

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University
Master Thesis

即時路況視覺化設計之研究
Visualization of Real-Time Traffic Data

研究生：陳筱寧 (Chen, Siao-Ning)
指導教授：王晉元(Wang, Jin-Yuan)

中華民國一一〇年七月

July 2021

即時路況視覺化設計之研究

Visualization of Real-Time Traffic Data

研究生：陳筱寧

Student：Siao-Ning Chen

指導教授：王晉元

Advisor：Dr. Jin-Yuan Wang

國立陽明交通大學

運輸與物流管理學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Transportation and Logistics Management

College of Management

National Yang Ming Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Traffic and Transportation

July 2021

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一一〇年七月

即時路況視覺化設計之研究

學生：陳筱寧

指導教授：王晉元

國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

隨著近日智慧型運輸系統發展，如何有效且快速展現大量交通資訊予管理者為一大重要課題，當中視覺化屬於最為常見、重要的管道，然而現今台灣即時路況視覺化仍有許多可改善之處。本研究目的為改善現有即時路況視覺化系統兩大問題：一為操作重疊造成的視覺混雜，二為時空與屬性間資訊的不足，並且為適用台灣縣市地區交控管理員使用的即時路況視覺化。

本研究的貢獻為提出避免上述兩大問題且適用台灣縣市地區的即時路況視覺化，視覺化具有分層資訊整理，涵蓋速率及事件兩大主要路況資訊，並且採用串聯的環形視覺化降低學習成本。本研究利用實際新竹縣市路段(Link)資訊進行處理驗證視覺化可行性，並且透過視覺化準則檢視視覺化設計，整體結果以還原性高的互動原型(Prototype)呈現整體系統實際與管理者的互動，做為未來提升台灣現有即時路況視覺化之參考。

關鍵詞：即時路況視覺化、資料視覺化、視覺化設計

Visualization of Real-Time Traffic Data

Student: Siao-Ning Chen

Advisor: Dr. Jin-Yuan Wang

Department of Transportation and Logistics Management

National Yang Ming Chiao Tung University

Abstract

With the recent development of intelligent transportation system, how to effectively and quickly display a large amount of traffic information to managers is a major issue. Visualization is the most common and important channel. However, there is still much room for improvement in real-time traffic visualization in Taiwan nowadays.

The purpose of this study is to improve two major problems of the existing real-time traffic visualization system. First, Users are prone to overlap between screen zooms, causing visual clutter. Second, there is the lack of information between space-time and attributes. The visualization in this study is designed for real-time traffic visualization to traffic control administrators in county and city areas of Taiwan. The contributions of this study are to propose a real-time road visualization that avoids the above two problems and is applicable to the county and city areas in Taiwan. The visualization has a hierarchical information organization, covers the two main road information of speed and incident, and uses a ring type visualization to reduce the learning cost.

In this study, the feasibility of visualization was verified by using the actual Link of information in Hsinchu County, and the visualization design was examined through visualization criteria. The overall results were presented in a highly restorative interactive prototype to show the actual interaction between the overall system and the manager, which can be used as a reference for the future enhancement of the existing real-time road visualization in Taiwan.

Keywords: Real-time traffic visualization, data visualization, visualization design,

誌謝

在兩年的研究所生活裡面，首先要感謝我的指導教授王晉元老師，老師總是在撰寫碩士論文的過程中不厭其煩地指導我，在合適的時機提點並且讓我在面對問題的時候更加有條理的思考。因為老師細心的指引方向，使得本論文得以順利完成，而我也在這兩年之間有所成長，在此至上崇高的敬意與感激。口試期間承蒙口試委員盧宗成老師、鍾易詩老師撥冗指教，提出許多寶貴的建議，使本論文能夠更加完備。在此也至上萬分感謝。

感謝這兩年來給予我幫助以及陪伴的朋友、同窗、研究夥伴以及學長姊，他們都在我求學的路途中不吝對我伸出援手，使我兩年的研究所生活更加豐富、順利。感謝大學以來便熟識的 031 室友以及鈞皓時常的陪伴、關心；也感謝健茹在台北校區即時的幫助，由衷感謝你們。特別感謝高中以來的朋友—郁欣給予我很多幫助，不論是建議或鼓勵對我而言都是相當大的動力以及肯定，讓我能夠順利完成撰寫論文。在此對於幫助過我的各位獻上感謝。

感謝父母的栽培以及拉拔，讓我在求學階段中無後顧之憂的學習以及成長。在我面臨挑戰時默默地提供陪伴以及建議，總是在背後支持著我。希望我的成長以及努力能讓您們感到驕傲。

最後，再一次對於求學生涯中幫助過我的所有老師、朋友、同學，還有我的父母獻上真誠的感謝。

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
圖目錄	vi
表目錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究流程與內容	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 路況視覺化	5
2.2 視覺化方法	12
2.3 視覺化的設計原則	16
2.3.1 時間及空間視覺化	16
2.3.2 時空串聯視覺化	19
2.3.3 屬性層級視覺化	22
2.3.4 操作介面視覺化	25
2.4 小結	28
第三章 時空與屬性整合之視覺化設計	30
3.1 問題描述	30
3.2 視覺化方法設計架構	31
3.3 層級視覺化設計	33
3.4 時空視覺化設計	34
3.5 屬性視覺化設計	37
3.6 整合及整體視覺化設計	39
3.6.1 整合視覺化	39

3.6.2 整體視覺化	41
3.7 資料處理	46
3.7.1 資料來源與整理	46
3.7.2 路網分群	48
3.8 操作介面視覺化	50
3.9 檢視視覺化準則	56
3.9.1 視覺化整體準則評估	56
3.9.2 圖形圖標準則評估	58
第四章 結論與建議	60
4.1 結論	60
4.2 建議	62
第六章 參考文獻	64

圖目錄

圖 1	台北市即時交通資訊網道路速率視覺化.....	2
圖 2	研究流程圖.....	4
圖 3	Pu et al.(2012)的視覺化設計.....	6
圖 4	Wang et al.(2013)的視覺化設計.....	6
圖 5	Cruz et al.(2016)的視覺化設計.....	7
圖 6	Feng et al.(2020)的視覺化設計.....	7
圖 7	Pack et al.(2009)的視覺化設計.....	8
圖 8	VanDaniker et al.(2009)的視覺化設計.....	8
圖 9	Piringer et al.(2012)的視覺化設計.....	9
圖 10	Anwar et al.(2014)的視覺化設計.....	9
圖 11	Fan et al.(2017)的視覺化設計.....	10
圖 12	Andrienko et al.(2014)的堆疊圖.....	12
圖 13	Pack et al.(2009)的平行坐標圖.....	13
圖 14	Huang et al. (2016)的風玫瑰圖.....	13
圖 15	Google 地圖 API 提供之叢集視覺化套件.....	14
圖 16	Pu et al. (2012)的叢集圖.....	14
圖 17	Moritz et al. (2016)視覺化方法.....	15
圖 18	D. A. (2017)視覺化方法.....	15
圖 19	Ferreira et al.(2013)的折線圖.....	16
圖 20	Häußler et al.(2018)的放射狀配置設計.....	17
圖 21	Fan et al.(2017)的點圖.....	17
圖 22	Baskaran et al.(2017)的路徑圖.....	18
圖 23	Zeng et al.(2013)的交叉圖案設計.....	18
圖 24	Liu et al.(2011)的環型設計.....	20
圖 25	Guo et al.(2011)的環形設計.....	20
圖 26	Tominski et al.(2012)的 Time lens 設計.....	20
圖 27	Pu et al.(2012) 的 Fingerprint 設計.....	21
圖 28	Zeng et al.(2014)的 Mobility Wheel 設計.....	21
圖 29	色彩過渡型式	23
圖 30	台北市即時交通資訊網.....	30
圖 31	Google 即時與歷史交通資訊切換鈕.....	31
圖 32	環形拆分設計示意圖.....	31
圖 33	視覺化設計架構.....	32
圖 34	以現在時間 8:30 為例之環形外框說明.....	34
圖 35	以現在時間 8:30 為例之過去時段外框說明.....	35
圖 36	以現在時間 8:30 為例之即時、未來時段外框說明.....	36

圖 37	以圖 32 環形簡化之圖標.....	36
圖 38	環形展開之列表設計.....	37
圖 39	以劃分等級 6(左)與 9(右)為例之色板中點.....	38
圖 40	色彩編碼調整過程.....	39
圖 41	整合後之環形視覺化.....	40
圖 42	整合後之簡化環形視覺化圖標.....	40
圖 43	叢集的圓形圖標.....	41
圖 44	第一層級探索說明.....	41
圖 45	熱圖與圖標視覺化切換.....	42
圖 46	即時速率變動示意圖.....	42
圖 47	環形視覺化示意圖.....	43
圖 48	事件訊息於環形視覺化上的處理.....	44
圖 49	多事件訊息於環形視覺化上的處理.....	44
圖 50	環形展開示意圖.....	45
圖 51	展開圖即時速率變化示意圖.....	45
圖 52	第三層級探索說明.....	46
圖 53	Link 切割.....	47
圖 54	Link 合併.....	47
圖 55	多層次 K 路分析法.....	49
圖 56	Sorted heavy-edge matching 說明.....	49
圖 57	分群結果.....	50
圖 58	介面整體與縮放(1).....	51
圖 59	介面整體與縮放(2).....	51
圖 60	資料連結(1).....	52
圖 61	資料連結(2).....	52
圖 62	資料探勘(1).....	53
圖 63	資料探勘(2).....	53
圖 64	資料探勘(3).....	54
圖 65	操作便利性(1).....	55
圖 66	操作便利性(2).....	55
圖 67	第一層級之叢集的圓形圖標....	57
圖 68	第二層級之中央熱圖....	57
圖 69	Chung et al. (2011)圖形圖標八大設計指標.....	58
圖 70	圖標依據車流量改變大小.....	58
圖 71	三層級的指標以及即時時段設計.....	59

表目錄

表 1	路況視覺化統整.....	11
表 2	視覺化方法統整.....	15
表 3	時間視覺化統整.....	19
表 4	環形串聯設計統整.....	22
表 5	屬性視覺化統整.....	23
表 6	色板與適用資料型態特性整理.....	24
表 7	色彩設計統整.....	25
表 8	互動設計統整.....	26
表 9	互動設計整理.....	27
表 10	層級視覺化.....	34
表 11	色彩編碼.....	38
表 12	Link 切割紀錄.....	47
表 13	Link 合併紀錄.....	48
表 14	現有路況視覺化與本研究視覺化比較.....	61

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

面對日漸增長的人口以及車輛的環境，智慧型運輸系統具有讓管理者迅速掌握都市路況的重要功能，系統得以達成這項功能最為重要的基礎即是依靠大量的即時交通資訊。現今的智慧型運輸系統利用 GPS 或是路側設施所提供數量龐大的即時交通資訊為主要的基底，進行不同目地的分析以及應用。Zhang et al (2011)也提出智慧運輸系統中最不可或缺的元素為來自不同設備的交通資訊，藉由這些龐大的資訊量使智慧型運輸系統延伸出新的功能以及服務，提升運輸系統服務效率以及用路安全。

Hansen et al. (2004)提出視覺化為相當重要的管道，可將數量龐大且不易消化的訊息藉由視覺上較直觀的方式呈現出來，對於資料導向的智慧型運輸系統而言更是如此。Chaolong et al. (2016)說明利用智慧運輸系統制定運輸計畫的過程中通常由數個子系統組成，而這些系統需要在有限的螢幕或是顯示範圍內提供多面相且關鍵的訊息，其中如何有效率的呈現則必須仰賴視覺化的處理。Pu et al. (2012)也提出 GPS 軌跡等交通資料特性難以直覺判定與應用，需要藉由視覺化輔助分析。

台灣現有即時路況視覺化未進行綜微觀或是階段性尺度分別整理，使用時縮放具有重疊造成的視覺混雜，各縣市所採用的色標也各不相同，無法判斷其依據，如下圖 1 所示為台北市即時交通資訊網道路速率為例。台灣現有即時路況視覺化以路網為基底並將交通訊息附於路段(Link)上，使用時容易重疊造成視覺混雜。此視覺化設計的資料處理簡易，但是未經整體設計的視覺化不易呈現整體資訊。各縣市色標處理也不同，未經依據統整。上述問題皆容易增加使用者的學習成本或是判讀資訊的困難度。Pu et al.(2013)提出龐大的資料進行視覺化的過程中，若沒有進行尺度的分割或是設計處理，直徑將資料展示將會降低使用者的辨識能力且影響分析效率。



圖 1 台北市即時交通資訊網道路速率視覺化

除此之外，台灣目前的即時路況僅提供道路與速度或是事件對應的單一面相的資訊，不同種類的資訊間的關係顯示較為薄弱，例如：事件以座標點呈現，無法了解事件發生時長，也無法透過視覺化探討該路段速率是否受事件影響。如何將其串聯帶領使用者了解交通資訊間相互對應的關係也是視覺化設計中的要點。Tominski et al. (2012)說明多面相視覺化的訊息呈現，除了加深零散訊息間的串聯外，也可讓使用者更加全面的了解資訊。Guo(2011)也為了讓使用者了解軌跡的時間、空間以及屬性多面相統計資料的關聯性，設計出能夠分別展現上述三種特性關聯的設計。

本研究期望能發展一套適用台灣縣市地區的即時路況視覺化方式，突破台灣現有的視覺化上重疊造成的視覺混雜以及資訊串聯不足兩大問題。利用視覺化方式將資訊進行整理呈現，同時將多面相的訊息整合並清楚呈現給使用者，加深不同面相資訊的串聯讓使用者即使吸收到更全面的訊息。依照台灣交通資訊的特性調整視覺化，藉由良好的設計讓即時路況能更輕易掌握，進而輔助使用者更有效率的進行決策規劃。

1.2 研究目的

本研究目的旨在改善台灣目前的即時路況視覺化中重疊造成的視覺混雜和資訊串聯較弱的兩大問題。未進行資料分層整理將所有資訊單一呈現導致混雜，以及呈現的交通資訊無提供時空、事件多面相的串聯。本研究發展出新的視覺化方法將提出以下兩點作為主要改善的方向，以期望讓使用者得以更全面掌握即時路況：

1. 分層整理呈現交通資訊。利用綜觀微觀為顯示主體的探索，設計不同的視覺化方式，藉此避免將所有資訊一概呈現，讓使用者視覺混雜失焦的問題。使用者透過分層的視覺化整理，能瀏覽整體之外也能輕易深入核心區域。

2. 視覺化呈現多面相的交通資訊。除了道路與速率或是事件的對應關係外，提供其餘資訊的性質。例如：時間的對應。讓使用者能更加明瞭交通資訊之間的關聯。

1.3 研究流程與內容

本研究期望發展出一套有別於以往台灣縣市所使用的即時路況視覺化方法。研究流程圖如下圖 2 所示，其各階段內容如下所列：

1. 問題定義

依據研究背景與動機，了解台灣現有即時路況視覺化具有重疊造成之視覺混雜以及資訊串聯不足兩大問題。確立本研究欲發展一套使即時路況視覺化能夠具有分層整理資訊以及多面相資訊整合，並且為台灣縣市地區適用的視覺化方式。

2. 視覺化相關文獻回顧

參閱交通視覺化相關文獻，了解資訊組合、視覺化方法、視覺化設計原則適用情況以及不足之處。並從中整理出不同種類的資訊最合適使用的視覺化方式、方法不同的組合以及變化和結論，供本研究設計參考，避免設計時缺乏根據以及基礎。

3. 視覺化設計

根據文獻回顧整理進行視覺化架構設計。確立分層設計後將主體拆分成時空以及屬性兩大子體並設計視覺化，避免使用相同的視覺化管道造成混淆，最後再進行子體間的整合。之後檢視視覺化是否符合準則並進行可行性驗證，確立該視覺化為實務上可行。

4. 結論與建議

整理本研究視覺化設計結果以及歸納提供之貢獻，與現有路況視覺化進行比較，同時對於研究內容所受限制以及不足之處進行討論，提出未來可深入探討之方向與讓視覺化更加完整的建議。

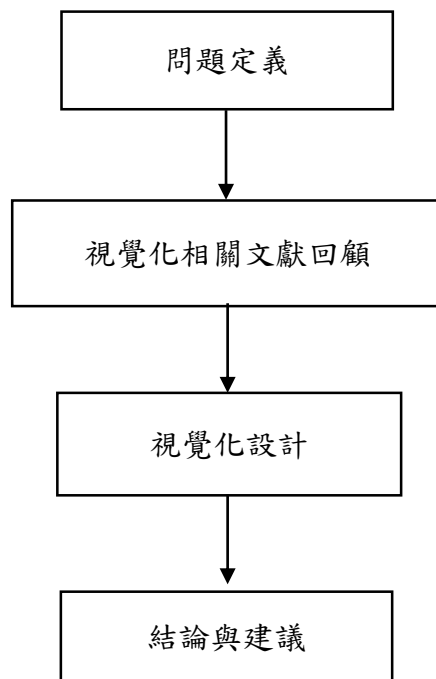


圖 2 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章節文獻探討主題為交通資訊視覺化，並分成三部分進行回顧以及小結：第一部分為參閱路況視覺化相關的文獻，整理出路況視覺化主要採納的設計概念、內容以及整合之資訊；再者，進一步針對視覺化的方法回顧相關的文獻；接續探討視覺化的設計原則，分別針對五大項目回顧：(1)時間 (2)空間 (3)時空串聯 (4)屬性 (5)操作介面；最後，對於文獻處理路況資訊視覺化進行總結，了解其不足以及作為本研究建構視覺化參考之處。

2.1 路況視覺化

根據 Chen et al. (2015)整理，交通資訊視覺化的類型分為四大類型：(1)視覺化路況及監控 (2)路徑軌跡分類 (3)狀態解釋以及預測 (4)路徑規劃推薦。由於後續交通視覺化的類別逐漸多樣化，Sobral et al. (2019)將都市交通資訊視覺化依照目標以及特性將類別切分的比四大類型更加詳細，獨立出許多分枝，例如：通勤效率以及空氣汙染等項目，但是仍可將大部份的分類歸納入四大類型。各類型的視覺化其著重之內容也各不相同，也具有無法單純歸類於單一類別的研究，此種研究呈現更多訊息但同時也易使視覺化重點分散且不易聚焦，因此本研究採用 Wei Chen et al. (2015)四大類型的分類標準，整理能夠歸類於路況視覺化或是以路況視覺化為主的相關研究，而路況視覺化中可概分為速度視覺化以及事件視覺化。

速度視覺化以速度指標為主，資料主體多為探針車，因此時常輔以接派服務密度或是頻率的相關資料。Pu et al. (2012)利用上海計程車軌跡資料，依照區域、道路以及車輛三種不同的空間尺度劃分需要呈現的資訊，如下圖 3 所示。作者的區域階層利用熱圖展現綜觀視覺化，如下圖 3 左上角；於區域以及道路階層使用雷達型的 Fingerprint 表示該地區或是道路的資料屬性週期內的分布，如下圖 3 左上角和左下角；最後於車輛階層使用如本壘板設計的移動指標呈現詳細的計程車動態，如下圖 3 右所示。速率、接派密度、車流量等屬性的變動採用顏色以及線條的視覺化方法展現。作者利用尺度分割需要呈現的訊息，使用者可從綜觀區域到單一車輛的交通資訊一步步深入。

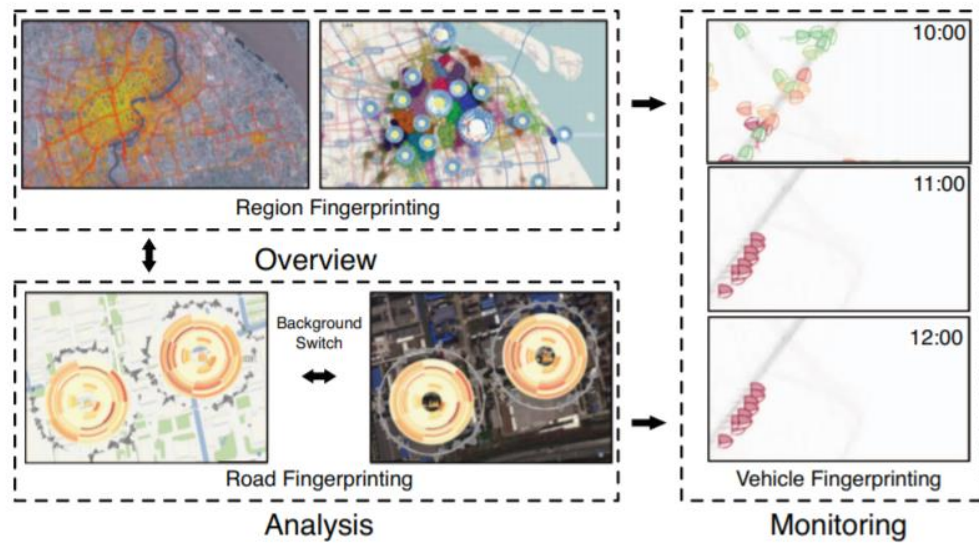


圖 3 Pu et al. (2012)的視覺化設計

Wang et al. (2013)利用北京計程車軌跡資料，將路況壅塞的範圍視覺化，如下圖 4 所示。圖示最左邊以常用的路網視覺化表示壅塞的路段以及範圍，點選路段後將展開該路段歷史資料之嵌入式長條速率圖，每一列代表一日，每一行代表一小時，如圖示 4 中的灰色長條框所示；圖示 4 中央上方為各個路段的壅塞傳播圖列表，互相影響的路段會分入同一群組並且在同一圖形內一並顯示，圖形下方為時間軸，使用者可透過該時間軸查詢想要了解的時段資訊；圖示 4 最右邊的圖形為壅塞的相位關係圖。配合顏色作為屬性視覺化，將路況的壅塞情形關係詳細的呈現，讓使用者可透過路網了解概況，從傳播圖列表了解壅塞之間的影響關係，然後可以自相位關係圖裡了解壅塞的相位相似程度。



圖

4 Wang et al. (2013)的視覺化設計

Cruz et al. (2016)利用里斯本車輛軌跡資料使用脈動血管的設計，將路況進行視覺化，如下圖 5 所示。作者透過類似血管的視覺化設計整理里斯本公開的車輛軌跡資料，藉由此視覺化可以輕易判斷出主要使用道路。時間的流動也能讓使用者了解該地區的尖峰時刻以及不同時段裡主要使用道路的變化。此視覺化提供區域綜觀的交通路況，更詳細的資料必須仰賴其他資訊或是頁面輔助。

