



國立臺灣大學理學院心理學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Psychology

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

視線感知即時翻譯工具的開發與評估

The Development and Evaluation of a Gaze-aware
Real-time Translation Tool

李宜軒

Yi-Hsuan Lee

指導教授：葉怡玉博士

Advisor : Yei-Yu Yeh, Ph.D.

中華民國 106 年 6 月

June, 2017



摘要

閱讀第二語言的文章時，讀者常需即時的翻譯，以便理解篇章內容。針對此需求，過去研究試圖以眼球追蹤來反映讀者的心智運作，並由此推算讀者當下的需求，俾利閱讀流暢，增進體驗。然而，過去的即時翻譯研究多以固定閾值做為是否提供協助的準則，並未考慮閱讀行為的個別差異。此外，研究多以主觀報告為評估標準，缺乏客觀的資料佐證。是故本研究模擬視線感知翻譯工具原型，參照心理學於眼動與閱讀的發現，採用眼動控制數學模型中詞彙特性與凝視時間的計算邏輯，分別以停滯時間與回視眼跳為顯示時機的計算方式，並提供中文翻譯與無意義刺激，以觀察因應閱讀偏差而觸發的註解，如何影響個體的眼動表現、認知負荷及閱讀策略。結果顯示系統主動呈現之「中文翻譯」顯著增進閱讀理解、降低工作負荷，卻也同時改變使用者的閱讀策略，包括延長凝視時間、減少略視現象、增加再閱讀的比例等。再者，目標詞的詞頻高低亦與其是否會被凝視、被反向閱讀有關。根據整體與區域性眼動指標，基於個人化的停滯時間所提供的註解對於詞彙處理歷程具明顯助益。本研究歸納視線互動之設計指南供後人參考，而此實驗結果能否應用至真實場域或各式載具上，尚待未來研究進一步釐清。

關鍵詞：即時翻譯、注意力感知系統、視線互動、眼球追蹤、眼動誘發回饋

The Development and Evaluation of a Gaze-aware Real-time Translation Tool



Yi-Hsuan Lee

Abstract

Non-native speakers often need instant translation for comprehending documents in foreign language. To meet this need, prior research has attempted to map users' eye movement to cognitive processes for recognizing their intention in real-time and improving the reading experience. However, recent research in gaze-based interaction mostly used fixed dwell-time as the threshold to determine whether or not to provide assistance. This approach ignores individual differences in reading behavior.

Moreover, the benefits of gaze-contingent feedback were based on subjective evaluation so that the impact on objective performance is still missing. This study developed a gaze-aware instant translation prototype based on the psychological aspects of eye movements in reading by incorporating a mathematical model of eye-movement control in reading for computing fixation durations as a function of lexical difficulty. The system automatically provided Chinese translations or a meaningless X mask based on dwell-time or regressive saccades to investigate how the annotations triggered by deviation in reading pattern affect a user's eye movements, cognitive load and comprehension accuracy. The results showed that proactive translations could improve reading comprehension and reduce cognitive load. Instant annotations also influence a user's reading strategy, including prolonging fixation durations, decreasing skipping rate and increasing regression rate. Furthermore, the frequency of the target words was related to their fixation patterns. According to global and local

eye-movement measures, the annotations provided based on personalized thresholds of dwell time were significantly helpful for word processing. Considering the methodological issues and observed results, this thesis suggests design guidelines and recommendations for developing gaze-aware reading applications. Future research could investigate whether a personalized gaze-aware annotation could be applied to the real-world settings or adapted to different devices.

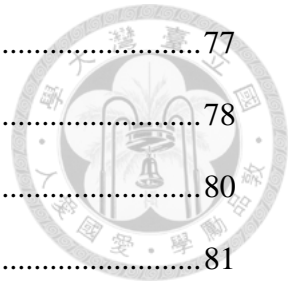
Keywords: Attention Aware System, eye tracking, gaze-based interaction, gaze-contingent feedback, real-time translation

