

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

▶ 學術資訊視覺化網路系統的建立與應用－以WOCAD學術資料庫為例

Developing an Academic Information Visualization Network
System-using WOCAD academic database as an example

doi:10.29465/IJDMD.202112_13(2).0004

國際數位媒體設計學刊, 13(2), 2021

International Journal of Digital Media Design (IJDMD), 13(2), 2021

作者/Author：方琦權(Yu-Cyuan Fang);張登文(Teng-Wen Chang);蕭吉甫(Chi-Fu Hsiao);陳俊諺(Chun-Yen Chen)

頁數/Page：40-59

出版日期/Publication Date：2021/12

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

[http://dx.doi.org/10.29465/IJDMD.202112_13\(2\).0004](http://dx.doi.org/10.29465/IJDMD.202112_13(2).0004)



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，
是這篇文章在網路上的唯一識別碼，
用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



學術資訊視覺化網路系統的建立與應用-以 WOCAD 學術資料庫為例

方墳權¹，張登文²，蕭吉甫³，陳俊諺⁴

1 國立雲林科技大學數位媒體設計系所碩士研究生，m10835023@yuntech.edu.tw

2 國立雲林科技大學數位媒體設計系所教授，tengwen@yuntech.edu.tw

3 淡江大學建築學系助理教授，chifu.research@gmail.com

4 國立雲林科技大學設計學研究所博士研究生，d11030002@yuntech.edu.tw

摘要

學術資料通常包含了數億個原始數據，而這樣大量的資料該如何有效進行分析並檢索出有效的訊息是研究者面臨的關鍵問題。資訊視覺化作為一種研究方法，常被用於幫助理解數據之間的關係，有效的視覺化內容甚至可以為解決問題提供見解。因此，本研究以 WOCAD (Web of CAADRIA) 資料庫作為數據來源，該數據庫是來自 CAADRIA 會議 1996-2015 年的精煉關係數據。由於 CAADRIA 作為電腦輔助設計 (CAD) 中的一個特殊興趣小組 (SIG) 的性質並針對此單一領域做知識的累積及拓展，這些數據提供了不同於一般學術資訊的領域特定信息且非常適合表現在該領域中的意義。本視覺化網路系統使用 D3.js 做為學術資訊視覺化呈現的開發工具來繪製視覺圖，並建立了 MEAN Stack 介面系統來管控及調整 MongoDB 的資料內容，最後透過此系統所製作的視覺圖來做比較分析。視覺化研究透過了作者、著作及關鍵字的相互關聯以視覺化方式呈現，來讓研究者從中了解整個研討會的社交網路。本文以共同作者發表網路圖、關鍵字連結圖以及分年作者發表網路圖做比較與分析，從網路地圖中發掘作者的學術發展深度及拓展性以評價作者在 CAD 學術界的存在，並且評估作者在學術圈中的活躍度與重要性，同時觀察作者於 CAD 領域中的發展脈絡。

關鍵詞：資訊視覺化、學術社交網路、數據分析、網路圖分析、D3.js

Developing an Academic Information Visualization Network System- using WOCAD academic database as an example

Yu-Cyuan Fang¹, Teng-Wen Chang², Chi-Fu Hsiao³, Chun-Yen Chen⁴

1 Dept of Digital Media Design, National Yunlin University of Science and Technology, MA student, m10835023@yuntech.edu.tw

2 Dept of Digital Media Design, National Yunlin University of Science and Technology, Professor, tengwen@yuntech.edu.tw

3 Dept of Architecture, Tamkang University, Assistant Professor, chifu.research@gmail.com

4 Graduate School of Design, National Yunlin University of Science and Technology, PhD student, d11030002@yuntech.edu.tw

ABSTRACT

The academic information often contains billions of raw data. How to retrieve a meaningful information from such massive amount of data effectively is a key issue for researchers. Information visualization as a research method is often used for understanding the relation and context among data, and effective visualization can even provide insights for resolution. Therefore, this article investigates an academic visualization network system with information visualization process. The data sources that this article uses is the WOCAD (Web of CAADRIA) database that is a refined relation data from CAADRIA proceedings from 1996-2015. With the nature of CAADRIA as a special interest group in computer aided design (CAD), this data provides a domain specific information that is different from the general academic information that is suitable for unleashing the meaning among this field. Visual network system conducted uses D3.js as a development tool for the visual presentation of academic information to draw

visual maps, and establishes a MEAN Stack interactive system to control and adjust the data content of MongoDB, and finally the visual maps produced is analyzed and results are compared. The interrelationship of authors, works, and keywords is presented as an interactive network visualization. From this network, the author's academic development depth and expansibility can be explored to evaluate the author's presence in the academic circle of CAD. The activity and importance of the author, while observing the author's development in the CAD field can then be unleashed and explored.

Keywords: Data Visualization, Academic Social Networks, Data Analysis, Graph Analysis, D3.js.

1 研究背景

因網路的發展下學術資料的取得與分享普及,使得學術網已有數億筆的資料內容與學術知識。其中光是最大的學術網站 Google Scholar 就有近億筆的學術資料,而英文撰寫的學術文章就佔了絕大多數(Khabsa & Giles, 2014)。而學術資料的倍數成長下,學術數據的分析及視覺化成為了學術界與業界的關注焦點。該如何將知識脈絡更清楚的呈現,讓研究者與產業界能藉此看到學術發展,是如今學術大數據下需要被研究的問題。而學術社交網路(Academic Social Network, ASN)是使用了學術本體與其關係連結形成複雜的學術網路,從作者及著作去尋找更多其他的關聯,如作者的所屬機構、學位、過去的著作、指導與合作對象等學術社交關係。以此來連結作者與著作的關係,運用此網路圖研究者可以調查及分析學術的背景、現狀及趨勢(Fu, Song, & Chiu, 2014)。因此,本研究以 ASN 的方式建立一套視覺化網路系統,以學術網路視覺化來呈現 WOCAD 學術資料的相互關聯,並挖掘與分析其中的學術脈絡與發展。

1.1 WOCAD 學術資料庫

WOCAD(Web of CADDRIA)學術資料庫是由 CumInCAD 學術數據庫將 CAADRIA 學術與作者資料數據庫相互結合,其特點在於只收錄電腦輔助設計(CAD)領域的論文進行知識疊加,並從此單一領域中找尋更多的發展可能,但其核心還是針對 CAD 領域來做學術發展。在近年電腦發展下電腦輔助設計成長快速,WOCAD 數據庫在累積的二十年間此一領域有著很大的轉變,因此在此資料中能夠探索到明顯的學術脈絡與變化。CumInCAD 是由 Bob Martens 與 Ziga Turk 於 1998 年設計及創建,收錄了有關 CAD 及同級協會歷年累計的出版物,通過數據庫來達成網頁方式進行書目索引(Martens & Turk, 1999)。CAADRIA 為亞洲電腦輔助建築設計研究協會,為 CAD 的學者與專家提供論壇及研討會,以分享與聚集亞洲電腦輔助建築設計的知識(S. Huang & Chang, 2018)。

CumInCAD 在 IST SciX 一個科學訊息交換的歐盟項目中,得到介面上的提升及顯著的增強,並在 2016 年再次更新,將其資料庫開放訪問及瀏覽,開發出 CumInCAD 2.0 的雲部署系統,其開源瀏覽方便使用者在進行資訊視覺化的資料取得(Cerovsek & Martens, 2016; Martens, Bjoerk, & Turk, 2002)。而在近年也開始研究文本挖掘與文獻計量分析,去挖掘 CAADRIA 研討會中作者、文章及研討會定量與定性結果,以此統計及分析整個研討會歷年來的研究過程,利用視覺化提供給對 CAD 有興趣的研究人員、教育者與出版者(Cerovsek & Martens, 2020)。

本數據庫記錄從 1996 到 2015 年間,CAADRIA 研討會及 CumInCAD 數據庫中計算機輔助建築設計相關的研討會、期刊及著作等資料,包含 9378 篇著作、19040 位作者、24532 個關鍵字及 64312 篇文獻相關資料,如此龐大的資料庫難以用查看來挖掘其中的脈絡。因此研究將以資訊視覺化網路圖來呈現數據內容方式來解決,資訊視覺化是使用圖形化的方式清晰地呈現及分析大量的數據內容,在做數據分析及資料探勘時常會使用到此技術來輔助,從大數據中找到有效有用的資料,能夠以此依據來做分析及決策。

1.2 資訊視覺化

資訊視覺化常被使用在數據分析及數據科學上,而近年來更是被廣泛應用在各個領域之中。此技術被應用在許多分析、評估與預測中,其視覺化的數據呈現能夠以不同的角度來觀測,甚至發覺過去未曾發掘的問題,以及呈現未來的趨勢面。在網路發展快速下,大量的資料以數據形態被存放在網路上,各式各樣的資料都能在上面取得。而如今這些大數據的資料成為了解決商業與科學問題的絕佳工具,行銷產業可以透過消費及瀏覽數據來了解消費者行為、偏好及消費趨勢(Boone, Ganeshan, Jain, & Sanders, 2019)。而醫學界也使用大數據來處理 COVID-19 的問題,從過去的數據來找尋未來的解決方案(Wang, Ng, & Brook, 2020)。近年更是廣泛地使用此技術來進行基因學及生物學的研究,以視覺化的技術來解讀及分解

基因序列，並由電腦科學的運算解決問題 (Goldman, Craft, Brooks, Zhu, & Haussler, 2018; Nusrat, Harbig, & Gehlenborg, 2019)。另外也能被拿來解決能源問題，由大量的用戶數據來進行行為分析，可用於預測需求、最佳化分佈電網配置以及能源生產優化 (Zhang, Huang, & Bompard, 2018)。

數據分析能夠幫助使用者解決許多問題，但大量的數據需要先進的分析技術來提取有價值的訊息，無法進行有效利用終究無法產生其價值，而資訊視覺化正是提取數據的一個好方法，將數據藉由圖表來增加可讀性，挖掘難以被理解及判斷的資料內容。過去我們曾研究 WOCAD 數據庫的本體視覺化，幫助研究人員快速了解 CAADRIA 學術網路的本體。在研究中使用 protégé 進行建構本體結構，並能夠以 SPARQL 查詢及呈現彼此間的相互關聯，而本體的結構能夠賦予一個資料多個屬性，因此在呈現一筆資料時，同時也會連結出其他資訊及內容。如 (圖 1) 中在作者的資料中，也會連到其著作、著作的共同作者、著作使用的關鍵字及使用的文獻等，其他被連結到的使用資訊 (S. Huang & Chang, 2018)。

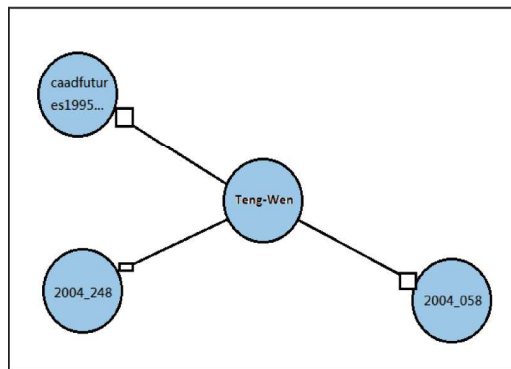


圖 1. 使用 SPARQL 查詢後的 ontology 呈現 (Huang & Chang, 2018)