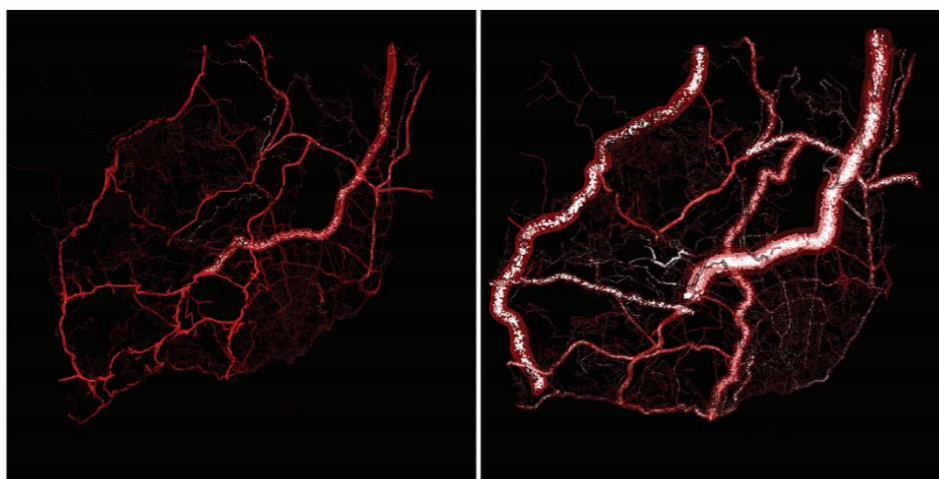


圖 5 Cruz et al. (2016)的視覺化設計

Feng et al. (2020)利用上海的開放交通資料，設計出和過去路網表現方式不同的具方向性之拓撲密度變化圖，利用二維呈現，搭配顏色展示出地區交通資訊的變化，如下圖 6 所示。作者設計的方向性拓撲密度圖不必限制於路網，可更加彈性的反映出交通資訊的變化。圖 6 左邊上下兩方框內顯示該地區的旅行速率由於編號 D 至 F 的路段調整而導致該地區速率下降以及影響的範圍；圖 6 的右邊上下兩方框表示該地區增設醫院後旅行速率明顯下降。藉由顏色做為屬性的視覺化得以呈現地區在建物增加或是時間的推移下交通資訊變化的概況。

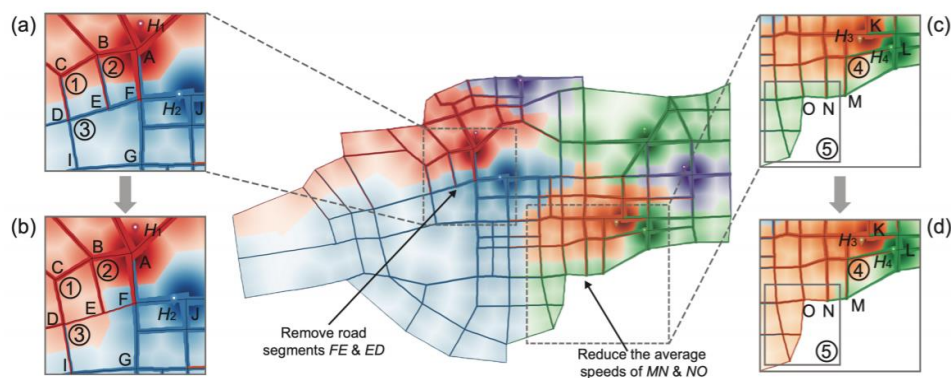


圖 6 Feng et al. (2020)的視覺化設計

事件視覺化以事件統計指標為主，資料主體為收集而來的事件資料，常輔以事件的影響範圍於視覺化當中。Pack et al. (2009)將馬里蘭州高速公路事件資料視覺化，介面如下圖 7 所示。主畫面供使用者切換點圖或是熱圖兩種不同的視覺化，提供事件位置分布的概況；作者於介面右方設計排列系統及資料過濾區域，以利使用者可透過資料的條件或是地區過濾出想要了解的資訊；下方以統計圖表資料輔助，讓管理者更了解事件統計的資訊。運用顏色做為屬性視覺化重要的管道，設計出能讓使用者自由探索的事件視覺化介面。

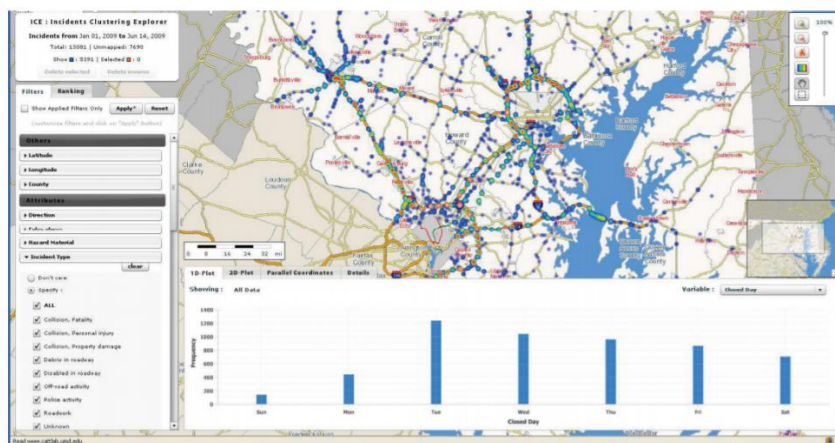


圖 7 Pack et al. (2009)的視覺化設計

VanDaniker et al. (2009)將事件偵測資料處理後，搭配路測設備的狀態、速度以及流量搭配顏色視覺化，利用小視窗附註於事件點上方，讓使用者了解和事件相關的資訊，如下圖 8 所示。以點的資訊為主，利用簡易圖標附註的方式標示出事件的位置，點選圖標後利用彈出視窗輔助其餘資訊，此法對於資料處理簡單快速，同時變更的彈性也相當大。現有的即時路況事件的視覺化多採用此種方法。



圖 8 VanDaniker et al. (2009)的視覺化設計

Piringer et al. (2012)利用隧道事件偵測資料將介面由上而下分為：(1)未來預測 (2)現在 (3)過去 三種時段的隧道示意圖，如下圖 9 介面所示。介面左側搭配事件時間的資訊，圖標表示時間的起訖，圖標樣式表示不同事件的類型，而圖標所夾中間線段表示事件發生的時長；介面中央具過去、現在隧道路況資訊以及未來的隧道路況模擬預測；右方為事件詳細訊息以及即時影像，讓使用者能夠詳細監控隧道同時具歷史訊息供以比對。利用不同時段分層訊息，讓介面不僅能呈現即時路況的資訊，更能拓展時間向度的深度，探討過去以及未來的情況。

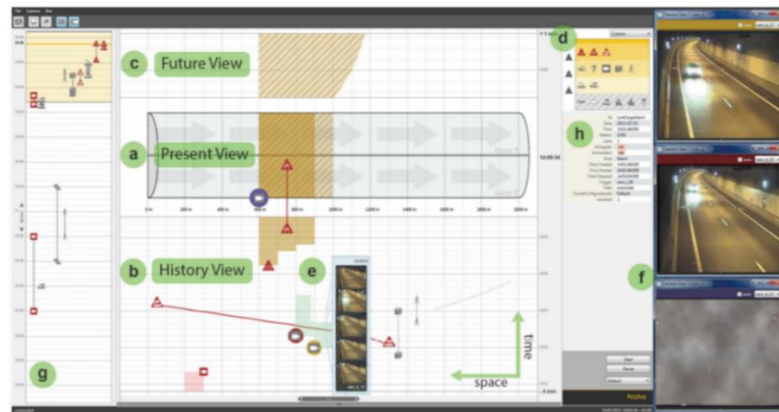


圖 9 Piringer et al. (2012)的視覺化設計

Anwar et al. (2014)利用新加坡環形線圈式車輛檢測器及事件資料於平面地圖框選事件影響範圍，搭配圈型的顏色表示不同狀態的事件，如下圖 10 所示。介面以路網視覺化表示路況，圈型的涵蓋範圍為事件發生後影響的區域，圈型顏色表示不同類型的事件。當事件發生時圈型開啟並且覆蓋預計受到影響的範圍，當事件結束後圈型內的所有路段恢復順暢即關閉。介面右下角具速率與時間對應之長條圖，管理者可透過長條圖了解速率受到事件影響的程度。



圖 10 Anwar et al. (2014)的視覺化設計

Fan et al. (2017)利用廈門的事件資料將事件的時空資訊視覺化，將分析單位分為：事件、道路、地區、路口，搭配時空圖讓使用者了解完整事件的資訊，如下圖 11 所示介面。作者利用路網表示事件分布的資訊，如介面上方路網圖，當該路段事件分布密度越高顏色則越深。畫面探索的單位可切換成事件、道路、地區或是整個路口，設計同樣採用將畫面依照不同探索單位分層，提供管理者彈性使用。同時也附上行為小時單位；列為天數單位的事件密度長條圖讓使用者透過不同的視覺化分析事件資訊。

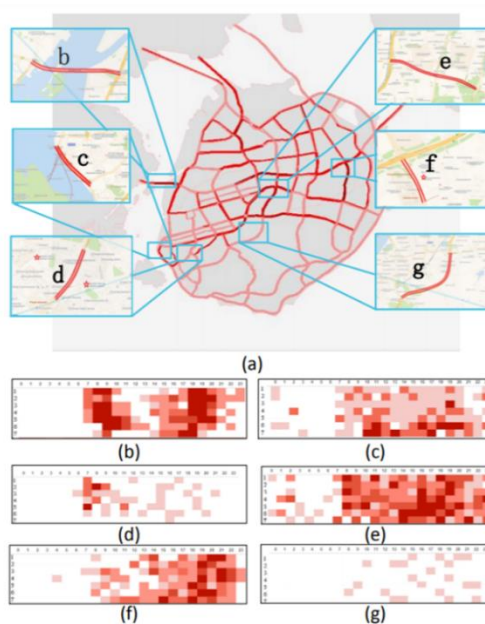


圖 11 Fan et al. (2017)的視覺化設計

Chen et al. (2015) 將交通資料分為空間(S)、時間(T)、方向(D)以及屬性(A)四種基本資訊，不同組合之資訊所需的視覺化方式也不相同，上述之路況視覺化文獻整合多以時間、空間及屬性($S \times T \times A$)為主。空間(S)代表單位內具有的資料數，時間(T)代表資料的時間軸，方向(D)代表單位內資料的移動方向，屬性(A)代表單位內資料非時、空或是方向的資料，例如：速度或是事件。其中，時間、空間及屬性($S \times T \times A$)之組合為能夠清楚表示交通資訊的時空關係基礎整合。

本小節的研究案例之統整如下表 1 所示。路況視覺化可分為以速度或是事件為主的兩大類型，其中速度視覺化資料以軌跡資料或交通開放資料為主；事件視覺化資料以事件資訊為主。速度視覺化著重時空關聯性，事件視覺化強調統計資訊和事件影響時長、範圍。資訊整合以時間、空間及屬性($S \times T \times A$)居多。

表 1 路況視覺化統整

類型	文獻來源	資料	視覺化設計	資訊整合
速度為主	Pu et al. (2012)	軌跡資料	- 具不同空間尺度 - 熱圖、Fingerprint 以及車輛移動指標	時間、空間、屬性及方向 (S × T × A × D)
	Wang et al. (2013)		- 具時空及相位資料 - 地圖、壅塞擴散圖、統計圖以及散布表	時間、空間、屬性 (S × T × A)
	Cruz et al. (2016)		- 具時空變化 - 脈動血管圖	
	Feng et al. (2020)	交通開放資料	- 具時空變化 - 二維密度圖	
事件為主	Pack et al. (2009)	事件資料	- 具統計資料 - 熱圖及點圖切換	時間、空間、屬性 (S × T × A)
	VanDaniker et al. (2009)		具路測設備的狀態、速度及流量	
	Piringer et al. (2012)		- 時間具未來、現在及過去 - 隧道圖、時間軸及影像	
	Anwar et al. (2014)	事件及環形線圈式車輛檢測器資料	- 視覺化事件範圍 - 平面地圖及環型圖示	
	Fan et al. (2017)	事件資料	- 分事件、道路、地區以及路口分析單位 - 平面地圖及時空圖	

2.2 視覺化方法

非模型輔助的視覺化方法根據資料型態以及主題進行視覺化設計。He et al. (2019) 將移動軌跡之視覺化方法統整概分為以下四類型：(1)多變量 (2)低維度 (3)高維度 (4)多維度 適用的視覺化方法以及優缺點。低維度與高維度的視覺化方法具有適用變數的限制，多變量以及多維度則無。

低維度的視覺化方法處理較少變數，分為 Space-time Cube、堆疊圖、密度圖、熱圖、網格路網、時間序列以及其餘變形設計。Andrienko et al.(2014)利用低維度之堆疊圖視覺化路徑與速度間的關係。將 Z 軸訂定為以小時為單位的時間軸，路徑依序堆疊顯示；顏色表示速率或是其餘交通屬性資訊。使用者依照堆疊的結果可分析探討不同時段發生壅塞的路段變化或是影響，右下角環形分布也可了解該路徑一周內的速率分布，如下圖 12 所示。

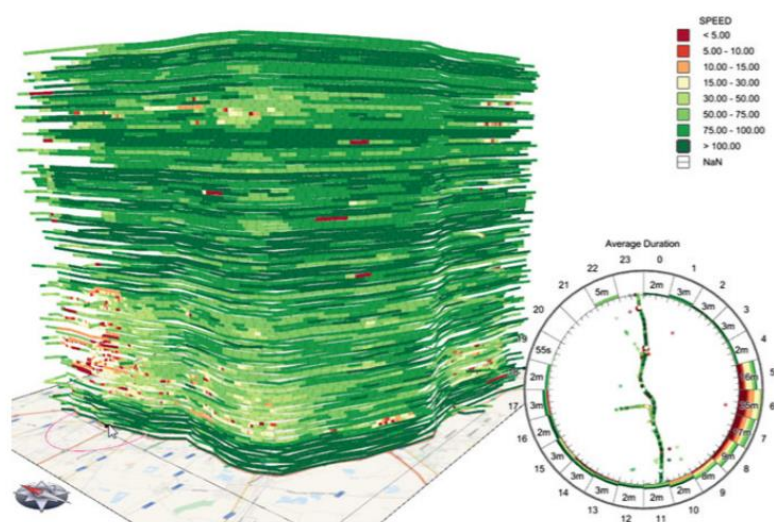


圖 12 Andrienko et al.(2014)的堆疊圖

高維度的視覺化方法可處理較多變數，但是當需要視覺化的變數較少時，較不適用該種方法，除了資料處理成本太高之外，視覺化呈現的效果也會不如低維度方法。高維度的視覺化方法分為減少維度、投影、層級、像素圖、平行座標圖以及雷達圖。Pack et al. (2009)利用平行坐標圖表示事件中不同屬性間之關聯，每一軸所代表的是不同種類的屬性，每一軸的刻度表示該屬性數值的高低，一事件依照其屬性數值連接到該軸對應到的刻度，藉此可分析事件屬性的資料概況，也可透過上方篩選出單一事件的資料，如下圖 13 所示。

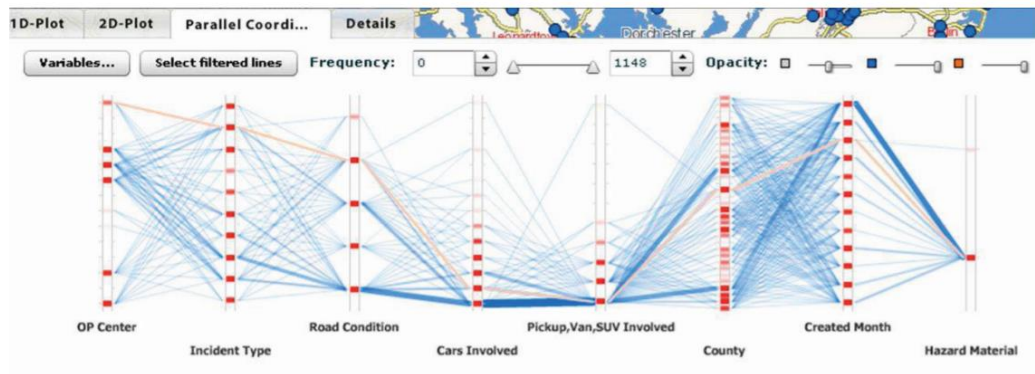


圖 13 Pack et al. (2009)的平行坐標圖

相較於適用範圍較狹義的低維度以及高維度視覺化方法，多變量以及多維度的視覺化方法不論變數多寡皆能處理，對於資料變數的選用較具彈性。多變量以圖標、語義歸納(路徑上的資訊)以及文字雲三種為主。以路況視覺化相關的文獻探討，較常使用的方式為圖標設計搭配其餘的視覺化方法，Huang et al. (2016)於路網視覺化中使用風玫瑰圖表示計程車流向分布，環形的風玫瑰花瓣(長條圖方向)表示車流流向，花瓣的長短(長條圖的長短)表示車流流向的大小，不同顏色的風玫瑰圖表示該地區車流量總量，如下圖 14 所示。

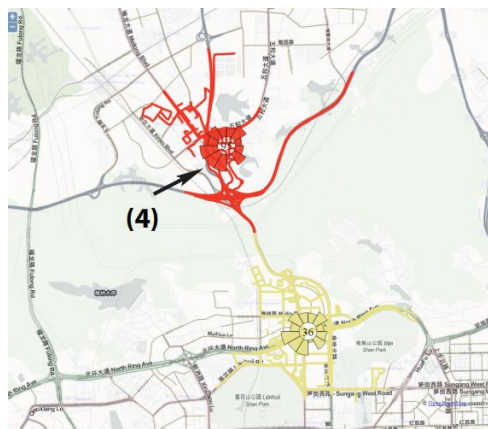


圖 14 Huang et al. (2016)的風玫瑰圖

多維度的視覺化方式可以處理不同數量的變數，並且能夠反應交通資訊，提供不同層級的視覺化表現。其方法為叢集、散布圖、空間的流動視覺化以及非空間的流動視覺化。其中，叢集的方式具有先行將資料進行整理分群的特性，可替使用者進行資訊初步整理，除了路況視覺化之外也時常用於地圖產生過多路標時整理使用，如下圖 15 Google 於地圖 API 提供的叢集方法。以路況視覺化相關的文獻探討，Pu et al. (2012)以叢集的方式收束大量的環形圖標，避免環形圖標過多造成視覺疲勞，如下圖 16 所示。



圖 15 Google 地圖 API 提供之叢集視覺化套件

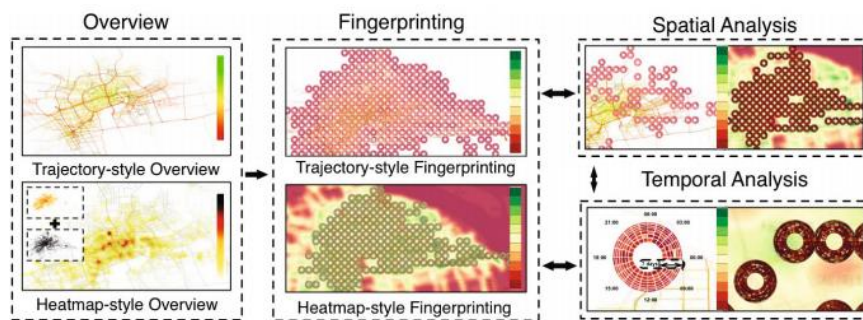


圖 16 Pu et al. (2012)的叢集圖

上述的視覺化方法為非模型輔助之視覺化方法，模型輔助之視覺化方法與上段依照資料類型以及主題進行視覺化的方法較不相同，著重於視覺化的效率，建立模型輔助使用者輸入資料後，自動生成適用各種主題的基礎圖表，例如：長條圖、點圖以及折線圖等。Moritz et al. (2016) 建立軟硬限制式，分別表示不可違反以及可違反但會賦予懲罰值的設計規則，同時，將由專家提議的軟性規則作為模型學習以及校估的參數，計算出最合適輸入資料型態的視覺化。如下圖 17 設置條件限制協助程式判斷資料是否適用長條圖。D. A. (2017)建立模型調整視覺化中最常使用的方法－顏色，依照資料的分布以及視覺化的條件搭配出最合適的顏色以及圖形大小，如下圖 18 所示。



圖 17 Moritz et al. (2016)視覺化方法

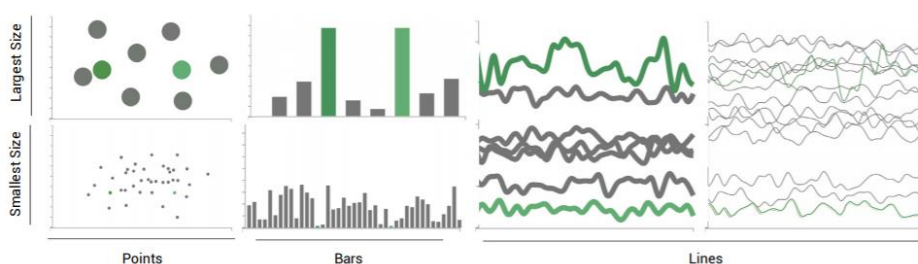


圖 18 D. A. (2017)視覺化方法

本節視覺化統整如下表 2 所示。視覺化方法可分為非模型輔助與模型輔助，非模型輔助可根據資料型態或是需求進行較多樣的設計，而模型輔助強調視覺化的速率以及透過限制式自動生成最適合投入資料的基礎視覺化。非模型輔助之視覺化方法分為低維度、高維度、多變量、多維度四類型，其中低維度適用少量變數，高維度適用大量變數；多變量以及多維度之方法未具限制。模型輔助分為生成適用資料的整體視覺化設計以及分析投入的資料執行視覺化顏色配置兩類型。

表 2 視覺化方法統整

類型	內容	項目	適用資料	方法	文獻來源
非模型輔助之視覺化方法	根據資料型態以及主題進行視覺化設計	低維度	少量變數	Space-time Cube、堆疊圖、密度圖、熱圖、網格路網、時間序列以及其餘變形設計	Andrienko et al.(2014)
		高維度	大量變數	減少維度、投影、層級、像素圖、平行座標圖以及雷達圖	Pack et al. (2009)

