段 (Preliminary Design) 而言較不適合，也不適用於設計思考與設計方法的教育軟體。再者，將來是以數位智能與人性互動來思考空間設計，因此設計方法與流程也必須調整。

基於上述，本研究著眼於資訊科技時代與知識經濟時代，認為建築與室內設計資訊也會面臨知識再利用與分享的課題，必須探討用來描述設計分析之可能性，更重要的是不僅是在繪圖而是在描述，這些分析工具的方法必須被容納到設計本身的涵構內容。進一步而言，我們需要的是使設計者得以應用可以加強他們探索與表達能力的合適工具，因此本研究嘗試在譜記理論的基礎下，提出一個以「Dynamic Data-Driven Diagram」為核心內涵之動態譜記資訊開源平台，理論架構如圖 1.所示。運用有系統的圖譜分析，藉由建構一系列關於人與物、物與空間、空間與時間的圖解，以建立一套可供資料記錄、描述、反應現代核心家庭之居家活動空間計畫的方法。並以實際案例進行實驗與討論，藉以瞭解此一方法之適用性，且探討數位譜記如何有系統的讓設計者描述過去與現在事件模式的調查閱讀。

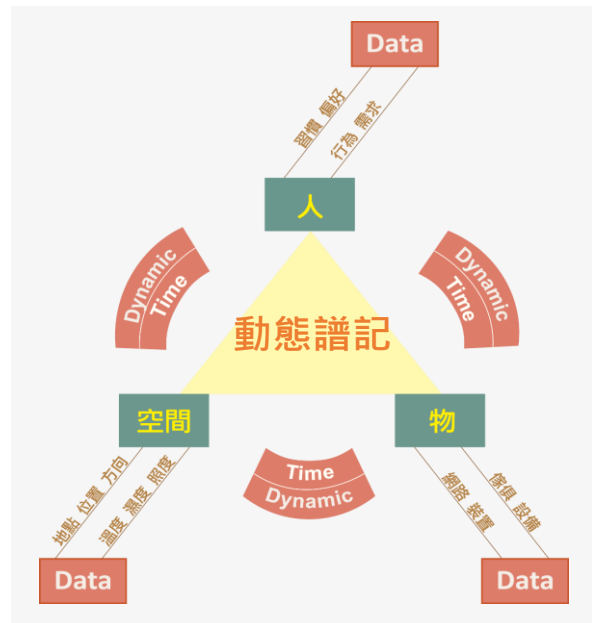


圖 1. 「Dynamic Data-Driven Diagram」為核心內涵之動態譜記資訊開源平台

3. 相關理論與技術探討

本節根據所提出的「Dynamic Data-Driven Diagram」為核心內涵之動態譜記資訊開源平

台，針對目標需求探討相關的理論與技術應用，包含有數位譜記的意義與技術、動態時間與譜記、基於網路之互動視覺化的平台技術，茲分述如下。

3.1 動態數位譜記的意義與技術

(一) 數位譜記之定義

數位譜記有別與傳統譜記，源自於下列三項重要資訊科技的發展：

- 1.電腦繪圖演算法：電腦繪圖的發展仰賴的是複雜的幾何與圖形演算，因電腦繪圖演算法的應用，使用者可以節省時間減輕冗長的繪圖過程，在分析方面與呈現結果均能迅速的完成，產生更有效的圖解，方便視覺上的溝通、修改與詮釋。
- 2.參數式設計：數位譜記不僅是圖解元件的組合，背後更隱含著大量數據庫，並且各個數位譜記元件之間具有關聯性，這些關聯性是由數據流、語意網路、開源式資料庫等數位模型組構而成。
- 3.數據模型視覺化：數據的演算是電腦科學非常重要的功能之一，然而所演算的複雜數據如何被詮釋，必須經由圖形化與視覺化加強數據的說明性與說服力，例如 Mathematica 軟體除了可將數學公式、函數與幾何加以視覺化，經濟學與社會學的模式都可以被圖像化，加強了圖解的向度與意義。

