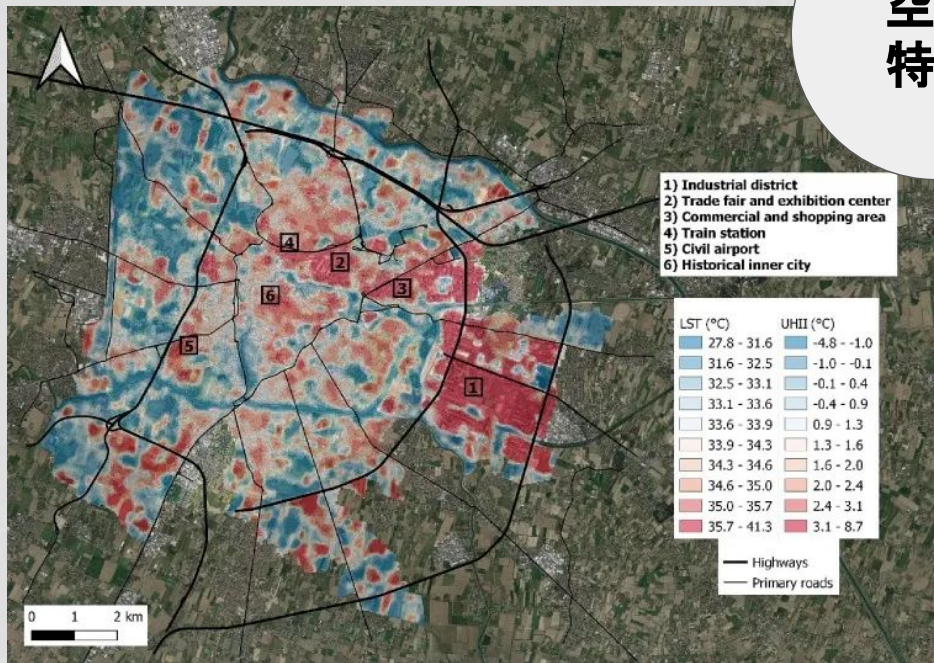


為什麼需要新的視覺化設計

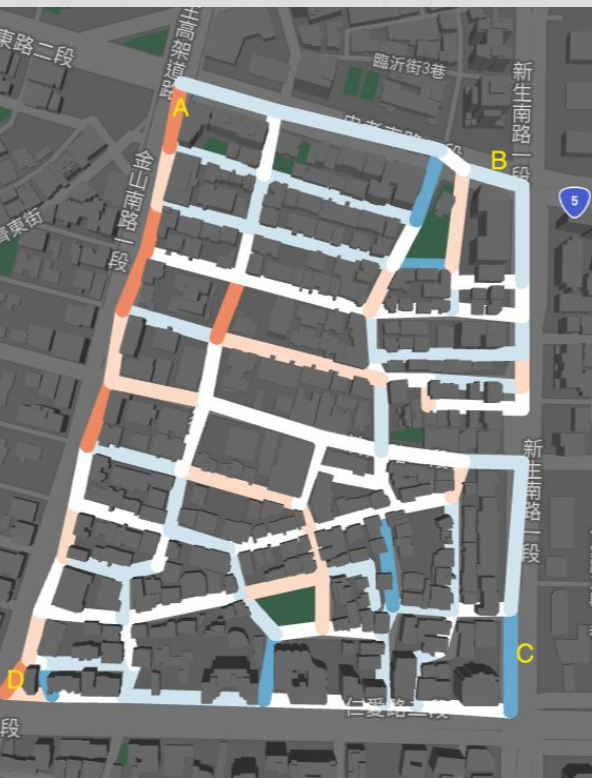
空間
特徵

資訊
壓縮



都市熱島是一種都市化的結果，因為建築、人造物影響太陽光照的熱能分布與吸收，以及汽車、建築物或管道的熱能排放，使得都市的溫度與周圍非都市區域產生差異。(Mills & Stewart, 2021)高溫問題嚴重影響人們的生活，例如乾旱、缺電、衛生問題更是對健康造成危害甚至死亡(Lu等, 2022) (Çağlak, 2023)。目前許多研究探討城市與熱環境的關係，例如都市中的綠藍基礎設施(如公園、水體、綠牆)與鋪面材料(如高反射或透水性鋪面)等環境特徵，對於緩解都市熱島問題的影響(Kumar等, 2024; Wang等, 2021)。

為什麼需要新的視覺化設計



3D
空間
特徵

遮蔽

視覺
負荷

相較於二維視覺化，三維視覺化能更自然地傳達資料的空間結構與立體分布，有助於直覺地理解物體間的空間關係，且適用於涉及空間定位或相對位置等任務(Dübel等, 2014)。然而，因為三維圖像的視覺複雜度較高，如透視扭曲、遮蔽問題與視覺雜亂度，會顯著提高使用者的認知負荷，影響資料的快速與精準辨識(唐清波, 2021; Liu等, 2024)

研究核心

**設計
新圖元**

**驗證
效用**

熱環境研究視覺化數據目標

專家
訪談

研究的需求

- 看到熱舒適數值隨時間或是在空間中的**變化狀態**。
- **找到異常**的數值區域，並尋找異常的**原因**。

設計模式

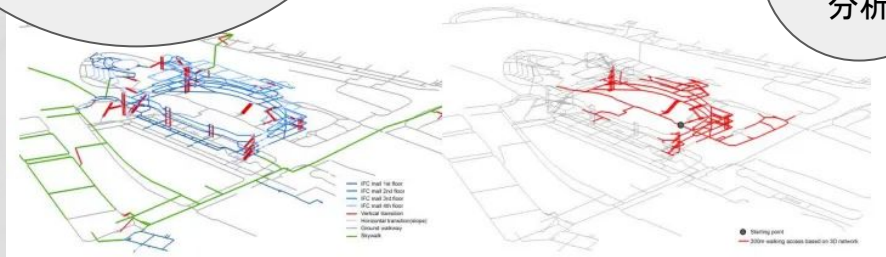
- **主觀及客觀舒適度的差異** 狀態是值得研究的。
- 熱環境垂直或橫向的剖面觀察。
- 舒適度應以**分級呈現**
- 即時資料的展示與蒐集

文獻回顧

空間句法

空間句法是一種以人為本的空間分析方法，用來探討空間型態如何影響人們的行為。它透過量化與視覺化的方式，幫助我們理解人在空間中如何移動、如何受到空間結構影響，進而分析不同位置在行為模式或風險判斷上的差異 (Hillier et al., 1976)。