		多變量	變數多寡 皆適用	圖標、語義歸納(路徑上的 資訊)以及文字雲	Huang et al. (2016)
		多維度		叢集、散布圖、空間的流動 視覺化以及非空間的流動視 覺化	Pu et al. (2012)
模型輔助之視 覺化方 法	設立模型 輔助資料 投入時， 自動生成 合適的基 礎視覺化	設計	未設定適 用資料以 及主題	設立軟硬限制式和參數訓練 模型，協助自動生成最有效 之基礎視覺化	Moritz et al. (2016)
		顏色		設立模型協助使用者依據投 入資料生成最適用的明暗、 彩度、飽和度顏色組合	D. A. (2017)

2.3 視覺化的設計原則

2.3.1 時間及空間視覺化

時間以及空間資訊為視覺化的主體，Chen et al. (2015) 分別以時間和空間單一類別進行探討，提出時間應用於交通視覺化之案例分為線性與週期，著重時間資訊維度的視覺化以呈現屬性和時間相關的訊息為主軸，視覺化設計時常以空間資訊較薄弱的長條圖列表或是雷達圖形顯示完整的時間資訊，以下整理之文獻著重時間維度的視覺化。線性時間設計原則可表現資訊隨時間的變化以及包含起訖的資訊，適用折線圖或是堆疊圖，Ferreira et al. (2013)利用折線圖表示每日旅次數加總之趨勢變化，如下圖 19 表示。週期性的設計原則以呈現日、星期、季、年為單位的變化，多採用放射狀配置，Häußler et al.(2018)利用時鐘的放射狀配置視覺化處理密度、速度以及廢氣排放量週期的變化，如下圖 20 所示。

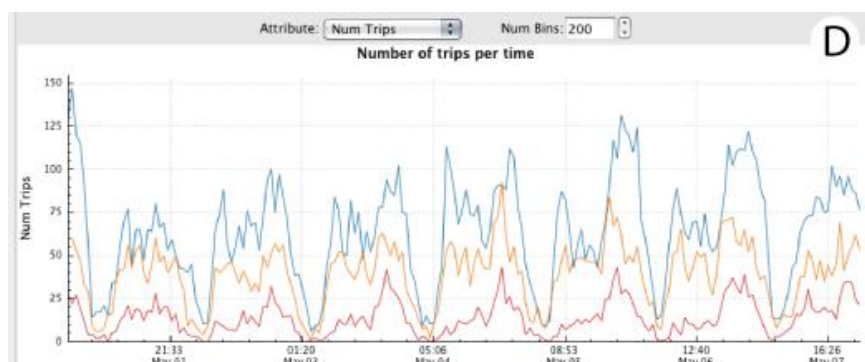


圖 19 Ferreira et al. (2013)的折線圖視覺化

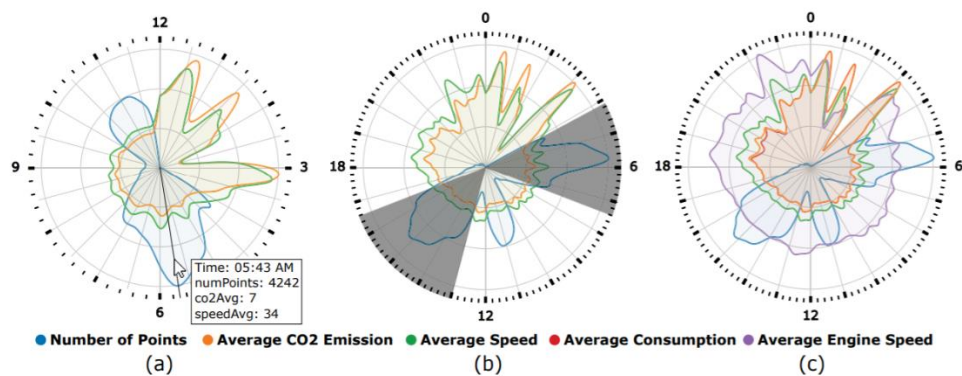


圖 20 Häußler et al.(2018)的放射狀配置設計

以空間為主軸的視覺化設計強調空間以及屬性間的關係，使用路網或是以地圖為基礎表示空間與屬性間的關聯，視覺化對於協助使用者探討時間維度的能力較有限，Chen et al. (2015)提出空間可分為以點、線、面三類別。點的空間視覺化原則以表示點的移動時間點或分布為主，適用點圖以及熱圖，Fan et al. (2017)利用點圖、熱圖以及路網等視覺化表示事件於地區的分布情況，當顏色越深分布密度越大，如下圖 21 表示。線的空間視覺原則可表示軌跡路徑於地圖上方，進行探勘、分類以及路線引導，適用路徑圖表達，Baskaran et al. (2017)利用路徑圖突顯主要路徑，作者嘗試將路徑搭配色環結合時間的訊息，但是仍以提供綜觀的訊息為主，無法提供詳細的時間資訊，如下圖 22 所示。面的空間視覺化原則用於表示地區的交通狀況，依照不同需求具有不同的設計，Zeng et al. (2013)利用交叉圖案的視覺化設計表示區域間車輛的流動，不同顏色代表不同地區，顏色的流動表示車流的流向，如下圖 23 所示。

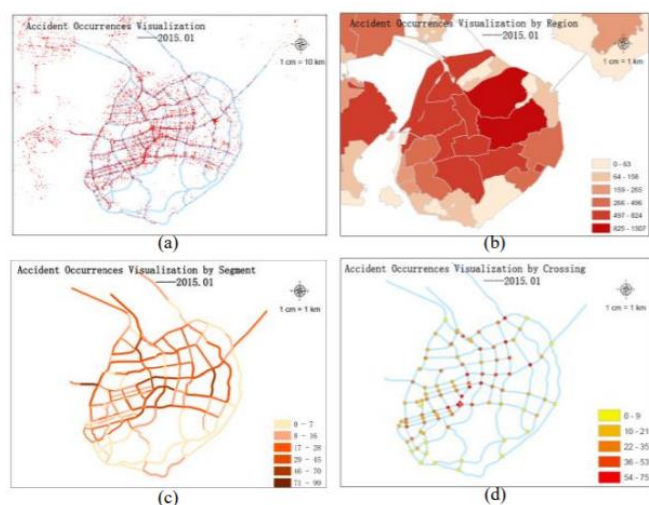


圖 21 Fan et al. (2017)的點圖

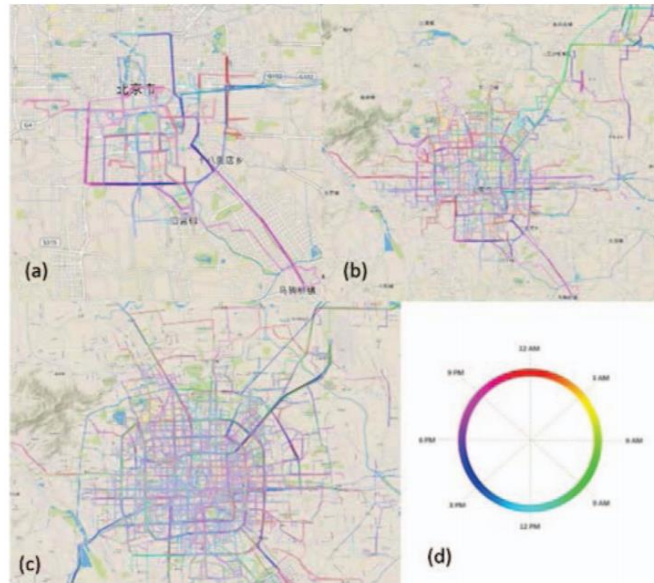


圖 22 Baskaran et al. (2017)的路徑圖

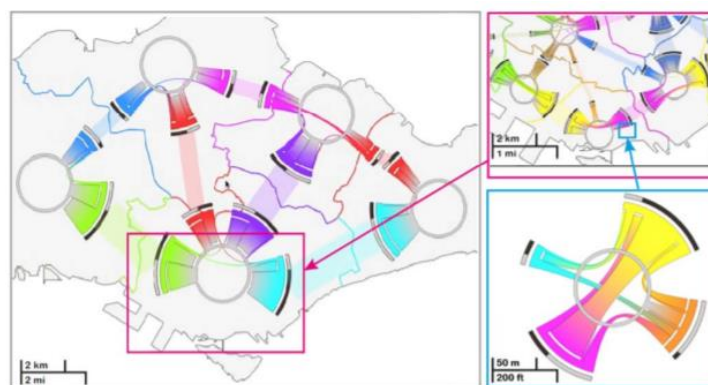


圖 23 Zeng et al.(2013)的交叉圖案設計

上述文獻整理如下表 3 所示。項目可分為時間與空間兩大類型，時間又分為線性與週期；空間分別以點、線、區域為基礎。線性時間的設計原則以表現時間起迄並且可展示資訊隨時間的變化，適用折線與推疊圖；週期則是呈現以日、星期、季、年等一定時間長度的變化，適用放射狀配置。空間以點表示移動資訊，採用點圖與熱圖；空間以線為基礎則常用路線圖表示軌跡路徑於地圖上方，進行探勘、分類以及路線引導；空間以區域探討地區之交通特性，視覺化方法根據不同需求進行不同設計。

表 3 時間視覺化統整

項目	類型	設計原則	適用視覺化	文獻來源
時間	線性	具時間起訖， 可表示資訊隨 時間變化	折線圖或堆疊圖	Ferreira et al. (2013)
	週期	呈現以日、星 期、季、年為 單位的變化	放射狀配置	Häußler et al.(2018)
空間	以點基礎	表示移動資料 的時間點或分 布	點圖或熱圖	Fan et al. (2017)
	以線基礎	表示軌跡路徑 於地圖上，進 行探勘、分類 以及路線引導	路徑圖	Baskaran et al. (2017)
	以區域基 礎	表示地區的交通狀況	依需求具不同設計	Zeng et al. (2013)

2.3.2 時空串聯視覺化

除了上一小節 Chen et al. (2015)所提以時間或是空間為主之設計原則，也有許多視覺化設計原則同時以時間以及空間兩者串聯作為考量，進行相關的視覺化設計，此類型的設計多採環形相關的視覺化設計。根據文獻整理，由於環形設計與時鐘類似，使用者判讀時間資訊時學習成本較低；環形中央的空間也能表達空間與屬性的關係，因此串聯設計多與環型設計相關。以下將整理以此種設計為主軸的視覺化文獻。

Liu et al. (2011)利用環型視覺化將計程車旅次數與時間結合，環形顯示單位為主要路徑於空間的範圍，外框具有 24 時制以及旅次數的長條圖，內框顯示路徑起訖、速度等資料，中央為主要路徑於空間中之視覺化，如下圖 24 所示。Guo et al. (2011)將環形固定於路口上，內外框分別為車流出入路口的流量，中央顯示路徑與移動車輛，如下圖 25 所示。

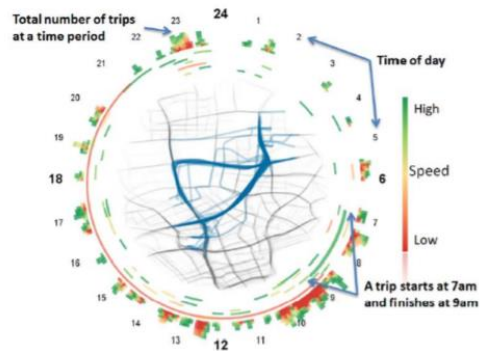


圖 24 Liu et al. (2011)的環型設計

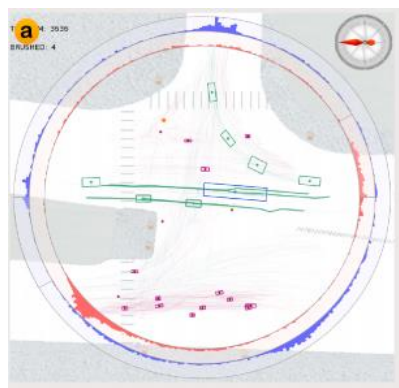


圖 25 Guo et al. (2011)的環型設計

Tominski et al.(2012)在以空間與屬性關係為主的視覺化內加入 time lens 串聯與時間的關係，環形範圍為固定，可於路徑上隨意移動，外框可顯示年、季或是周為單位的屬性資料，內框為速度分布，中央呈現路徑於空間的資訊，如下圖 26 所示。

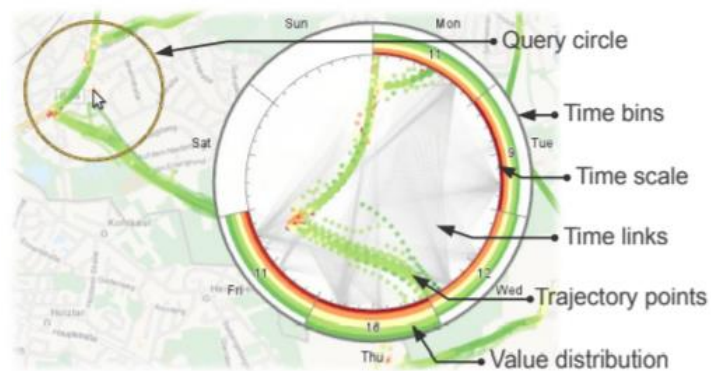


圖 26 Tominski et al.(2012)的 Time lens 設計

Pu et al. (2013)利用放射狀設計的指紋表示空間下的時間與屬性之間的關係，指紋於區域的空間尺度下顯示單位依照層級切分不同分為道路以及路段兩種，外框展示一周內的二十四小時時制以及異常指標，內框為屬性分布之歷史資料，中央為以及指標平均值檢測，如下圖 27 所示。

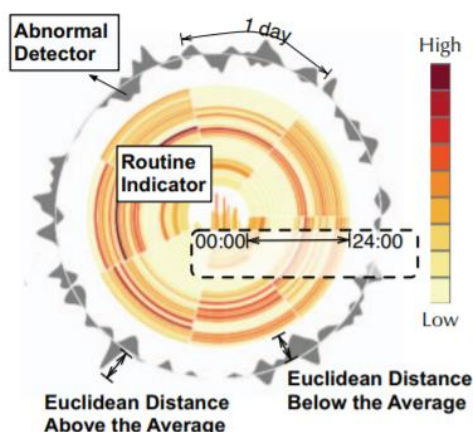


圖 27 Pu et al. (2013)的 Fingerprint 設計

Zeng et al. (2014)在大眾運輸的易行性視覺化中，OD 路徑表的尾端設計類似時鐘概念的環型易行性輪，環形單位為該大眾運輸轉乘路徑，外框顯示包含轉運以及候車時間之乘車時間的長條圖，內框顯示 24 時制，中央為路徑訖點，如下圖 28 所示。

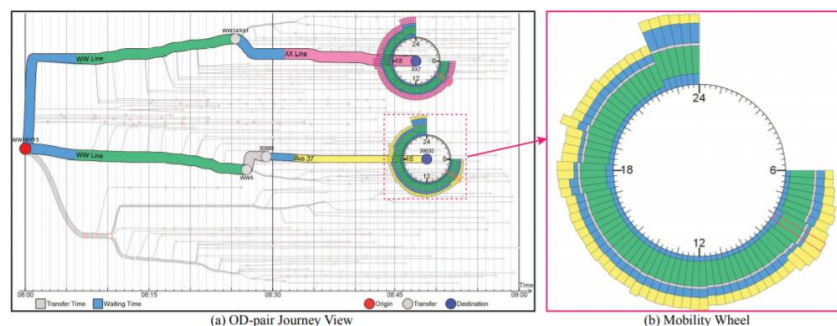


圖 28 Zeng et al. (2014)的 Mobility Wheel 設計

以上文獻統整如下表 4 所示。環形設計範圍根據其層級設計各不相同。外框與內圈之環型部分因與時鐘概念相近，常與時間資訊結合以利判讀。串聯型設計環形之中央以展示空間資訊或是輔助圖形指標為主。

表 4 環形串聯設計統整

文獻來源	環形設計顯示單位	外框設計	內圈設計	中央
Liu et al. (2011)	主要路徑	24 時制、旅次數	長條圖（紀錄路徑起始、速度）	路徑
Guo et al. (2011)	固定路口	流入流量	流出流量	路徑、 移動車輛
Tominski et al. (2012)	範圍固定，於路徑上可隨意移動	四季、12 月份、一周、12/24 時制	速度分布	路徑
Pu et al. (2013)	道路或路段	一周、異常指標 (Filled line chart)	24 時制、屬性分布	常規指標 (長條圖)
Zeng et al. (2014)		乘車時間	24 時制	

2.3.3 屬性層級視覺化

時空資訊的主要表現手法為利用空間排列或是圖形設計等方式呈現，對於屬性的視覺化需要另尋可與時空資訊連結，同時避免被干擾的方式，其中最為廣用的方法即為色彩編碼。Tominski et al. (2005)提出視覺化應用中，引入色彩編碼的主要目標為凸顯不同數值間的比較，讓使用者能夠藉由色彩的輔助更加直觀了解數字間的差異。Tominski et al. (2012)進一步提出視覺化當中，顏色屬於視覺化當中為最為廣泛的方法，色彩編碼具有選擇性以及相關性，可依據資料進行色彩編碼的調整，更能利用此法強調數據間的關聯。Baskaran et al. (2017)也提出最廣用以及實用的非空間性視覺維度為色彩，可自然直觀表達一維的屬性資料。

色彩編碼呈現顏色的方式為色標度，色標度具有兩種屬性：(1)控制顏色參數的控制點 (2)色彩過渡，其中色彩過渡的種類可分為 Isomorphic, Segmentation 以及 Highlighting 三種型式，分別由下圖 29 由左至右所示，若屬性的資料分群形式具有意義，常用的型式多為 Segmentation。Harrower et al. (2003)提出 Bergman et al. (1995)根據數據型態整理出三種類型適用的表現方式以及限制，其中 Segmentation 使用彈性相較其餘兩類型來的更大。Tominski et al. (2012)提出在數值分群具有意義以及代表的地圖上，色標度選用 Segmentation 能夠更有效顯示屬性的差別。下表 5 為針對交通視覺化

案例的色標度整理，選用 Segmentation 之文獻色彩與數值的映射方法多採用 Equal Interval 的等分切法，將資料依照數值切分為七至十一段不等。

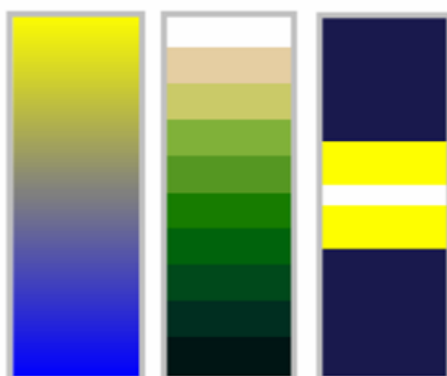


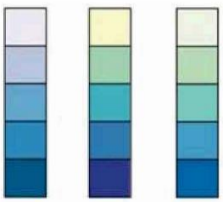
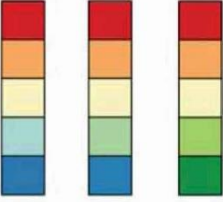
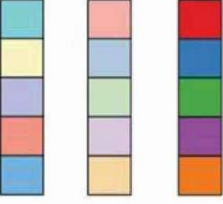
圖 29 色彩過渡型式

表 5 屬性視覺化統整

文獻來源	色彩過渡	映射方法	切割數量
Andrienko et al. (2008)	segmentation	Equal Interval	7
Liu et al. (2011)	isomorphic	文獻未說明	
Tominski et al. (2012)	segmentation	Equal Interval optimal classification natural breaks	8
Wang et al. (2013)	isomorphic	linear	5
Pu et al. (2013)	segmentation isomorphic	文獻未說明	9/11
Wang et al. (2014)	segmentation	Equal Interval	10
Andrienko et al. (2014)	segmentation	Equal Interval	8
Häußler et al. (2018)	isomorphic	linear	

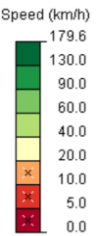
色彩編碼選用的色彩組合稱為色板，Harrower et al. (2003)的線上色彩編碼工具 ColorBrewer 內的 sequential ,diverging 和 qualitative 三類別色板，即是利用文獻回顧將資料型態特性整理出三類別，並且配合色彩組合、色彩認知以及辨識度等設計而成，色板與其適用的資料型態特性整理如下表 6 所示，其中的 diverging 類別色板適用於資料分群標準具有意涵的情境，因此常用於其他交通視覺化研究中。Tominski et al. (2012) 、Wang et al. (2014) 以及 Andrienko et al. (2014)的交通視覺化設計研究中皆利用 ColorBrewer 的 diverging 紅黃綠色板輔助速度屬性的顯示。Pu et al. (2013)也同樣使用 ColorBrewer 的 diverging 紅黃綠色板於道路層級的視覺化中輔助顯示速度，密度屬性則是採用 diverging 紅黃藍色板，其餘屬性則使用 sequential 紅黃色板顯示數值上的差異。

表 6 色板與適用資料型態特性整理

色板類別	適用資料型態	ColorBrewer 色板設計
sequential	資料為連續型，且注重排序或是數字類型高至低的差異性。	
diverging	資料為連續型，且資料切割的分界點是有意義的，突顯切割的資料群體間具有不同的意涵。	
qualitative	資料為離散型，且資料的排序是沒有意義的	

上述舉例之研究整理如下表 7 所示。文獻使用色板類別以 diverging 和 sequential 兩類型為主，當中又以 diverging 色板較常使用。色板屬性呈現之資訊為速度、密度及其餘屬性。圖示可見為了降低使用者判讀資訊的學習成本，常用色板組合為交通號誌燈號常見的配色—紅綠色板。

表 7 色彩設計統整

文獻來源	色板類別	屬性	圖示		
Tominski et al. (2012)	diverging	速度			
Wang et al. (2014)					
Andrienko et al. (2014)					
			Tominski et al. (2012)	Wang et al. (2014)	Andrienko et al. (2014)
Pu et al. (2013)	diverging	速度密度			
	sequential	其餘屬性			
			速度：右/密度：左		其餘屬性