(二) 動態譜記資訊之視覺化

根據 NOX 國際設計團隊的描述，現今的學生有著多元新興的電腦工具，可以將數據分析的軟體、影像軟體、三維建構軟體等結合應用，再將這些軟體所生產的二維與三維相互整合，衍生出一系列的譜記概念圖。甚至可以更進一步應用動態視覺模擬，例如動力系統與分子系統，產生前所未有的設計視覺化(Spuybroek,2010)。MVRDV 建築設計事務所也是當今國際最有影響力的先鋒建築師事務所之一。MVRDV 設計團隊創建於 1991 年，由偉尼·馬斯(Winy Maas)、雅各布·凡·里斯(Jacob van Rijs)與娜莎莉·德·弗里斯(Nathalie de Vries)三位荷蘭籍建築師共同組成。MVRDV 非常關注荷蘭整體的社會發展趨勢，從都市設計、室內與建築設計、景觀設計，他們都希望表達對社會生活狀態的理解與關懷。在具體的實踐過程中，他們將都市集體的使用行為與統計資料等資訊以視覺化的概念圖形來呈現，把各種制約因素轉化成為各種可變因子參數化，並且透過電腦轉換處理為數據進而繪製譜記，使得建

築設計師更容易理解並處理影響建築最終產生的各種因素，這就是所謂的「數據景觀(Data-Scape)」的概念(MVRDV,1999a,1999b)。MVRDV 所提出的這個概念挖掘了設計中的潛在可能性，也提供了非常新穎並且有效的數位設計方法。另一方面，UN Studio 國際團隊也在他們的設計過程中使用了量化與統計分析圖，透過電腦繪圖的技術，再加上援引其它領域的知識，例如基因工程與複雜理論，開發數位譜記系統(UN Studio,1999)。此外，他們也透過代數學的梅氏環(Mobius Ring)與非歐基里德幾何形體，結合電腦繪圖轉換成可以使用的建築空間。顯然，許多主流國際設計團隊的設計方法都在提倡設計與研究、分析、實驗的整合實踐。

3.2 動態時間與譜記

譜記於日常生活的運用最為人們所熟知的方為樂譜。此外，舞譜、電路圖、地圖等等，都算是具有系統性的譜記方式。譜記也可以說是一種工具，讓人們方便閱讀創造活動，並且能參與、回饋並記錄過去的事件經驗(Allen, 2000)。連續性的時間因子串聯事件經驗發生的前後關係，兼具了時間與空間上的互動。因此，譜記與時間因素有關，「時間」是人類社會中不可或缺的重要元素，以個人層面而言，我們每天的生活作息均依據時間來安排，以社會群體而言，文化的演變、生存環境的變遷，無一不是經由時間來記錄與表達。換言之，時間的特性幫助我們瞭解與表達各種事物的變化。時間具有多種特性，最常被概念化成為一條時間軸(Timeline)，在這條時間軸上，時間永遠只向前移動，我們稱其為「線性時間」(Linear Time)。然而，線性時間並非表達具有周期性的最佳方式，例如每日與每周的作息型態。因此「循環時間」(Cyclic Time)是另一種表達方式。此外，在長期研究與規劃時，常有不同的假設方案，於此情形則需「分支時間」(Branching Time)來處理不同的區段軌跡，時間的三種特性如圖 2.所示。



- (a) 線性時間(Linear Time)
- (b) 循環時間(Cyclic Time)
- (c) 分支時間(Branching Time)