另外，在之前的研究也曾以視覺化方法來分析設計過程，將設計過程轉化成資料型態，再以鏈接圖來挖掘設計過程中的交互影響。以放聲思考法來進行設計過程的記錄，並將每一個步驟及重點當作視覺圖中的每一個節點，最後以 Linkography 的方式製作連結圖表 (Hsieh & Chang, 2017)。而這可以幫助設計師了解整個設計過程的脈絡，並挖掘出整個設計過程需要改善及解決的問題，以避免相同的錯誤發生 (L.-C. Chen & Chou, 2018)。而另外也研究了團隊交流互動間的視覺化分析，以 Emoji 的形式創建社群的交流框架，將情感資料數據化以幫助進行情緒及互動分析 (Y.-S. Wu & Chang, 2019)。

1.3 視覺化系統

資訊視覺化中的數據庫與視覺呈現需要統整成一個系統操作，能將數據的變化同步處理到視覺圖中。而在本實驗中使用 MongoDB 作為資料庫的存取系統，MongoDB 為 NOSQL 的資料庫類型，其特性為非關係型、分佈式及水平連結的，且能處理大量的非關係數據。這樣的方式與 SQL 的差別在於與關係數據庫不同，它可以有效的處理非結構化數據，如文檔、電子郵件與社群媒體 (Ali, Shafique, Majeed, & Raza, 2019)。而其中兩者資料型態的比較性已有大量的文獻證明，在有大量用戶的論壇型應用程式，較適合以 NOSQL 的方式來建立資料庫 (Győrödi, Győrödi, Pecherle, & Olah, 2015)。

使用 MongoDB 建立數據庫時，需要一個前台來控制及修正後臺數據，Node.js 可以快速的與 MongoDB 結合進行 Web 開發，而 MEAN Stack (MongoDB, Express.js, Angular, Node.js) 正是因此而建構的系統。MEAN Stack 是用於開發網站與網路應用的 JavaScript 開放原始碼套件，能夠將前后台的軟體進行整合，以 Node.js 的 npm (Node Package Manager) 套件來安裝 Angular、MongoDB 與 Express.js 後，Node.js 與 Express.js 可執行數據庫與前後端網頁的相互連結。其服務能讓在整個環境中都能以 JavaScript 語法進行編寫，過去使用 LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) 的方式進行操作，需要使用許多語法，且需要將 MySQL 的數據以 PHP 或是 Python 進行轉譯才可進到前端，這會使前端與後端連結變得複雜 (圖 2) (Lotfy & Pyatt, 2018)。

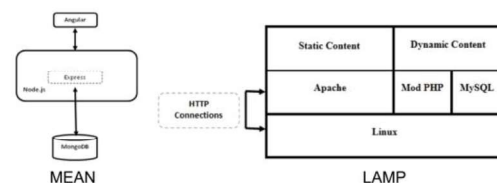


圖 2. MEAN 與 LAMP 的結構差異 (Lotfy & Pyatt, 2018)

使用 MEAN Stack 的全端架構，可以讓前端與後端做系統性的連結，能夠更好的運用前端網頁去操控後端資料庫。而在資訊視覺化的過程中，需要同時管控前端呈現與後端資料，在展現視覺圖後仍然要做出修正，不只是顏色、粗細及大小等 CSS 的前端渲染編輯器調整，時常也要改變數據的資料及結構，才能在數據呈現出現問題時即時進行調整與修正。因此全

端的系統架構在資訊視覺化中起了很大的作用，讓視覺化呈現過程中能夠依照分析需求匯入及修改數據。

本研究旨在建置一套視覺化網路系統，來使學術數據庫中大量的學術資料能夠以視覺化方式呈現，以此來挖掘與探索學術脈絡並從中進行研究分析。在系統設計方面需要滿足大量的資料內容能夠被呈現在視覺圖中，且在操作數據分析時能靈活的改變資料結構與視覺圖外觀。因此使用 MEAN Stack 套件來幫助前後端能夠整合進行開發，在視覺化時能夠操作數據庫的資料。這能讓研究者更有效地從資料的關聯性中理解及分析數據，同時也幫助設計者在進行視覺圖製作時能使用此系統進行快速的修正。

2 文獻探討

為了建立一套資訊視覺化網路系統，並進行一系列視覺化測試，並從視覺化的圖形中找尋資料挖掘的可能性。因此，將從學術社交視覺化的分析方法進行探討，並使用此方法來執行視覺化圖形的製作。另外，也探討了視覺化的呈現方式以及視覺化的工具，來說明不同的視覺圖呈現所帶來的資訊差異，以及各種視覺化工具的所具有的功能及操作方式，從(1)學術資訊視覺化的分析方法(2)資訊視覺化圖形呈現及(3)視覺化工具這三個面向來進行討論。

2.1 學術社交視覺化網路分析

社交網路分析在許多領域發揮很大的作用，例如社交媒體網路、交通資訊網路及流行疾病學網路等，能夠利用這些視覺化網路圖來進行分析。該網路分析不只用於社交系統中，同時也提供學術領域的使用依據，像是在傳染疾病的防治中能扮演追蹤及判別的角色。學術社交網路(Academic Social Networks, ASN)因其資料量龐大且資訊不易整理，而近年來跨領域的合作增加，學術領域不僅限於在各自的範圍內，因此學術社交網路能幫助研究者了解當前的學術現狀與趨勢，也透過數據分析來挖掘學術網路的脈絡及可發展的面向及區域(Khan, Liu, Shakil, & Alam, 2017)。

學術社交網路分為同類型學術社交網路與相異類型學術社交網路，同類型學術社交網路的資料型態大致相同，通常為作者、著作、引用文獻及關鍵字等。而相異類型網路是大多數的學術社交網路(ASN)所使用的方式，為跨越不同類別的資料型態來進行連結，如(圖3)

將共同作者間再加入論文或是引文的元素，加以分析學者在學術研究上的發展與趨勢(Kong et al., 2019)。

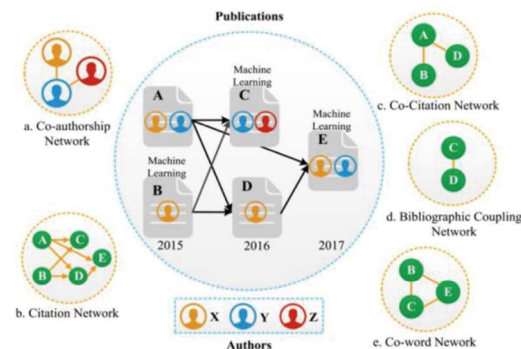


圖 3. 同類型學術社交網路資料型態(Kong,

Shi, Yu, Liu, & Xia, 2019)

這類的數據形態所整理出的網路分為三大類：

第一類為協作網路(Co-Author Networks)，其連結發表著作及文章的共同作者，了解學者間的協作模式。這可以幫助研究人員了解知識傳遞的脈絡，查看知識是如何被接收以及傳遞出去。另外此舉也能當作評估學者的重要的程度的依據，藉由彼此間連結的父子關係找到傳遞的起點，亦或是知識的中心點。Masanori Fujita 等人提出一套分析法，於共同作者網路的中介中心性，作為研究人員在科學技術發展和促進創新方面的循證評價指標，以此方法找尋知識的傳遞路徑(圖4)。另外也通過此技術找尋具有前途性的新興研究員，其結果能有助於研究機構及其領域，能以此快速了解研究員的背景及特徵(Fujita, Inoue, & Terano, 2017; Fujita et al., 2018)。

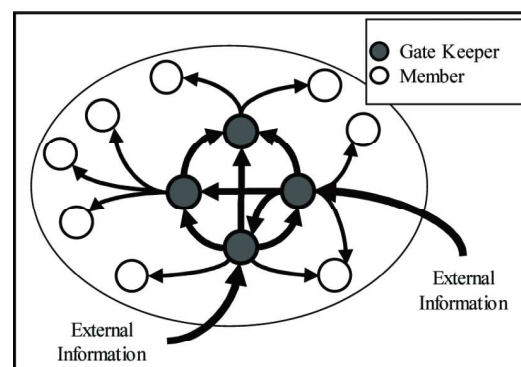


圖 4. 研究人員的知識關係圖(Fujita, Ishido,

Inoue, & Terano, 2018)

第二類共引網路(Co-citation Networks)連

結著作所引用的文獻，能作為論文的計量依據。當作者引用特定文獻，其學術發表也將內化文獻一部分作為研究發展的依據，對於引用文本的學術想法與知識也做了更進一步的堆疊。而許多人引用同一篇文獻時，也將證明其學術是有一定的參考價值以及具有足夠的發展性。在 Caleb M. Trujillo 與 Tammy M. Long 的研究中，以視覺化的方式呈現共引網路圖，來分析跨領域研究的思維及脈絡，幫助研究者從文本共引的結構中辨識跨領域的思考方式(Trujillo & Long, 2018)。在視覺化圖表中以不同的圖標表示分類後的各別領域，另外藍色代表著目標文獻為中心拓展的思維網路。

第三類共詞網路(Co-Word Networks)連結共用關鍵字，可探索研究主題的趨勢及脈絡，但其命名沒有固定性，容易隨著時代而產生詞彙的變化。然而還是有許多使用共詞網路的文獻，關鍵字對於文獻探討主題及研究領域仍具有一定的識別性。而從共詞網路中找尋新興研究趨勢時，在使用上需要進行更多的分析。在關鍵字詞的語義上是零散的，因此要先做出結構性的整理，將關鍵字統整出領域分類，將頻率最高的字詞作為主題標籤，再從中判斷及預測(L. Huang et al., 2021; Katsurai & Ono, 2019)。

2.2 視覺圖的呈現

數據可以說是新時代非常有用處的資源，Bernstein 的分析師 Matti Littunen 形容這些數據好比新石油，能夠有效利用及操作數據就能影響世界。許多科技巨頭也投資了大量的金錢在收集及彙整數據上，都想在這數位石油(digital oil)中佔據最有利的地位。而如此龐大的海量數據在被使用時常會遇到難以被解讀的問題，數據分析時包含了六個階段，(1)明確的目的及思路，在開始前需要充分了解視覺化目的，才能知道要蒐集哪些數據。(2)數據收集，能夠透過資料庫、網路資料以及實際調查等方式取得。(3)數據處理，包含資料清洗、資料轉化及資料提取等步驟，目的是得到乾淨可用的資料內容。(4)數據呈現，經常使用資訊視覺化的方式來展示，相對於文字與數字，圖表的型態更有利於人解讀及判斷。(6)評估與分析，將整個資料分析過程進行解讀後，得到一個明確的結論與問題的解決方案(Steele & Iliinsky, 2010)。

數據視覺化有非常多類型的圖表能夠呈現，常見的有樹狀圖、和弦圖、文字雲及力導向圖等，而這些圖表呈現的資訊也有所不同。該要取用哪個圖來作為展現，取決於數據的分類，很多圖表無法呈現出時間軸、相對位置或

者類型等資訊。因此在選用圖表時，需要先確定選擇的數據以及要呈現出的內容，在視覺化時才能表現出重要的部分。然而，有些數據內容是複雜且難以理解，甚至需要在數據搜集時就進行分類來定義每筆資料及其使用的方法，因此在呈現視覺圖前必須明確的制定問題，以及如何解決才能判斷該使用何種類型的圖表來呈現內容(C.-H. Chen, 2020)。另外，現今資料的筆數需求量不斷地增加，在每一筆資料中還包含著許多屬性，來尋求數據分析能夠更加準確。因此在資訊視覺化時需要能呈現龐大數據資訊的視覺圖，在圖中需要涵蓋許多內容，但又不能太混雜使資料無法被分析判讀(Brath & Jonker, 2015)。在學術社交視覺化中，多使用網路圖(Network)來作為呈現，因其能夠完整的表現出大量的資料，且可以清楚的看到每一筆資料之間的關聯性。因此，主要採取此方式來作為視覺化的圖表呈現，並從視覺圖的分析中挖掘更深層的學術脈絡。