2.3.4 操作介面視覺化

確立整體視覺化後，其操作功能以及便利性也會影響使用者對於視覺化的感受以及效果，介面所需具備的互動設計根據不同文獻，羅列出的項目和著重的面相也不相同，如下表 8 所示。Shneiderman (1996) 列出綜觀(overview)與縮放(zoom)概念，資料方面提供資料過濾(filter)、根據需求提出更加詳細的訊息(details-on-demand)、資料間的相關性(relate)以及提取資訊(extract)，操作方面則提出能夠回溯到上一步操作(history)的功能。Keim (2002) 提出綜觀(interactive-distortion)與縮放(interactive zooming)的功能，資料方面提出過濾(interactive-filtering)、維度轉換(dynamic-projections) 以及透過框選顯示資料關聯的互動(interactive-linking and brushing)。Yi et al.(2007) 著重於資料方面的處理；具有選取(select)、探索(explore)、改變顯示範圍(reconfigure)、視覺化方式轉變(encode)、調整資料顯示多寡(abstract/elaborate)、過濾資料(filter)以及資料串聯(connect)的功能。Figueiras(2015) 提出綜觀與探索的互動(overview and explore)，資料方面則提出資料的選擇(selecting)、過濾(filtering)、調整資料顯示多寡(abstract/elaborate)、資料間的連結(connect/relate)、視覺化方式轉變(encode, gamification)、改變資料選擇的特性(extraction of features)、調整資料顯示範圍(reconfigure)和選擇顯示方法(participation/collaboration)，操作則一樣重視重現上一步驟的功能(history)。

表 8 互動設計統整

文獻來源	互動設計
Shneiderman (1996)	Overview, zoom, filter, details-on-demand, relate, history, extract
Keim (2002)	Dynamic-projections, interactive-filtering, interactive zooming, interactive-distortion, interactive-linking and brushing
Yi et al.(2007)	Select, explore, reconfigure, encode, abstract/elaborate, filter, connect
Figueiras(2015)	Filtering, selecting, abstract/elaborate, overview and explore, connect/relate, history, extraction of features, reconfigure, encode, participation/collaboration, gamification

上述文獻所規畫之介面功能經整理後，可大致分為總體與縮放、資料連結、資料探勘與操作便利性四大類型，如下表 9 所示。總體與縮放主要在於整體介面所提供的資訊或是互動引導以及層級間的縮放。資料連結著重資料與資料間的串聯方式，不論是互動或是顯示方法。資料探勘表示介面是否具有帶領使用者進行資料解讀的功能。最後的操作便利性則是讓使用者能夠在每一步驟或是層級間順暢的切換。

表 9 互動設計整理

	文獻來源	互動設計
總體與縮放	Shneiderman (1996)	Overview, zoom
	Keim (2002)	Interactive-distortion, interactive zooming
	Yi et al.(2007)	
	Figueiras(2015)	Overview and explore
資料連結	Shneiderman (1996)	relate
	Keim (2002)	Dynamic-projections, interactive-linking and brushing
	Yi et al.(2007)	Encode, connect
	Figueiras(2015)	Connect/relate, encode, gamification
資料探勘	Shneiderman (1996)	Details-on-demand, filter, extract
	Keim (2002)	Interactive-filtering
	Yi et al.(2007)	Select, explore, reconfigure, abstract/elaborate, filter
	Figueiras(2015)	Filtering, selecting, abstract/elaborate extraction of features, reconfigure
操作便利性	Shneiderman (1996)	History
	Keim (2002)	
	Yi et al.(2007)	
	Figueiras(2015)	History, participation/collaboration

2.4 小結

由整理文獻得知，路況視覺化可分為視覺化速度以及事件兩大類型，資訊的基礎整合以時間、空間、屬性($S \times T \times A$)為主，其中視覺化速度以了解速度的指標為主，並未涵蓋事件或是施工等其餘的訊息，視覺化事件以事件為主體，較少配合路況的訊息，此為回顧文獻中路況視覺化的不足之處，未包含路況及事件之整體即時路況。以往路況視覺化以單一的資料來源為主進行視覺化，再藉由使用者透過視覺化的資訊發現異常之處，配合額外的補充資料協助使用者了解路況全貌。即使 VanDaniker et al. (2009)視覺化的對象包含路況、事件以及路側設施等，其方式將視覺化後的訊息利用視窗的方式附注在事件點的上方，並非進行整體視覺化的考量。而回顧之文獻之資訊整合多探討時空以及屬性，例如：速度、計程車接送服務頻次、事件發生、事件密度等交通資訊。篩選合適的資訊整合能避免後續視覺化設計需要呈現過多瑣碎的訊息，導致設計過於複雜，使用者學習成本過高。因此本研究希望可以進行時間、空間、屬性($S \times T \times A$)資訊整合之整體路況視覺化設計，將路況及事件資訊皆納入。

本研究期望涵蓋路況以及事件資訊，因此選用非模型輔助之視覺化方法，可以針對資料類型以及主題進行設計，同時使用多變量的圖標配合多維度的叢集方法整理圖標，降低視覺混雜同時適用資料限制低，符合本研究期望改善的方向。非模型輔助之視覺化方法可根據資料型態以及主題進行視覺化設計，雖近期多嘗試將人為設計的部分交由模式輔助，但是 Hoecke et al. (2015)提出若需要更加複雜的設計，仍需要依靠人工設計，目前模式方法僅能生成基礎圖表視覺化。而路況資料來源多樣，本研究希望視覺化適用資料限制較低，因此後續將採用多變量以及多維度之視覺化方法。多變量的文獻案例 Huang et al. (2016)採用的圖標做為輔助，多維度的文獻案例 Pu et al. (2012)使用叢集方式整理圖標以及資訊，上述組合能夠有效達成分層分群整理。

視覺化設計原則中，串聯視覺化多採用環型設計；而屬性視覺化中多採等分切割之 segmentation 的色標度，搭配 Harrower et al. (2003)設計出的線上選色輔助工具—ColorBrewer 之 diverging 色板，處理連續型且分群具有意義之速率資料；介面功能經整理後，可大致分為總體與縮放、資料連結、資料探勘與操作便利性四大類型。但色板不論是切割方法以及 ColorBrewer 本身生成色板之中斷點，皆不適用台灣慣用的服務水準切割。因此，本研究將以針對 Harrower et al. (2003)的 ColorBrewer 當中所具備的 diverging 色板進行調整設計，使其更為適用台灣地區使用，並且搭配環形設計增加資訊間的串聯，最後於規劃介面操作視覺化中納入四大類型的操作，使整體視覺化更加完整。

本研究將視覺化目標設定為包含事件及速率兩者資訊，以時間、空間、屬性($S \times T \times A$)此基礎的資訊整合為主；視覺化方法採用適用變數數量不拘的多變量以及多維度的方法，利用多變量的圖標以及能夠整理圖標之多維度叢集的方式；時空設計原則以串聯兩者的環形視覺化為主，屬性設計使用 Harrower et al. (2003)之 ColorBrewer 的 diverging 色板進行調整；操作介面視覺化包含總體與縮放、資料連結、資料探勘與操作便利性四大類型。上述結論為文獻回顧整理得出。本研究將於下章節開始依此進行視覺化設計。

第三章 時空與屬性整合之視覺化設計

3.1 問題描述

目前台灣即時路況視覺化雖然為時間、空間及屬性($S \times T \times A$)資訊整合，但以平面道路的電子地圖標示速度，時間與屬性的資訊整合僅用簡單圖表或是說明方格補充予使用者，視覺化中時間與屬性($T \times A$)的資訊整合的不足。介面不具備分層整理之視覺化也無相關的資訊串聯設計，以台北市即時交通資訊網為例，目前台灣路況主要將資訊附於路網上，以路段(Link)為資訊發布單位，事件其餘則以點表示，如下圖 30 的台北市即時交通資訊網所示。未經設計之介面以及整體視覺化必須仰賴其他視窗或是頁面輔助訊息，例如 Google 地圖於下方設置切換即時及歷史速率資料的按鈕，如下圖 31 所示。但是視窗或是頁面切換容易分散使用者焦點，以及造成辨識的困難度增加，獨立的圖表未經串聯的設計也不易讓使用者探索資訊間的關聯。

本研究將使用者定義為縣市地區交通控制中心的管理者，縣市地區的路網相比高速公路更複雜；資訊也更加細碎，且管理者比起一般使用者需要縣市區域更全面的資訊，擬定決策時除了即時路況外時常需要歷史路況資訊輔助。根據文獻回顧可以發現交通資訊視覺化所追求的目標一為多面相資料整合，讓使用者能夠了解交通資訊的各個面相；二為在多面相資料提供的同時進行資料整理，將資料更有條理呈現給管理者，以增加閱讀及辨識速度。因此本研究將針對上述管理者需求進行設計。



圖 30 台北市即時交通資訊網



圖 31 Google 即時與歷史交通資訊切換鈕

3.2 視覺化方法設計架構

本研究的視覺化方法設計架構為參考文獻回顧中提及的數篇文獻進行整理而出，先行確立層級視覺化，確立各層級顯示單位及使用的視覺化。接著將時空視覺化以及屬性視覺化拆開設計，再將兩者整合，下圖 32 以 Pu et al. (2013)的環形視覺化為例。因設計時若使用同一種視覺化方式(例如：顏色)合併處理時空和屬性資料，當畫面顯示顏色時管理者將會感到混淆，無法得知顏色想要傳達的是時空的資訊或是屬性的資訊。

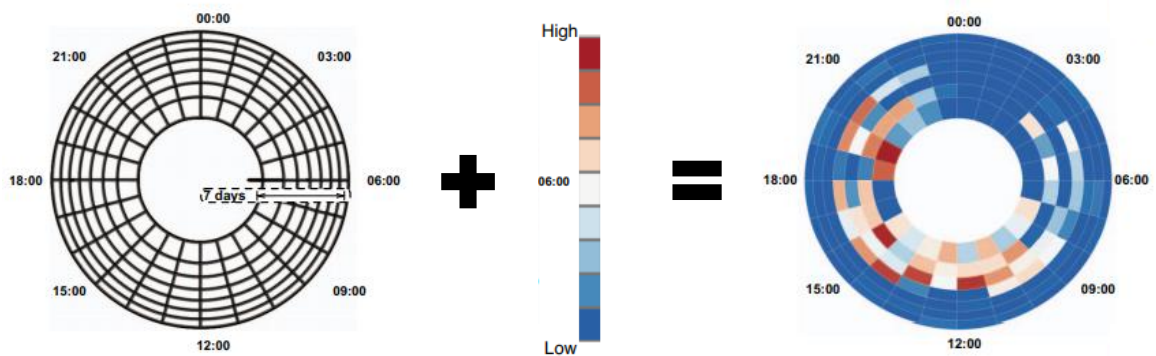


圖 32 環形拆分設計示意圖

資料來源：Pu et al. (2013：130)

分別設計後需將兩者整合並調整其整體視覺化，後續進行資料處理做為整體介面基底；生成介面基底之後接續進行操作介面視覺化設計，設計實際操作時的動態效果或是功能；最後，檢視視覺化的設計是否設計準則，無則持續調整視覺化。本研究設計架構圖如下圖 33 所示。

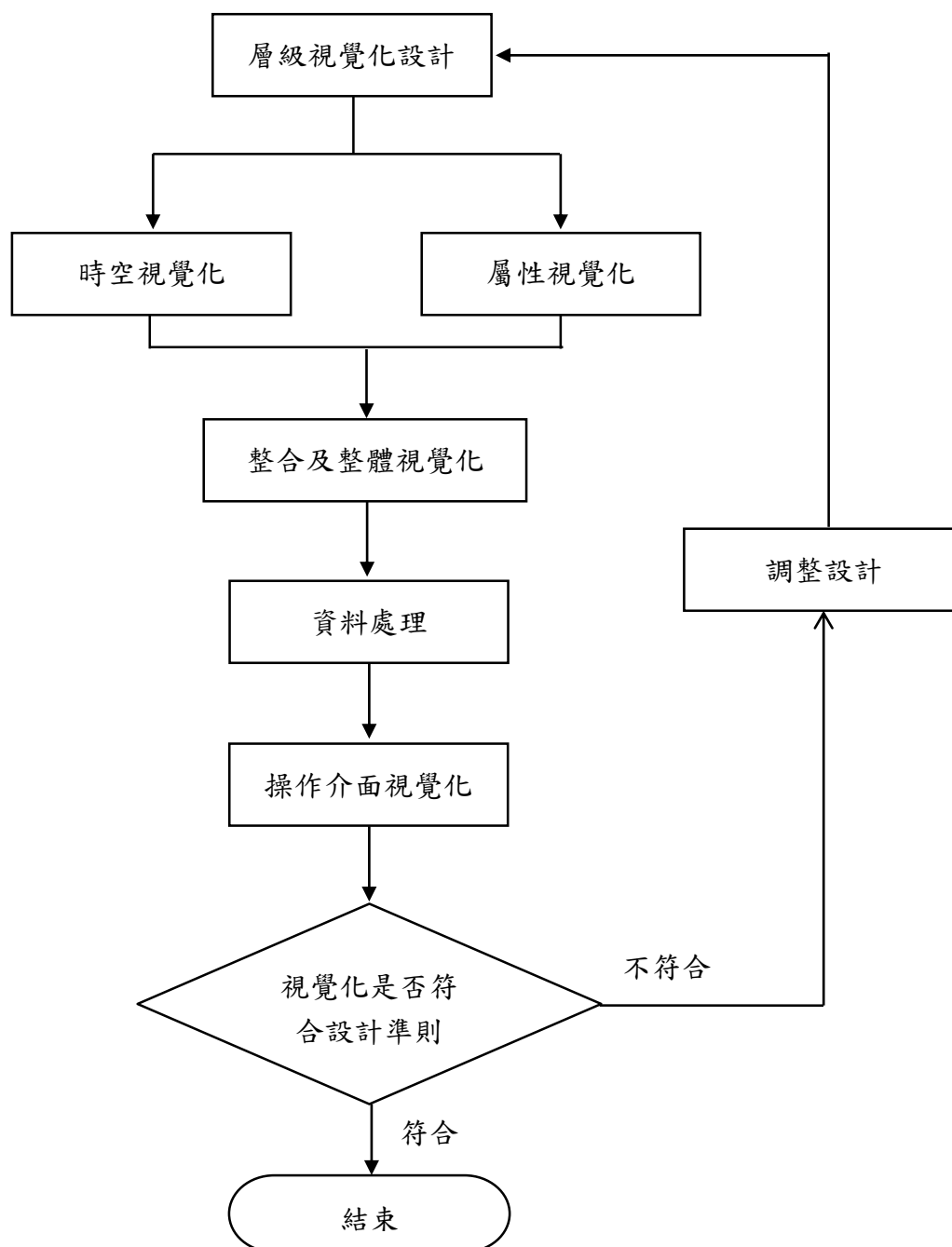


圖 33 視覺化設計架構

3.3 層級視覺化設計

Pu et al. (2013)主體也是使用多變量圖標加上多維度叢集之視覺化方法組合，並提出三層級能夠有效提供綜觀至微觀的詳細資訊，因此本研究參考該文獻針對整體視覺化的分層設計設定為三層級。第一層提供綜觀和整體資訊為原則，顯示單位為地區；第二層提供分群整理後的交通訊息給管理者，顯示單位為路段(Link)分群的群組；最後一層以道路路段(Link)為單位顯示最底層的細部資訊。藉由上述層級的切分將資訊進行初步的整理並且確立各層級視覺化的重點，避免資訊過多造成失焦。

第一層視覺化主要提供綜觀資訊，可引導管理者針對特定區域進行下一步的探索，本研究於該層使用的視覺化方法為多變量的圖標加上多維度的叢集視覺化；同時為避免以點為單位呈現的圖標訊息缺乏地圖整體資訊，增加熱圖輔助。Rezaei et al. (2018)提出叢集視覺化常用於電子地圖或是其餘非交通類型的視覺化中分類、整理大量的圖標或是相片等其餘訊息，以減少使用者視覺負擔。Pu et al. (2013)於第一層級圖標視覺化增加熱圖，輔助視覺化與地圖空間的結合。本研究第一層視覺化叢集簡化後的第二層環形視覺化圖標以及熱圖輔助，以提供管理者足夠且不過度繁雜的資訊，協助管理者繼續往下一層級探索。

第二層作為管理者可在該層級中獲得大部分的重要資訊，因此於該層使用的視覺化方法為路段(Link)分群後配合環形視覺化。第二層為上層叢集以及下層細部探索的中心點的主要層級，因此該層需要提供比起第一層以及第三層更加全面的資訊。本研究將原先的道路資訊發布單位路段(Link)進行分群並且利用具串聯多面相資訊的環型視覺化，顯示該群組路段(Link)時間以及空間維度皆具的交通資訊。

第三層以提供管理者最細部之交通資訊，視覺化方法使用路段(Link)附於路網的方法，下方附上將環形視覺化展開的長條圖輔助時間維度的訊息。台灣即時路況資訊最小發布單位以路段(Link)為主，因此視覺化設計將畫面顯示單位控制於路段(Link)的層級。同時考量路段(Link)圖形狹長需要較多空間，將環型視覺化展開附於下方並利用原先資訊覆於路網的方式呈現。三層設計以及原則整理如下方表 10 所示。

表 10 層級視覺化

	第一層	第二層	第三層
顯示單位	地區	將路段(Link)分群的群組	路段(Link)
資訊內容	提供管理者足夠且不過度繁雜的資訊，協助管理者往下層級探索	管理者可在該層級中獲得大部分的重要資訊	提供以最小發布單位路段(Link)為主之資訊
視覺化方法	1 叢集簡化後的第二層環形視覺化圖標 2 熱圖輔助	3 分群路段(Link) 4 環型視覺化	1 資訊附於路網 2 環形視覺化展開

3.4 時空視覺化設計

本研究主體時空視覺化採文獻回顧統整中能串聯多面相資訊的環形設計，以風玫瑰圖做為發想進行設計，如下圖 34。內框所顯示的內容為地圖上該群組所包含的路段(Link)，所有資訊皆以該群組為單位表示。外框時制設定為 12 時制，以小時為單位切分，於即時時段外框附上一刻度為五分鐘的刻度列並以紅色指標標示即時時間強調。下圖 34 假設現在時間為 8：30，於 8 點至 9 點的時段外框及附上刻度列，並且可見紅色指標標示出 8：30 處。

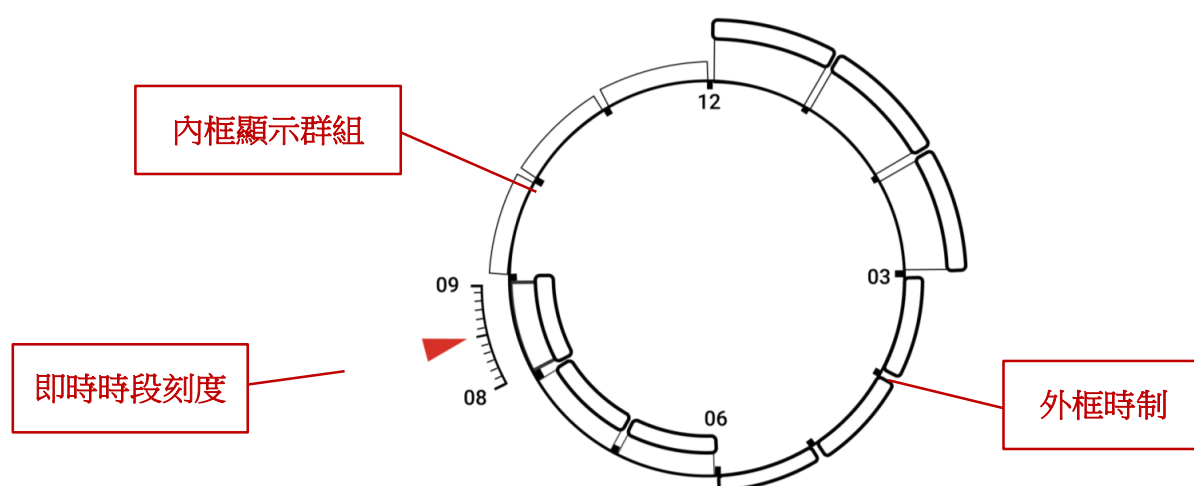


圖 34 以現在時間 8:30 為例之環形外框說明

外框時段的資訊分為過去、即時、未來三類型，以下將先說明過去時段裡環形設計代表意義。過去時段中每一時段的長條圖型代表在該小時的平均速率與該小時歷史平均速率的差異，以下圖為例過去時段的範圍自 0 點至 8 點皆是。長條圖型的頂端粗框包圍之處代表該小時平均速率。長條圖型凸出表示該小時平均速率高於該小時歷史平均速率，如下圖 35 圓環 12 點至 3 點；反之則代表低於，如下圖 35 圓環 6 點至 8 點表示，剛好等於歷史平均速率的情況如下圖 35 圓環 3 點至 6 點所示，將不會有長條圖顯示(代表無差異)。