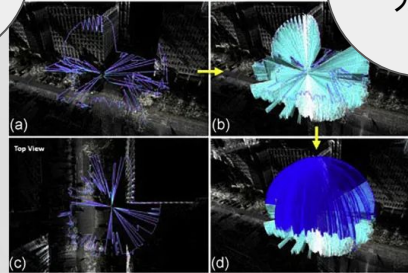
軸線
人流
分析



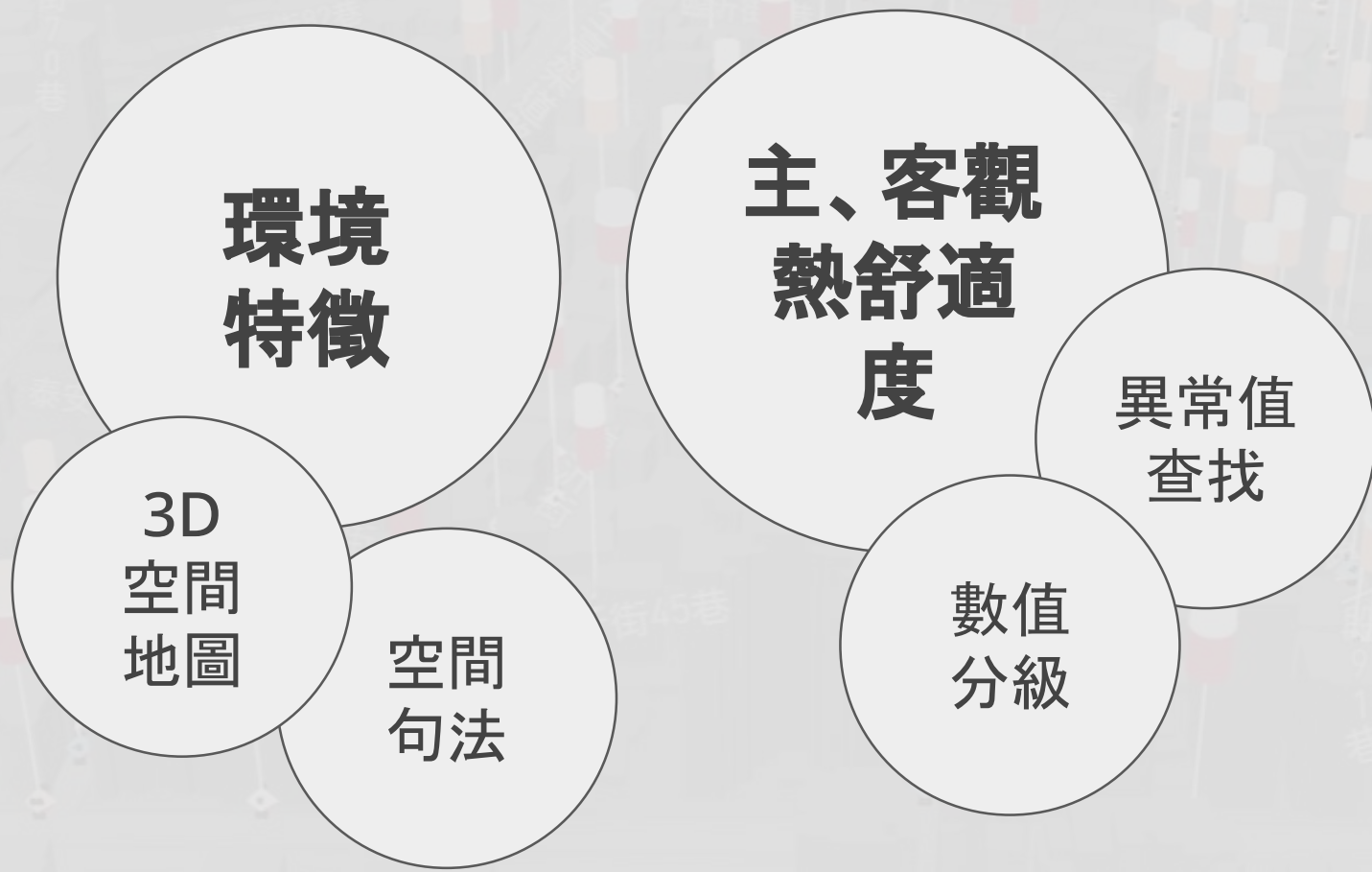
人流分析



視域分析



設計目標





數據蒐集方式非本次研究範圍，會使用歷史數據做為視覺化數據，並依照視覺化任務需求微調數值。

視覺化數據來源

第一階段

攜帶感測器走訪各街道

計算找出每個街道片段

最接近平均溫度的點

第二階段

在各街道選定的平均點

進行目標數值的量測與紀錄

街道



點



主觀熱舒適度

以PMV語意為基礎
研究人員實際走訪紀錄
之主觀熱感受(-3~3)

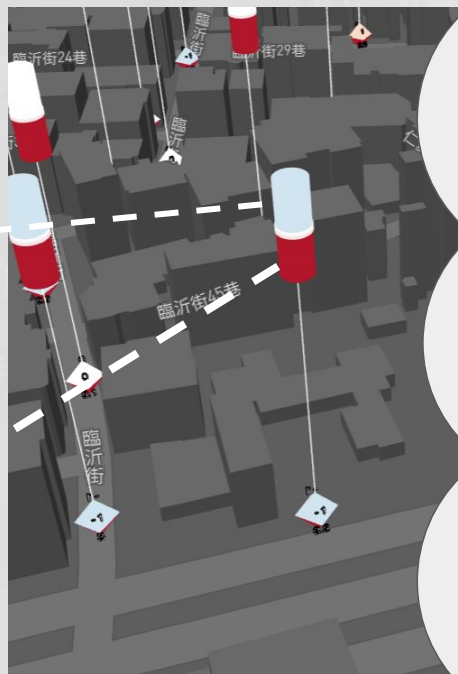
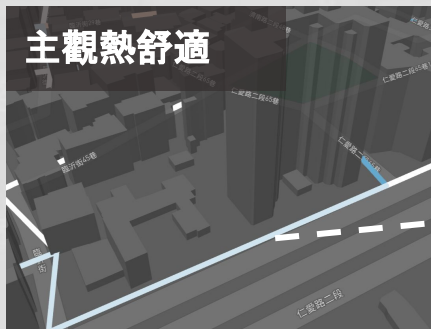
客觀熱舒適度

PMV
以溫度濕度風速等數值計算
評估人可能的熱感受(-3~3)

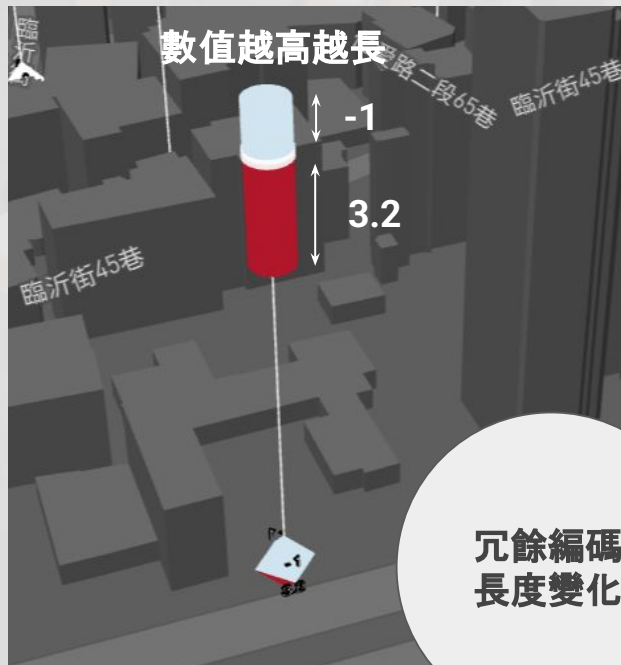
(皆以街道片段為單位)

指標值/顏色編碼	熱舒適感受語意
-3	cold
-2	cool
-1	slightly cool
0	neutral
1	slightly warm
2	warm
3	hot

圖元設計



冗餘編碼則是將單一變量映射在多個視覺通道上，例如同時以顏色與長度表達數值，可提升使用者對該變量的感知強度。



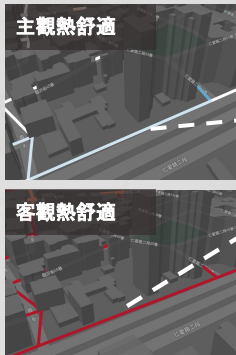
傳統熱力圖

新圖元
雙變量-單一編碼(顏色)

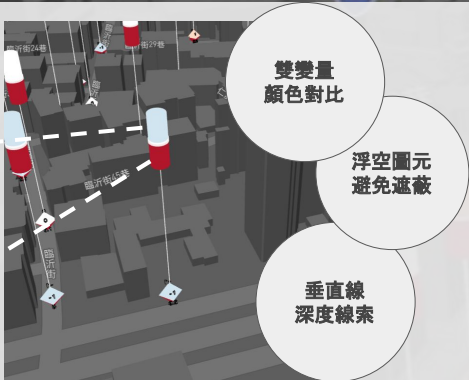
新圖元
雙變量-雙編碼(顏色/長度)