圖 2. 時間的三種特性

Tufte (1992) 對於譜記的時空特質提出六項歸納與論述，分別為脫離平面(Escaping Flatland)、微觀與巨觀(Micro/Macro Reading)、層次與分離(Layering and Separation)、連續變化的小圖(Small Multiples)、顏色與資訊(Color and Information)、時間與空間的敘述(Narratives of Space and Time)。此外，人工智慧領域中，針對以基於時間推理表示法的研究已提出了數種的模型，其中較著名的是 Allen (1983,1984) 提出一套「時間段代數(Allen's interval algebra)」來處理時間上的邏輯關係。根據 Allen, et al. (1989,1991,1994) 一系列的研究指出，兩個時間段(Time Interval)之間可以分成七種關係，亦即：前後(Before/After)、相遇(Meet)、重疊(Overlap)、同時開始(Start)、包含於(During)、同時結束(Finish)、同時開始與結束(Equal)。這些時間紀錄的方式，支援本研究處理使用者與空間的事物互動變化關係，一般而言變化關係可以分為連續性的變化與離散性的變化，連續性的變化例如使用者在空間的移動，離散性的變化則屬於突然的改變，例如空間溫度的改變。

3.3 基於網路之互動視覺化的平台技術

三維繪圖軟體都具備提供腳本(Script)編撰的功能，例如：AutoCAD 的 AutoLISP，SketchUp 的 Ruby，MAYA 的 MEL(結合 UNIX 與 Java 的語法)，3DMax 的 MaxScript 與 Rhinoceros 的 VB Script，或是為不諳程式設計者所發展的 Grasshopper；此外 ActionScript 與 Processing 亦可編撰程式產生圖形化。若是以資料庫的結構而言，Excel 主要以「關聯式」資料庫 (Relational Database) 的方式呈現；Grasshopper 則是主要以「階層式」資料庫 (Hierarchical Database) 結合「網絡式」資料庫 (Network Database) 的方式呈現。本研究並不是以討論如何產生出複雜的造型形式為目的，而是探討如何建立數位譜記資訊之方法，並且如何應用此數位譜記資訊分析空間行為。根據目的需求列舉兩種已經發展較成熟的自由開源函式庫語言，分別為 D3 與 Processing，以下詳述分析 D3 與 Processing 之優劣與特點。

(一) D3 (Data-Driven Documents)

網路的互動瀏覽器運行速度越來越快，功能也越來越完善，資訊視覺化在近期也有了相應的轉變，更加強調能夠整合 HTML、JavaScript 和 CSS 代碼直接在瀏覽器中運行。以往互動式的資訊一般都是以 ActionScript 來

實現，而靜態數據圖則需要儲存為圖片格式。如今跨平台的整合協作不再只有一種選擇，一些功能強健的工具函式庫可以幫助我們快速創建互動式或靜態的視覺化圖形，並且提供了大量的選項，以便針對資料進行定制。

D3.js (<http://d3js.org/>) 全名 Data-Driven Documents (資料驅動的文檔)，由史丹佛大學視覺化團隊所發佈 (Bostock, et al.2011)，用於創建資料視覺化圖形。D3 是一個開源的視覺化函式程式庫，提供了一系列開源即用的視覺化工具，創建幾何圖形時不會受到任何限制，最大的優勢在於整合了 HTML、JavaScript 與 CSS (Cascading Style Sheets, 層疊樣式表) 等共同協作，並且扮演的是一個驅動程式的角色，聯繫數據與文檔(Timms, 2013)。現今已有非常多基於網路應用的視覺化工具，例如非常著名的 Processing，雖然已提高視覺化效率，但這些工具對 DOM (Document Object Model, 文檔物件模型) 進行封裝，基於優化工作流程，但卻也增加了學習和運行的難度。此外，這些工具使用的方式，不能與其他工具例如 CSS 等共同協作，使用起來非常繁瑣。因此，針對以往的互動視覺化工具所存在的問題，D3 具備了相容性高、動態執行時相當流暢，且易於學習與開發(Dewar, et al.2012)。