視覺圖呈現是為了讓人更快速的理解大量訊息並可從圖表中的內容進行分析，為了將資訊有系統的呈現於圖表中，設計者會從顏色、大小、標籤及位置等變量來做視覺圖設計，以此進行資料的分組幫助後續的分析。(Mithili Devi & Kasireddy, 2019)使用 Gephi 工具製作出 Amazon 的產品銷售網路圖，並對圖形的視覺化進行分析(圖 5)。在圖中可以看到紅色到黃色節點代表著銷售收入的多寡，節點大小則為銷售數量的多寡，而線段的粗細代表著購買此商品時連同購買其他商品的次數。在對此網路圖做分析後作者得到了一些有趣的結果，可以從節點的顏色及大小找到最暢銷的商品及最不暢銷的商品。另外也從線段連結的粗細找到相關性最強的商品，消費者在購買此一商品時通常也會購買另一項，並且再深入探究節點顏色及大小可以發現有些商品的暢銷同時也會使另一項商品的銷售有所成長。而在此視覺網路中分成許多區塊，作者分析出從最大區塊中連結最密的商品來挖掘出最具影響力商品，此商品帶動了許多商品的成長創造出最高的收益。

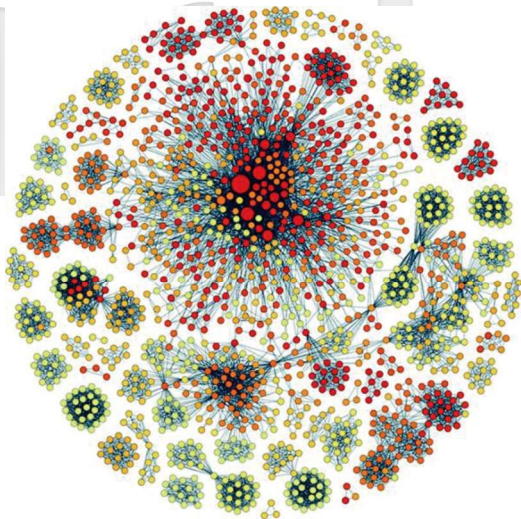


圖 5. 來自 SNAP Amazon 產品數據集繪製的
產品銷售網路圖(Mithili Devi & Kasireddy,
2019)

上述圖表中作者以視覺化網路圖的呈現來進行分析，在(Mithili Devi & Kasireddy, 2019)文章中也從 Gephi 的統計數值上驗證了其圖表分析的準確性。然而，在過去研究中也對學術網路圖有類似的分析，其利用視覺圖表對中心度、頻率、網路密度以及聚類模塊等來做找尋研究熱點與研究趨勢的相關分析(Weihua & Dong, 2021)。在上述這些案例中皆是使用工具呈現數據網路圖，再從網路圖中分析出重要節點、整體脈絡及發展趨勢。因此視覺圖的呈現不只是對於快速理解內容有幫助，而是能運用此圖表進行分析與研究，挖掘出數據中隱藏的資訊內容。

2.3 視覺化工具

資訊視覺化的工具有非常多種，也有許多研究人員及商業人士開發出許多資訊視覺化的工具，並以此方法來幫助判讀及解決的問題。而這些工具都是由許多方式來進行開發，目的也不相同甚至很多具有針對某些特定領域的數據資料，但其中也有較普遍性的視覺化工具，大致可分為需要編程的工具與不需要編程的工具。現今不需要編程的工具種類繁多，已經可以處理非常多視覺呈現，但其缺點就是沒辦法自由修改及調整，只能依照提供的套件來做使用，例如 Tableau、RAW Graphs 及 iCharts 等。而需要編程的視覺化工具，多數是使用 JavaScript 來製作互動型的視覺圖表，但有些過程中要結合其他語法像是 PHP、Python 或是 R 語言等，在(圖 6-1、6-2)中分為主要使用 JavaScript 以及使用其他語法的視覺化工具

(Liu et al., 2018)。

Framework name	Input data format	Rendered charts by	Charts and maps type	License from
D3.js	JSON, CSV, and XML	HTML5 canvas, SVG and CSS	A powerful D3 gallery with multiple charts, graphs, and maps including the world map and the US map.	BSD-3
Chart.js	JavaScript API	Only HTML5 Canvas	8 chart types, including over 23 charts and graphs.	MIT LICENSE
FusionCharts	JSON, XML	SVG, VML	90+ charts and graphs, 1000+ maps including all continents, major countries, and all US states.	Free for basic edition and advanced commercial edition.
Flot Chart	JavaScript API	Only HTML5 Canvas	The charts of lines, points, filled areas, bars and any combinations of these charts. Doesn't support maps.	Free
ZingChart	JavaScript API	HTML5 Canvas, SVG, and VML	Plethora of chart and graph types in its ZingChart gallery. Support almost every country and area.	Free for basic edition and advanced commercial edition.

圖 6-1. 基於 JavaScript 的視覺化工具(Liu et al., 2018)

Tools	Input data format	Language-based	Features	License from
Gephi	CSV, Excel files,	Java, OpenGL	Powered by OpenGL engine. Force-based layout algorithms shape the graph.	GNU, GPL
Nodebox 3	CSV	Python and C/C++	Integrate all the functional parts in nodes.	GPL
Ggplot2	R, API	R	Plotting based on layers. Graphs composed of layers.	GNU, GPL and V2
Processing	Multiple of formats are available in its library	Java, plugins for Python and JavaScript	Integrate the OpenGL engine. Over 100+ libraries offered to expand its usage.	GPL, LGPL
JyGraph	CSV, From databases such as mySQL	PHP	Tiny size of generating images. Anti-spam images is supported. 3D effects is also supported.	Free GPL, paid for commercial

圖 6-2. 基於其他語法的視覺化工具(Liu et al., 2018)

這些視覺化工具的使用範圍較廣，使用程式語言更是初始的操作形式，能夠自由操作且製作一套客製化系統，而其中 D3.js 與 Gephi 是目前許多資訊視覺化的使用首選。Gephi 是繪製資訊視覺網路圖的熱門工具，由 Mathieu Bastian 等人於 2009 年開放及發表。該工具可以顯示 875713 個節點與 5105039 條連結線，使用 3D 渲染引擎能夠即時顯示海量數據所製作的大型網路圖，快速的加載及運行是其重要的特性(Bastian, Heymann, & Jacomy, 2009)。Gephi 可以計算不同的中心性度量(中間度、接近度、偏心率)等數據分析計算，並提供查找各種計算函數的功能。該工具也提供不同佈局的圖表顯示，並且能夠從介面中更改外觀、大小及顏色，將每一筆數據進行分類，這有助於進行有效的視覺化操作並從過程中進行分析(圖 7)。此技術多被應用於探索性數據分析、鏈結分析、社交網路分析及生物網路分析，而此工具無需編程技術的操作方式也深受資訊視覺設計師的青睞，因此其十分適合用來製作大數據的網路視覺化圖表(Faysal & Arifuzzaman, 2018)。

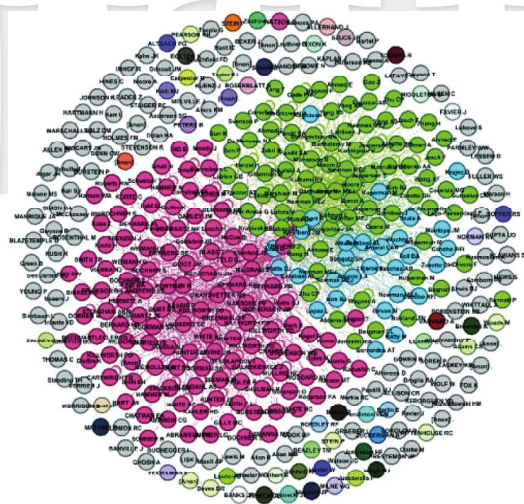


圖 7. 使用 Gephi 繪製的網路圖(Faysal & Arifuzzaman, 2018)

D3.js 是 JavaScript 圖形庫中的開源程式庫，由 Mike Bostock 等人引入的由 JavaScript 編寫非傳統視覺化框架，且為用戶提供許多示例及技術文件。其結合了 HTML 及 CSS 技術，視覺圖是由網頁來進行呈現，代表著能經由網路執行遠端的修改，視覺圖能隨著數據的更動而同步改變(Bostock, Ogievetsky, & Heer, 2011)。D3.js 的全名為 Data-Driven Documents，是一個使用動態圖形來顯示資料的 JavaScript 數據庫。它可以將數據加載到瀏覽器的內存空間中並綁定到 DOM (Document Object Model) 上，通過使用 HTML、SVG 及 CSS 對數據進行操作，將 JSON、XML 等數據文檔轉換為視覺化圖形呈現。

D3.js 對 Web 瀏覽器有著高度兼容性，不需要而外在安裝外掛執行程序，只需要在 HTML 的<head>標籤中導入 D3.js 源文件即可，相比於 Echarts 等高度封裝的開源視覺化資料庫，有更高的靈活性與擴展性(Bao & Chen, 2014)。而在此研究中選擇了 D3.js 作為開發工具，第一點為與 Gephi 相比之下，可編程的視覺化工具能繪製更多種類的視覺圖型，且有較高的靈活度能夠依照需求繪製自訂化介面。第二點為 D3.js 使用 JavaScript 為基礎的方式，能夠在 HTML 中直接編寫而不需要另外安裝軟體，也能將資訊視覺圖以網頁方式呈現在網路之中，並且能夠隨時的進行修正與更新。D3.js 基礎的編寫方式，有助於開發一套完整的視覺化工具，並依照需求呈現出各種不同樣式的視覺化圖表。

2.4 小結

數據資料的視覺化能夠幫助讀取繁雜的資料，而在如今的大數據時代更是如此，資料

就好比新石油是一個新的能源，資料能被解讀及使用，就可以幫助人們解決許多問題(Z. Wu et al., 2014)。而從上述的文獻探討中總結了三點如下：

- (1) 將使用學術社交網路來觀察學者研究發展的拓展性分析，並以此方法來進行一系列視覺化的呈現與分析。
- (2) 為了將龐大的數據簡化以便判讀，需要進行數據篩選及整理後匯入系統來繪製出視覺圖。然而，視覺化的呈現上有許多種表現形式，因此在文獻探討後找尋了最合適的圖表，選擇使用網路圖(Network Graph)來做為視覺圖的呈現方式。
- (3) 在視覺化網路系統中將使用 D3.js 做為視覺化繪製的開發工具，以此來製作資訊視覺化圖形。

另外在 WOCAD 學術資料庫中記錄了許多研討會的數據，研究過程中將以資訊視覺化來發掘學術領域的發展脈絡及學者於學術領域的研究貢獻(Yao, Wei, Zeng, Fan, & Di, 2014)。目標能以學術社交網路圖來找到解答，同時也針對實驗的每個環節進行修正與評估，找到能夠表現目的的最佳視覺呈現方法。

3 資訊視覺化網路系統

根據上述的文獻探討，研究中將使用 WOCAD 學術資料庫來作為實驗基礎數據，此數據庫中存放大量計算機輔助建築設計領域的研討會及期刊資料。從中提取此學術資料並放至 MongoDB Database 來作為資料庫的存取系統，再使用 MEAN 套件來設計資料庫的介面，建立出有 CRUD(Create, Read, Update, Delete)的數據庫介面(Polo, Piattini, Ruiz, & de Calatrava, 2001)。此方式能使數據能同步從網頁中進行修改，再經由資料庫的讀取後立即呈現於資訊視覺化的網頁上，幫助設計者從前端來檢視後端的數據庫。而本視覺化呈現方法則以網頁型態架設，使用 D3.js 語法來作為開發工具，來建立學術社交網路圖並建立操作介面，來讓研究者能夠在視覺網路圖中檢視及調整呈現的資料與範圍。