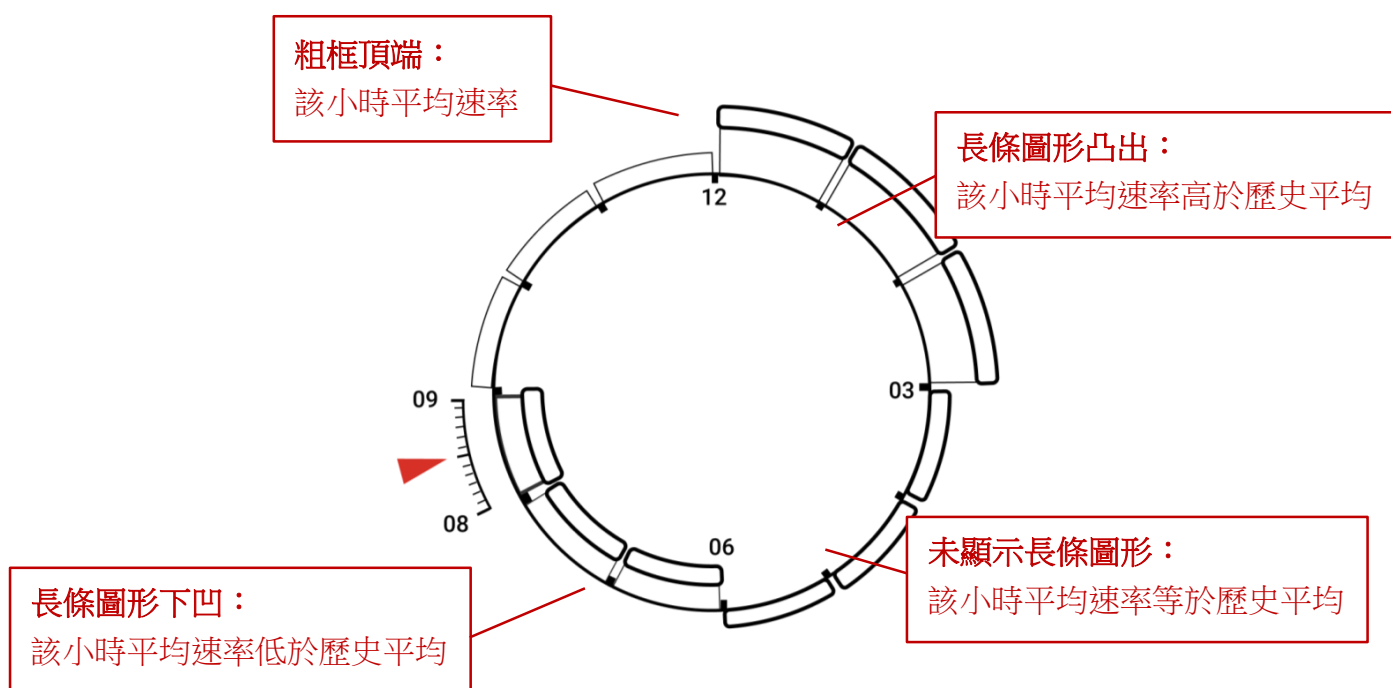


圖 35 以現在時間 8:30 為例之過去時段外框說明

即時時段除了標示出刻度表以及指標強調外，該小時的長條圖也是該環形唯一會即時變動以及黑框包圍之處。長條圖型上凸下凹代表的意義一樣同等高於低於，僅是比較的對象變更為即時速率與歷史平均速率，如下圖 36 圓環 8 點至 9 點處。未來時段僅有一小截圖示表示該小時歷史平均速率，如下圖 36 圓環 9 點至 12 點所示。

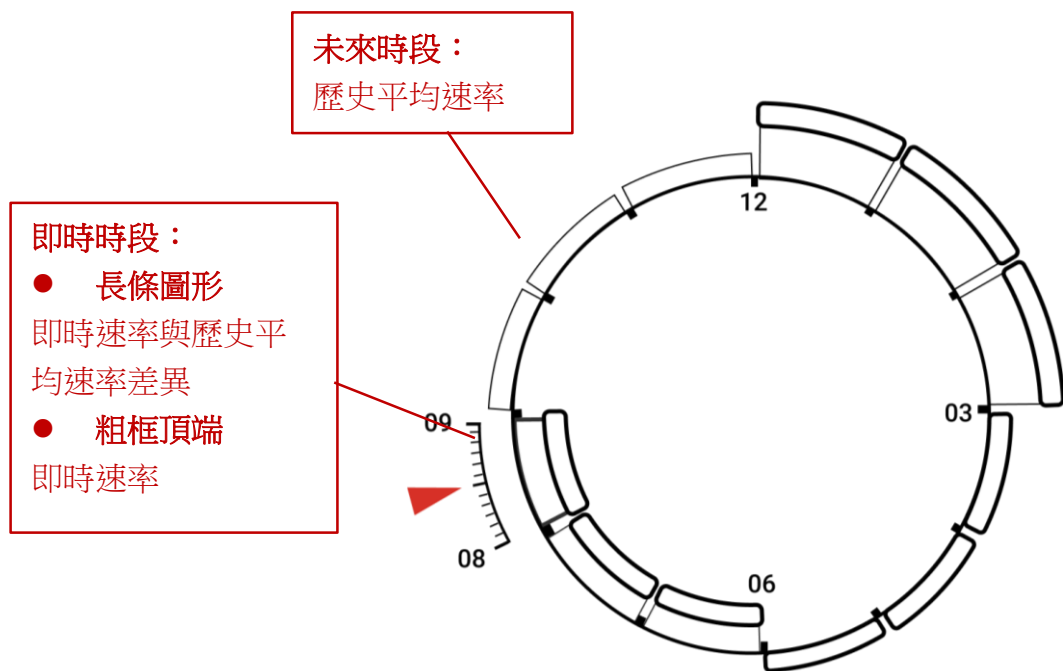


圖 36 以現在時間 8:30 為例之即時、未來時段外框說明

第一層叢集的圖標由上述環形簡化而來。第一層級主要協助管理者往下一層級探索，不應呈現太過複雜的資訊，同時考量圖標不應採用過於複雜的設計，因此將環形簡化後做為第一層叢集的圖標使用，如下圖 37 所示。過去時段外框僅保留當日該小時平均速率，即時時段保留表示與歷史速率差異的長條圖，未來時段一樣僅顯示該小時歷史平均速率。圖標的大小依照該群組內的車流量改變。

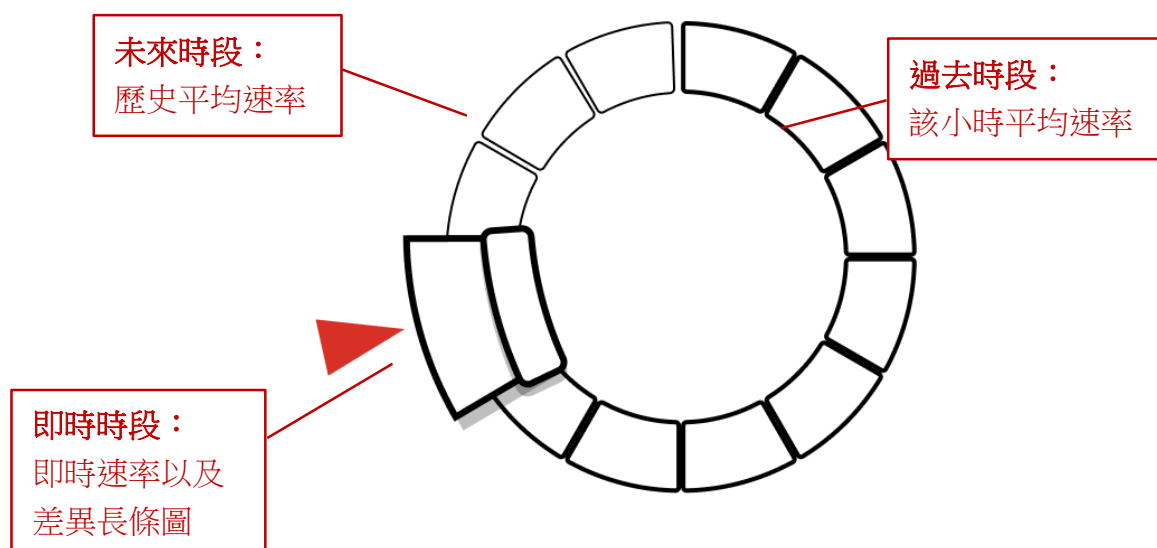


圖 37 以圖 34 環形簡化之圖標

第一二層級由於顯示單位較複雜故採環形設計，而第三層級顯示單位為路段(Link)，視覺化的方法採取原先將路段(Link)附於路網上的方式，故第三層級將環形展開為列表附在地圖的下方。列表除了能增加視覺拓展的感受外，同時能增加空間使用效率，設計如下圖 38 所示。橫軸表示每一長條圖以小時為單位，縱軸表示速率。粗框表示為今日小時資訊，當今日小時資訊高於歷史平均，粗框部分在上方；今日小時的速率為粗框頂端向左對照至速率的數值；歷史平均速率為粗框範圍底下的長條圖頂端(與粗框底端重合處)向左對照至速率的數值，如下圖 38 之 12:00 至 1:00 處。當今日小時速率低於歷史平均時，粗框部分會落在下方位置，其速率判讀方法如上述高於歷史平均的狀況相同，皆為由粗框的頂端、長條圖的頂端向左對應數值，如下圖 38 之 8:00 至 9:00 處。

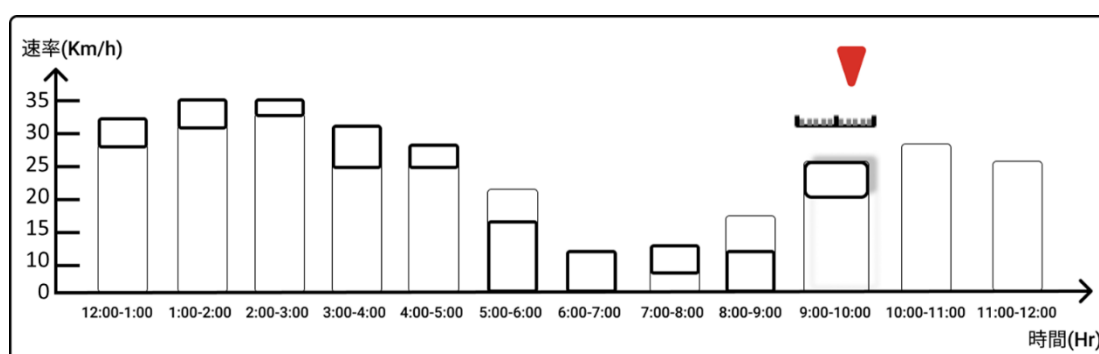
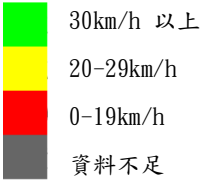
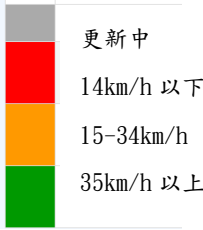
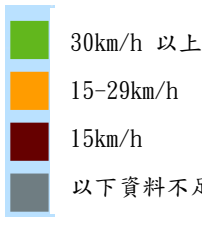
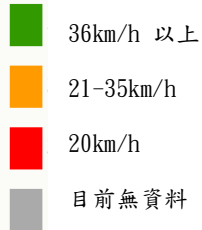


圖 38 環形展開之列表設計

3.5 屬性視覺化設計

根據文獻回顧針對即時路況視覺化的整理可分為速率以及事件兩大類型，目前台灣縣市即時路況指標也多使用速率，可見最廣用的路況指標為速率，因此本研究探討屬性視覺化以速率為主。台灣縣市即時路況指標結合速率與服務水準概念訂定，將速率對應服務水準劃分成六個等級，向管理者或是用路人傳達交通資訊。通常提供用路人的即時路況將劃分為六個服務水準等級的速率兩兩合併簡化成三個等級的映射方式，配合常用色標紅黃綠三色進行速率屬性的視覺化，選用類似交通號誌燈號顏色組合的色板能夠減少學習成本，使用者不需花費額外的心力記憶新的顏色與速率的關係，如下表 11 以即時路況有附上色彩編碼(具有色板與速率映射關係)之地區所示。Harrower et al. (2003)設計出的線上選色輔助工具—Colorbrewer 內的 diverging 類型色板中也具有一組紅黃綠組合的色板，根據文獻回顧整理，該組色板適用於連續型且分組具有意義的資料，因此對於速率屬於連續型資料同時以服務水準分等級，同時各個等級皆具有其意義的情況下，此組紅黃綠組合之色板對於速率具有一定的表達能力。

表 11 色彩編碼

地區	新竹科學園區	台中市	台南市	屏東縣
色彩編碼				

依據台灣慣用映射方式不同，Colorbrewer 的紅黃綠色板需要調整處為：1. 色板斷點 2. 色板顏色組合。本研究視覺化的使用者定義為管理者，因此速率等級劃分仍保留六等級不進行簡化。中斷點定義為色板中顏色開始明顯變化的起始點，通常具有警示意義，Colorbrewer 生成色板劃分成偶數等級時，會將顏色組合分為主要兩組；劃分成基數時中間會引入一代碼 #ffffbf 的米白色做為中斷點的概念，如下圖 39 所示。以原先的色板安排，當速率低於第四等級（服務水準至 D 級時）色系才開使用具有警示變化轉為黃色系，但是台灣慣用服務水準等級為當速率低於第三等級時（服務水準至 C 級時）便開始轉換色系提醒使用者，因此將針對色板的中斷點進行調整，連帶顏色也配合中斷點重新選擇。

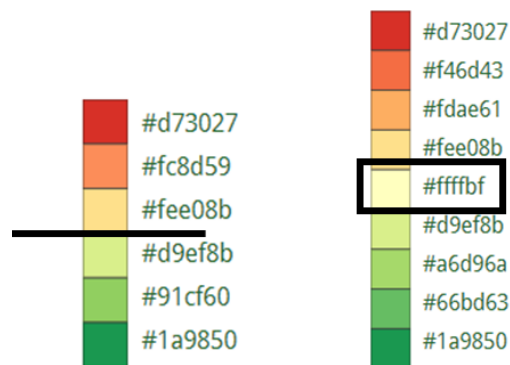


圖 39 以劃分等級 6(左)與 9(右)為例之色板中斷點

先將 Colorbrewer 該色板最多支援劃分 11 等級，轉為灰階處理可以發現色板以編號 6 為中斷點，兩邊灰階選擇以編號 6 為對稱點逐漸加重，而編號 9 到 11 的灰階明顯比 1 到 3 還要深，若今天使用者為色盲時也能從灰階色板察覺 9 到 11 想要傳達的訊息比 1 到 3 還要重要緊急。因此在色板調整中選擇灰階最深的兩個顏色編號 10 及 11 代表服務水準 E 與 F 級；警示的橘黃色系扣除中斷點編號 6 與色系過於接近紅色的編號 9，選擇編號 7 與 8 代表服務水準 C 與 D 級；最後與前面四個編號區分灰階差異，採用編號 2 與 3 表示服務水準 A 和 B 級，中斷點成兩兩顏色一組，分別對應服務水準 A 至 F 等級，調整過程如下圖 40 所示，此組色板將在後續本研究設計中使用。

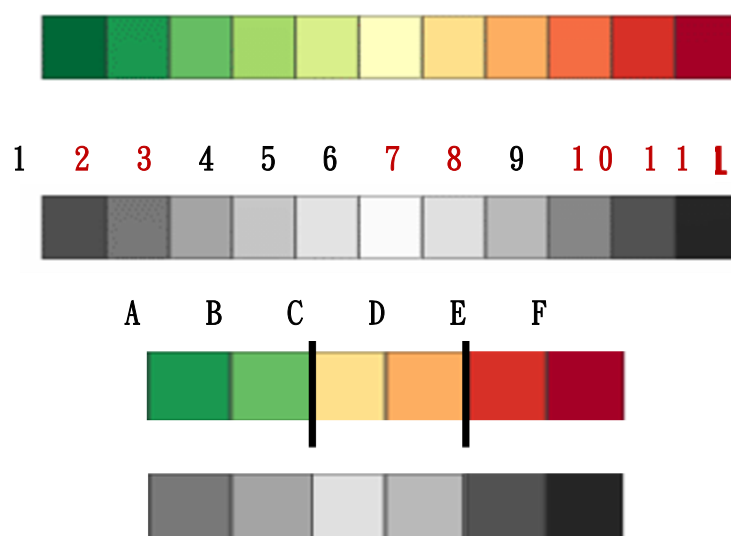


圖 40 色彩編碼調整過程

3.6 整合及整體視覺化設計

3.6.1 整合視覺化

確認時空的主體環形視覺化以及調整過後的色板之後，將屬性視覺化按照交通資訊與環形視覺化結合。環形視覺化如下圖 41 表示，整合後過去、即時、未來的長條圖形顏色皆表示該小時歷史平均速率，內凹的長條圖形因為會覆蓋於地圖上方，為了避免遮蓋地圖上的資訊，將顏色不透明度降低為 50%。簡化的環形視覺化圖標如下圖 42 所示。

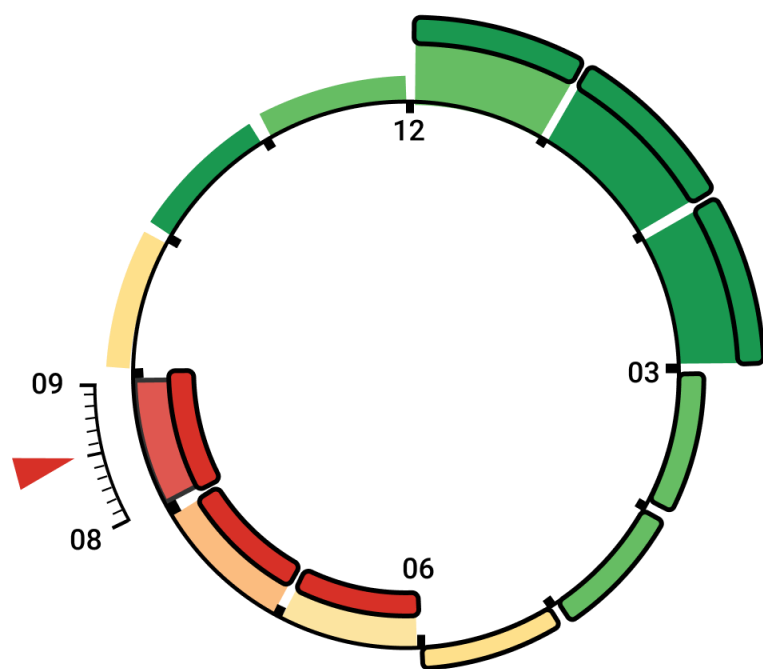


圖 41 整合後之環形視覺化



圖 42 整合後之簡化環形視覺化圖標

3.6.2 整體視覺化

時空與屬性視覺化整合後將進行整體細部的設計，以下將以假設現在時間為 9：25 分，針對每一層級視覺化的探索步驟以及視覺化資訊的判讀詳細說明。第一層級叢集的對象為簡化後的環形視覺化，叢集的圓形圖標分為紅黃綠三個等級，如下圖 43 所示，圓形圖標反應的資訊是該叢集內數個代表路段(Link)群組的簡化環形圖標當中最大的車流量。當叢集內任一個以路段(Link)群組為單位的簡化環形圖標車流量到達一定數值，不論叢集多少簡化環形圖標，圓形圖標皆會按照最大的車流量反應顏色。



圖 43 叢集的圓形圖標

簡化環形圖標的大小依照該路段(Link)群組中的車流量變動，車流量越高圖標越大；反之則越小。點選叢集圖標可展開該叢集內所有的簡化環形圖標，如下圖 44 按照左上角編號 1 至 3 步驟所示。管理者可點選車流量最大的簡化環形圖標後可進入該群組路段(Link)進行下一層級的探索。為了避免熱圖與圖標重疊造成視覺混雜問題，管理者可透過右上角切換鈕於熱圖和圖標視覺化間切換。如下圖 45 所示。



圖 44 第一層級探索說明

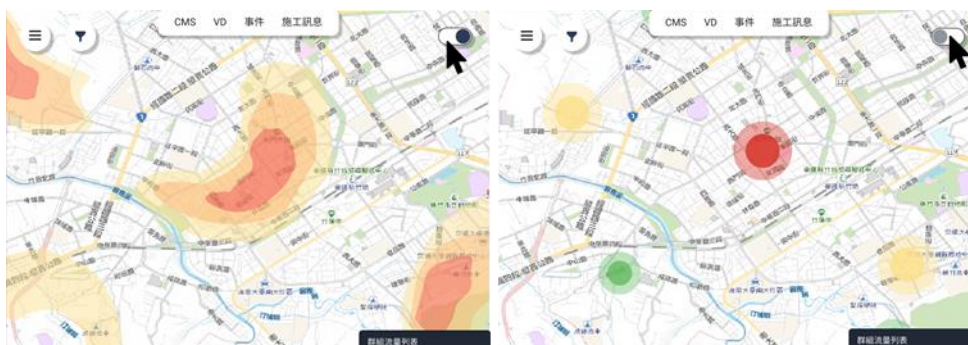


圖 45 熱圖與圖標視覺化切換

點選簡化後圖標，圖標將會展開更詳細的資料進入下一層級的探索。環形中央將顯示地圖上該路段(Link)群組的涵蓋範圍，外環的資料以此群組為單位，顏色對應為速率的服務水準；環形長條圖對應與歷史平均速率的差異程度。在指標處指示 9：25 分的位置，該段的長條圖長短凹凸以及粗框包圍之頂端的顏色會依照即時速率改變而變動，如下圖 46 紅框框選處所示，以紅色指標指示之時間為 9：25 至 9：30 分，長條圖形和粗框頂端針對即時速率的變化。