目次



第壹章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	3
第貳章 文獻回顧.....	5
第一節 眼動之特性與困境.....	6
第二節 視線互動之發展與應用.....	8
第三節 視線感知系統.....	12
第四節 眼動於閱讀.....	16
第五節 眼動控制數學模型.....	19
第六節 瞳孔與認知負荷.....	22
第參章 前測：使用者訪談.....	24
第肆章 實驗方法與設計.....	27
第一節 實驗準備.....	28
第二節 量測指標與定義.....	35
第伍章 分析結果.....	38
第一節 感知系統使用情形.....	38
第二節 篇章閱讀的眼動表現.....	41
第陸章 討論與問題.....	51
第一節 綜合討論.....	51
第二節 設計指南.....	56
第三節 研究限制與建議.....	59
參考文獻.....	63
附錄.....	77

附錄一	實驗材料範例.....	77
附錄二	語言經歷與語言水平問卷 (LEAP-Q)	78
附錄三	系統易用性量表 (System Usability Scale, SUS)	80
附錄四	產品反應卡 (Product reaction cards)	81
附錄五	各主要效果統計摘要表.....	82



表目次



表 1	語言經歷問卷結果	29
表 2	語言水平問卷結果	29
表 3	總閱讀時間在各詞頻區間的觀察值、預測值及校正值	39
表 4	目標詞在各情境之註解觸發狀況平均值與標準差	40
表 5	目標詞在各情境之整體性眼動指標平均值與標準差	42
表 6	目標詞在各情境之凝視時間平均值與標準差	45
表 7	目標詞在各情境之凝視比例平均值與標準差	48
表 8	各主要效果在註解觸發狀況與整體性眼動指標的顯著性	50
表 9	各主要效果在區域性眼動指標的顯著性	50

圖目次



圖 1：視線互動應用光譜	10
圖 2：SWIFT 模型預測之詞彙特性與凝視指標關係.....	22
圖 3：實驗文本之 SWIFT 模型預測結果	31
圖 4：實驗文本之興趣區劃分	32
圖 5：註解顯示時機的計算方式	32
圖 6：眼動實驗程序	35
圖 7：總閱讀時間在各詞頻區間的平均閾值校正值	39
圖 8：各情境之註解觸發狀況平均值及標準誤	41
圖 9：各情境之整體性眼動指標與理解題正確率平均值及標準誤	43
圖 10：高低頻字在各情境之早期凝視時間平均值及標準誤	46
圖 11：高低頻字在各情境之晚期凝視時間平均值及標準誤.....	46
圖 12：高低頻字在各情境之早期凝視比例平均值及標準誤	49
圖 13：高低頻字在各情境之晚期凝視比例平均值及標準誤	49
圖 14：程式判定緩衝區示意圖	58



第壹章 緒論

第一節 研究動機

多語言 (multilingual) 是現今社會普遍的現象，尤其身處在以英文為外語 (English as a foreign language, EFL) 的學習環境中，詞彙辨識實屬閱讀理解的必要條件。為了吸收並傳播資訊、或與無共通母語者交流，吾人勢必得想方設法突破語言的隔閡。就臺灣的學制而言，一般從大學階段便開始採用英語化教學，逐步接觸真實語料 (authentic material) 教材，且要求聽、說、讀、寫等面向具備相當程度的能力。特別是「閱讀」最為關鍵，舉凡教科書、論文或網路資源無一不參雜英文詞彙，倘若讀者沒辦法正確地解析、整合之，將嚴重阻礙專業知識的培養。是故當前的趨勢為，學生應視能以英語為工具，學習並擴展各領域學科範疇為目標，除了建立常識性的素養外，更鼓勵其多涉略專業英語 (English for Specific Purpose, ESP)。

無論是學術或職場生涯，有效率地處理英文資訊儼然成為必備技能。但在語言水平尚未達標前，眾人通常會尋求閱讀輔助工具，諸如紙本辭典、電子辭典、線上翻譯服務或語料庫等。透過跨語言的資訊檢索，將非母語的文本翻譯為自身能夠理解的語句，進而消除字面上的限制。因此「翻譯」可說是語言及文化之間的溝通媒介，能建立友善的互動基礎，以提升資訊獲取的品質，同時促進學習的成效。不過，各工具的特性與使用方法截然不同，舉前二者為例，讀者需先選擇檢索方式，再依據該索引查詢字詞所對應的頁碼或排序，始能閱覽補充說明。正因其程序繁複、體積笨重且不易更新的缺點，故而日漸式微；相對地，雖然比起編譯精良的工具用書，線上資料庫的取材未必較嚴謹、內容未必較豐富、翻譯也未必較精準，但是其提供了立即性的協助。使用者能隨手查閱艱澀詞彙，取得堪用的註解，促使閱讀歷程持續進行，以致後二者的普及