圖元設計

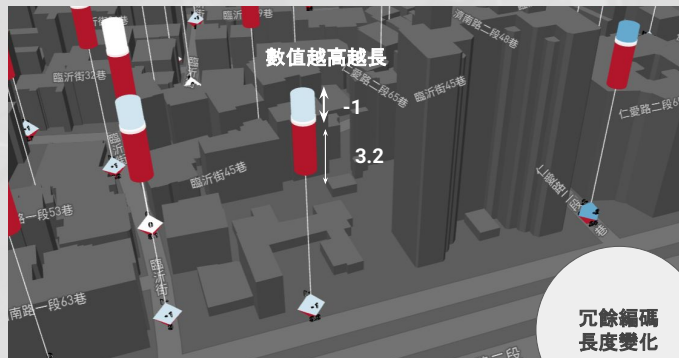
城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元



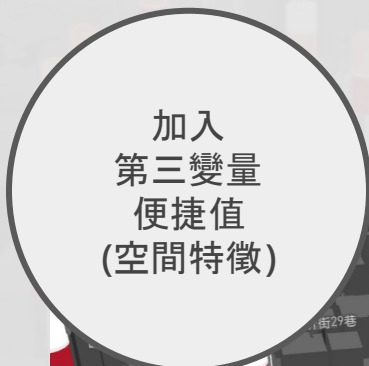
傳統熱力圖



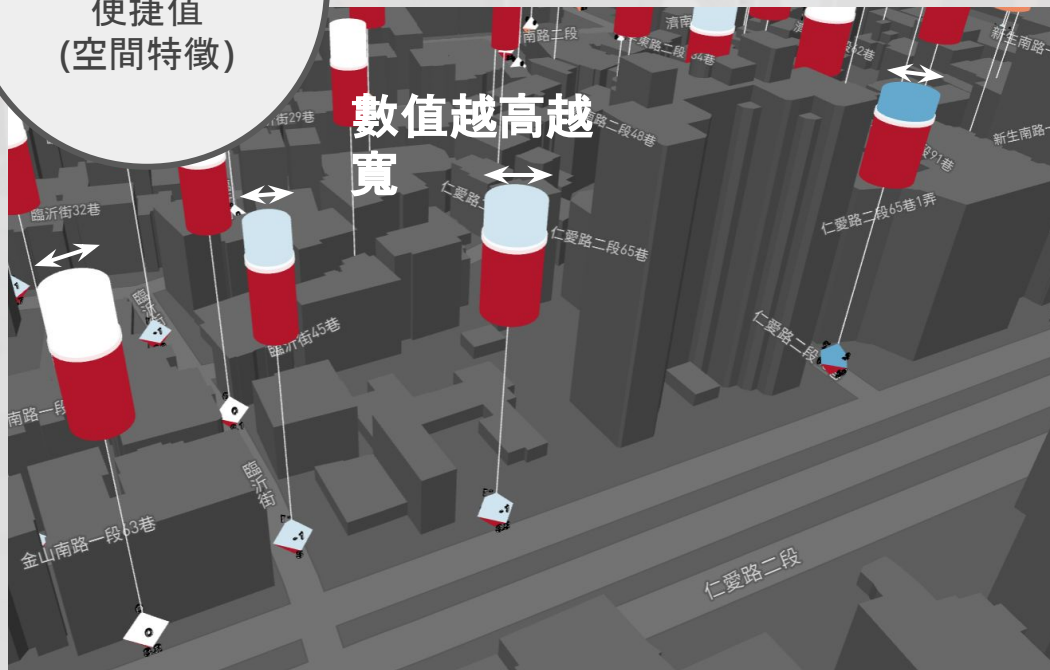
新圖元
雙變量-單一編碼(顏色)



新圖元
雙變量-雙編碼(顏色/長度)

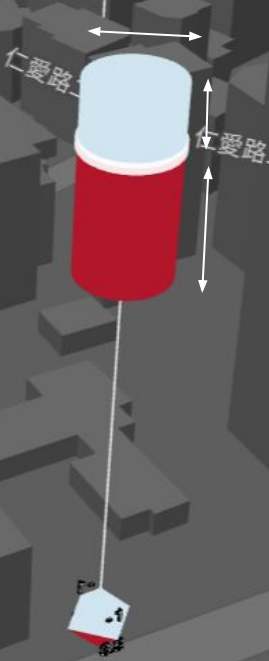


便捷值(integration value) 是空間句法中重要的指標之一, 用以表示某空間與其他空間互通的程度, 值越高表示位置越容易到達



新圖元
雙變量-雙編碼(顏色/長度) + 第三變量-單編碼(寬度)

* 圖符寬度：
空間句法便捷 值
(空間容易通達程度)



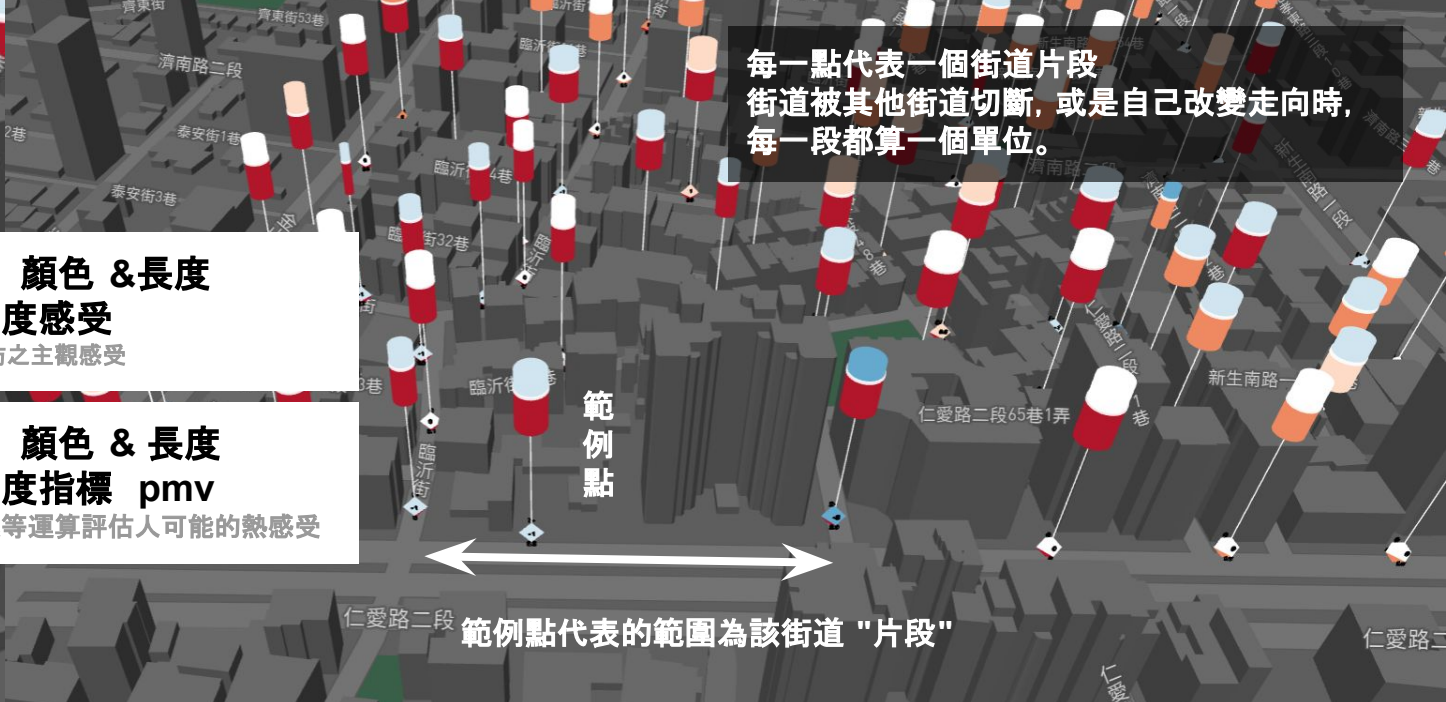
上半部圖符 顏色 & 長度
主觀熱舒適度感受

研究人員實際走訪之主觀感受

下半部圖符 顏色 & 長度
客觀熱舒適度指標 pmv

以溫度濕度風速等運算評估人可能的熱感受

量測地點與實際數 值
該地點代表該街道片段



每一點代表一個街道片段
街道被其他街道切斷, 或是自己改變走向時,
每一段都算一個單位。

範例點

範例點代表的範圍為該街道 "片段"

色彩編碼

冷

old

-3

-2

-1

0

1

2

3

熱

hot

熱舒適度





介面 驗證

新設計如何設計最有效?
新設計是否比現有的更有效?