3.1 系統設計

本研究為了建置一套視覺化網路系統，以能夠順利挖掘及整理數據後呈現視覺化。將主要使用者分為設計者與研究者，設計者負責整

理數據及繪製視覺圖，而研究者則分析視覺圖並從中挖掘學術發展與脈絡。在本實驗過程中，將資訊視覺化的系統設計分輸出端、運算端與輸出端過程如下（圖 8）：

(1) 輸入端：將 WOCAD 數據匯入到 MongoDB 資料管理系統，而設計者可從介面中來輸入及修改數據。

(2) 運算端（數據存取）：在 MEAN Stack 的系統中設計者從 Angular 提供的介面框架送出要求數據的請求，而 Angular 會向服務器要求數據存取，服務器中會由 Node.js 接到請求並隨即要求 Express.js 向 MongoDB 請求數據取得。

MongoDB 在接受要求後將數據傳遞給 Express.js，在 Express.js 收到數據後便會回覆給 Node.js，隨即 Node.js 再將數據傳給 Angular，在由 Angular 提供給研究者最終顯示結果。

此運算過程從兩個方向進行，由設計者從介面中進行操作來向數據庫要求數據資料，之後數據庫再將資料回傳到介面中。本階段主要為數據的檢

視與調整，方便設計者在視覺化時能從前端來快速校正數據。

(3) 運算端（數據分析）：D3.js 匯入於 HTML 後，即可使用其程式庫來設計與繪製互動型視覺化圖表。MongoDB 將數據匯出成 JSON 格式後，D3.js 便可讀取數據內容繪製出節點與線段。CSS 可設定網頁的基礎字體與顏色等風格，而 HTML 則編排網頁框架並將全部內容呈現網頁中，因此研究者便可從網頁上看到視覺圖表的呈現以進行操作。

此階段主要為呈現視覺化圖表於網頁中，以 HTML/CSS/JS 的基本網頁架構進行建置，並與 MEAN Stack 共用 MongoDB 從而進行系統的結合。

(4) 輸出端：研究者可從網頁中觀看到視覺圖，設計者也可以介面中看到 MongoDB 的數據資料。在發現數據出現問題時，即可從 MEAN Stack 提供的介面對數據進行調整。過程中可由此方式來回的進行修正，讓研究者能更有效率的分析視覺圖。

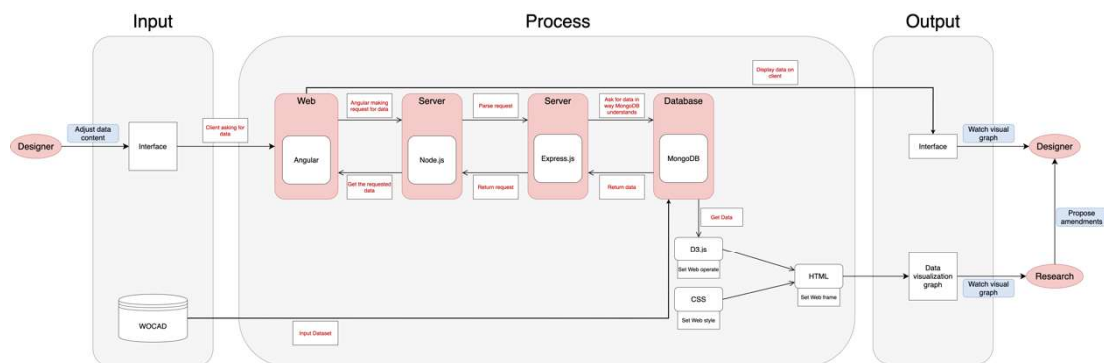


圖 8. 視覺化網路系統設計

從圖 8 中可以看到設計者會從 MEAN Stack 的介面中調整數據並將整理好的數據提供給 D3.js 取得後繪製出視覺圖，再進到網頁中呈現給研究者。然而，研究者在查看與分析視覺圖時需要修正數據或製作其他種類的視覺圖，因此可以將問題提供給設計者，再由設計者進到系統中進行修改。修正數據時設計者可以由 MEAN 進行快速的修正，而需要製作其他視覺圖時則必須從 D3.js 的代碼中進行修改。

此視覺化網路系統使用 MEAN 套件來建立資料庫系統的輸入/輸出端，以允許設計者將數據從自訂介面的網頁進行輸入、讀取、更

新及刪除，有效的即時管理數據以及制訂介面。同時，在視覺化的頁面中也透過此方式來製作視覺化操作介面，幫助研究者在觀看視覺圖時能調整數據的呈現範圍與方式。

此系統主要著重在數據的快速提取以及將前端與後端的數據庫進行連結操作。為此，使用 Full Stack 的建置方式，來達到製作資訊視覺化時能夠從前端去做全部的資料控制。該方式讓設計者能夠在介面中有更多的自由度，並允許設計者在製作視覺圖時能夠進行即時的更改，不需要再進入到資料庫中調整數據的變量。

3.2 數據整理

本數據使用 WOCAD 的數據資料來做資訊視覺化，在此資料庫中取用了作者(Author)、著作(Work)、關鍵字(Keyword)三種分類的資料表，這三個資料表當中收集了許多相關數據，如(圖 9)。因此，需要將資料表的數據進行篩選及清理，後續才能做為視覺化網路的基礎數據。

data WORK_TABLE	data AUTHOR_TABLE	data KEYWORD_TABLE
work_id : varchar(100)	work_id : varchar(100)	work_id : varchar(100)
work_series : varchar(50)	author_lastname : varchar(50)	keyword_word : varchar(100)
work_year : int	author_firstname : varchar(50)	keyword_order : int
work_number : varchar(50)	author_order : int	index_autoincrement : int
work_cumicadunderlineid : varchar(50)	author_contact : varchar(10)	
work_authors : varchar(1000)	author_email : varchar(100)	
work_authoriseditor : int	author_institute : varchar(1000)	
work_title : varchar(1000)	author_id_unified : int	
work_source : varchar(2000)	index_autoincrement : int	
work_summary : text		
work_keywords : varchar(1000)		
work_type : varchar(50)		
work_email : varchar(500)		
work_fulltext : varchar(100)		
work_reference : varchar(2000)		
work_lastchanged : varchar(16)		
work_source_vol : varchar(50)		
work_source_no : varchar(50)		
work_source_frompage : varchar(50)		
work_source_topage : varchar(50)		
index_autoincrement : int		

圖 9. WOCAD 數據庫資料表

WOCAD 的數據庫的原始資料是以 SQL 型態存放於以 Web-base 架構的 MySQL 資料庫管理工具(PHPMyAdmin)，而在此之前需要將資料從之中提取出來匯入到 MongoDB 中。PHPMyAdmin 能夠使用 SQL 語法來做資料查找，這使在做數據的提取過程中能做第一步的篩選動作。在資訊視覺化前必須將數據資料進行清理，取出有效且要被使用的資料來整理，避免在資料庫中數據過於雜亂影響匯出時產生錯誤。因此，確定視覺化的目標後立即針對要利用的數據進行整理與排列，而此一步驟在 MongoDB 這種 NOSQL 架構中更是需要注意，因為非關聯式數據庫容易在建立資料時產生過多訊息。首先，去除了有缺漏的數據資料表，以及不需要使用到的資訊，整理後的資料即匯入至 MongoDB，減少不必要的訊息存在於數據庫中(圖 10)。

Author	0.006 sec.
Key	Value
(1) ObjectId("6087c0aeeb1a981233a29b02")	{ 6 fields }
_id	ObjectId("6087c0aeeb1a981233a29b02")
work_id	caadria1996_0ed4
author_lastname	Kusama
author_firstname	H.
author_order	1
Work	0.004 sec.
Key	Value
(1) ObjectId("6087c0d3eb1a981233a34542")	{ 8 fields }
_id	ObjectId("6087c0d3eb1a981233a34542")
work_id	caadria1996_0ed4
work_series	CAADRIA
work_year	1996
work_title	Networked CAD System for Designer Group
Keyword	0.003 sec.
Key	Value
(1) ObjectId("6087c0beeb1a981233a2e568")	{ 5 fields }
_id	ObjectId("6087c0beeb1a981233a2e568")
keyword_word	Computer-aided Design
keyword_order	1

圖 10. MongoDB 數據庫資料

圖 10 中可以看到在匯入 MongoDB 內的數據做了初步的篩選，並且與圖 9 的原始資料比較能發現過程中所去除的資料內容。在 Author 的資料表中只選擇了作者名字與作者發表的論文 ID，而 Work 資料表則是取用論文 ID、年份以及標題。進行此一步驟是為了只取得網路圖所需要的資訊，篩選掉輸入不完全以及不必要的資料，避免在資料讀取後產生出錯誤的視覺圖。

視覺化網路圖將根據這些資料來做不同的資訊視覺化呈現，從作者與著作相互關聯來找尋作者的研究貢獻，以及由關鍵字與著作關聯來查看學術領域的發展。因此研究過程的資料整理著重在這三個資料表，整理過後使用了作者名字、著作名稱以及關鍵字作為節點(圖 11)。過程中發現以大量的數據來做視覺圖時，節點的關聯配對無法以純文字來抓取數據，必須將其節點進行編號才能做出連結線段。因此，給予每個節點固定編號，來讓程式能根據編號來執行線段的繪製(圖 12)。

40	Amano Hiroshi	10	1
41	Amato Alex	10	1
42	Ambrose Michael	10	1
43	Ambrose Michael A.	10	1
44	Amindarbari Reza	10	1
45	Amir Oded	10	1
46	Arntsborg Felix	10	1
47	An Seyun	10	1
48	Anastasios Kotsiopoulos M.	10	1
49	Anay Hakan	10	1
50	Anbusivan R.	10	1
1980	113caadria2004 Case-Based Simulation As a Technique for Assisting Architectural Design	0.1	10
1981	114caadria2004 Situated Case-Based Reasoning As a Constructive Memory Model for Design Reasoning	0.1	10
1982	115caadria2004 Framework for Case-Based Reasoning to Support Idea Association in a Brainstorming Session	0.1	10
1983	201caadria2004 3D Transformations - 3D Scanning, Digital Modelling, Rapid Prototyping and Physical Depiction	0.1	10
1984	202caadria2004 Qualitative Shape Representation and Featurebased Comparison of Architectural Drawings	0.1	10
1985	203caadria2004 Space Adjacency Behavior in Space Planning	0.1	10
1986	204caadria2004 Design Knowledge Discovery in Cases - The Machine View Vs. the Human View	0.1	10
1987	205caadria2004 What Is Intention Structure? - Represent Invisible Information of Spatial Depicts	0.1	10
1988	206caadria2004 Diffusion of Design Ideas: Gatekeeping Effects	0.1	10
1989	207caadria2004 Computational Differentiation and Categorisation of Design Drawings	0.1	10
1990	208caadria2004 Discoveries Throughout Conceptual Design	0.1	10

圖 11. Node 的數據資料

109caadria2004	1976	Choi Hyun-Ah	305
109caadria2004	1976	Jun Han-Jong	747
110caadria2004	1977	Gero John S.	502
110caadria2004	1977	Peng Wei	1345
111caadria2004	1978	Biloria Nimish	113
112caadria2004	1979	Heieh Chun Yu	632
113caadria2004	1980	Chen Hong-Sheng	235
114caadria2004	1981	Liew Pak-San	1025
114caadria2004	1981	Maher Mary Lou	1113
115caadria2004	1982	Lai Ih-Cheng	930
201caadria2004	1983	Kuan Steve K S	904
201caadria2004	1983	Li Weidong	1018
201caadria2004	1983	Schnabel Marc Aurel	1499