資訊就是結構化的資料，反映某些事實。在視覺化程式設計的語境下，資料保存在數位化檔案，一般是文本格式或二進位格式，並不是只有文字與數據才算資料，圖像、資料庫、模型等位元資料皆是(Yau,2011)。將資料保存到 *.txt 純文字文件，或者 Excel.csv 逗號分隔值文檔上傳，D3 就可以驅動並且視覺化。換言之，網路的互動式視覺化通常需要同時使用多項技術，HTML 用於顯示頁面內容，CSS 用於設計樣式、JavaScript 用於互動、SVG(Scalable Vector Graphics, 可伸縮向量圖形) 用於繪製圖形，是基於向量的圖形庫，在縮放上有自身的優勢、DOM 以層次結構展現頁面內容，使得這些技術能夠相互協作。然而目前的視覺化工具對 DOM 進行了過多自主形式的封裝，導致這些工具在可訪問性(Accessibility)與視覺化呈現的多樣性(Expressiveness) 普遍不佳(Murray,2013)。但是 D3 提供了 JavaScript 與 Java 的實現版本具備跨平台的特性，其最大的優勢在於使用者能夠更直接地使用 SVG，尤其是在動態方面，主要原因在於只有變化的屬性才被局部更新算圖，而不是重新繪製整個場景(Ritchie, 2014)。

(二) Processing

Processing (<https://www.processing.org>) 由 Ben Fry (Broad Institute) 與 Casey Reas (UCLA Design| Media Arts) 於 2001 年發起，並且由 MIT Media Lab 的 Aesthetics and Computation Group 發展更新版本，主要用於藝術、影像、影音設計與處理。Processing 最早版本發佈時主要是提供設計師和藝術家使用，是一門適合於設計師及數據藝術家的開源語言，較偏重視覺思維的創造性，只需幾行腳本程式(Script)就能創建出具有動態與互動功能的圖形。如今它的開源函式庫已經越來越多樣化，使用者可以採用各種函式庫來提升多樣性。Processing 的環境是以 Java 語言打造，以 Processing 撰寫的程式會被轉譯成 Java 語言，並以 Java 程式的型態來執行。

然而，Processing 缺點之一是必須使用 Java 應用程式，當執行電腦載入時會較緩慢，而且並不是每位使用者都安裝了 Java，為了解決此缺點，Processing 也發佈了 JavaScript 版本，對於生手是個很好的起點，即使是毫無程式設計經驗的使用者也能夠做出有趣的互動設計。Processing 最大的優勢在於其獨有的圖像函式庫和簡化的語言，若是以 Processing 開發平台或是創建互動設計不需要先理解類別 (Classes)、物件 (Objects)、動畫執行緒 (Animation) 及雙緩衝區 (Double-Buffering) 等高階概念，並且開放高階使用者自由地運用，即使這些技術上的細節在 Java 程式中必須特別去撰寫，但已被自動整合在 Processing 的環境裡，使程式更精簡易懂(Fry, 2007)。

承上所述，Processing 雖然具有一個非常好用的 API (Application Programming Interface)，但是遠不如 HTML 相容性高，再加上現今硬體產品與互動設備的多樣化使得視覺化設計工具面臨新的技術難題(Reas, et al.2010)。理想情況下，視覺化工具需要支援從桌面應用到網路應用以及多觸點移動設備，同時還需要緊隨硬體發展的趨勢，例如多核計算以及特殊的圖形硬體。反觀，D3 建立在標準 HTML 之上，因此可以與其他技術進行整合協作，例如使用外部的 Style Sheets 做樣式，甚至可以使用 CSS 作動畫，也可以在伺服器上生成 HTML，然後使用 D3 做資料變換在用戶端上顯示，或者與其他的 JavaScript 工具一起使用。因此，相較於 D3 而言，Processing 則是一個較封閉的系統。

4. 研究內容

基於前述重要文獻探討與研究目的，本研究進行的方法分成四大步驟，分別為：(一)擷取個案使用者經驗、(二)建立演算機制、(三)動態譜記資訊平台介面、(四)資訊模式輸出供設計者參考評估，以下詳細說明實施方法與內容：