環境特徵與多變項多重編碼
可能增加認知負荷與視覺負荷增加

是不是對每個人都相同有效?

地圖的閱讀能力主要會受到上下文
以及觀看者的專業及熟練程度影響
(若林芳樹 & 陳嫻若, 2020)

介面差異

傳統
與
新設計

變項
數量

編碼
數量

通用性

視覺
能力

專業
背景

背景
知識

研究目的

1. 探討可呈現熱舒適異常分布與都市環境特徵(如空間句法指標)之三維地圖介面，以利熱環境資料的整合與判讀。
2. 三維城市地圖環境中，應用深度線索與多重編碼圖元之視覺設計方式，以提升使用者資訊呈現的辨識性與認知效率。
3. 驗證專業背景與一般使用者對操縱三維視覺化介面的效用、認知負載、及資訊理解結果。

研究 實驗



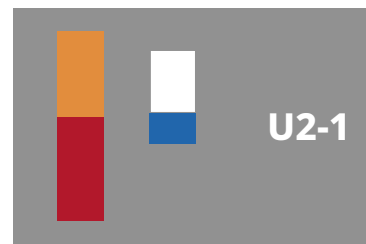
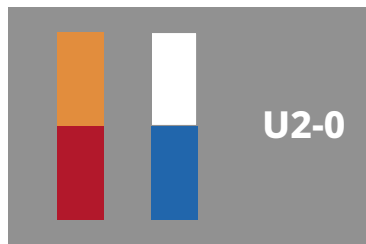
介面差異 - 實驗一

U1-傳統熱力圖 / 二變量



5種介面

U2-新圖元二變量

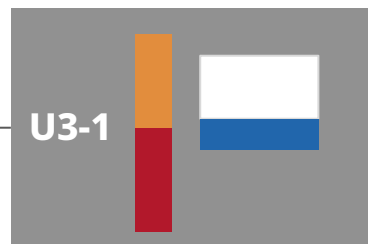
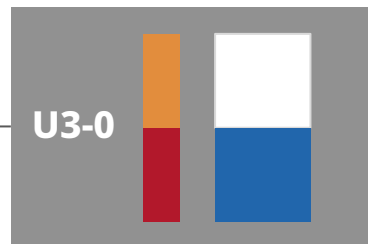


冗餘編碼
(長度變化)

無

有

U3-新圖元三變量
(目標)



研究 實驗



通用性 - 實驗二

專業
背景

背景
知識

視覺
能力

CF
視覺
封閉性

科系
背景

熱浪知識
量表

P
知覺速度

S
圖像旋轉

研究 實驗



涉及視覺化變量			任務編號	任務性質	任務內容說明
主觀熱舒適	客觀熱舒適	便捷值			
○			Q1	單變量趨勢偵測	請選取 <u>主觀感受最熱</u> 的區域
○	○		Q2	雙變量趨勢偵測	請選取 <u>主客觀皆舒適</u> 的區域
○	○		Q3	雙變量基本任務	請選擇ABCD四點，主客觀 <u>差異最大</u> 的街段
○	○		Q4	概要任務-異常值查找	請查找圖中主客觀 <u>差異大於 4</u> 的街段 <u>數量</u>
		○	Q5	概要任務-查找	請問 <u>便捷值小於 1</u> 的街段 <u>數量</u>
○	○	○	Q6	綜合查找	<u>便捷值小於 1</u> 且主客觀 <u>差異大於 4</u> 的街段 <u>數量</u>

U1
U2
U3
都會
執行僅
U3
執行

NASA Task Load Index(NASA-TLX)

工作負荷量表

- 心理負荷(Mental Demand)
- 生理負荷(Physical Demand)
- 時間負荷(Temporal Demand)
- 表現績效(Performance)
- 耗費精力(Effort)
- 挫折程度(Frustration)

*

請問您在完成四個任務時的負荷程度如何？

心理負荷 (Mental Demands) 您完成任務所需耗費腦力的程度。

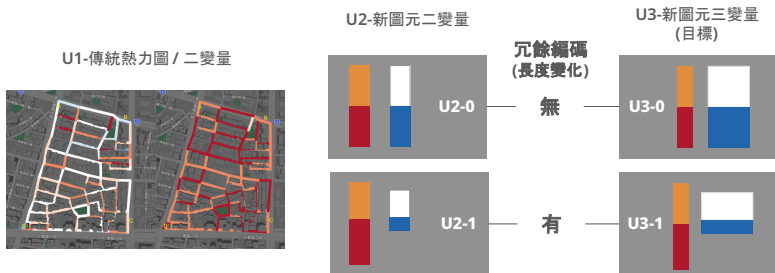
請仔細思考心理認知活動 (例如：理解、思考、決策、計算、記憶、會話) 的要求如何？最簡單到最困難？

非常低

非常高



實驗流程



分組

受測者會被分為2組

分別操作 U1 U2-0 U3-0 / U1 U2-1 U3-1

介面操作順序

實驗一-介面設計分析

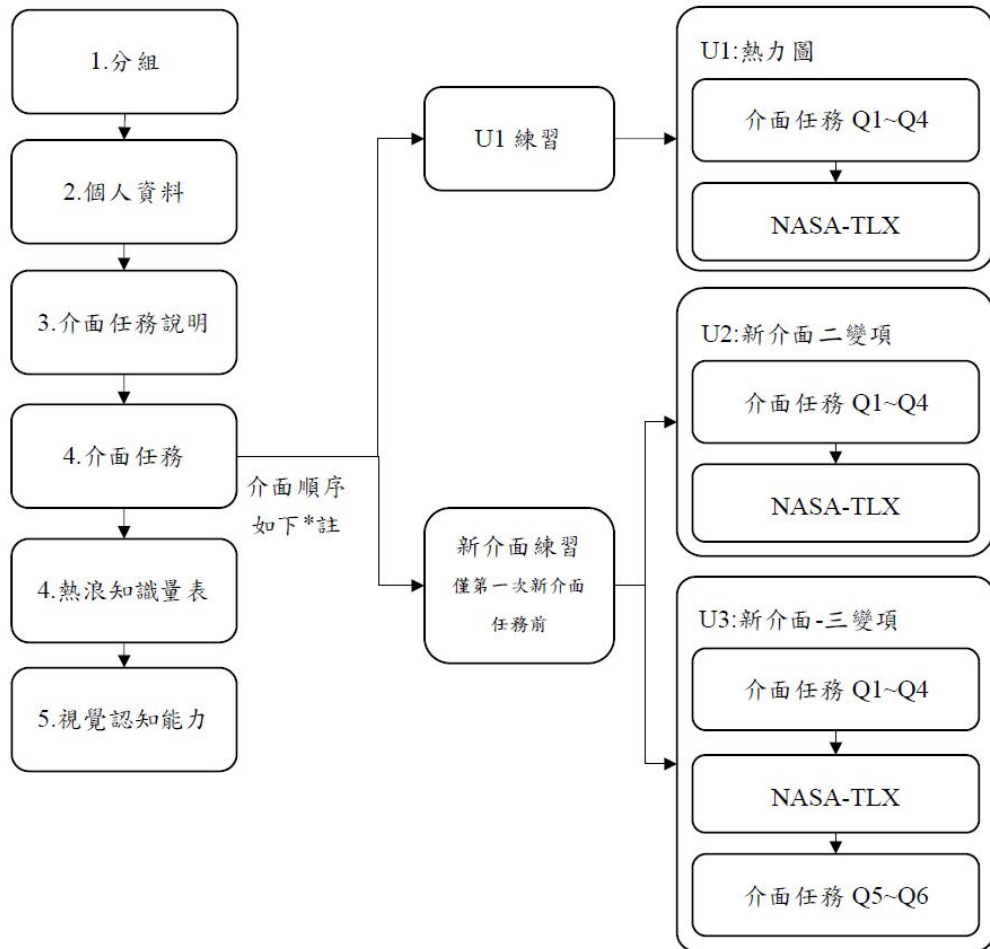
為了避免順序效應

隨機6種操作順序

1-2-3 / 1-3-2 / 2-1-3 / 2-3-1 / 3-2-1 / 3-1-2

實驗二-介面三為主要分析介面

固定順序 1-2-3



實驗分析

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

網路招募:分析樣本 72人

建築系與設計系:分析樣本 58人

介面差異 - 實驗一

通用性 - 實驗二

傳統
與
新設計

變項
數量

編碼
數量

視覺
能力

專業
背景

背景
知識

效能 / 依變項

任務答題表現
(對錯/誤差)