圖 12. Link 的數據資料

首先，由 MEAN Stack 的 MongoDB 資料庫匯出 Author, Work, Keyword 資料表內的相關數據，在 Author 表內分為 author_lastname 與 author_firstname。因此，彙整作者名稱為全名以避免在節點中出現不同人卻同名或同姓氏的狀況。接著，將作者(author_name)與著作(work_id)做節點的編號(node_id)，讓線段連結

時能根據編號進行繪製。最後，由 D3.js 讀取資料並繪製出視覺圖來提供給研究者，而研究者在查看視覺圖後提出問題給設計者，在了解後可以進入到 MEAN 的介面對數據進行修正（圖 13）。

圖 13 中的左半部分為作者發表網路的數據流程圖，而右半部分則為關鍵字連結圖的數據流程圖。灰色數據為原始 WOCAD 的數據資料，而橘色數據則為在過程中產出的新數據。可以看到設計者從 MEAN Stack 中將數據匯入後，數據需要進行整理並設定為節點或線段，最後將整理好的 JSON 資料提供給 D3.js 抓取後便呈現出視覺圖給研究者做查看與分析。然而，資訊視覺化的分析過程中需要進行多面向的比較，因此研究者會將問題反饋給設計者，而設計者在根據問題從系統中重新調整數據並製作新的視覺圖給研究者，以此反覆的做滾動式設計與分析。

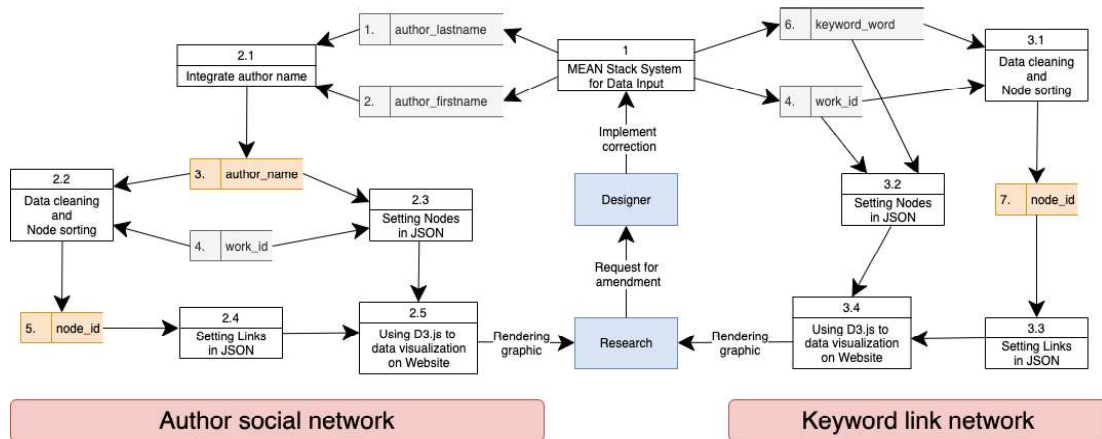


圖 13. 視覺化網路系統的 Data Flow Diagram

3.3 環境架設技術

本實驗中使用 MEAN Stack 的全端架構技術來將 MongoDB 的數據庫能系統化，讓其可以在網頁中調整及查詢數據庫功能。並以此系統來管理數據庫的資料，方便在進行視覺化時能即時查看並修改後台數據。第一步先架設好以 MongoDB 作為數據庫的系統環境，再將 WOCAD 數據匯入至此系統中。WOCAD 數據庫原本是存放至 SQL 系統中，因此原則上也可以使用 SQL 的環境，但在資料整理上會變得較為複雜，需要使用其他語法及系統來做數據調整，所以採用 MEAN 套件中的 MongoDB 來作為系統的數據庫使用。而進入到 MongoDB 的數據在之中每一筆都將會建立出

一個 ID，這能方便在尋找每一筆被輸入的資料內容。

接著，使用 VS code (Visual Studio Code) 編寫 MEAN Stack，由 VS code 內建命令列工具來安裝 Node.js 幫助連結前後臺，並使用 Express.js 來建構後端 Web 架構與 Web 服務。另外，再以 Angular 來編寫前端框架，Node.js 則會在中間扮演環境的轉譯，讓整個環境中都能使用 JavaScript 進程式撰寫。在架設完 MEAN 套件後，此系統可以由 Express.js 獲取 MongoDB 的數據，並呈現在由使用 Angular 框架建立的網頁中。在此網頁編輯的資料也會同時改變數據庫的內容，即架設出一個自定義的資料庫介面，以此來控制數據庫中的資料（圖 14）。

NAME	PAPER	FIELD	IDENTITY	OPERATIONS
Kusama	caadria1996_0ed4	Computer-aided Design	1	[Pencil Icon] [Trash Icon]
Fukuda	caadria1996_0ed4	Prototypes	2	[Pencil Icon] [Trash Icon]
Park	caadria1996_0ed4	Housing Design	3	[Pencil Icon] [Trash Icon]
Sasada	caadria1996_0ed4	Formal Design Method	4	[Pencil Icon] [Trash Icon]
Chou	caadria1996_22fd	Computer Literacy	5	[Pencil Icon] [Trash Icon]
Chen	caadria1996_2790	Design Education	6	[Pencil Icon] [Trash Icon]
Kvan	caadria1996_2b9a	CAD	7	[Pencil Icon] [Trash Icon]
Tan	caadria1996_4094	Internet	8	[Pencil Icon] [Trash Icon]

圖 14. MEAN 前端資料介面

藉由此介面能夠幫助管理數據庫的資料，以及管理資訊視覺化的數據形態。在不同的視覺化圖呈現時會有不同的資料項目需求，而研究者在進行資訊視覺化的分析時也需要進行多面向的比較。因此，使用 MEAN 套件能快速更新及增加資料，幫助設計者能夠即時更正錯誤的資料，並且快速的產生新的視覺圖以此讓研究者能從中進行研究與分析。

過去使用 D3.js 在操作資訊視覺化以產程視覺圖時，需要將後端資料進行篩選、清理、排序後匯出，接著再使用 JavaScript 去抓取匯出後的資料。如果要直接連結到資料庫讀取數據，則要寫 PHP 來轉換資料格式，且數據庫的資料也是要進入後端來做修改，造成在操作上的不便。而 MEAN 套件除了能夠在前端連結後端進行數據呈現以及修改外，其全由 JavaScript 的編寫形式，也讓製作時變得更容易去撰寫程式。

3.4 小結

本次研究的實驗方法重點在於建置出一套可用於學術視覺化呈現的網路系統工具，在 WOCAD 數據庫中含有數萬筆的資料，因此在資訊視覺化呈現時必須能夠負荷大量的資料處理。而本視覺化網路系統需要具有靈活性的介面操作，幫助學術研究人員在進行視覺化時，能夠根據數據的呈現進行更改與調整，這有助於在執行數據分析時的分組與比對。因此，在系統的設計上，使用了 MEAN 結合 D3.js 作

為開發工具。D3.js 能夠直接的寫入在 HTML 的檔案中，使用現今熱門的網頁架構互動程式語言 JavaScript 做為基礎，在開發上能夠直接在網頁端即時呈現。而 MEAN Stack 環境也能讓後端的資料與前端網頁相互連結，幫助設計者在操作資訊視覺化工具時，能夠從前端網頁去調整後端的數據內容。另外，開發者在環境架構時，也因為皆使用 JavaScript 語法的特性，在維護及程式撰寫上也更為容易，降低了開發視覺化工具的門檻。

4 視覺化呈現及分析

此系統的視覺化圖形製作以 D3.js 為主要繪製工具，將 D3.js 匯入至 HTML 的文檔之中，以此來利用 D3.js 的程式庫。接著，將存放在 MongoDB 的數據資料鎖定並提取後，轉換成 JSON 的文檔提供給 D3.js 做讀取。最後，D3.js 會從數據文檔中將資料編列出的節點 (nodes) 及連結線段 (links) 繪製後呈現，以此產生視覺圖並呈現於網頁之中。

資訊視覺化圖表的呈現上以學術社交網路圖作為主要的應用，為了呈現出學術領域的研究發展脈絡以及作者於學術領域的研究貢獻，將以作者、關鍵字及著作關係進行連結，透過了關鍵字及著作關係來觀察其發展脈絡，再藉由作者及著作關係來觀察作者在該學術領域的研究貢獻。從 WOCAD 數據庫中提取大量的學術數據，以此呈現出整個研討會的學

術網路，再從每一個視覺圖中進行判讀及分析。在環境架設上因為使用 MEAN Stack 套件作為系統介面，因此在做數據調整時能更加方便的執行操作。將程式編碼寫入文字編輯器後，即可從網頁中操作視覺化圖形，因此在開發工具的使用上主要是以 MEAN Stack 結合 D3.js 作為系統的基礎架構，來進行視覺化圖形的製作。

4.1 作者發表網路圖

首先，設計者必須從資料庫中搜尋需要的資料，使用 Mongoexport 來鎖定及匯出所需的資料，接著輸出成 JSON 檔後由 D3.js 來抓取資料，最後會由 D3.js 所編寫的 JavaScript 腳本內容呈現出視覺化的圖表。在搜索數據過程中 MongoDB 的資料會由其語法作為鎖定，語法類似於 SQL 的語法結構，由此進行篩選及檢視資料，以此方式來彙整節點與連結線段的資料內容。呈現的視覺圖會由資料內容來顯示各節點的名稱，在 Author 的資料中節點名稱為作者名字，而 Work 的節點則為論文編號。

接著，從 WOCAD 數據庫中抓取 1996-2015 年 CADDRIA 研討會中以作者與著作連結的共同作者網路，每一個節點中為作者、共同作者與各年發表著作，分別以不同的顏色表示類別，作者為藍色節點而著作分別以不同顏色來表示不同年份的著作以方便判別與查看。連結線段則以著作與作者做連線，以作者節點來連結到其著作節點，如此相互連結後即可呈現出許多緊密相連的區塊（圖 15）。在圖 15 中，能看到作者所發表的著作與共同作者，彼此間的相互連結會呈現出一塊塊的連結區塊，而這些連結會將作者間發表的關係表現出來，可以讓研究者從中了解作者的相互關係以及發展脈絡。



圖 15. 作者的發表著作網路圖

在此圖 15 的視覺圖中也發現了大量的顏色與訊息將容易模糊了視覺化的焦點，作者及著作的兩個節點同時出現於畫面中，造成解讀上容易混淆，另外，顏色過多造成研究者在觀看時無法判斷作者之間的相互連結關係，使得難以理解並分析作者的學術貢獻。因此，藉著此圖改變節點的資料來進行修正，去除著作的節點後只顯示出作者的節點，並以單一色（淺綠色）節點來表示作者節點，將重點全部聚焦在作者身上。這樣的方式能夠更清楚的表現作者之間的相互關聯，不會因為節點及顏色過多導致訊息上的混淆，並且在圖中以紅色、橘色及綠色來標示出重要作者。

在圖 16 所呈現出的作者發表網路圖中可以發現在只顯示作者時，能看到中間密集的区域為重要作者，從連結線段的密集度來看到重要作者的區塊從中尋找研討會中重要的作者發表網路。而外圍的小區塊代表著對此研討會較不深入的作者，但這些作者在研討會中的參與也同樣具有貢獻，但相比於中間密集連結的作者，在學術的堆積及延伸上就無對 CAADRIA 研討會如此深的影響。另外，在下面的視覺圖中可以看到紅色的圈選區塊為連結次數較多的作者區塊，在當中可以看到中心作者周圍的線段明顯較密集，可以從這些作者連結區塊能夠找到在研討會中較為重要核心人物。而紅色圈外的作者區塊較為零散，代表其在此研討會中較不深入，且在此學術領域的貢獻較少，因此可以藉由此視覺圖進行作者學術領域深入的判斷及分析（圖 16）。