率遠高於實體辭典。


之所以虛擬服務優於其他傳統工具，原因在於其分擔了查找生字的成本——減少欲記憶的事項，也精簡人工篩選的步驟，好讓認知資源投注在主要作業上。然而，現有的輔助功能仍未全然滿足閱讀需求。由於學習環境下所面對的任務龐雜且多元，又經常同時開啟多個電子文件相互參照。此時，線上翻譯服務往往隱沒在眾多瀏覽器分頁中，讀者免不了一再轉換情境，造成理解歷程中止。有鑑於此，程式使用者與開發者各自衍生出因應對策：使用者會並排或重疊作業區，甚至將重要文件列印出紙本，在電腦與桌面上依輕重緩急安排位置與分工，減少「閱讀」與「查詢」彼此干擾的可能性；另外，開發者則推出擴充套件（browser extensions），即時翻譯游標所框選的目標字詞，並藉由彈出式視窗顯示註解內容，以規避複製貼上、切換頁面等例行公事。再者，眼見外界的資訊量日益遽增，常導致學習者力有未逮，故理想的翻譯工具已不僅要克服語言差異，還得兼顧使用者的工作負荷。因此，近年相繼出現語音、影像翻譯服務，借助自動辨識技術降低閱讀非母語文本的困擾。

而類似的閱讀輔助工具不勝枚舉，尤其隨著眼球追蹤技術成熟，學界拋出非指令型使用者介面（Noncommand User Interfaces）概念，相信內隱（implicit）的互動元件將改良人們習以為常之 WIMP 環境，即由視窗（Windows）、圖標（Icons）、選單（Menus）及指標（Pointer）所構成的圖形介面（Graphical User Interfaces）典範。認為視線互動普遍應用於人機介面指日可待（Jacob, 1993; Nielson, 1993）。於是陸續漸有研究著墨於如何透過眼動增強閱讀體驗，如 Reading Assistant（Sibert, Gokturk, & Lavine, 2000）、iDict（Hyrskykari, 2006）、Text 2.0（Biedert, Buscher, Schwarz, Hees, & Dengel, 2010）、eyeBook（Biedert, Buscher, & Dengel, 2010）、eyePad（Hosseiny, Biedert, Dengel, & Buscher, 2011）等原型，以網頁瀏覽器的外掛程式與眼動儀互動，配合使用者閱讀狀況給予註解或補充內容。甚或如 Toyama 等人（2014）應用在

混合實境的頭戴式顯示器 (head-mounted displays, HMD) 上，企圖發展凝視翻譯 (gaze to translate) 的雛形。由於眼球運動契合注意力與視覺編碼等機制，又閱讀行為牽涉內在認知運作，實務者樂觀看待其能增進訊息整合並紓解認知負荷。然而，現階段研究著重在系統規劃、原型測試與評估，鮮少針對新的互動概念做嚴謹檢驗，且幾乎未參考心理學相關文獻，故本論文欲結合視線互動與即時翻譯功能，探究此科技對作業表現的影響是否符合學者預期，並且觀察母語註解如何涉入外語的閱讀理解歷程和對應的眼動變化。

第二節 研究目的

本研究自行設計視線感知閱讀輔具 (gaze-aware reading aid) 原型，模擬視線互動於翻譯功能的應用。藉由眼動誘發回饋 (gaze-contingent feedback) 機制，使註解同步呈現在視野範圍內，且透過數學模型預測各英文詞彙的凝視時間，以此辨認使用者閱讀表現是否偏差。若有協助之需求，電腦將自動給予目標字翻譯，簡化手動查詢辭典的步驟。此系統的訴求正是由感測器主動接收使用者的眼動表現，推測其主觀認知與行為，以內隱的人機互動型態進行作業，省略外部指令輸入，讓整體任務更加順暢且合乎心理狀態。能否精確判斷使用者意圖、抓準母語翻譯呈現時機乃注意力感知系統 (attention-aware system) 的成敗關鍵。但先前研究 (Sibert et al., 2000; Biedert et al., 2010) 多由開發者任意設定固定閾限 (如 360 或 750 毫秒) 或為版權軟體 (closed-source software) 無從得知 (Hosseiny et al., 2011)。未見其植基於實證理論，運用詞彙特性與凝視表現之關聯性推算使用者的閱讀行為。更以眼動儀取樣率和指標鑑別度低為由，不採用空間變項—逆向眼跳為判斷基準 (Hyrskykari, 2006)，縱使逆向眼跳現象普遍伴隨著理解困難而發生。且皆宣稱某種程度上克服可控性及準確性問題，促進任務表現與閱讀體驗，可惜的是其並無針對效果做客觀描述和討論。再者，前述系統涉及心理學於眼動與閱讀的議題，目前已知的語言處理與眼球