任務答題時間

認知負荷

訪談

5人

實驗一分析：介面設計

1. 冗餘編碼是否有用

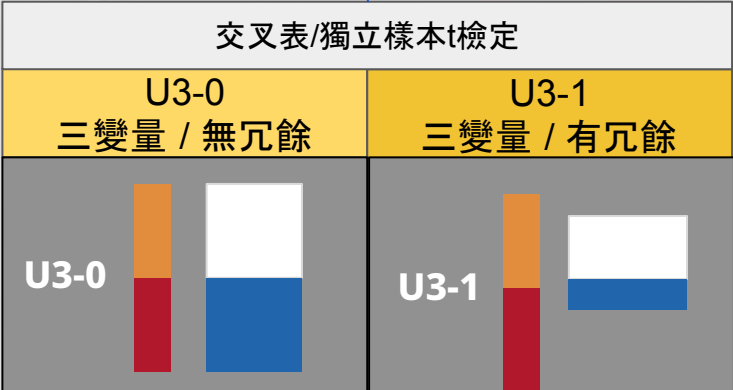
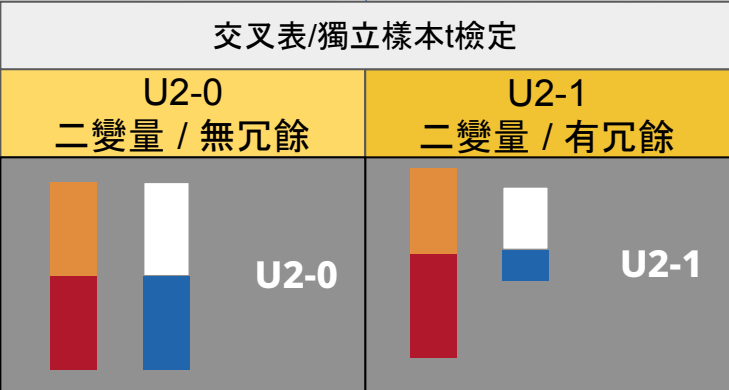
實驗一分析:冗餘編碼是否有用

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

介面整體						二變項任務(主觀與客觀熱舒適度)									
工作負荷						答題時間	正確率	Q1單變項 趨勢偵測		Q2雙變項 趨勢偵測		Q3雙變項 基本任務-查找		Q4雙變項 異常值視覺搜尋	
心理負荷	生理負荷	時間負荷	耗費精力	表現績效	挫折程度			答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題誤差	時間

交叉表 卡方顯著
Cramer's V 中度關聯顯著
U20 正確人數 (27/ 36)
U21 正確人數 (35 / 36)

獨立t檢定顯著
p=0.047
U30:37.71秒
U31:28.99秒



時間	Q6三 變項- 視覺 搜尋	三 變 項 任 務
答題 誤差		
時間	Q5第 三變 項-視 覺搜 尋	
答題 誤差		

實驗一分析:冗餘編碼是否有用

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

	平均值(標準差)		自由度	t值	p
	U2-0 無冗餘編碼 (N=36)	U2-1 有冗餘編碼 (N=36)			
(Q1-Q3)正確率	0.77 (.26)	0.75 (.24)	70	-0.31	0.757
Q4誤差絕對值	4.94 (7.37)	4.75 (8.03)	70	-0.107	0.915
Q1任務時間(秒)	63.98 (62.91)	53.48 (44.77)	70	-0.816	0.417
Q2任務時間(秒)	35.35 (27.38)	30.73 (20.65)	70	-0.809	0.421
Q3任務時間(秒)	36.55 (21.88)	31.12 (13.95)	59.42	-1.258	0.213
Q4任務時間(秒)	86.99 (50.74)	81.06 (48.34)	70	-0.508	0.613
任務總時間(秒)	222.88 (107.65)	196.38 (73.29)	70	-1.221	0.226
心理負荷	56.11 (26.19)	57.50 (27.37)	70	0.22	0.827
生理負荷	47.50 (30.06)	53.33 (30.96)	70	0.811	0.42
時間負荷	50.69 (28.06)	59.17 (26.12)	70	1.326	0.189
表現績效	58.75 (20.33)	53.61 (24.97)	70	-0.957	0.342
耗費精力	52.22 (26.44)	63.06 (25.95)	70	1.755	0.084
挫折程度	39.58 (28.32)	46.53 (31.82)	70	0.978	0.331

	平均值(標準差)		自由度	t值	p
	U3-0 無冗餘編碼 (N=36)	U3-1 有冗餘編碼 (N=36)			
(Q1-Q3)正確率	0.81(0.27)	0.75(0.24)	70	-0.91835	0.362
Q4誤差絕對值	3.47(5.47)	4.08(4.56)	70	0.514486	0.609
Q5誤差絕對值	12.11(20.56)	10.72(16.17)	70	-0.31857	0.751
Q6誤差絕對值	2.78(3.63)	3.06(3.85)	70	0.315274	0.753
Q1任務時間(秒)	54.64(34.19)	55.66(53.04)	70	0.096695	0.923
Q2任務時間(秒)	32.88(19.41)	29.15(22.76)	70	-0.74892	0.456
Q3任務時間(秒)*	37.72(23.11)	28.99(11.3)	50.81771	-2.03506	0.047
Q4任務時間(秒)	90.81(46.61)	89.44(50.03)	70	-0.12053	0.904
Q1-Q4任務總時間(秒)	216.06(80.11)	203.24(79.22)	70	-0.68247	0.497
Q5任務時間(秒)	87.28(51.97)	92.19(56.59)	70	0.383933	0.702
Q6任務時間(秒)	82.56(51.78)	76.07(43.63)	70	-0.57474	0.567
心理負荷	50.69(28.03)	53.47(28.58)	70	0.4163	0.678
生理負荷	37.5(27.24)	48.33(29.5)	70	1.618869	0.11
時間負荷	46.67(25.94)	48.06(27.03)	70	0.222459	0.825
表現績效	58.47(20.66)	56.81(26.05)	70	-0.30074	0.765
耗費精力	45.56(26.18)	55.42(27.16)	70	1.568423	0.121
挫折程度	39.72(23.08)	41.11(30.64)	65.04929	0.217239	0.829

實驗一分析:冗餘編碼是否有用

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

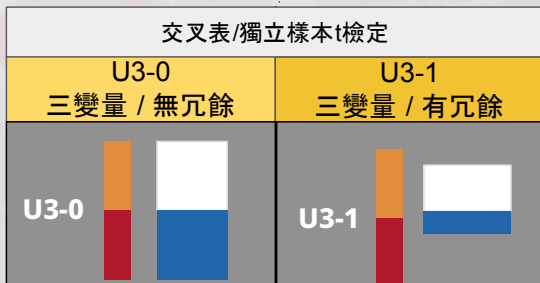
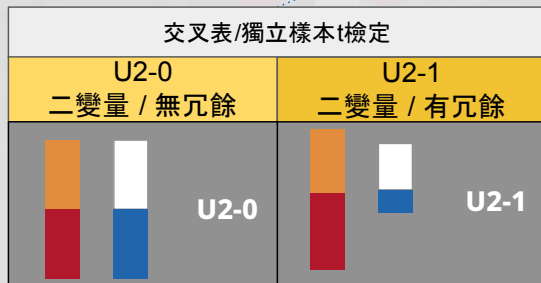
冗餘編碼影響