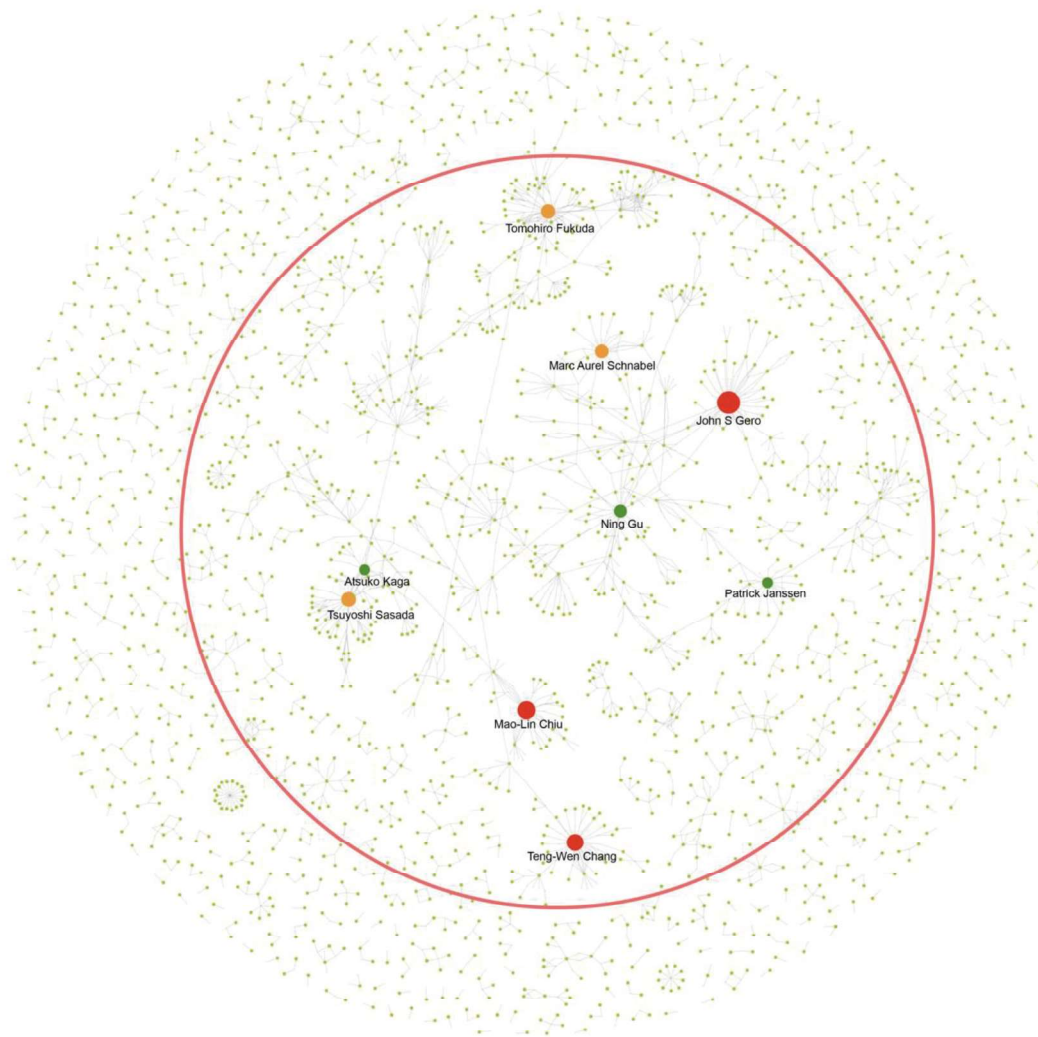


圖 16. 1996-2015 年作者發表網路圖

在此一視覺圖中，發現了該方式建立的共同作者網路，能看到學者在此研討會夠不夠深入，以及對研討會的深入程度。如果其作者節點只連結到幾個其他的作者節點，代表有可能是較少參與此研討會，且較少與他人合作。而作者與越多其他節點連結，呈現出較大的區塊連結，則代表其參與的程度較高，連結到的節點也同樣持續擴展呈現出一個鏈結區塊，可以判斷其中的學者研究方向是類似的。而外圍有許多零星的節點與區塊，可以看到多數為參與一次後就沒再進行合作，這些區塊也沒有與中間的核心有過任何的交流，因此成為了外圍的小區塊。在外圍的區域中對研討會的參與度較低，且合作的次數也較少，因此從此資訊視覺圖中可以看到此學術圈的人員在研討會的位置。在核心的學者對於研討會的貢獻較大，能夠對此學術進行更多的知識堆疊。而外圍學術研究者所提出的研究內容或許非研討會的重點研究項目，然而這點需要由更多的數據及資訊內容才能做為分析及判斷。

4.2 關鍵字連結網路圖

從上述的共同作者發表網路圖中可以找到研討會的重要作者，來尋找作者在學術研究的學術貢獻。然而，在學術領域中跨領域的合作是近年來重要的趨勢，不同領域相互合作所創造出的學術價值，能夠突破研究的發展來激發出更多的可能。因此，本次實驗以關鍵字來作為著作的學術方向，製作出一個關鍵字的連接網路圖。首先，取出 CAADRIA2008 年資料來做一個 Arc Diagram 的資訊視覺圖表，可以看到此表示依據連結線段的次數來做排列，由右到左依序遞減連結頻率，而左側深藍色的節點為研討會的著作文章，右側淺藍色的節點則為所使用的關鍵字。而越靠左邊的淺藍色節點則可以視為當年最熱門的研究項目，因此在視覺圖中研究者可以找到每一年的重點研究主題（圖 18）。然而，單一年的數據對於判斷研討會的研究趨勢太過薄弱，且這樣難以看出關鍵字的使用在每一年的變化。因此，需要逐年

的視覺圖來進行分析，接著再使用上述共同作者發表網路圖的方式做出整個 CAADRIA 的

關鍵字連結圖，來看此視覺圖是否能表現出改研討會重點的研究項目。

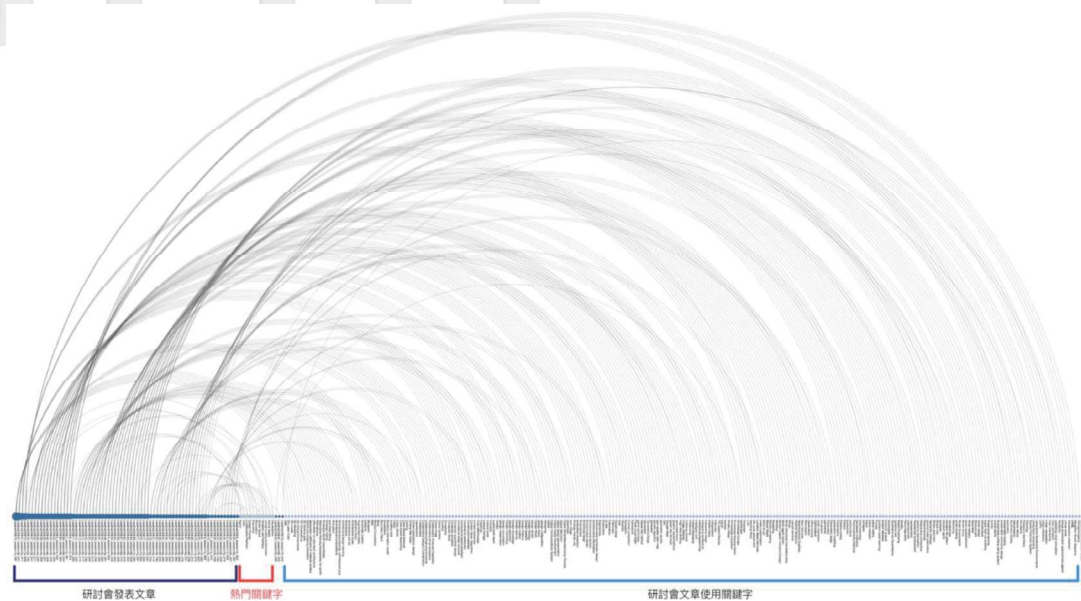


圖 18. CAADRIA 研討會 2008 年間關鍵字 Arc Diagram

接著，再以作者發表網路圖的呈現方式，再建立一個以關鍵字為主的視覺網路圖，來觀察研討會中關鍵字的關聯性。在 Arc Diagram 的視覺圖中因其以橫向進行排列，無法在圖表上呈現過多的數據。因此，以 Network Graph 的方式再呈現一個視覺化網路圖，從中來進行觀察與比對。而領域別在此研討會的數據蒐集中並沒有特別進行分類，因此使用關鍵字來作為其文章的研究領域。每一篇文章中都包含了 3 至 5 個關鍵字，而關鍵字的建立也都根據了文章的內容做出相符的設定，大致代表了文章中的研究方向。所以關鍵字在研討會文章中也一定的程度代表了其研究的領域類別，可以當作學術研究領域的依據，因此以關鍵字來作為其著作的研究領域。

在現今跨領域的合作已成為常態，單一領域的研究範圍也會隨著時代而與時俱進，因此在學術研究中時常包含著許多的領域結合。跨領域研究能夠幫助研究者在解決現階段問題時能有更多的思路，也能突破現有的技術框架，創造出新的研究領域，以此來對領域做延伸發展。因此在學術發展中研究領域的變化是十分重要的因素，代表著該領域在學術研究中

的延伸性及拓展性，從此之中也可以挖掘出研究領域的深入程度。而製作此視覺圖的目的，是為了在資訊視覺化過程中能夠挖掘到研究領域的發展脈絡。而發掘重要的研究領域，能夠幫助研究者在之中找到可以發展的項目，也讓學術圈的學者從此視覺圖中看到此領域是如何做發展，並找尋未來可以如何做跨領域研究。同時也觀察學術圈其他人員是如何發展出一套自己的學術領域，也能夠以此圖做為分析，來判斷學術文章對於學術圈的貢獻程度。在關鍵字網路圖的視覺化圖形製作中，使用大量的關鍵字資料，每一位作者關鍵字使用上也會略有不同。因此在製作視覺圖前做了初步的篩選，將同義的關鍵字做出相同命名，避免產生相同的節點重複出現的問題。

在此視覺圖中可以看到與共同作者網路圖的圖形相似之處。中間區域的連結十分密集區域為此研討會的熱門關鍵字，其與研究領域有著密不可分的關聯性，因此可以判斷這些節點為此研討會重要的研究項目。以淺綠色節點來標示關鍵字名稱並連結其關鍵字所被使用的著作，來呈現出能夠找尋重要研究項目的關鍵字連結網路圖（圖 19）。