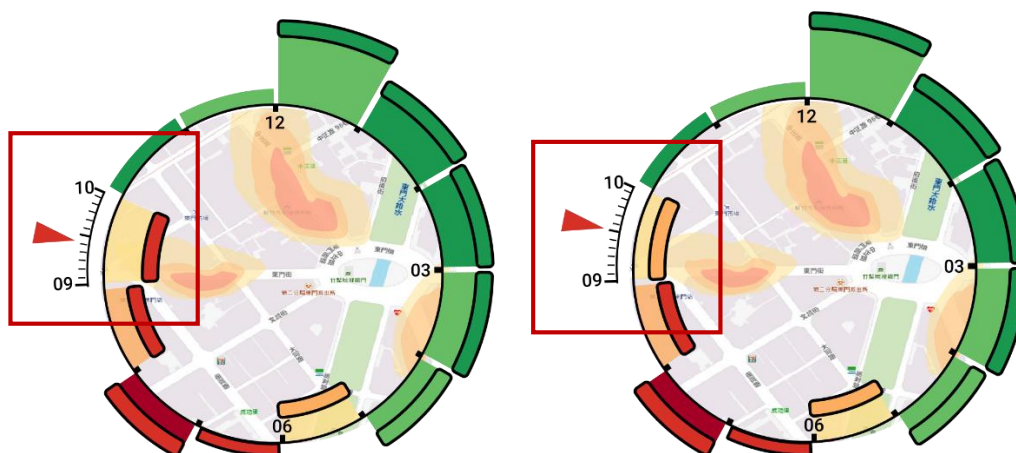
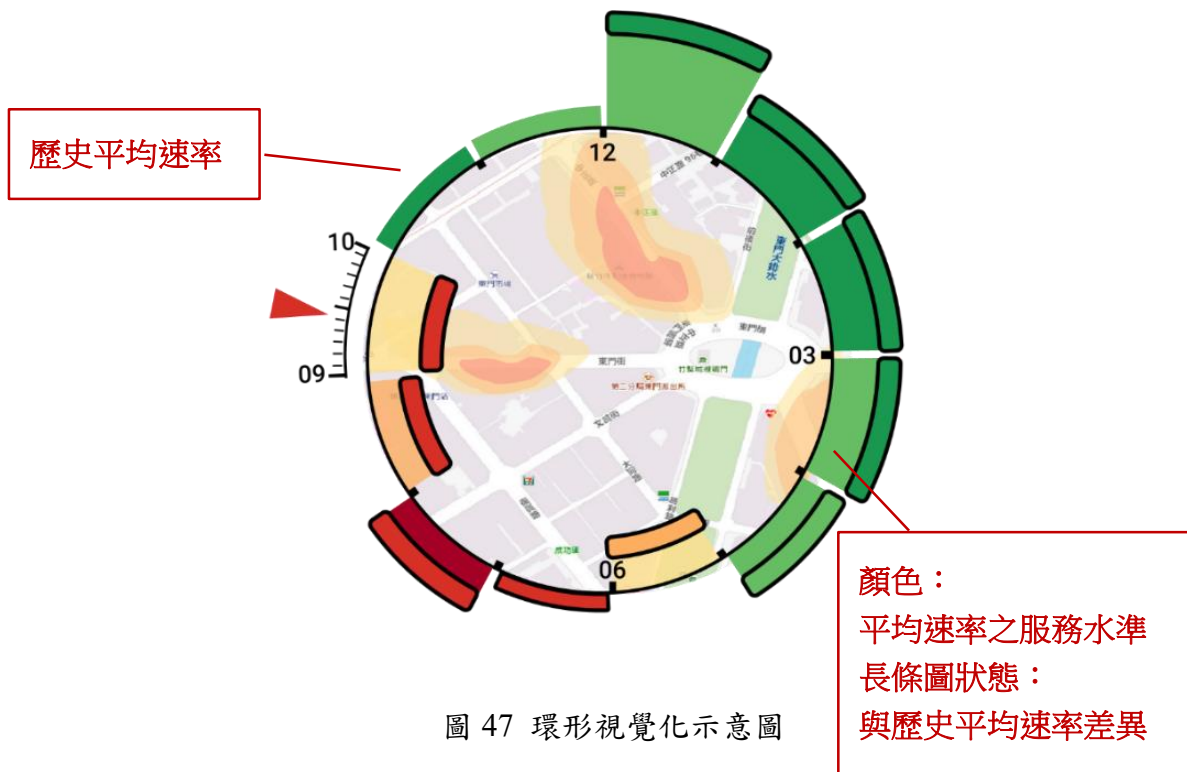


圖 46 即時速率變動示意圖

9 點以前屬於過去時段的長條圖以及顏色皆固定不會再變動。在 5 至 6 點時，該小時平均速率對應服務水準可由色板顏色得知等級為 D，長條圖形為下凹表示其低於歷史平均速率的服務水準等級 C。10 點過後之未來時段僅附上該小時歷史平均速率。如下圖 47 所示。



為了避免群組發生資料稀釋的問題，地圖中央使用熱圖顯示該群的路段(Link)之中速率前三低(或是低於門檻值)的路段(Link)處，點選該處後畫面進行至下一層級的探索。事件訊息的附注於圓環上方，標示事件的起訖時間，以及在畫面上標示事件位置，如下圖 48 紫色環型線段長表示事件起迄時間，中央紫色圖標標示事件於地圖上的位置。其餘詳細數值包含與歷史速率的差異和速率等藉由滑鼠徘徊過該區以跳出式小視窗提供。下圖 49 展示當事件多於一項時的視覺化處理畫面，環形線段將會依據重疊程度進行調整，針對不同類型的事件(例如：車禍、障礙物掉落)安排不同色碼進行初步的分類整理。

第三層級的畫面將以單一路段(Link)為顯示重點，考量路段(Link)的狹長型特性以及讓畫面具有更多空間，原先的環型視覺化特性到該層級會展開成長條圖表。長條圖的顏色不論過去、即時、未來皆代表該路段(Link)於該小時的歷史平均速率，黑色粗框包圍的部分在過去時段為該日該小時的平均速率，以 0 點至 1 點為例，該日該小時的平均速率高於歷史平均速率，粗框頂端處向左對應到座標數值為 32 (km/h) 位置；若是該日該小時的平均速率低於歷史，同樣由粗框頂端處向左對應到座標數值 16 (km/h) 位置，例如圖 50 中 5 點至 6 點處。

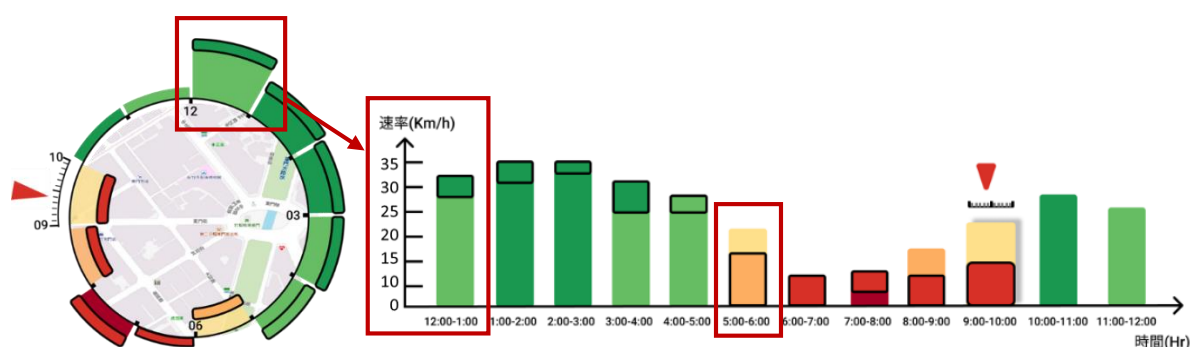


圖 50 環形展開示意圖

展開的即時時段同樣標示時間指標以及刻度。即時路況時段內的粗框長條圖以及表示即時路況的顏色一樣是唯一會變動的地方，用以反應即時路況。下圖 51 紅框標示處為例，當指標隨著時間移動時，該處的長條圖及顏色皆會隨著即時速率改變而變動。

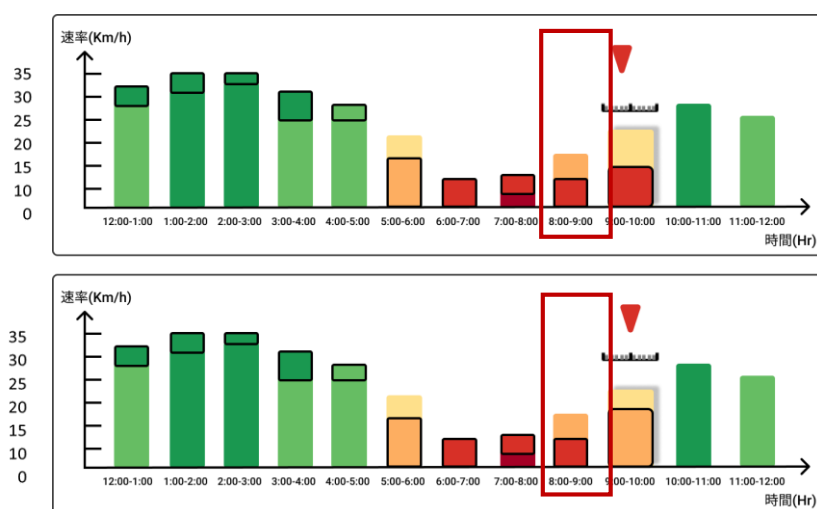


圖 51 展開圖即時速率變化示意圖

本研究考量該層級已經將顯示重點縮小至單一路段(Link)，路段(Link)單位也是台灣即時路況資訊發布的最小單位，故採用原先資訊附於路網上的視覺化方式，不再進行新的設計避免畫面過於雜亂細碎。詳細數值包含與歷史速率的差異和速率等藉由滑鼠徘徊過該區會以跳出式小視窗提供。整體畫面如下圖 52 所示。

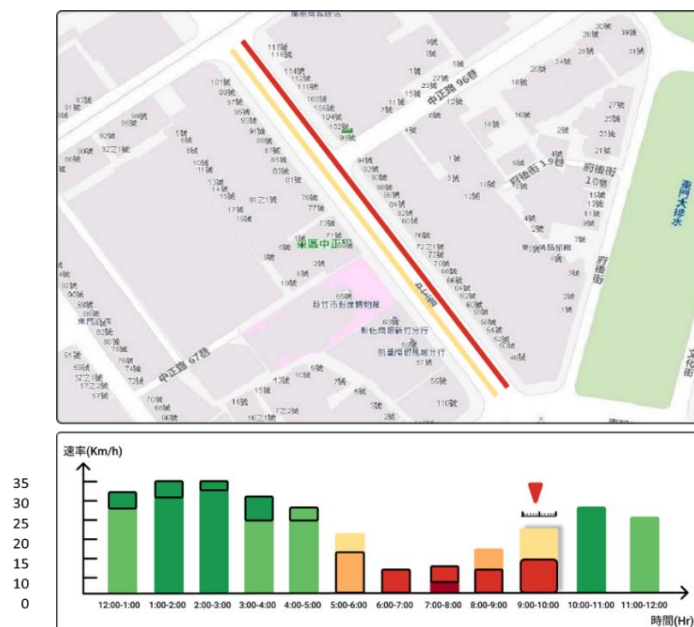


圖 52 第三層整體視覺化

3.7 資料處理

3.7.1 資料來源與整理

確立視覺化設計之後將進行資料處理，確認台灣即時路況發布單位路段(Link)可進行分群，分群結果將用於後續繪製介面操作視覺化中，以利整體介面更加符合實際情況，本研究將以新竹縣市的路段(Link)進行分群。新竹縣市的路段(Link)資料來源為交通資訊基礎路段編碼圖資，由於圖資內兩端點的編碼為 32 位元轉碼，無法直接使用，故路段(Link)兩端點的資料使用 API 以新竹路段(Link) ID 編號抓取兩端點經緯。先行將端點編碼按照經度由小到大重新編號，以利後續的資料整理。

本研究將資料處理分為三類型：切割、合併、補端點。資料需要進行切割的判定為圖資上的路段(Link)資料未切斷，但使用路段(Link) ID 編號於 API 上抓取的端點資料中有斷點，如下圖 53 所示。確認符合上述條件後，將該路段(Link)按照比例切割，切割後的結果如下表 12 所示。



圖 53 Link 切割

表 12 Link 切割紀錄

原兩端點 (比例)	總長度	拆後兩端點	長度	拆後兩端點	長度	拆後兩端點	長度
1736-1958 (8 : 0.5 : 8)	0.9023	1958-1827	0.4316	1736-1825	0.4316	1825-1827	0.0392

資料處理時判斷需要合併的條件為圖資上的路段(Link)資料狀態切斷成數段且本身雖具有兩端點的 32 位元編碼，但是數段資料屬於同一路段(Link) ID 編號。接著檢視在 API 上抓取的路段(Link)兩端點資料中是否有額外的斷點，以及數段資料切割的位置是否屬於市區道路交界處或是路口，如下圖 54 所示。確認沒有額外斷點以及位置非路口或是交界處之後，則將數段資料合併成單一路段(Link)，合併後的結果如下表 13 所示。



圖 54 Link 合併

表 13 Link 合併紀錄

長度	長度	長度	兩端點	總長度
0.0139	0.0172	0.0131	315-320	0.0442

最後資料處理的步驟為補上端點。在圖資中路段(Link)資料具有長度以及兩端點換算後的 32 位元代碼，但是經過 API 上抓取的路段(Link)兩端點資料沒有該路段(Link)的完整端點資料。在圖資中確認該路段(Link)未被移除或是合併至其餘路段(Link)後，補上新的端點以利後續路網分群的工作。

3.7.2 路網分群

路段(Link)資料位於路網上方，具有頂點以及邊的資料，因此使用分群的方式與一般資料點分群方式不同，需採用基於圖論的分群方法—譜分群。譜分群的圖由路段(Link)端點 V (節點)以及路段(Link)本身 E (邊)構成，將路網集合表示為 $G(V, E)$ ，其中 $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ 為節點的集合， $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ 為邊的集合。令 W 為鄰接矩陣，連接 i 點和 j 點的權重為 w_{ij} 。 $A_1, \dots, A_K$ 為切割後的節點子集合，其中 A_i^c 為 A_i 的補集， $A_i^c \cap A_i = \emptyset$ ， $A_1 \cup \dots \cup A_K = V$ 。分群追求的目標為切割的邊權重加總越小越佳，因此基本的定義式如下方所示。

$$W(A_1, A_2) = \sum_{i \in A_1, j \in A_2} W_{ij} \quad (1)$$

$$Cut(A_1, \dots, A_K) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K W(A_i^c, A_i) \quad (2)$$

$$\min Cut(A_1, \dots, A_K) \quad (3)$$

本研究使用 Metis 套件協助分群，Metis 套件採用多層次 K 路分群法先將路網圖型壓縮後進行分群再解壓縮，如下圖 55 自圖左處將路網壓縮後於最小的狀態下切割，再如圖右處顯示逐步解壓縮。壓縮的設定選擇 Sorted heavy-edge matching，由 Degree 最高的端點為壓縮起點，選擇所有與該點連接權重最高的邊壓縮。下圖 56 小圖為例，最高 Degree 為 3 的點作為壓縮起點，所有與該點連結的邊中最高權重等於三，將連接該邊的兩點壓縮，如紅框圈選處。

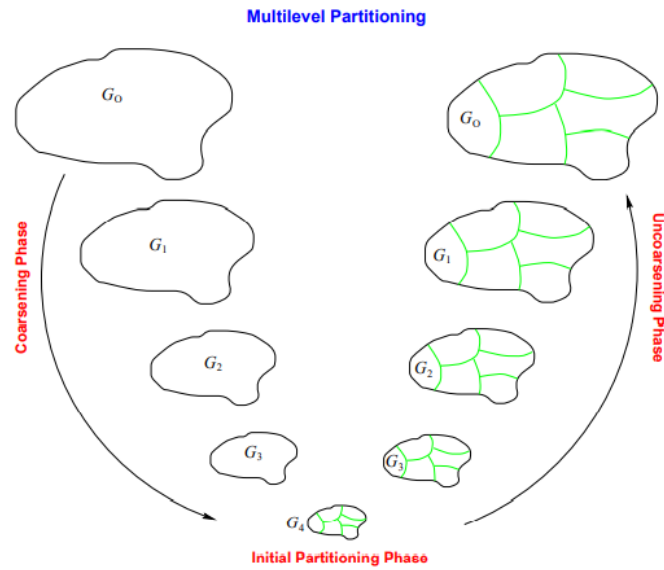


圖 55 多層次 K 路分析法

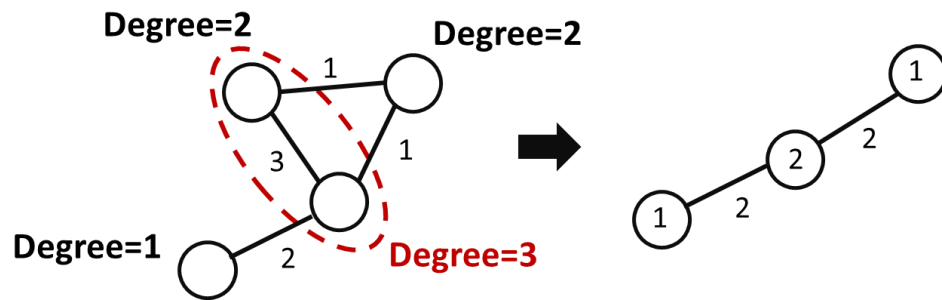


圖 56 Sorted heavy-edge matching 說明

本研究使用路段(Link)長度作為權重，將新竹縣市路段(Link)資料進行分群；子群數(n)設定為 100 群，分群結果如下圖 57 所示。結果顯示新竹縣市路段(Link)依照長度作為權重利用多層次 k 路的分群結果並無嚴重狹長型或是過於分散導致無法使用環形視覺化。此分群結果將於下一小節中設計操作介面視覺化所使用的原型(Prototype)繪製過程使用。

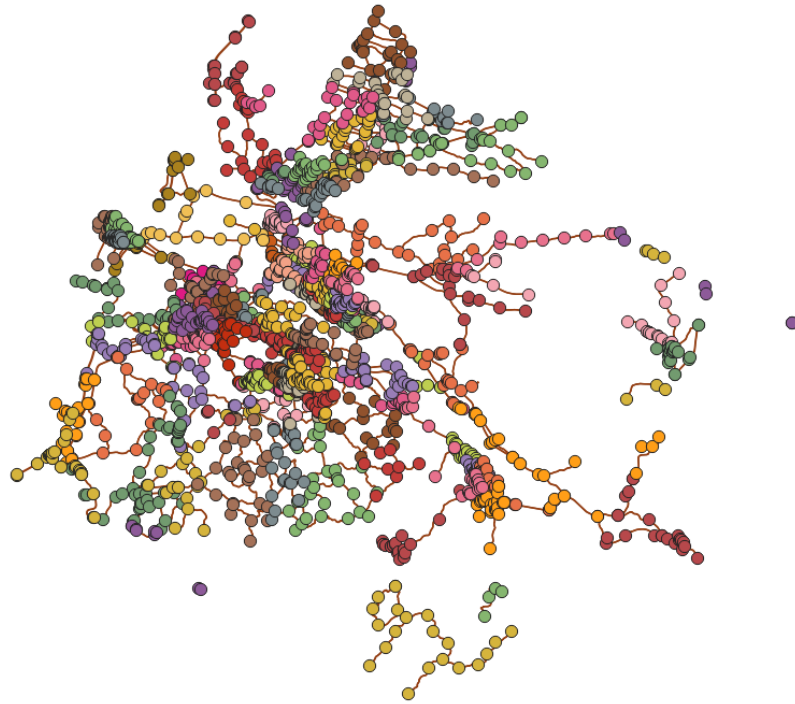


圖 57 分群結果

3.8 操作介面視覺化

為使視覺化設計更加完整，本研究採用前一章節分群之新竹縣市路段(Link)繪製互動原型(prototype)呈現整體介面以及實際點選時的互動串聯。完成主體視覺化的設計後，若是將設計範圍拓展至介面以及其互動，能使其更加具體。採用介面設計中常用的互動原型(prototype)呈現，可使使用者了解互動時實際接觸的畫面以及各功能之間的探索方式和資料間的串聯。同時使用實際資料分群結果作為基底，更加貼近實際情況。根據文獻回顧統整，介面操作設計分為四大類型：整體與縮放、資料連結、資料探勘、操作便利性。

本研究針對整體與縮放功能的設計安排規劃於各個層級間的轉換。管理者於主畫面可透過點選重點區域(例如：車流量大之區域)進行縮放至下一層級。如下圖 58 由左至右，由上而下所示；滑鼠徘徊至紅色圖標處，粉色框線以及色塊框選範圍為該紅色圖標包含的群組區域，點選後可展開至車流量最大的群組處，讓使用者進行下一步驟的探索。另一圖 59 由左至右，由上而下所示；表示藉由點選圖 58 右下角畫面之環形圖標進入第二層級後，再透過中央的熱圖得知速率較低的路段(Link)進到第三階層。

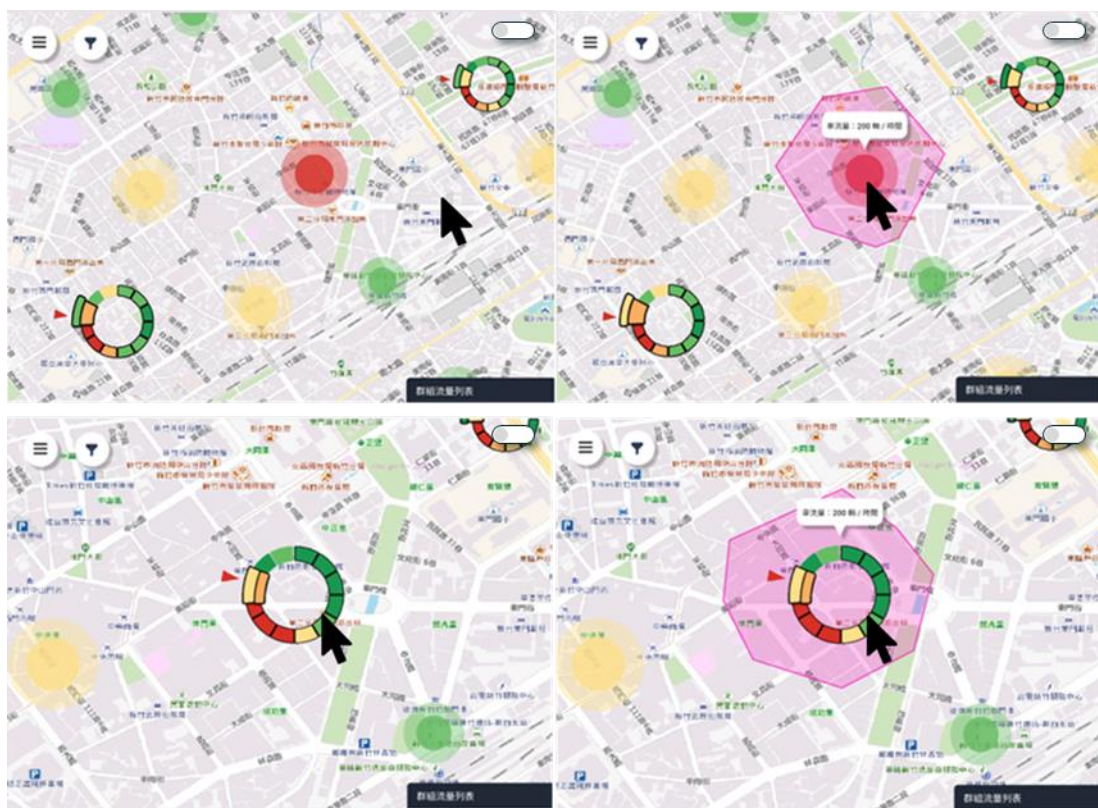


圖 58 介面整體與縮放(1)



圖 59 介面整體與縮放(2)