- 顯著幫助二變項差異趨勢判斷的答題表現
- 顯著降低二變項差異的任務時間
- 增加認知負荷(不顯著)
- 降低任務表現(不顯著)
- 降低任務時間 (不顯著)

介面整體						二變項任務(主觀與客觀熱舒適度)									
工作負荷						答題時間	正確率	Q1單變項 趨勢偵測		Q2雙變項 趨勢偵測		Q3雙變項 基本任務-查找		Q4雙變項 異常值視覺搜尋	
心理負荷	生理負荷	時間負荷	耗費精力	表現績效	挫折程度			答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題誤差	時間

交叉表 卡方顯著
Cramer's V 中度關聯顯著
U20 正確人數 (27/ 36)
U21 正確人數 (35 / 36)

獨立t檢定顯著
p=0.047
U30: 37.71秒
U31: 28.99秒



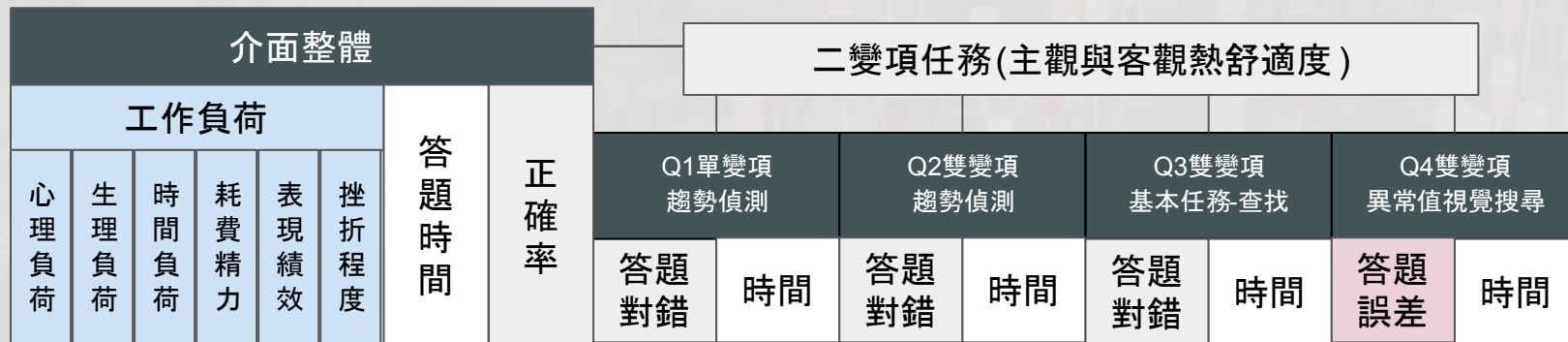
時間	Q6三變項-視覺搜尋	三變項任務
答題誤差	Q5第三變項-視覺搜尋	
時間	Q5第三變項-視覺搜尋	
答題誤差	Q5第三變項-視覺搜尋	

實驗一分析:介面設計

2.第三變量是否影響任務表現

實驗一分析:第三變量是否影響任務表現

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元



成對T檢定顯著
 $p=0.019$
U20:47.5
U30:37.5

成對T檢定顯著
 $p=0.047$
U20:52.2
U30:45.5

成對T檢定顯著
 $p=0.012$
U21:59.17
U31:48.06

McNemar 檢定/成對樣本t檢定

U20

二變量 / 無冗餘



U2-0

U3-0

三變量 / 無冗餘



U3-0

McNemar 檢定/成對樣本t檢定

U2-1

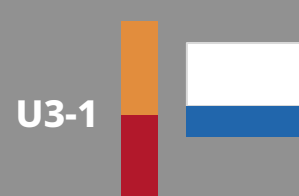
二變量 / 有冗餘



U2-1

U3-1

三變量 / 有冗餘



U3-1

實驗一分析:第三變量是否影響任務表現

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

	平均值 (標準差)		自由度	t值	p
	U2-0 (N=36)	U3-0 (N=36)			
(Q1-Q3)正確率	0.769(0.262)	0.806(0.269)	35	-0.598	0.554
Q4誤差絕對值	4.944(7.368)	3.472(5.475)	35	1.035	0.308
Q1任務時間 (秒)	63.978(62.905)	54.643(34.186)	35	0.850	0.401
Q2任務時間 (秒)	35.351(27.376)	32.885(19.409)	35	0.453	0.654
Q3任務時間 (秒)	36.554(21.878)	37.718(23.112)	35	-0.270	0.788
Q4任務時間 (秒)	86.999(50.737)	90.814(46.613)	35	-0.509	0.614
任務總時間 (秒)	222.881(107.652)	216.06(80.114)	35	0.406	0.688
心理負荷	56.111(26.189)	50.694(28.034)	35	1.373	0.179
生理負荷*	47.5(30.059)	37.5(27.242)	35	2.470	0.019
時間負荷	50.694(28.06)	46.667(25.939)	35	1.057	0.298
表現績效	58.75(20.332)	58.472(20.661)	35	0.084	0.933
耗費精力*	52.222(26.443)	45.556(26.18)	35	2.064	0.047
挫折程度	39.583(28.319)	39.722(23.082)	35	-0.045	0.965

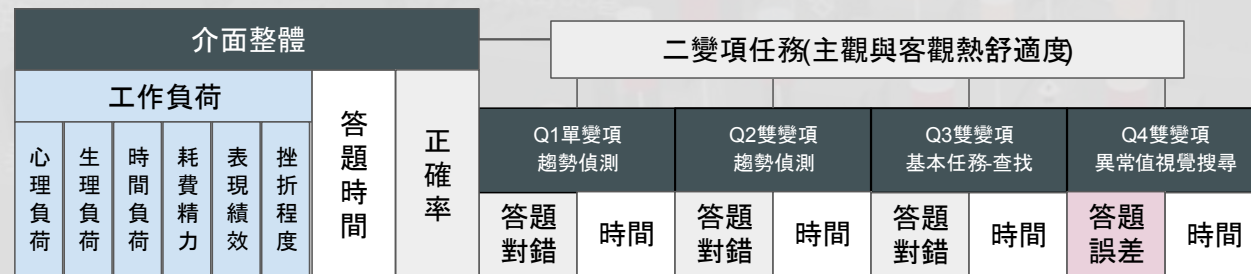
	平均值 (標準差)		自由度	t值	p
	U2-1 (N=36)	U3-1 (N=36)			
(Q1-Q3)正確率	0.75(0.244)	0.75(0.244)	35	0.000	1.000
Q4誤差絕對值	4.75(8.03)	4.083(4.563)	35	0.559	0.580
Q1任務時間 (秒)	53.478(44.768)	55.66(53.04)	35	-0.181	0.858
Q2任務時間 (秒)	30.729(20.655)	29.151(22.758)	35	0.416	0.680
Q3任務時間 (秒)	31.115(13.948)	28.993(11.296)	35	0.694	0.492
Q4任務時間 (秒)	81.061(48.342)	89.44(50.029)	35	-0.751	0.458
任務總時間 (秒)	196.383(73.29)	203.244(79.219)	35	-0.423	0.675
心理負荷	57.5(27.373)	53.472(28.581)	35	1.380	0.176
生理負荷	53.333(30.961)	48.333(29.496)	35	1.375	0.178
時間負荷	59.167(26.118)	48.056(27.026)	35	2.656	0.012
表現績效	53.611(24.975)	56.806(26.054)	35	-0.872	0.389
耗費精力	63.056(25.947)	55.417(27.16)	35	2.020	0.051
挫折程度	46.528(31.821)	41.111(30.639)	35	1.884	0.068