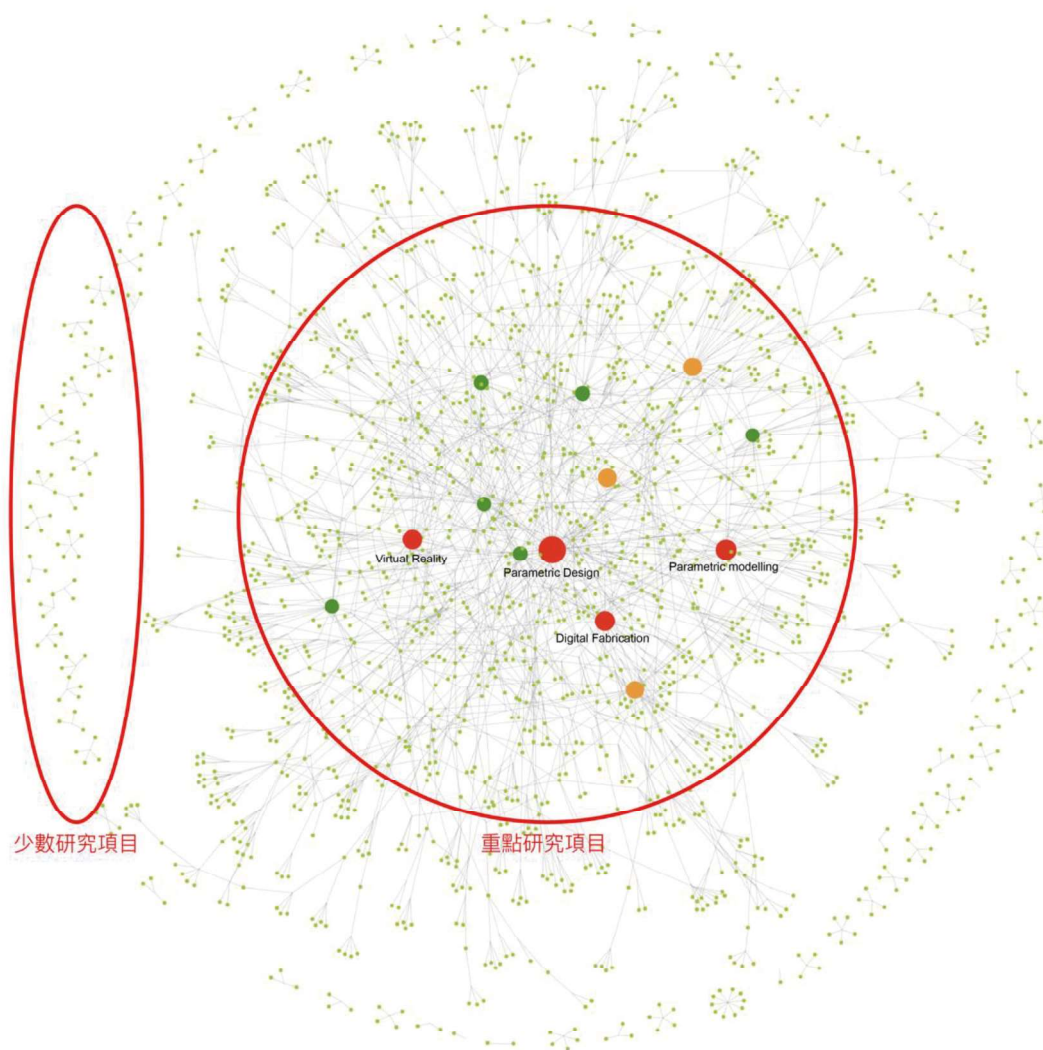


圖 19. CAADRIA 研討會 1999-2015 年間關鍵字連結圖

在這個研討會關鍵字連結圖中，可以看到中間密集的區塊代表著 CAADRIA 的重點研究項目，也可以將這些關鍵字視為在研討會中挖掘最深的研究領域。可以由此圖觀察到此學術領域的發展脈絡，從重點研究項目中來探討此研討會在該領域之中著重的項目。每一年的學術研討會都是對該領域進行學術堆積，而時常被使用及討論的關鍵字將會使此研討會對該領域有更深的見解。因此本視覺圖能夠使學術研究者發掘該研討會主要的研究項目，以及其他跨領域的研究趨勢。

4.3 重要作者發表網路圖分析

在上述的作者發表網路圖及關鍵字連結網路圖中，可以看到使用此視覺化網路系統能夠將 WOCAD 數據庫中 CAADRIA 研討會的數據資料全部呈現在視覺圖之中，並且以線段連結將數據間的相互關聯連接在一起。這樣的視

覺圖能夠幫助參與 CAADRIA 的學術研究者觀察研討會的學術發展以及自身在研討會的學術累積成果。在圖 18 中可以看到中間的區塊顯示出發表較多的重要作者，從中了解知識的傳遞與擴展方向。而圖 20 中顯示出研討會著重的研究項目，看到研究領域發展及學術延伸。這讓學術研究者在進入研討會時，能夠根據此視覺化網路系統製作的視覺圖來了解自身在研討會中的自身位置及貢獻，以及從關鍵字中探索及制訂未來在研討會中的研究方向。

在作者發表網路圖中作者可以看到整個研討會發展以來的重要作者及每位作者在此學術網的位置，然而，在 CAADRIA 研討會 20 年間的發展過程中會經歷許多變化。學術網在不同時期都將有重要作者的轉變與知識的傳承，因此接著再分析前十年及後十年的作者發表網路圖，並將前十年與整個二十年的圖表進行三張網路圖的比較分析。

首先，以作者發表網路圖方式製作了 1996 到 2005 以及 2006 到 2015 的視覺網路圖，將整個研討會的時間線由中間切開製成兩張圖表，並且為了避免圖表內的內容過於雜亂以方便後續的分析，將學術網中低於 10 個節點的發表網路鏈結區塊刪除，把分析聚焦在重要作者發表網路的發展變化（圖 20）。

在圖 20 中可以看到左邊為前十年，而右邊為後十年的重要作者發表網路圖，在兩張視覺圖裡個別取九位重要作者。重要作者依照發表篇數決定節點的大小，而節點顏色也依據篇數切分成三個等級，由多至少排列為紅色、橘色及深綠色節點且圖中只標示出重要作者的節點名稱。



圖 20. 左圖為 1996-2005 年重要作者發表網路圖；右圖為 2006-2015 年重要作者發表網路圖

從圖 20 的重要作者發表網路圖中可以發現 1996-2005 年間與 2006-2015 年間的重要作者有了很大的變化，在 1996-2005 年網路圖的重要作者(紅色節點)為 CAADRIA 聯合創始人 Tsuyoshi Sasada 以及 CAADRIA 院士 John S Gero 與 Mao-Lin Chiu，而主要以 Tsuyoshi Sasada 建立的鏈結區塊最為密集。然而，2006-2015 年網路圖的重要作者轉變為近年較為活躍的兩位院士 Tomohiro Fukuda、Marc Aurel Schnabel 以及 Ning Gu 教授，並且發表網路的鏈結區塊變更為密集且龐大。從這兩張視覺圖的比較分析中可以探索出兩個結果：

- (1) 作者合作發表逐漸頻繁：在前十年研討會的發展中學術合作尚未建立完整，主要是以重要創始人 Tsuyoshi Sasada 發展出密集的共同發表鏈結區塊。然而，在後十年的重要作者發表網路圖中重要作者之間有了更多緊密的合作，學術網的結構也變得更為密集且龐大。
- (2) 作者在研討會的學術發展：在兩張視覺圖的比對中可以看到 CAADRIA 院士 John S Gero 在後十年的發展雖然從紅色節點轉變為橘色節點，但是其發表網路

鏈結區塊卻發展的最為龐大，並且在此區塊當中還產生了五位重要作者。另外也發現 Teng-Wen Chang 教授在過程中逐漸發展其發表網路鏈結區塊並從綠色節點轉為橘色節點，而 Mao-Lin Chiu 教授則發展得較為緩慢從紅色節點轉為綠色節點。因此研究者可以在此視覺圖看到研討會中作者的發表變化，從中找到近年發展較為快速的重要作者。

在圖 20 中可以分析出前十年與後十年作者在研討會中的不同時期的發展變化，然而還需將此與整個二十年間的網路圖進行時間線比較，才能觀察並分析出整體的發展脈絡與變化。接著，再將前十年與整個二十年研討會發展的重要作者發表網路圖進行比較，以挖掘研討會在發展中重要作者與發表網路的鏈結區塊的變化。同樣為了更好的進行分析將較少的區塊去除，只保留了較大的鏈結區塊以方便做重要作者的比較分析。另外也增加了九位重要作者以黃色節點與較小的字體顯示作者名稱作為標示，並且其發表篇數少於綠色節點的作者，因此節點顏色的排序由多至少分別為紅色、橘色、綠色以及黃色，並同樣依照發表篇數做節點大小的變化（圖 21）。



圖 21. 左圖為 1996-2005 年重要作者發表網路圖；右圖為 1996-2015 年重要作者發表網路圖

在圖 21 中可以看到紅色節點的重要作者有兩個相同分別為 CAADRIA 院士 John S Gero 與 Mao-Lin Chiu，這表示在此二十年間兩人仍不斷地在此進行發表，並在此研討會中有著卓越的貢獻。透過右邊的網路圖可以發現 John S Gero 在研討會中與院士 Marc Aurel Schnabel 以及 Ning Gu 教授建立出了最為龐大的鏈結區塊，且此區塊的作者頻繁與其他作者做共同合作發表，從中發展出一個緊密的學術網路，此外 Teng-Wen Chang 教授從綠色節點轉變為紅色節點並與其鏈結區塊開始有所接觸。因此，透過這兩張圖的比較過程中可以挖掘出兩個結果：

- (1) 作者間的發展相輔相成：在圖 21 的比較中發現 Teng-Wen Chang 教授從綠色轉變為紅色節點的過程中 Ih-Cheng Lai 副教授也發展為黃色節點。而創始人 Tsuyoshi Sasada 從紅色轉為橘色時與其相關的日本研究者 Atsuko Kaga、Mitsuo Morozumi、Riken Homma、Kazuhisa Iki 四人也同樣變為黃色節點，從中可以看出作者在發展的同時也會影響著緊密連結的其他作者。
- (2) 研討會中的發表學派類型：重要作者發表網路中雖然已呈現出作者有更多的合作使鏈結區塊更加龐大且密集，但是在圖 21 右圖中仍然可以看到以重要作者

(John S Gero、Mao-Lin Chiu、Teng-Wen Chang、T. Sasada 及 Tomohiro Fukuda) 為中心發展出的個別鏈結區塊。在中間的大區塊中許多鏈結區塊雖逐漸相互融合，但不難看出當中還是以重要作者為中心產生個別的密集範圍。因此研究者可以根據此圖來探究個別區塊的研究類型與學派，並且以此來挖掘在領域中學派的发展與變化。

4.4 小結

在上述研究過程中可以發現，此視覺圖能夠幫助研究者對研討會有更深的理解，並可以藉此找到重點的作者及研究項目，而作者發表網路圖的比較分析甚至可以幫助研究者挖掘出作者對研討會的影響及更深的发展脈絡。在學術資料的視覺化呈現操作時需要先制定明確的目的，取得有效且可利用的數據再以此資料進行資訊視覺化。然而，資訊視覺化所呈現的視覺圖還需要再進行數據分析，才能得到有用且具有價值的資訊。有效的視覺圖能幫助研究者在觀察數據能更快看出其中的資訊，而經過分析網路圖的內容可以從中獲得更多訊息，讓研究者根據此來制訂未來在 CAADRIA 研討會的研究方向。

本研究建置的資訊視覺化網路系統，能夠快速的從數據庫中提取資料並呈現大量數據的網路圖。另外，在分析了使用者(設計者、

研究者)運用系統操作視覺化的過程中,可以從中得到幾個結果:(1)設計者可以使用此視覺化網路系統快速的製作視覺圖,但資訊視覺化過程中卻需要不停修正圖表來進行迭代,因此設計者能操作系統並在分析過程中根據研究者的需求來進行調整。(2)此系統能匯入大量數據來做視覺圖,因此研究者在進行學術的脈絡挖掘時,能夠從整個研討會或學術圈來觀看,並從關聯性中找到作者的發展脈絡與學術發展趨勢。(3)此系統使用的 D3.js 具有非常高的自由度,因此設計者能夠從中繪製出各種不同類型的視覺圖,這可以幫助研究者在過程中能使用不同的圖表來進行比較與分析。