運動歷程理應可做為後續設計方案的參考依據。故本研究目的係探討視線互動對眼動、認知負荷與閱讀理解的影響，欲操弄註解顯示內容與顯示時機的計算方式，分別為「有意義的中文翻譯」或「無意義的 X's 字串」、以及「基於停滯時間 (dwell-time)」或「基於回視眼跳 (regression)」為閾值的狀況。從中觀察人們如何同時以眼睛接收訊息又與電腦互動，並分析整體篇章及個別詞彙上的眼動變化，以探究註解對整體任務、單一詞彙處理的影響。另外，為瞭解註解的影響是否僅限於生澀詞彙，亦將檢視各情境下高、低頻字之閱讀歷程的差異。詳細研究問題如下：

- 一、中文翻譯是否會影響閱讀效率？若會，則對整體任務與區域性單一詞彙處理的影響為何？
- 二、註解時機是否會影響閱讀效率？若會，則基於凝視或回視的差異為何？
- 三、註解對高、低頻字的影響是否不同？若有，則區域性單一詞彙處理上的差異為何？

第貳章 文獻回顧



眼球追蹤技術 (eye tracking technology) 日漸成熟，軟硬體皆以驚人的速度發展，促使相關應用不再侷限於心理學研究，擴及神經科學、人因工程、行銷廣告與電腦科學等領域 (Duchowski, 2002, 2007)。以往因設備規格、程式撰寫與資料分析門檻而卻步，僅有少數學術單位足以應付；如今隨著此技術逐漸親民、設計愈趨完善，無論理論或實務上已經累積相當可觀的研究成果。

正因為眼球追蹤技術提供自然且即時的生理量測，諸如凝視 (fixation)、眼跳 (saccade)、視線軌跡 (scanpath) 或瞳孔尺寸 (pupil size)，有助於探討個體的知覺與認知處理歷程。常用以推論視覺搜尋 (visual search)、場景知覺 (scene perception)、聽覺語言處理 (auditory language processing)、問題解決 (problem solving) 及訊息處理作業中視覺所扮演的角色，尤其閱讀 (reading) 為學界矚目的研究主題 (Rayner, 1998)。除了如上述做反映與評估之用，隨著近年平價眼動儀的可用性與易用性獲穩定改善，學者認為視線互動 (gaze-based interaction) 終究將晉升為標準的人機介面之一 (Jacob, 1993, 2006)，且預期消費性電子產品將搭載感測器，俾利後續服務因應使用者感官而設計。

即使被視為極具前景的互動途徑，直至今日尚未實現普及化的承諾 (Jacob & Karn, 2003)，眼球追蹤技術於人機互動的應用仍面臨不少挑戰，如何符合使用者需求並增進其表現是當前首要的課題。據 Rayner (2009) 的回顧，眼動牽涉知覺、注意力、訊息處理及動眼控制 (oculomotor control) 等機制。心理學擅長從眼動型態瞭解行為背後的認知運作，然而，參照前述實證研究的應用屈指可數。故此章節首先闡明視線輸入 (gaze input) 的特性與困境，再回顧與視線相關的互動派典 (interaction paradigm)、探討詞彙處理歷程與眼動型態的關聯性，最後說明眼動運用在閱讀作業的優勢。本論文欲借助閱讀心理學之數學模型，試圖解決視線互動有關可控性 (controllability) 的問題，同時，探究新