實驗一分析:第三變量是否影響任務表現

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

第三變量影響

- 顯著降低部分認知負荷
- 提升部分任務時間
(不顯著)
- 其他認知負荷多也下降
(不顯著)
- 較高的正確率較低誤差
(不顯著)



成對T檢定顯著
 $p=0.019$
U20:47.5
U30:37.5

成對T檢定顯著
 $p=0.047$
U20:52.2
U30:45.5

成對T檢定顯著
 $p=0.012$
U21:59.17
U31:48.06

McNemar 檢定/成對樣本檢定

U20
二變量 / 無冗餘

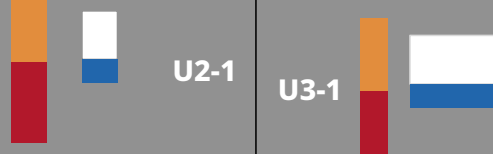
U3-0
三變量 / 無冗餘



McNemar 檢定/成對樣本檢定

U2-1
二變量 / 有冗餘

U3-1
三變量 / 有冗餘



實驗一分析:U3設計較U2佳, 是否比 U1好

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

實驗一分析:介面設計

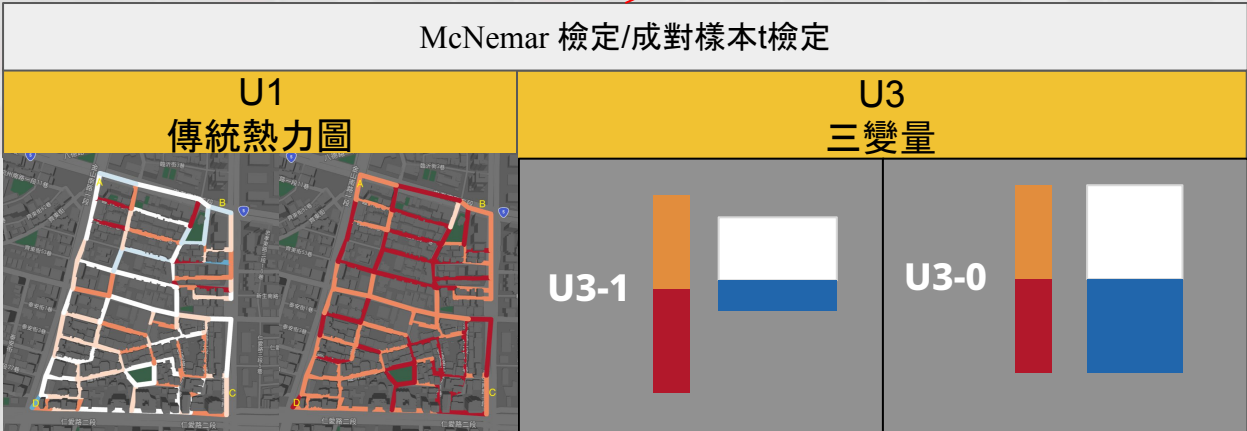
3. U3設計較U2佳, 是否比 U1好

實驗一分析:U3設計較U2佳, 是否比 U1好

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

介面整體						二變項任務(主觀與客觀熱舒適度)									
工作負荷						答題時間	正確率	Q1單變項 趨勢偵測		Q2雙變項 趨勢偵測		Q3雙變項 基本任務-查找		Q4雙變項 異常值視覺搜尋	
心理負荷	生理負荷	時間負荷	耗費精力	表現績效	挫折程度			答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題誤差	時間

僅使用 UI order 132 & 312
(N=24)
成對T檢定顯著 $p=0.007$
U1:7.63 **U3:2.58**



實驗一分析:U3設計較U2佳, 是否比U1好

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

	平均值(標準差)		自由度	t值	p
	U1 (N=24)	U3 (N=24)			
(Q1-Q3)正確率	0.764(0.286)	0.778(0.212)	23	-0.214	0.833
Q4誤差絕對值	7.625(8.566)	2.583(1.717)	23	2.990	0.007
Q1任務時間(秒)	42.987(26.061)	53.883(34.866)	23	-1.371	0.184
Q2任務時間(秒)	39.145(21.328)	32.885(19.89)	23	1.546	0.136
Q3任務時間(秒)	35.655(17.367)	28.512(12.135)	23	1.655	0.112
Q4任務時間(秒)	97.701(57.661)	93.614(47.742)	23	0.334	0.741
任務總時間(秒)	215.488(72.363)	208.893(75.389)	23	0.333	0.742
心理負荷	65.417(17.749)	58.125(23.628)	23	1.469	0.155
生理負荷	50(27.702)	46.875(25.826)	23	0.694	0.495
時間負荷	55.208(25.172)	51.667(25.438)	23	0.489	0.630
表現績效	57.5(20.589)	59.583(18.934)	23	-0.394	0.697
耗費精力	64.583(21.964)	54.792(21.693)	23	1.646	0.113
挫折程度	51.25(23.51)	44.583(19.556)	23	1.523	0.142

實驗一分析:U3設計較U2佳, 是否比 U1好

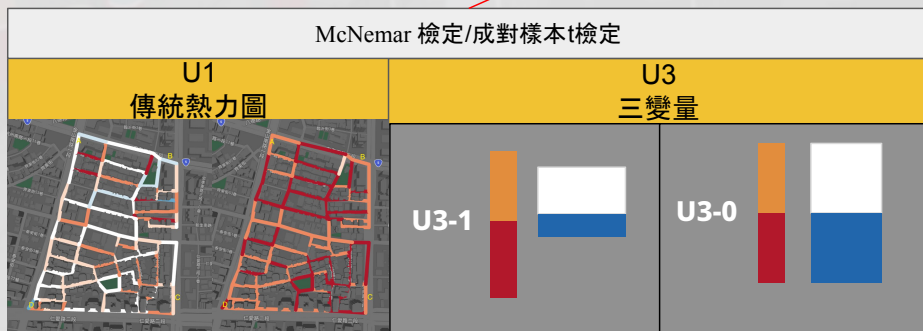
城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

新設計相較傳統熱力圖

- 顯著降低答題誤差
- 任務時間下降(不顯著)
- 認知負荷下降(不顯著)
- 正確率提升 (不顯著)

介面整體						二變項任務(主觀與客觀熱舒適度)									
工作負荷						答題時間	正確率	Q1單變項趨勢偵測		Q2雙變項趨勢偵測		Q3雙變項基本任務-查找		Q4雙變項異常值視覺搜尋	
心理負荷	生理負荷	時間負荷	耗費精力	表現績效	挫折程度			答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題誤差	時間