(一) 擷取個案使用者經驗

以現代核心家庭為觀察對象，記錄家庭成員的日常居家生活脈絡，彰化林家核心家庭作為本研究之案例，擷取個案使用者經驗資訊，以家庭成員互動情境狀態為例，紀錄時間序列與空間情境狀態、人物與使用時間關係、空間與使用時間關係，其紀錄模式如圖 3.所示。

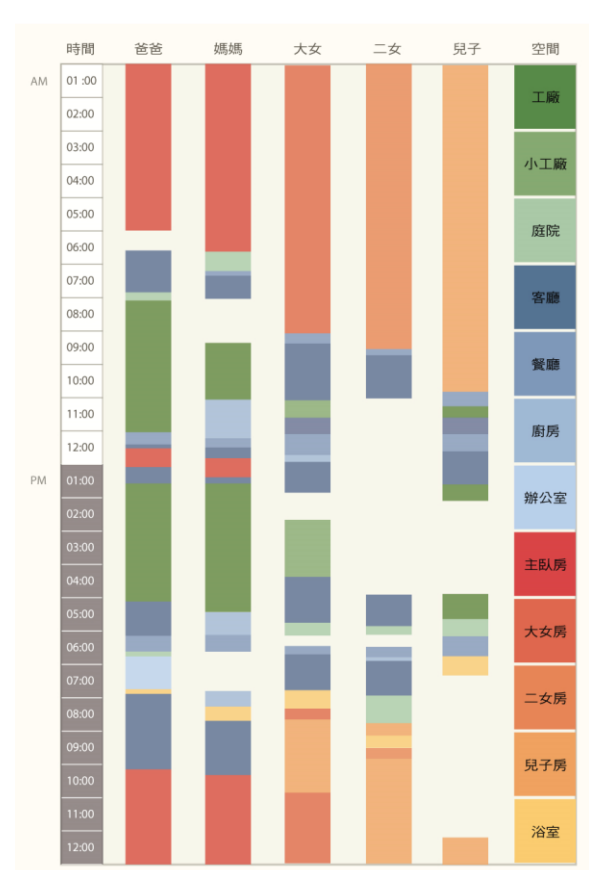


圖 3 家庭成員互動情境狀態

(二) 建立演算機制

現實世界中時間並不獨立於各種變化之外。換言之，時間、空間位置與產生的活動是無法完全分離的。有了時間紀錄，就可以比較各個事件在時間上的關係。本研究援引前述文獻提及之三種時間特性而產生的紀錄方式 (Linear Time、Cyclic Time、Branching Time)，提出此平台的時間分析型態分別為：Time Line

Tree、Time Arc Tree 與 Time Radar Tree 三種型態，並且整合「人-物-空間」向度，其演算機制也必須同時符合表 1.所定義時間段間之七種邏輯關係，以使用者為導向的 Time(T) ∈ Event(E) 模型如式(1).所示：

$$\text{Time(T)} \begin{cases} \text{Time Line Tree} \\ \text{Time Arc Tree} \\ \text{Time Radar Tree} \end{cases} \in \text{Event(E)} \begin{cases} \text{People} \\ \text{Object} \\ \text{Space} \end{cases} \quad (1)$$

表 1 時間段間之七種邏輯關係 Time(T)

Logical relationships	
1	Event A before Event B (before), Event B after Event A (after)
2	Event A meets with Event B (meet)
3	Event A overlaps with Event B (overlap)
4	Event A starts with Event B simultaneously (start)
5	Event A happens during Event B (during)
6	Event A finishes with Event B (finish)
7	Event A finishes with Event B simultaneously (finish)

(三) 動態譜記資訊平台介面

本研究所開發之動態譜記資訊平台介面特色為模擬大腦思考聯想的結構概念，將資訊予以組織串聯，形成網狀的資訊腦架構，設計者透過滑鼠點選資訊腦架構中的資訊點，經由視覺化機制取得所需要的資訊。將譜記資訊以視覺化圖像關聯呈現，並且能夠讓設計者閱讀分析資訊間隱含的關聯特性，介面設計如圖 4.示。