資料的連結部分本研究透過介面中右下角之列表串聯各群組。下圖 60 由左至右所示；各群組間可透過列表切換，藉由右下角依照群組車流量由大至小排列之列表中，點選其想要了解的區域，畫面即可到達該區域。另一圖 61 由左至右所示；在第二層級中，仍然可以透過該列表切換群組表示，以快速切換群組間的資料達成串聯各群組之間資訊。



圖 60 資料連結(1)

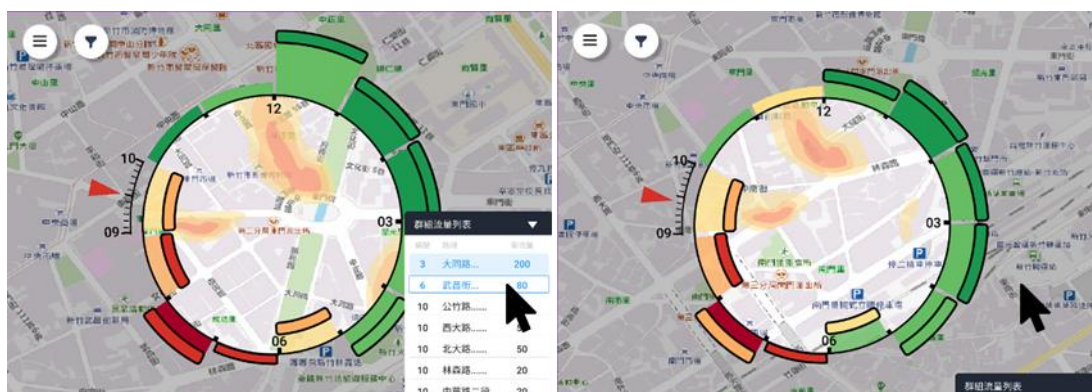


圖 61 資料連結(2)

資料探勘於本研究的設計中，除了藉由三個層級間主體的切換帶領使用者層層探索之外，具有過濾資訊以及滑鼠滑動提供細節資訊之兩大功能。介面的過濾功能具有資訊可變標誌(CMS)、車輛偵測器(VD)、事件以及施工四個過濾層。下圖 62 由左至右，由上而下所示；點選於主畫面左上角之漏斗形按鈕可展開過濾圖層，藉由點選該圖層按鈕後可於地圖中顯示其資訊位置，如圖以資訊可變標誌為範例。除了以點為單位的資訊之外，事件資訊還具有上述整體視覺化中所提及之事件發生時間的視覺化，另一圖 63 由左至右，由上而下所示；進入第二層環形視覺化當中，展開事件過濾層將會顯示事件於中央地圖之位置點，以及於外環上將顯示時間發生時間。

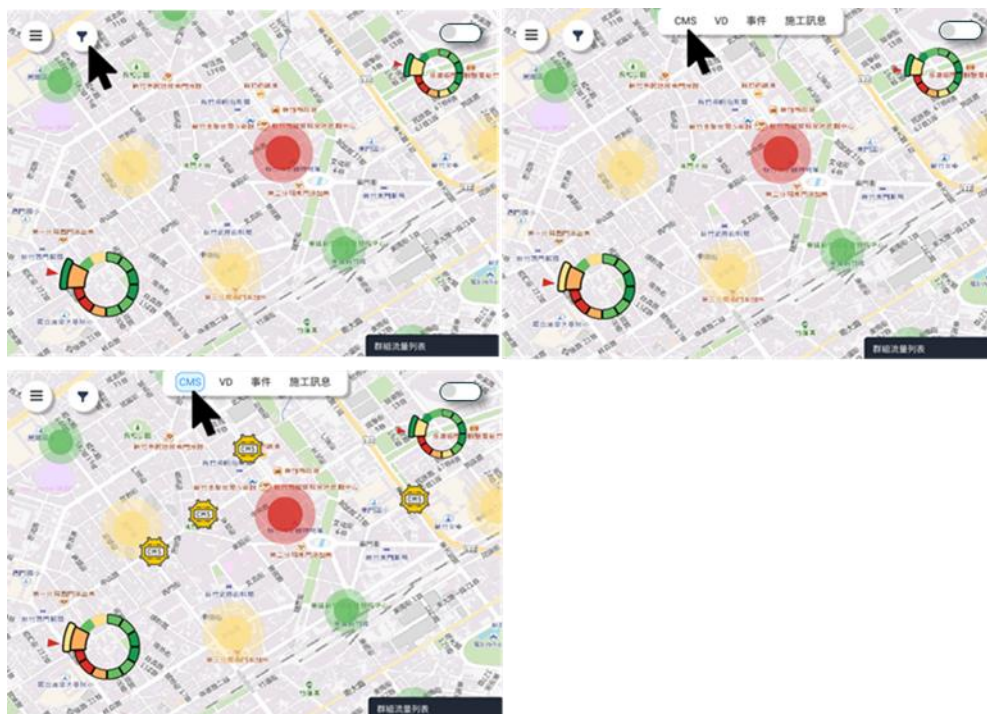


圖 62 資料探勘(1)



圖 63 資料探勘(2)

提供細節資訊之功能，本研究安排於滑鼠滑動至該物件或是點選時回饋給使用者。下圖 64 由左至右，由上而下所示；點選資訊可變標誌(CMS)時可彈跳出資訊可變標誌之詳細資訊；滑鼠滑動於該圖標時顯示該圖標收束的群組內最高的車流量數字；於第二層級環形視覺化中點選時段長條圖將提供詳細的速率資訊；於第二層級環形視覺化中點擊中央地圖之事件圖標也能夠獲得更加詳細的事件訊息。

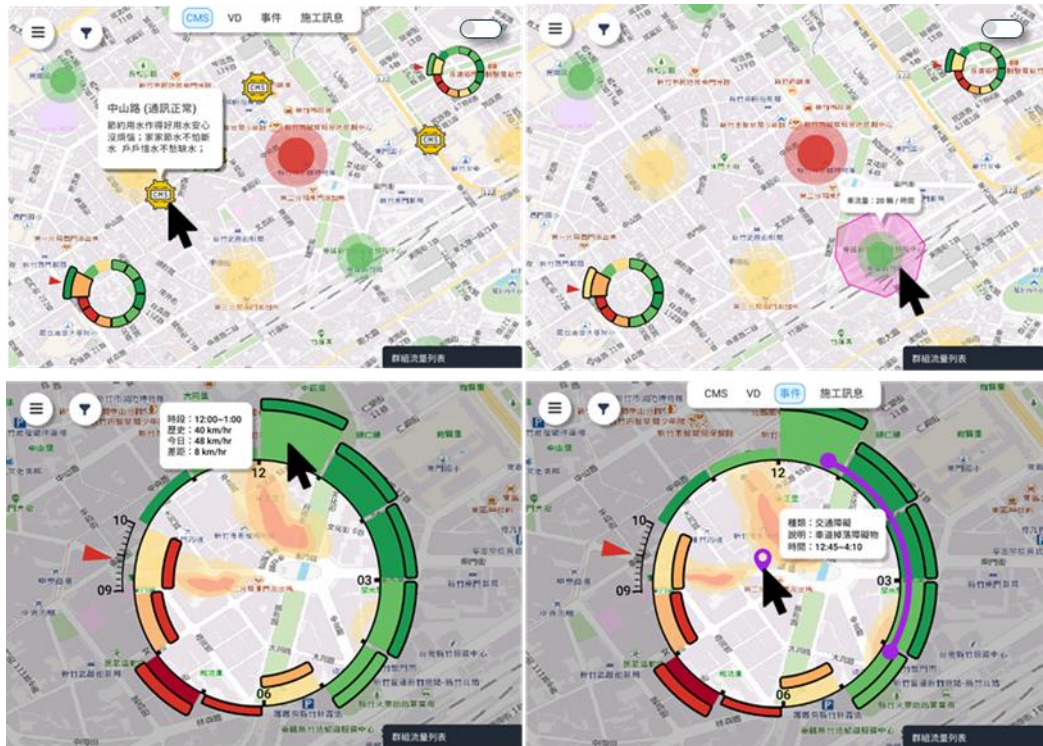


圖 64 資料探勘(3)

最後，本研究針對操作便利性提供點選功能列之外的遮罩(深色部分)即能迅速關閉該列表，也可透過點選外層遮罩(深色部分)回溯上一層級。下圖 65 由左至右，由上而下所示；點選左上角之功能列表展開後，可透過點選功能列表以外的部分關閉，過濾圖層如同上述同樣具備方便關閉之安排。另一圖 66 由左至右，由上而下所示；第三層級可透過點選外部遮罩(深色部分)回溯上一層，在第二層級也可透過點選外部遮罩(深色部分)回歸至第一層級，繼續透過右下角之流量列表探索其他區域。

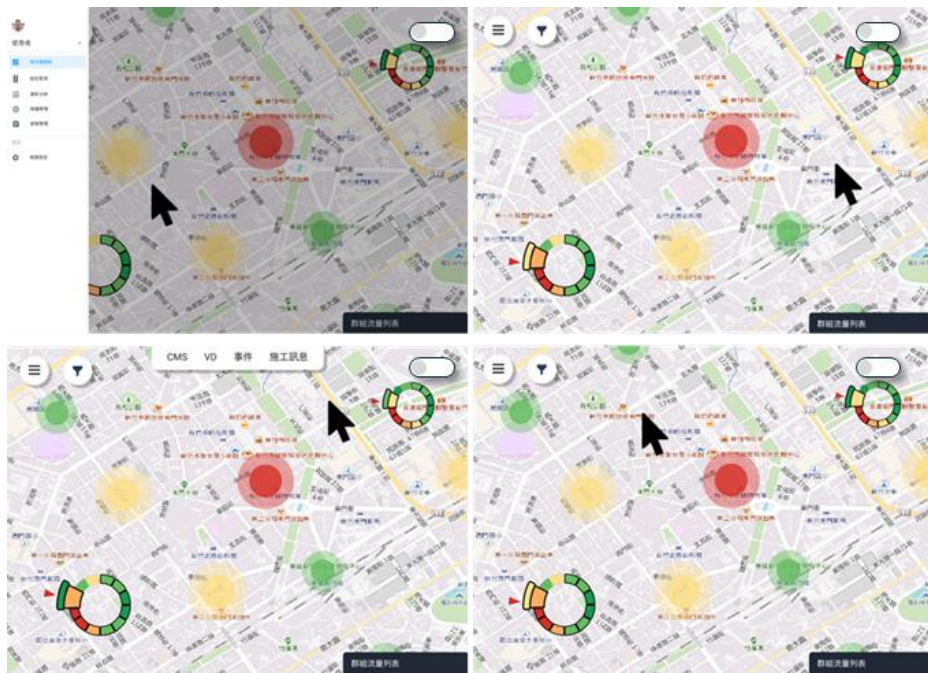


圖 65 操作便利性(1)

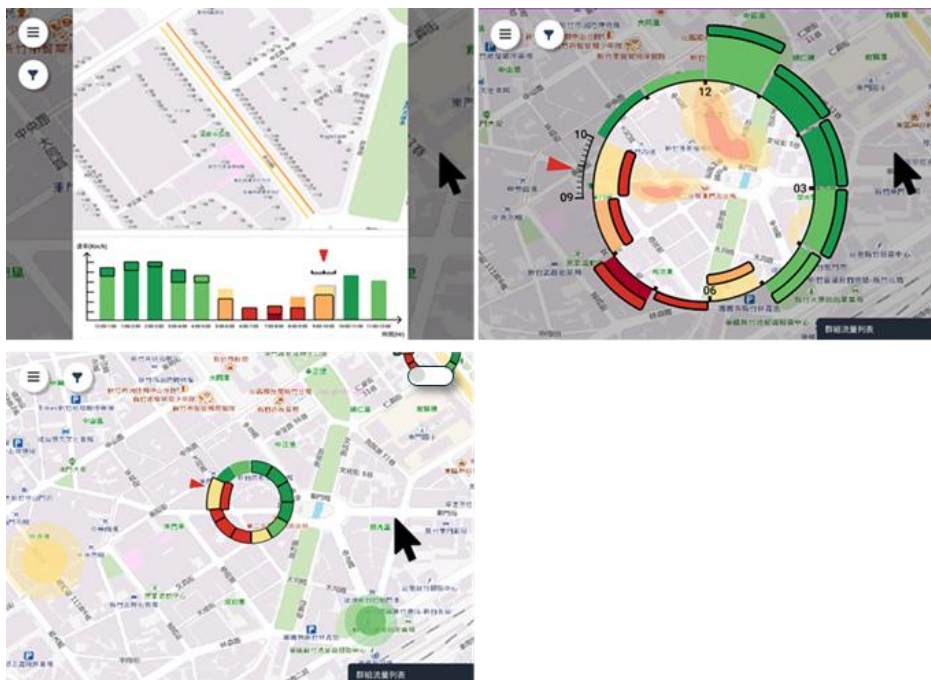


圖 66 操作便利性(2)

3.9 檢視視覺化準則

本研究將以 Meyer et al. (2019)以及 Borgo et al. (2013)概念型的視覺化準則作為檢視視覺化的依據。本研究視覺化設計的主要使用者為管理者，問卷、焦點團體訪談等適合未限制使用者(大眾皆可使用)的視覺化感想調查方式，較不適用於本研究的視覺化設計。因此本研究概念型的質化準則，任一視覺化皆通用的原則應為設計視覺化時須遵循的大方向。Meyer et al. (2019)該篇綜合社會科學、資訊以及設計整合出較為嚴謹的六大指標，整合近 4 年之跨領域的視覺化設計得出，涵蓋範圍廣泛故選擇該文獻作為視覺化整體的準則評估。Borgo et al. (2013)針對圖型類視覺化歸納出許多文獻內的建議以及標準，考量本視覺化採用圖標以及環形視覺化皆為圖型類別，故以此作為另外一準則檢視較細部的視覺化設計。

3.9.1 視覺化整體準則評估

Meyer et al. (2019)提出的六項準則分別為資訊性(Informed)、反應性(Reflexive)、充足性(Abundant)、可信的(Plausible)、共鳴性(Resonant)、透明性(Transparent)。資訊性(Informed)的準則為進行設計前藉由查閱大量的設計文獻或是案例並且藉由前人的資訊或是設計發展出屬於自己更加精進或是創新的解釋方式。視覺化設計需要避免在毫無任何資訊或是知識背景下進行，需透過整理過往相關或是類似的視覺化案例，從中了解並發展出自我的設計方式。本研究透過文獻回顧整理同類型的案例以得出合適的設計原則，針對時空以及屬性了解過往文獻中的長處以及缺失的部分，並且透過發想設計出更加貼合目標的視覺化。

反應性(Reflexive)準則用以檢視在進行該視覺化時，設計者與視覺化之間相互反映出何種資訊，而該視覺化又將如何影響使用者。依照本研究視覺化的目標屬於功能性設計，因此反應準則檢視視覺化反應出何種資訊給管理者，是否切合目標。路況視覺化中速率和事件在過往文獻案例常切分為兩大類別進行，本研究針對即時路況取自兩大類別中需要反映給管理者得知的訊息—速率以及其歷史資料和事件地點、時長，讓管理者能夠在畫面中獲取基本路況的資訊，視覺化方法以時空與屬性關聯為主軸。

充足性(Abundant)準則檢視視覺化是否足夠詳細充足，具有一定的能力解釋想要呈現的資訊跟意義。視覺化設計是否充足討論設計視覺化時必須於每一環節思考採用的設計是否能夠將資訊清楚呈現；本研究採用環形視覺化的概念保留空間的特性，同時與時鐘相似的性質也能降低管理者判讀時間訊息的學習成本；色板與號誌配色進行連結避免管理者需要重新學習配色與屬性的關係。關於視覺化具有解釋力之探討，本研究考量以路段(Link)群組為單位可能具有資料稀釋問題，於第一層級內的叢集的圓形圖標顏色代表叢集的所有圖標內最大的車流量而非叢集群組數量，如下圖 67 所示；第二層級中央熱圖顯示低於門檻值之路段(Link)，如下圖 68 所示。以上皆為避免以群組為單位造成資料稀釋。

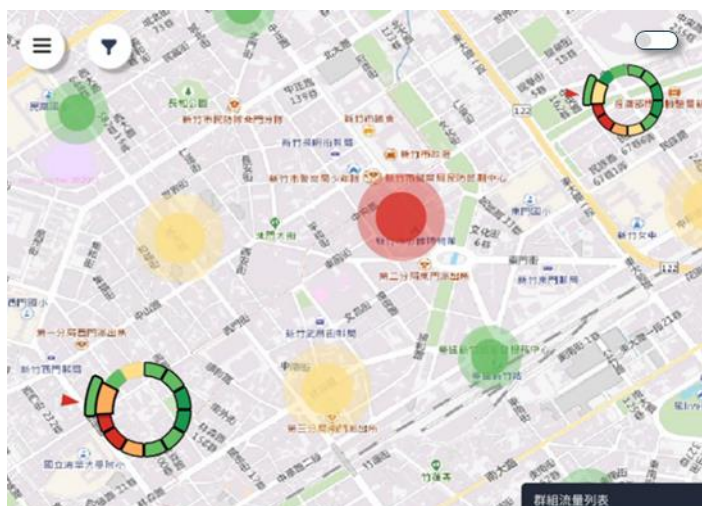


圖 67 第一層級之叢集的圓形圖標

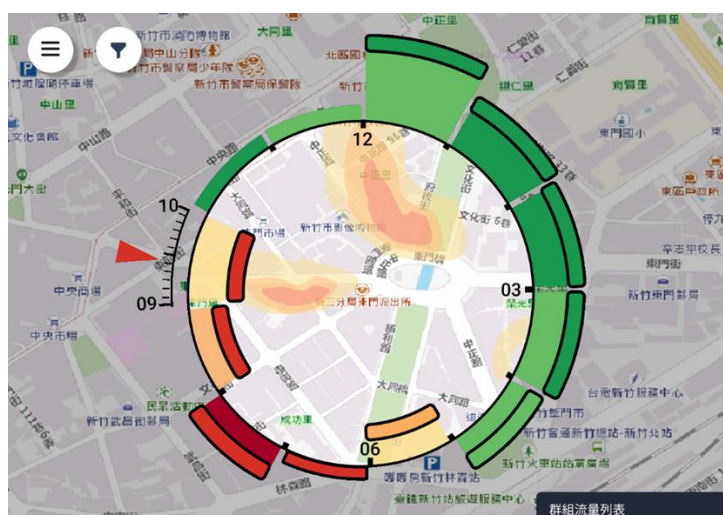


圖 68 第二層級之中央熱圖

可信的(Plausible)準則檢視視覺化的方法、設計過程、資訊連結的方式以及資料來源是否為可信、可行。可行性驗證所使用之路段(Link)資訊來源為交通資訊基礎路段編碼圖資及即時路況與停車資訊流通平臺 API 兩大政府平台，而本研究視覺化預設路況資訊以縣市政府收集而來的資訊為主，以上為資料來源可信之部分。可行性為確立設計後經實際路段(Link)分群驗證，作為後續繪製互動原型(Prototype)用。

透明性(Transparent)準則主要檢視視覺化方法是否嚴謹，且可受檢視。本研究透過充足、反應性的文獻回顧設立方向以及研究架構後，依據目標設計出台灣縣市適用之環形視覺化，並且研究整體為公開報告。共鳴性(Resonant)準則強調該視覺化針對未來的研究以及社會所造成的共鳴以及迴響，屬於文獻發布後期的一項指標，故在此先不予以探討。

3.9.2 圖形圖標準則評估

根據 Borgo et al. (2013)針對圖型視覺化當中整理出諸多設計準則，其中 Chung et al. (2011)針對圖形圖標設計提出八項指標。分別為樣式(Typedness)、視覺可序性(Visual Orderability)、視覺管道容量(Channel Capacity)、可分離性(Separability)、可尋性(Searchability)、可學習性(Learnability)、注意度平衡(Attention Balance)、注意與內容(Focus and Context)。指標圖示如下圖 69 所示。

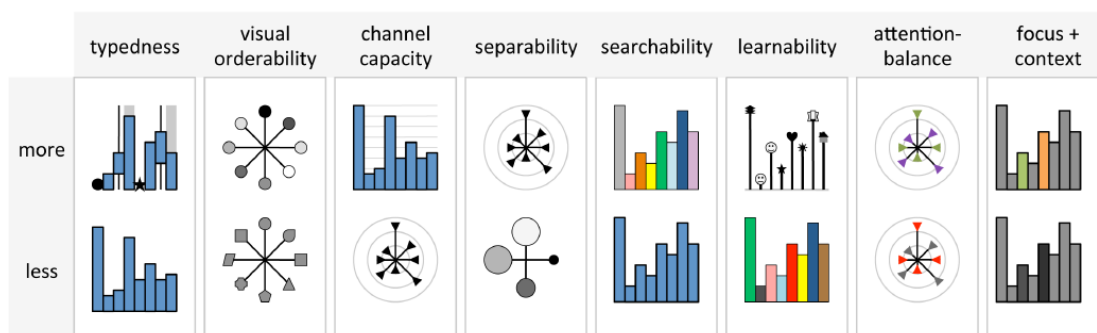


圖 69 Chung et al. (2011)圖形圖標八大設計指標

樣式(Typedness)考量資料型態是否與資料形態吻合。本研究環形視覺化設計目標為能夠顯示路段(Link)的空間維度訊息同時拓展時間維度的訊息，反應不同時段的路況資訊。經由文獻回顧整理得出方向後再重新設計調整成適合台灣地區適用的視覺化。

視覺可序性(Visual Orderability)考量圖標設計時使用具有序列性的手法(大小、密度)避免使用不同零碎的圖案。本研究透過圖標大小表示車流量大小，避免加入更多不同的視覺化元素呈現造成混淆，如下圖 70 所示。三層級皆以相同的環形視覺化發展，讓管理者了解三個層級串聯的關係。

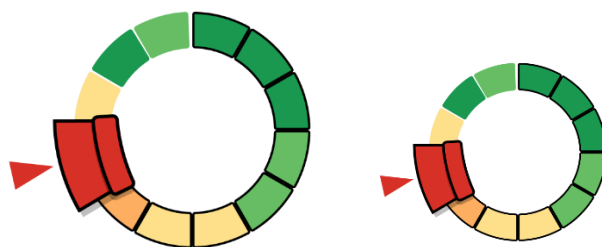


圖 70 圖標依據車流量改變大小

視覺管道容量(Channel Capacity)考量圖標的設計是否符合空間效能。本研究採用環形視覺化雖相較一般圖表耗費空間，但是將環形中央加以利用呈現空間資訊。且藉由串聯類型的設計比較一般的圖表能夠在同樣的空間中呈現更多元的資訊，彈性也比基礎圖表更高。