式人機互動對使用者閱讀理解的影響。




第一節 眼動之特性與困境

Sibert 與 Jacob (2000) 認為視線輸入堪稱有用、方便的人機互動媒介，凝視非但顯現視覺注意力焦點，也意味著採取行動前的準備工作，故主張「眼動」為可靠的訊息來源，又指出「動眼」比起操作滑鼠更加省力、迅速且易學。尤其視覺搜尋機制與眼球運動密不可分，其益處在選擇作業 (selection task) 上格外顯著，由於消弭手眼協調 (eye-hand coordination) 所附帶的反應延遲，游標定位耗時近乎手動的一半，同時得以緩解肢體動作的疲勞感。相較其他輸入裝置，眼動是唯一隱含使用者動機、想法及行為的管道，倘若妥善運用此一特性，將能順利地取代如打字、點擊或切換等例行操作。

然而，正如部分研究 (Jacob, 1991; Majaranta & Rähä, 2002) 所示，視線互動仍未克服準確性與可控性的障礙，實現所見即所得 (what you look at is what you get) 的理想效果。畢竟做為知覺器官的眼睛有其天生限制，縱使移動速度再快，也須仰賴更大的標的物以提高容錯率 (Ware & Mikaelian, 1987)。歸咎眼動儀的取樣率與眼球不自主顫動，常使游標無法恣意調整，必須倚靠演算法 (algorithm) 做額外校正。再者，眼睛時時刻刻在運動且未曾閒置的特性，使系統判定使用者意圖的困難度遽增，即所謂點石成金 (Midas Touch) 難題—單就視線停留與否，無法確認使用者是否預期輸出指令，抑或是恍惚神遊而已。

人們容易受周邊刺激干擾，而遠離原先感興趣的區域，且眼球運動多屬無意識、自動化歷程。若欲選用視線為人機互動手段，系統勢必得回饋足夠的訊息，確保使用者不失去主控權且能應變潛在差錯。首先，為保持影像落在中央小窩 (fovea)，人腦必須執行穩定凝視點 (gaze stabilization mechanisms) 與轉移凝視點 (gaze shifting mechanisms) 的機制，包括輻奏運動 (vergence movements)、前庭眼反射 (vestibulo-ocular reflex)、視動震顫 (optokinetic



nystagmus)、跳視與平滑追瞄移動 (smooth pursuit movement)，即眼球反射或自主運動，調節其與頭部、物體三者之間的相對位置，確保凝視目標清晰且固定成像於視網膜上。在凝視期間亦有細微的眼動，諸如為克服神經適應、視覺消失現象的震顫 (tremor)，或因眼球控制系統不完美所致的漂移 (drift)，以及為修正前者誤差而產生的微跳視 (microsaccades) (Squire et al., 2012)。諸多機制使眼球無時無刻不運動，進而降低校正品質，表示實際與追蹤位置之間有些許像素的落差。舉例來說，以視線取代滑鼠的研究指出，校正不良時游標會在窩邊 (parafoveal) 視野閃爍，吸引眼球不斷追逐之，容易造成注意力渙散，並連累任務表現 (Jacob, 1995)，故使用者必須學會忽視游標或自行微調視覺策略以遷就其校準失真。據此，穩定平滑的操作體驗相當關鍵。針對眼球追蹤的不穩定性，學界常見的解法為規劃演算法與放寬位置公差 (positional tolerance)，前者屬於資訊工程領域專業，本論文在此不多深究；後者則是簡單地放大判定區塊，或設計動態變焦 (dynamic zooming)、魚眼鏡頭 (fish-eye lenses) 介面，增加視線抖動的容忍度，但其缺點在於沒辦法同時呈現多個目標，造成資訊架構冗餘、成效不彰 (Ashmore, Duchowski, & Shoemaker, 2005; Bates & Istance, 2002)。

此外，點石成金係視線互動應用中公認最棘手的挑戰。學界研擬並測試了不少應變措施，其中廣為人知的非「基於停滯時間」(dwell-time based) 機制莫屬，亦即藉由短暫延遲以區辨不經意掃視與自主控制。唯有凝視時間超過閾值才觸發事件，雖然此法有效地迴避誤解，卻也拖累人機互動的效率，是故後續發展的眼控介面皆可事先依任務要求、使用者嫻熟度或主觀舒適度調整閾限高低。譬如眼動打字專家僅需 300 毫秒決策，而新手則偏好 1000 毫秒做準備、確認或取消 (Majaranta, Ahola, & Špakov, 2009; Majaranta, 2011)。在校正不甚精準的情況下，視線手勢 (gaze gesture) 亦是泛用的折衷方案，即預設特定區塊或動作代表基本指令。使用者便能利用符合規律的眼睛筆劃 (eye strokes) 或模擬