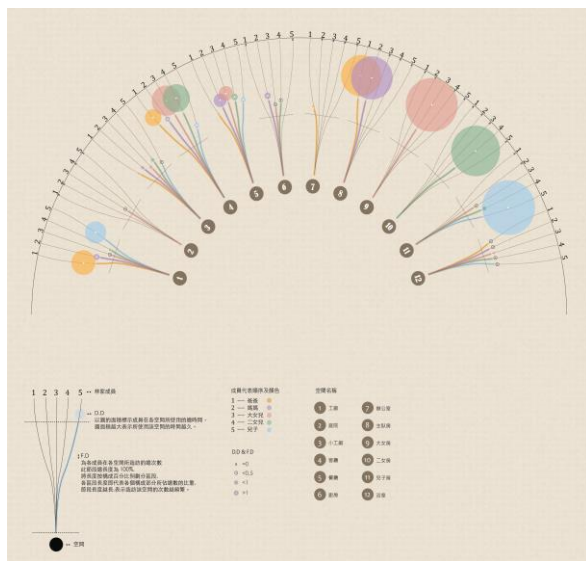


圖 4 動態譜記資訊平台介面

(四) 資訊模式輸出供設計者參考評估

在評估方面透過二位不同質性專家學者來測試其易用性與適用性，分別為室內設計師(業界)與設計系教授(教育界)。動態譜記資訊輸出的模式，以圖 5.為例，可依據專家設計者之需求，擷取某位空間使用者的某次事件前後或是某次事件開始與結束，分別可以視覺化輸出時間段、各個空間的私密層級關係分析、各個空間被使用的頻率分析、各個空間被使用者持續使用的時間比。

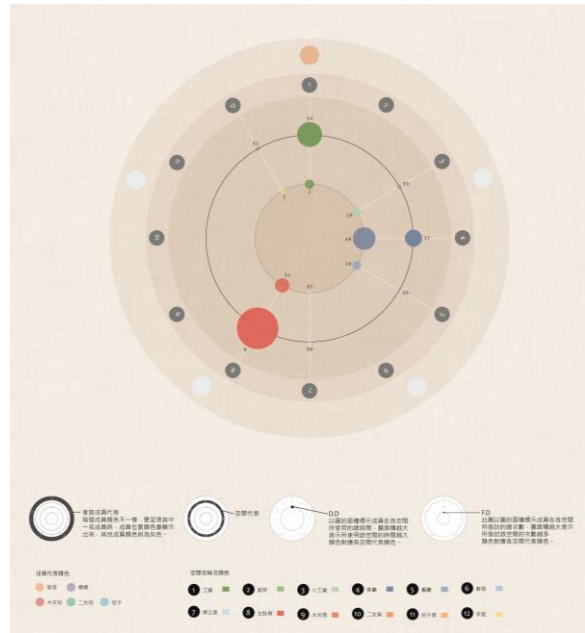


圖 5 動態譜記資訊輸出的模式

5. 結論

整體而言，透過資訊視覺化可以將大量的資訊內容轉換成有意義的圖型架構，相較於以往單純的數值顯示方式，顯得更直觀且更容易讓使用者快速瞭解及使用資訊。在新技術以及演算法的更新之下，資訊視覺化今日所能夠呈現的資料維度以及廣度得以更加多元且具互動性。本研究現階段之成果，以譜記理論為基礎，觀察紀錄現代核心家庭之人與物、物與空間、空間與時間的互動模式，建立一套可供譜記系統化、視覺化描述現代核心家庭朝向智慧化設計之空間計畫的方法。並據此方法機制建構一開源式視覺化平台，完成以視覺化模型之優點為基底，發展演算法建構一個互動系統平台，內涵 Time Line Tree、Time Arc Tree 與 Time Radar Tree 三種型態的動態譜記資訊模式，讓室內建築設計師可透過以視覺化記錄空間使用者的互動資訊並以視覺化結果輸出分