可分離性(Separability)為避免過多的視覺化管道衝突使用統一的視覺化方法，於分開時管理者仍然了解其意義。本研究所使用色板以及環形視覺化上的長條圖或是頂端等含意於各層相通，避免於三個層級內視覺化各有其不同的意義，造成管理者混淆。於視覺化管道選用時同時將時空一併思考設計，也避免需要更多更複雜的視覺化管道呈現資訊。

可尋性(Searchability)檢視設計中使用者能夠立即搜尋到訊息。環形視覺化將即時時段的路況指標設計更為突出，並且在該時段附上時間指標以及刻度，輔助管理者判讀，如下圖 71 所示。其餘時段內的當日平均速率也以黑框突出，顯示為當日的平均速率，避免管理者與歷史平均速率混淆。



圖 71 三層級的指標以及即時時段設計

可學習性(Learnability)可學習性考量到圖形圖標設計是否易讀好判斷。新型態的視覺化由於以解決路網視覺化所帶來的混雜為主要目標，設計出的結果和以往熟悉的路網視覺化差別必定較大。為了使管理者能夠更快速了解熟悉，選擇類似於時鐘布局的環型視覺化能夠降低管理者的學習成本。

注意度平衡(Attention Balance)不同的視覺管道呈現資訊時，會有不同的注意程度，必須注意在不同視覺管道之間的平衡。本研究處理整體視覺化時，色板皆使用統一調整後的六色色板組合內的選色，除了事件資訊需突出選用別的颜色。統一使用色板內的組合除了可傳達三個層級的串聯感之外，也避免有其餘用色造成視覺混淆以及分散感。

注意與內容(Focus and Context)當管理者操作或是選取時，能夠提供管理者一定的注意。本研究視覺化目前針對即時時段的路況呈現處理較為醒目，以供管理者能夠了解資訊重要程度的差異。避免在環型視覺化中管理者無法立即得知呈現即時資訊的位置。另外於介面設計時，也根據管理者滑鼠滑動給予一定回饋。

第四章 結論與建議

4.1 結論

智慧型運輸系統仰賴大量即時資訊，視覺化能夠協助管理者於閱讀大量資訊時更有效率並且增加策略擬定的速度和準確度，台灣智慧型運輸系統應用相當廣泛，但是目前普遍使用的即時路況視覺化未進行整體設計和規劃。台灣目前普遍使用的即時路況視覺化屬於低維度的路網方式，此種方式容易造成重疊的視覺混雜問題；另一方面對於時空與屬性間的資訊串聯較弱，例如 Google 的即時路況資訊需要於下方增設切換按鈕提供歷史路況。上述問題容易影響閱讀效率以及缺少視覺化整體性的規劃，本研究期望透過設計架構提出一套避免上述台灣目前即時路況視覺化的問題，且適用台灣縣市地區的即時路況視覺化。

本研究將視覺化使用者定義為管理者，並且根據文獻回顧統整出適用的基礎資訊整合、視覺化方法以及設計原則，設計出分三層級整理及具有串聯時空與屬性的環形時空視覺化，並調整色板使屬性視覺化更加適用台灣地區，最後統整操作定義將設計範圍拓張至整體介面。本研究之視覺化設計採能基礎表達資訊之資訊整合：時間、空間、屬性（S x T x A）；視覺化方法採用無限制變數多寡的視覺化方法—多變量圖標以及能整理收束圖標之多維度叢集，並且參考使用同樣視覺化方法組合之 Pu et al. (2012) 將圖層設計為提供地區、群組、路段三層級；其中二層級採用環形視覺化串聯多元交通資訊，第一層級圖標使用減化第二層級之環形視覺化，第三層級單位為路段故同樣採用路網的方式。屬性視覺化根據 Harrower et al. (2003) 線上色彩編碼工具—ColorBrewer 內之色板依據台灣慣用映射方式進行中斷點與色板組合調整。整體介面操作根據文獻統整定義，具有整體與縮放、資料連結、資料探勘及操作便利性四大類型，使整體視覺化更加完整。

本研究視覺化使用概念型準則檢視，同時經分群驗證該視覺化基礎的可行性。本研究定義使用者為管理者，基於代表性問題因此沒有使用問卷或是焦點團體訪談方式，而是採用概念型準則檢視該視覺化是否符合基本的六大設計指標。同時環形視覺化單位為路段(Link)群組設計，因此可行性驗證使用新竹縣市真實路段(Link)資料實際分群進行驗證。

本研究與台灣現有即時路況視覺化進行比較，基於資料取得問題，此處以使用者為民眾之台北縣市即時路況為比較目標，針對整體視覺化、視覺化方法、時空視覺化、屬性視覺化以及資料處理五個項目比較，統整如下表 14 所示。

表 14 現有路況視覺化與本研究視覺化比較

	現有路況	本研究	比較
整體 視覺化	需其餘頁面或是列表提供時間與屬性資訊	考量時空與屬性整體	現有路況視覺化須使用列表或是頁面切換，易失焦。本研究視覺化考量資訊整體進行設計。
視覺化 方法	低維度(路網)	多變量 (圖標)+多維度(叢集)	現有路況的視覺化方法雖簡單，但是無法展現複雜資訊。本研究使用多變量+多維度的方式可處理多面相資訊。
時空 視覺化	路網	環形視覺化	路網雖然簡單易懂，但是易重疊造成視覺混雜與缺少時間資訊。環形設計可供時空串聯。
屬性 視覺化	各縣市色板皆不相同	使用選色輔助工具調整	原先色板組合未經選色工具輔助，各縣市皆不相同。本研究色板經選色工具輔助並進行調整。
資料 處理	直接將訊息附於路網	路段(Link)分群	雖然現有視覺化的資料處理快速，但是未進行整理。本研究使用分群為單位可進行較複雜的設計。

現有路況之整體視覺化雖學習成本低但易混亂且屬單點資訊，本研究視覺化經分層整理同時呈現多面相資訊。台灣現有即時路況視覺化整體採用路網方式，方法簡易並且直觀，但於縮放間容易產生重疊之視覺混雜，同時該視覺化無法提供時間與屬性向度的資訊，使用者需要透過其他頁面或是列表輔助資訊的補充。本研究的視覺化考量時空與屬性整體相關性進行設計，同時藉由不同層級整理資訊，並且提供更多面相之資訊。

現有路況之視覺化方法以低維度的路網方式為主，資料處理簡易且直觀，但本研究採用多維度圖標與多變量叢集有助提供更全面的資訊。低維度路網的方式將屬性資訊附於路網上方，資料處理相對容易且直觀，但是對於更加複雜的資訊展現具有一定限制。本研究採用的視覺化方法為圖標以及具有整理收束圖標能力的叢集組合，同時該組合未針對適用變數進行限制，相較於原先之視覺化更能拓展時間、空間與屬性間的資訊。

現有路況之時空視覺化以路網為主體降低學習成本，但是於縮放時容易造成視覺混雜與缺少時間與屬性間之訊息，本研究採用環形視覺化串聯時空與屬性資訊同時降低判讀資訊時的學習成本。路網方式雖於固定維度時容易判讀且直觀，但是當於縮放時則容易造成重疊的視覺混雜，且路網的時空視覺化不利展現歷史屬性資訊。本研究使用環形視覺化於中央保留空間的資訊，並且利用外環附註時間與屬性的資訊，增加歷史屬性訊息同時利用環形與時鐘相似的概念，降低管理者的學習成本。

現有屬性視覺化選色根據各縣市不同具不同的色板組合，未經選色工具輔助，本研究根據文獻回顧之選色輔助工具組合調整，具一定基礎。台灣目前各縣市即時路況屬性視覺化皆採用色彩，但其色板選色和組合未有一定根據以及整合，各縣市皆不相同。本研究使用 Harrower et al. (2003) 結合人類感知以及視覺判斷的線上色彩編碼工具—ColorBrewer 內之紅綠色板調整，使其更加適用台灣地區。

現有路況之資料處理直接將資訊附於路網上，雖然資訊處理快速，但本研究採用路段(Link)群組為主要階層單位能夠進行較複雜的設計。現有路況空間資訊使用路網表示，不需經由任何處理，雖快速但無法採用複雜的視覺化設計。使用路段(Link)群組單位能避免將全數資訊直接附於路網上產生之視覺混雜，並進行較複雜的設計展現更多面相的資訊。

本研究貢獻為提出避免現有視覺化重疊之視覺混雜以及時空與屬性資訊不足兩大問題，且適用台灣縣市地區的即時路況視覺化。視覺化具有分層資訊整理，涵蓋速率及事件兩大主要路況資訊，並且採用串聯的環形視覺化降低學習成本。該視覺化經由概念型準則檢視，同時針對實際路段(Link)分群進行可行性檢視，可做為提升台灣現有即時路況視覺化之參考。

4.2 建議

本研究將使用者者定義為交通控制中心之管理者，視覺化設計時未實際考量結合現有的交控系統(例如：號誌群組)。互動原型(Prototype)僅於左方開啟的管理者列表羅列出號誌管理的點選鈕，但未實際將號誌群組的或是管理系統結合至本研究設計的視覺化。未來可納入號誌群組的概念提升整體視覺化與現有系統合併的可能性。

本研究除了即時時段可迅速反應路況外，其餘時制設計以小時為單位，進而造成事件視覺化的細部資訊仍以點附註為主；或是當事件、施工發生時長較短時視覺化效果較差。未來建議可考量透過點資訊以外的視覺化方法提供更細部的資訊。

本研究於後續繪製互動原型(Prototype)時，僅使用以路段(Link)作為權重的分群結果並沒有進行其他處理。根據 Huang et al. (2016)同時使用車流量以及路段(Link)長度進行分群，並且適度透過人為調整分群結果，可有效切割出核心區域並且降低群組過大

的稀釋問題；或是群組過小導致影響整體視覺化。因此於後續建議中可納入不同權重調整分群的結果，以利視覺化的效果。

本研究使用之視覺化準則適用對象為總體視覺化，並非專門適用於交通視覺化的視覺化準則。由於視覺化主題屬於主觀感受較為強烈的性質，鮮少針對某一領域提出細部的準則，大部分文獻皆屬於通用的視覺化準則，通常也具有彈性。未來建議可於交通視覺化設計後整理、歸納出交通視覺化的準則。

受限於時間，本研究視覺化未實際經由使用者回饋進行調整。視覺化介面設計確立互動原型(prototype)後，須經由一段時間收集使用者反饋便會進行調整，確立主要使用者之習性，同時將視覺化調整為更加符合該族群的使用習性，逐步提升視覺化。本研究設計出互動原型(prototype)後未經實際使用以及回饋調整，僅依研究架構設計出避免現有路況主要問題之視覺化。建議未來視覺化設計互動原型(prototype)後，可針對目標管理者收集使用回饋並進行調整，將視覺化調整為更加符合目標管理者之期望。

因視覺化設計之題目性質，本研究的研究流程決策採用是否符合準則進行檢視，而當中準則是否符合、符合的比例都具有相當大的彈性，並非能夠實際量化的檢視。視覺化設計適用的決策方法為針對目標使用者收集回饋，進行調整設計，如上段落所提及之建議之處。因此建議未來可透過收集使用者回饋檢視視覺化，作為決策視覺化是否進行調整的方法。

第六章 參考文獻

- [1] Andrienko, G., & Andrienko, N. (2008). "Spatio-temporal aggregation for visual analysis of movements". *2008 IEEE symposium on visual analytics science and technology*, 51-58.doi: 10.1109/VAST.2008.4677356
- [2] Andrienko, G., Andrienko, N., Schumann, H., & Tominski, C. (2014). "Visualization of trajectory attributes in space-time cube and trajectory wall". *Cartography from Pole to Pole*, 157-163. doi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32618-9_11
- [3] Anwar, A., Nagel, T., & Ratti, C. (2014). "Traffic origins: A simple visualization technique to support traffic incident analysis". *2014 IEEE Pacific Visualization Symposium*, 316-319.doi:10.1109/PacificVis.2014.35
- [4] Baskaran, S., Fang, S., & Jiang, S. (2017). "Spatiotemporal visualization of traffic paths using color space time curve". *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 3398-3405. doi:10.1109/BigData.2017.8258325
- [5] Carr, D. (1999). Guidelines for designing information visualization applications. *In ECUE'99: 01/12/1999-03/12/1999*.doi: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1013047&dswid=-262>
- [6] Chaolong, J., Hanning, W., & Lili, W. (2016). "Research on visualization of multi-dimensional real-time traffic data stream based on cloud computing". *Procedia engineering*, 137(1), 709 – 718. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.308>
- [7] Chen, W., Guo, F., & Wang, F. Y. (2015). " A survey of traffic data visualization". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(6), 2970-2984.doi: 10.1109/TITS.2015.2436897
- [8] Cruz, P., & Machado, P. (2016). "Pulsing blood vessels: A figurative approach to traffic visualization". *IEEE Computer Graphics and Applications*, 36(2), 16-21.doi:10.1109/MCG.2016.29
- [9] Fan, X., He, B., & Brezillon, P. (2017). "Context-aware big data analytics and visualization for city-wide traffic accidents ". *International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context*, 395-405.doi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-57837-8_33
- [10] Feng, Z., Li, H., Zeng, W., Yang, S. H., & Qu, H. (2020). "Topology Density Map for Urban Data Visualization and Analysis". *arXiv preprint* doi:arXiv:2007.15828.
- [11] Ferreira, N., Poco, J., Vo, H. T., Freire, J., & Silva, C. T. (2013). "Visual exploration of big spatio-temporal urban data: A study of new york city taxi trips". *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(12), 2149-2158. doi:10.1109/TVCG.2013.226

- [12] Guo, H., Wang, Z., Yu, B., Zhao, H., & Yuan, X. (2011, March). "Tripvista: Triple perspective visual trajectory analytics and its application on microscopic traffic data at a road intersection". *2011 IEEE Pacific Visualization Symposium*, 163-170. doi:10.1109/PACIFICVIS.2011.5742386
- [13] Hansen, C. D., & Johnson, C. R. (2011). *Visualization handbook*. Elsevier.
- [14] Hao, W., Lin, Z., & Shao, Z. (2019, November). "Visual analytics on big data of urban traffic trajectories". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 688(2), 022048. doi:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/688/2/022048/meta>
- [15] Harrower, M., & Brewer, C. A. (2003). "ColorBrewer. org: an online tool for selecting colour schemes for maps". *The Cartographic Journal*, 40(1), 27-37. doi:<https://doi/abs/10.1179/000870403235002042>
- [16] Häußler, J., Stein, M., Seebacher, D., Janetzko, H., Schreck, T., & Keim, D. A. (2018). "Visual analysis of urban traffic data based on high-resolution and high-dimensional environmental sensor data". *EnvirVis 2018: Workshop on Visualisation in Environmental Sciences*. doi:<https://dx.doi.org/10.2312/envirvis.20181138>
- [17] He, J., Chen, H., Chen, Y., Tang, X., & Zou, Y. (2019). "Diverse visualization techniques and methods of moving-object-trajectory data: A review". *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 63. doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi8020063>
- [18] Huang, X., Zhao, Y., Ma, C., Yang, J., Ye, X., & Zhang, C. (2015). "TrajGraph: A graph-based visual analytics approach to studying urban network centralities using taxi trajectory data ". *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 22(1), 160-169. doi: 10.1109/TVCG.2015.2467771
- [19] Jiansu Pu, Siyuan Liu, Ye Ding, Huamin Qu, & Lionel Ni. (2013). "T-Watcher: A New Visual Analytic System for Effective Traffic Surveillance". *2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management*, 1, 127–136. doi: 10.1109/MDM.2013.23
- [20] Junping Zhang, Fei-Yue Wang, Kunfeng Wang, Wei-Hua Lin, Xin Xu, & Cheng Chen. (2011). "Data-driven intelligent transportation systems: A survey". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(4), 1624 – 1639. doi: 10.1109/TITS.2011.2158001
- [21] Karypis, G., & Kumar, V. (1995, August). " Multilevel graph partitioning schemes". *ICPP* (3) ,113-122. doi: https://www.researchgate.net/profile/Vipin_Kumar26/publication/221085380_Multilevel_Graph_Partitioning_Schemes/links/0deec517946e95246d000000/Multilevel-Graph-Partitioning-Schemes.pdf
- [22] Liu, H., Gao, Y., Lu, L., Liu, S., Qu, H., & Ni, L. M. (2011). "Visual analysis of route diversity". *2011 IEEE conference on visual analytics science and technology (VAST)*, 171-180. doi:10.1109/VAST.2011.6102455

- [23] Liu, S., Pu, J., Luo, Q., Qu, H., Ni, L. M., & Krishnan, R. (2013). "VAIT: A visual analytics system for metropolitan transportation". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(4), 1586-1596. doi:10.1109/TITS.2013.2263225
- [24] McCreery, J., Mackintosh, K., Cox, N., & McNarry, M. " Cronfa-Swansea University Open Access Repository". *Parenting*, 1(2), e11189.doi: <https://cronfa.swan.ac.uk/Record/cronfa43789>
- [25] Meyer, M., & Dykes, J. (2019). " Criteria for rigor in visualization design study". *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 26(1), 87-97.doi: 10.1109/TVCG.2019.2934539
- [26] Moritz, D., Wang, C., Nelson, G. L., Lin, H., Smith, A. M., Howe, B., & Heer, J. (2018). "Formalizing visualization design knowledge as constraints: Actionable and extensible models in draco". *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 25(1), 438-448.doi: 10.1109/TVCG.2018.2865240
- [27] Pack, M. L., Wongsuphasawat, K., VanDaniker, M., & Filippova, D. (2009, August). "ICE--visual analytics for transportation incident datasets". *2009 IEEE International Conference on Information Reuse & Integration* , 200-205. doi: 10.1109/IRI.2009.5211551
- [28] Piringer, H., Buchetics, M., & Benedik, R. (2012). "Alvis: Situation awareness in the surveillance of road tunnels". *2012 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, 153-162.doi:10.1109/VAST.2012.6400556
- [29] Pu, J., Liu, S., Ding, Y., Qu, H., & Ni, L. (2013, June). "T-Watcher: A new visual analytic system for effective traffic surveillance". *2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management , I*, 127-136. doi: 10.1109/MDM.2013.23
- [30] Pu, J., Liu, S., Qu, H., & Ni, L. (2012). "Visual fingerprinting: A new visual mining approach for large-scale spatio-temporal evolving data". *International Conference on Advanced Data Mining and Applications* , 502-515. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-35527-1_42
- [31] Rezaei, M., & Franti, P. (2018). "Real-time clustering of large geo-referenced data for visualizing on map". *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 18(4), 63-74.doi: 10.4316/AECE.2018.04008
- [32] Shneiderman, B. (2003). The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations. *In The craft of information visualization* , pp. 364-371. Morgan Kaufmann.doi: <https://doi.org/10.1016/B978-155860915-0/50046-9>
- [33] Sobral, T., Galvão, T., & Borges, J. (2019). "Visualization of urban mobility data from intelligent transportation systems ". *Sensors*, 19(2), 332.doi: <https://doi.org/10.3390/s19020332>

- [34] Song, W., Huang, C., & Jiang, B. (2017). "Visual methods for time-varying intersection traffic flow data". 2017 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI), 1752-1756. doi:10.1109/ICSAI.2017.8248568
- [35] Szafir, D. A. (2017). " Modeling color difference for visualization design". IEEE transactions on visualization and computer graphics, 24(1), 392-401.doi
- [36] Tominski, C., Schulze-Wollgast, P., & Schumann, H. (2005, July). "3d information visualization for time dependent data on maps". Ninth International Conference on Information Visualisation (IV'05),175-181.doi: 10.1109/IV.2005.3
- [37] Tominski, C., Schumann, H., Andrienko, G., & Andrienko, N. (2012). "Stacking-based visualization of trajectory attribute data". IEEE Transactions on visualization and Computer Graphics, 18(12), 2565-2574. doi: 10.1109/TVCG.2012.265
- [38] Van Hoecke, S., Huys, C., Janssens, O., Verborgh, R., & Van de Walle, R. (2015, October). " Dynamic monitoring dashboards through composition of Web and visualization services". International Internet of Things Summit ,465-474.doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-47075-7_50
- [39] VanDaniker, M. (2009). "Visualizing real-time and archived traffic incident data ". 2009 IEEE International Conference on Information Reuse & Integration , 206-211.doi:10.1109/IRI.2009.5211552
- [40] Von Luxburg, U. (2007). "A tutorial on spectral clustering". Statistics and computing. 17(4), 395-416.doi: <https://doi.org/10.1007/s11222-007-9033-z>
- [41] Wang, Z., Lu, M., Yuan, X., Zhang, J., & Van De Wetering, H. (2013). "Visual traffic jam analysis based on trajectory data". IEEE transactions on visualization and computer graphics, 19(12), 2159-2168. doi: 10.1109/TVCG.2013.228
- [42] Yi, J. S., ah Kang, Y., Stasko, J., & Jacko, J. A. (2007). Toward a deeper understanding of the role of interaction in information visualization. IEEE transactions on visualization and computer graphics. 13(6), 1224-1231.doi: 10.1109/TVCG.2007.70515
- [43] Zeng, W. Fu, C. W., Arisona, S. M., Erath, A., & Qu, H. (2014). "Visualizing mobility of public transportation system". IEEE transactions on visualization and computer graphics, 20(12), 1833-1842. doi: 10.1109/TVCG.2014.2346893
- [44] Zeng, W., Fu, C. W., Arisona, S. M., & Qu, H. (2013). "Visualizing interchange patterns in massive movement data". Computer Graphics Forum 32(3), 271-280. doi:<https://doi.org/10.1111/cgf.12114>
- [45] Zhao, Z. Q., Zheng, P., Xu, S. T., & Wu, X. (2019). " Object detection with deep learning: A review". IEEE transactions on neural networks and learning systems, 30(11), 3212-3232.doi: 10.1109/TNNLS.2018.2876865