5 討論

根據以上資訊視覺化實驗,可以看到本系統能夠建立輸入及編輯的操作介面,並且根據數據資料而改變視覺圖,這能幫助在製作視覺化分析時能快速修正資料。在研究中已經做到自訂控制數據的前端網頁,讓資料能被輸入及管理,而使用 D3.js 所編寫的程序能抓到 MongoDB 所匯出的資料,並從此數據來繪製出視覺圖,減少了數據在匯出後整理及轉譯上的步驟,讓資訊視覺化能更有效的進行。而 MEAN 套件中皆使用 JavaScript 來編輯方便跨平台的格式統合,降低了程序撰寫上的門檻也更為方便來管理程式及系統維護,能幫助設計者有效的進行數據清理與篩選。

在第 4 章中,為了呈現出作者於學術領域的研究貢獻及學術領域的發展脈絡,分別以作者、關鍵字及著作關係來進行資訊視覺化,產生出作者發表網路圖及關鍵字連結網路圖。然而,針對兩種視覺圖的呈現上還需要進行進一步的分析與探討,因此在 4.3 中我們以作者發表網路圖進行比較分析,製作出 1996-2005 年、2006-2015 年作者發表網路圖並與整個二十年的網路圖做相互的比較與分析,從中來了解 CAADRIA 研討會中作者發表的脈絡與學術發展趨勢。本資訊視覺化系統可以有效協助做出多種網路圖並以此進行比較分析,且此系統可以連結前後端並使用大量數據快速進行視覺化,讓研究者能夠透過此系統來快速搜尋脈絡並即時分析,而設計者能從前端進行資訊視覺化設計快速的產生視覺圖。在研究中也測試了許多種類的視覺圖效果並從中進行分析與研究,然而資訊視覺化的過程是滾動式更新,需要不斷進行資料搜集、分析、視覺化,來回的進行迭代才能尋找到最適合的視覺圖,並從圖中察覺出當中重要的訊息與有價值的內容。因此,在過程中也嘗試使用不同的數據來進行解讀與比較分析,而同時也發現在研究者理解數據時需要使用更多功能來操作視覺圖的呈

現,才能將數據進行分組、關聯排序及交叉比對。

6 結論

本次研究成果所建立出的資訊視覺化系統能夠幫助研究者進行視覺圖的探索與分析,從圖中快速理解大量的學術資訊並以此進行分類與比較,另外也讓設計能從系統中能依照需求製作不同種類與數據形態的視覺圖,可以方便管理數據並做出即時的視覺化呈現。因此,研究者能在視覺圖中分析研討會中作者及領域的發展脈絡,並且從中挖掘數據難以察覺的內容,幫助研究者在決策後續研究的合作及發展方向。

在研究過程中我們從共同作者發表網路圖看到了作者間的相互關係,並找到每位作者在研討會中的所處位置與深入範圍,在關鍵字連結圖則可以查看研討會的學術領域發展分佈,從中找尋重點研究領域。最後,將分年作者發表網路圖進行比較性的視覺化分析,從各時間段的網路圖中看到作者在研討會的發表變化,挖掘到重要作者的轉變以及分析作者在研討會中是逐漸發展或衰退,而同時也從中發現了同一區塊鏈結的作者間發展是相輔相成的。在尚未建立出累年的數據視覺圖時,難以看出整個研討會的研究發展狀況,而在不同視覺圖中就可以看到整個研討會的學術脈絡及發展,並能從中進行更深入的分析與研究。

參考文獻

- Ali, W., Shafique, M. U., Majeed, M. A., & Raza, A. (2019). Comparison between SQL and NoSQL databases and their relationship with big data analytics. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.9734/ajrcos/2019/v4i230108>
- Bao, F., & Chen, J. (2014). *Visual framework for big data in d3.js*. Paper presented at the 2014 Ieee Workshop on Electronics, Computer and Applications. doi:<https://doi.org/10.1109/IWECA.2014.6845553>
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 3(1), 361-362. Retrieved from <https://ojs.aaai.org/index.php/ICWSM/article/view/13937>
- Boone, T., Ganeshan, R., Jain, A., & Sanders, N.

- R. (2019). Forecasting sales in the supply chain: Consumer analytics in the big data era. *International Journal of Forecasting*, 35(1), 170-180. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2018.09.003>
- Bostock, M., Ogievetsky, V., & Heer, J. (2011). D³ data-driven documents. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 17(12), 2301-2309. doi:<https://doi.org/10.1109/TVCG.2011.185>.
- Brath, R., & Jonker, D. (2015). *Graph analysis and visualization: discovering business opportunity in linked data*: John Wiley & Sons.
- Cerovsek, T., & Martens, B. (2016). *CumInCAD 2.0: A Redesigned Scalable Cloud Deployment-Towards higher impact with openness and novel features*. Paper presented at the Proceedings of the 34th eCAADe Conference. doi:<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2914.0722>
- Cerovsek, T., & Martens, B. (2020). The Evolution of CAADRIA Conferences-A Bibliometric Approach. Paper presented at the Proceedings of the 25th CAADRIA Conference.
- Chen, C.-H. (2020). Data Beauty: A Construction of Aesthetic View of Data Visualization with Typological Orientation. *IJDMD*, 12(2), 1-15. doi:<https://doi.org/10.29465/IJDMD>
- Chen, L.-C., & Chou, S.-B. (2018). Towards the Generalized Creativity Evaluation of Digital Media: A Revised Entropy Calculation for Linkography. *IJDMD*, 21. doi:<https://doi.org/10.29465/IJDMD>
- Faysal, M. A. M., & Arifuzzaman, S. (2018). *A comparative analysis of large-scale network visualization tools*. Paper presented at the 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). doi:<https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622001>
- Fu, T. Z. J., Song, Q., & Chiu, D. M. (2014). The academic social network. *Scientometrics*, 101(1), 203-239. doi:<https://doi.org/10.1007/s11192-014-1356-x>
- Fujita, M., Inoue, H., & Terano, T. (2017). *Searching promising researchers through network centrality measures of co-author networks of technical papers*. Paper presented at the 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC). doi:<https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2017.205>
- Fujita, M., Ishido, K., Inoue, H., & Terano, T. (2018). *Evaluating researchers through betweenness centrality measures of co-author networks from academic literature database: finding gatekeeper researchers in organizational research*. Paper presented at the 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). doi:<https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622311>
- Goldman, M., Craft, B., Brooks, A., Zhu, J., & Haussler, D. (2018). The UCSC Xena Platform for cancer genomics data visualization and interpretation. *bioRxiv*, 326470. doi:<https://doi.org/10.1101/326470>
- Györödi, C., Györödi, R., Pecherle, G., & Olah, A. (2015). *A comparative study: MongoDB vs. MySQL*. Paper presented at the 2015 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES). doi:<https://doi.org/10.1109/EMES.2015.7158433>
- Hsieh, T.-L., & Chang, T. W. (2017). *Whether the relationships of Interaction design strategies during design process can be explained by Linkography*. Paper presented at the 2017 21st International Conference Information Visualisation (IV). doi: <https://doi.org/10.1109/iV.2017.79>
- Huang, L., Chen, X., Ni, X., Liu, J., Cao, X., & Wang, C. (2021). Tracking the dynamics of co-word networks for emerging topic identification. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120944. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120944>
- Huang, S., & Chang, T. (2018). *Discovering Co-Author Relationship In Wocad Data Using Ontology Visualization*. Paper presented at the 2018 1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII). doi:<https://doi.org/10.1109/ICKII.2018.8569202>
- Katsurui, M., & Ono, S. (2019). TrendNets: mapping emerging research trends from dynamic co-word networks via sparse representation. *Scientometrics*, 121(3), 1583-1598. doi:<https://doi.org/10.1007/s11192-019-03241-6>
- Khabsa, M., & Giles, C. L. (2014). The number of scholarly documents on the public web. *PloS one*, 9(5), e93949-e93949. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093949>
- Khan, S., Liu, X., Shakil, K. A., & Alam, M. (2017). A survey on scholarly data: From big data perspective. *Information Processing &*

- Management, 53(4), 923-944.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ipm.2017.03.006>
- Kong, X., Shi, Y., Yu, S., Liu, J., & Xia, F. (2019). Academic social networks: Modeling, analysis, mining and applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 132, 86-103.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.01.029>
- Liu, J., Tang, T., Wang, W., Xu, B., Kong, X., & Xia, F. (2018). A Survey of Scholarly Data Visualization. *IEEE Access*, 6, 19205-19221.
doi:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2815030>
- Lotfy, M., & Pyatt, K. (2018). A two-course web application development sequence covering the lamp and mean stacks. *J. Comput. Sci. Coll.*, 34(2), 22-29.
- Martens, B., Bjoerk, B.-C., & Turk, Z. (2002). *Open, Self Organising Repository for Scientific Information Exchange-The SciX Project*. Paper presented at the 20th eCAADe Conference Proceedings.
doi:<https://doi.org/10.13140/2.1.2669.3920>
- Martens, B., & Turk, Z. (1999). *Working experiences with a cumulative index on CAD: "CUMINCAD"*. Paper presented at the Architectural Computing from Turing to 2000 eCAADe Conference Proceedings.
doi:<https://doi.org/10.13140/2.1.4242.2562>
- Mithili Devi, N., & Kasireddy, S. R. (2019). Graph Analysis and Visualization of Social Network Big Data. In (pp. 93-104): Springer Singapore.
doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-1456-8_8
- Nusrat, S., Harbig, T., & Gehlenborg, N. (2019). *Tasks, techniques, and tools for genomic data visualization*. Paper presented at the Computer Graphics Forum.
doi: <https://doi.org/10.1111/cgf.13727>
- Polo, M., Piattini, M., Ruiz, F., & de Calatrava, R. (2001). *Reflective CRUD (RCRUD: Reflective Create, Read, Update & Delete)*.
- Steele, J., & Illinsky, N. (2010). *Beautiful visualization: looking at data through the eyes of experts*: " O'Reilly Media, Inc."
- Trujillo, C. M., & Long, T. M. (2018). Document co-citation analysis to enhance transdisciplinary research. *Science advances*, 4(1), e1701130.
doi:<https://doi.org/10.1126/sciadv.1701130>
- Wang, C. J., Ng, C. Y., & Brook, R. H. (2020). Response to COVID-19 in Taiwan: big data analytics, new technology, and proactive testing. *Jama*, 323(14), 1341-1342.
doi:<https://doi.org/10.1001/jama.2020.3151>
- Weihua, Y., & Dong, X. (2021). *Visual analysis of industrial knowledge graph research based on Citespace*. Paper presented at the 2021 7th International Conference on Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations (CMMNO).
doi:<https://doi.org/10.1109/CMMNO53328.2021.9467534>
- Wu, Y.-S., & Chang, T.-W. (2019). Communication Framework AND Emojis-Danmaku Applied To Cooperation Workshops. Paper presented at the Proceedings of the 24th CAADRIA Conference.
- Wu, Z., Wu, J., Khabsa, M., Williams, K., Chen, H., Huang, W., . . . Giles, C. L. (2014). *Towards building a scholarly big data platform: Challenges, lessons and opportunities*. Paper presented at the IEEE/ACM Joint Conference on Digital Libraries.
doi:<https://doi.org/10.1109/JCDL.2014.6970157>
- Yao, L., Wei, T., Zeng, A., Fan, Y., & Di, Z. (2014). Ranking scientific publications: the effect of nonlinearity. *Scientific Reports*, 4(1), 6663. doi:<https://doi.org/10.1038/srep06663>
- Zhang, Y., Huang, T., & Bompard, E. F. (2018). Big data analytics in smart grids: a review. *Energy informatics*, 1(1), 1-24.
doi:<https://doi.org/10.1186/s42162-018-0007-5>