析模式，輔助其以更有效率的方式進行資訊提取以及描述過去與現在事件模式的調查閱讀。

誌謝

本文承科技部研究計畫編號 MOST 104-2221-E-468-014 研究經費，謹此誌謝。

參考文獻

- [1] Allen, J.F. (1983). *Maintaining knowledge about temporal intervals*. Communications of the ACM 26(11):832-843.
- [2] Allen, J.F. (1984). Towards A General Theory of Action and Time. *Artificial Intelligence* 23(2):123-154.
- [3] Allen, J.F. and Hayes, P.J. (1989). Moments and Points in an Interval-Based Temporal Logic. *Computational Intelligence* 5(3):225-238.
- [4] Allen, J.F. (1991). Time and time again: The many ways to represent time Int'l. *Jr. of Intelligent Systems* 6(4): 341-356.
- [5] Allen, J.F. & Ferguson, G. (1994). Actions and Events in Interval Temporal Logic, *Journal of Logic and Computation* 4 (5): 531-579.
- [6] Allen, S. (2000). Notations + Diagrams: Mapping the Intangible, in S. Allen and D. Agrest, eds., *Practice: Architecture, Technique and Representation*, pp.41-61.
- [7] Bostock, M., Ogievetsky, V., & Heer, J. (2011). *D3: Data-Driven Documents*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 17(12):2301-2309.
- [8] Dewar, M., Steele, J., & Blanchette, M., eds. (2012). *Getting Started with D3: Creating Data-Driven Documents* (1st ed.), Sebastopol, California: O'Reilly Media.
- [9] Fry, B. (2007). *Visualizing Data: Exploring and Explaining Data with the Processing Environment* (1st ed.), O'Reilly Media.
- [10] Giddens, A. (1986). *Sociology: A brief but critical introduction* (2nd ed). London: Macmillan.
- [11] Jones, J.C. (1992). *Design Methods*. David Fulton Publisher.
- [12] Murdock, G. P. (1970). Kin Term Patterns and their Distribution. *Ethnology* 9 (2): 165-207.
- [13] Murdock, G. P. (1980). *Theories of Illness: A World Survey*. Pittsburgh: The University of Pittsburgh Press.
- [14] Murdock, G. P. (1981). *Atlas of World Cultures*. Pittsburgh: The University of Pittsburgh Press.
- [15] Murdock, G. P. & White, D. R. (1969). Standard Cross-Cultural Sample. *Ethnology* 8 (4): 329-69.
- [16] Murray, S. (2013). *Interactive Data Visualization for the Web: An Introduction to Designing with D3* (1st ed.), Sebastopol, California: O'Reilly Media.
- [17] MVRDV. (1999a). *Farmax: Excursions on Density*. Netherland: Winy Mass,010 Publishers.
- [18] MVRDV. (1999b). *Metacity / Datatown*. Netherland: Winy Mass,010 Publishers.
- [19] Reas, C. & Fry, B. (2010). *Getting Started with Processing* (1st ed.), Make.
- [20] Ritchie, S. K. (2014). *Visual Storytelling with D3: An Introduction to Data Visualization in JavaScript*(1st ed.), Addison-Wesley Professional.
- [21] Spuybroek, L. (2010). *NOX Diagrams*. in M. Garcia ed., *The Diagrams of Architecture*, pp.270-281.
- [22] Terzidis, K. (2006). *Algorithmic Architecture*. MA: Architectural Press.
- [23] Timms, S. (2013). *Social Data Visualization with HTML5 and JavaScript* (1st ed.), Birmingham: Packt Publishing.
- [24] Tufte, E. R. (1992). *Envisioning Information*. Cheshire, CT, USA: Graphics Press.
- [25] UN Studio. (1999). *Move*, Netherland: Goose Press.
- [26] Yau, N. (2011). *Visualize This: The Flowing Data Guide to Design, Visualization, and Statistics* (1st ed.), Wiley Press.