僅使用 UI order 132 & 312
(N=24)
成對T檢定顯著 $p=0.007$
U1:7.63 **U3:2.58**



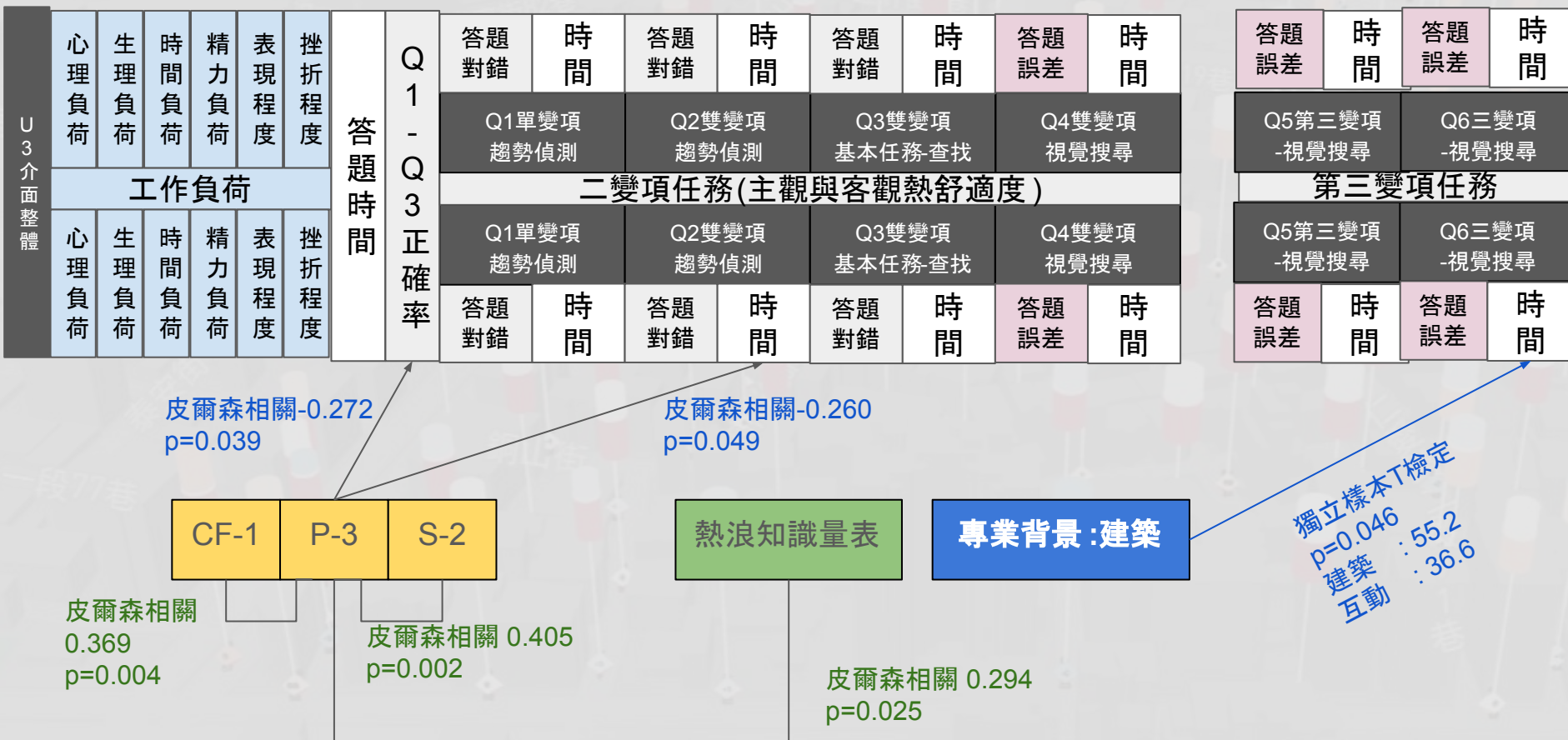
實驗二分析:不同專業能力背景樣本 U3表現差異

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

實驗二分析:通用性 不同專業能力背景樣本 U3表現差異

實驗二分析:不同專業能力背景樣本 U3表現差異

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元



實驗二分析:不同專業能力背景樣本 U3表現差異

城市熱舒適度資訊視覺化地圖基於位置的多重編碼圖元

認知能力 P速度

- 與其他能力顯著相關
- 並與答題正確率呈現負相關 / 答題速度越快, 正確率越低

熱浪知識量表

- 無顯著差異

專業背景

- 建築系顯著花更多時間在綜合任務

U 3 介面整體	心理負荷	生理負荷	時間負荷	精力負荷	表現程度	挫折程度	答題時間	Q 1 - Q 3 正確率	答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題誤差	時間		
	工作負荷								Q1單變項趨勢偵測				Q2雙變項趨勢偵測		Q3雙變項基本任務-查找		Q4雙變項視覺搜尋	
	二變項任務(主觀與客觀熱舒適度)																	
	工作負荷								Q1單變項趨勢偵測				Q2雙變項趨勢偵測		Q3雙變項基本任務-查找		Q4雙變項視覺搜尋	
	心理負荷	生理負荷	時間負荷	精力負荷	表現程度	挫折程度			答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題對錯	時間	答題誤差	時間		

答題 誤差	時間	答題 誤差	時間
Q5第三變項 -視覺搜尋		Q6三變項 -視覺搜尋	
第三變項任務			
Q5第三變項 -視覺搜尋		Q6三變項 -視覺搜尋	
答題 誤差	時間	答題 誤差	時間

皮爾森相關-0.272
p=0.039

皮爾森相關-0.260
p=0.049

皮爾森相關
0.369
p=0.004

皮爾森相關 0.405
p=0.002

皮爾森相關 0.294
p=0.025

獨立樣本T檢定
P=0.046
建築 : 55.2
互動 : 36.6

討論

新設計如何設計最有效?

新設計是否比現有的更有效?

環境特徵與多變項多重編碼
可能增加認知負荷與視覺負荷增加

是不是對每個人都相同有效?

地圖的閱讀能力主要會受到上下文
以及觀看者的專業及熟練程度影響
(若林芳樹 & 陳嫻若, 2020)

介面差異

傳統
與
新設計

變項
數量

編碼
數量

通用性

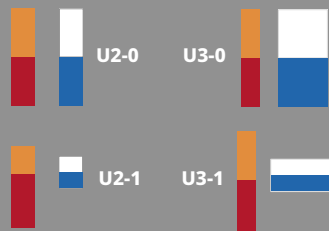
視覺
能力

專業
背景

背景
知識

討論

介面設計差異



新圖元介面如何設計最有效?

冗餘編碼設計

顯著提升雙變量趨勢任務表現及雙變量差異比較時間，但不顯著地增加認知負荷與錯誤率。

受訪者反映僅專注在顏色，無發現冗餘編碼。

顏色最直覺 / 任務提示指引 / 對於編碼理解不足 / 雜訊

第三變量U3 -便捷值 (編碼於寬度)

與任務題目 Q1-Q4 並無直接關聯，卻能顯著改善認知負荷，與不顯著的降低任務時間與提升正確率。

增加顏色判斷面積

隱性上下文、地標

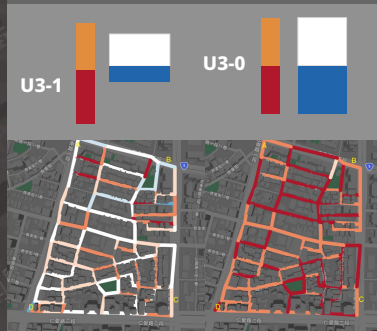
Q5Q6便捷值相關任務

透視不太易辨識細部差異 ;希望尺寸也能有分級

冗餘編碼更於困難 (但量化統計上無顯著差異)

討論

介面設計差異



通用性

新設計是否更有效?

- 顯著降低異常值查找的答題誤差
- 任務時間下降(不顯著) 認知負荷下降(不顯著) 正確率提升(不顯著)
- 單變量的趨勢偵測仍是傳統熱力圖較優勢(不顯著)
- 對於基礎的判讀任務無顯著負向影響

是不是對每個人都相同有效?

- 專業背景在認知能力與任務表現皆無顯著差異, 僅在綜合 查找題目建築背景顯著更費時;推測與答題策略相關。
- 熱浪知識無顯著相關, 可能在任務設計上無直接與環境知識相關。
- 認知能力僅速度對正確率有負相關。

結論

新圖元介面設計有效且具通用性

可以在具有空間特徵的3D空間中呈現主客觀熱舒適度與及呈現第三變項便捷直，並且不顯著負面影響基礎兩變項任務。有效強化熱環境異常分布之整合判讀。

在建築背景與設計背景的大學生幾乎無顯著差異。

冗餘編碼設計

雙變量同時做冗餘編碼可提升雙變量趨勢任務表現及差異比較任務時間，但須留意可能增加認知負荷。

其他圖元設計建議

密集且外觀相似圖元設計，加入其他空間變項編碼，可降低認知負荷。

研究限制與未來研究

研究限制

- 任務語意存在導引
- 實驗二樣本背景侷限大學生

尚未驗證

- 圖元下半部變量的區域辨識能力
- 實際空間特徵應用比較
- 便捷值變項寬度編碼任務判讀的認知負荷

未來研究

- 一般大眾取向行動裝置的可用性
- 不同視域範圍可用性
- 時序 / 高度 / 即時資料的可用性
- (上下圖元)不同單位數據的可用性