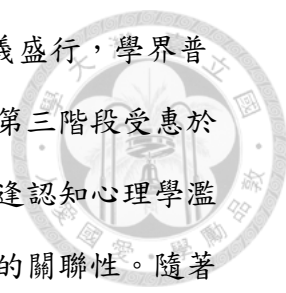


手搖桿 (joystick)，甚至借助螢幕外的感測器操作系統 (Isokoski, 2000; Drewes & Schmidt, 2007)。同樣地，Skovsgaard 等人 (2011) 則採用視線啟動 (gaze-initiate) 輔以其他互動管道做覆核，諸如口語 (Miniotas, Špakov, Tugoy, & MacKenzie, 2006)、皺眉 (Surakka, Illi, & Isokoski, 2004)、眨眼 (Ohno, Mukawa, & Kawato, 2003)、觸控 (Stellmach & Dachselt, 2012) 或頭動 (Špakov & Majaranta, 2012) 確認。或如 Zhai、Morimoto 及 Ihde (1999) 提出之 MAGIC (Manual and Gaze Input Cascaded) 指向機制，退而求其次先讓眼動負責粗略定位，系統再據互動情境分析可能的熱點 (hot spot)，待游標鄰近預選區域時轉交由手動調整，藉此減少錯誤發生、疲勞的情形，且較單純地手動選擇更為敏捷。

可是，無論是預定義間隔或迫使附加步驟，皆徒增視線互動應用的複雜性，並考驗使用者的手眼協調能力。為了彌補其花費的多餘心力，前述研究又得額外設計視覺回饋，提示追蹤、辨識、運作等狀態，例如基於凝視的文本輸入裝置以顏色變化，強調當前的累積時間與預選字樣，即色彩愈飽和者愈接近閾限，藉此反饋系統處理進度 (Majaranta, MacKenzie, Aula, & Rähä, 2006)。由此可見，視線輸入的使用時機須權衡其準確度、可控性以及響應性 (responsiveness)。而本研究將採納閱讀心理學中興趣區 (region of interest, ROI) 的概念，以及凝視時間與詞彙特性的計算模型，從使用者行為本質發想如何應對視線互動之困境，詳細說明請見本章第四節。同時拋磚引玉，期許實務者跨領域合作、深掘學界既有的各項透徹研究。

第二節 視線互動之發展與應用

Rayner (1998) 總結近百年的眼動研究為三個紀元：第一階段可追溯至 1879 年 Javal 等人率先觀察閱讀歷程中眼球運動的基本現象，往後陸續發現眼跳、跳視抑制 (saccadic suppression)、跳視潛伏期 (saccade latency) 及知覺廣



度 (perceptual span) 等議題；第二階段 1930 年代正值行為主義盛行，學界普遍漠視認知處理歷程，多聚焦在行為表面或應用實務上；直到第三階段受惠於資訊科技突破、追蹤感測系統的穩定與精確度大幅躍進，又恰逢認知心理學濫觴，諸多實證與理論相繼提出，體現眼球運動與內在心智運作的關聯性。隨著互動應用的出現，Duchowski (2002) 認為二十一世紀起邁入第四紀元，依系統分析的角度區別診斷 (diagnostic) 與交互 (interactive) 兩類應用。前者係指藉由追蹤儀器間接地記錄客觀、量化的眼動資料，並用於事後分析評估，以瞭解實驗期間人們如何接收視覺訊息與其注意力型態，且此情境下刺激並不因視線而有所改變。相對地，後者則基於使用者眼動提供適切的反應，例如選擇性 (selective) 系統中將移動軌跡類比為指向裝置 (pointing device)，或如眼動誘發 (gaze-contingent) 系統運用注視渲染技術 (foveated rendering)，契合人眼成像特徵，營造清晰、沉浸的視覺體驗，同時降低電腦運算負荷、增加互動模式的穩定性。

然而，眼球追蹤技術的應用並非僅止於此，在與日俱增的計算能力助長之下，視線互動如雨後春筍般多元發展。它不僅限於操縱滑鼠游標，甚至用以標記注意力焦點，輔助資訊傳遞或提升任務表現。故 Hyrskykari、Majaranta 及 Riih  (2005) 就領域類別加以區分：一、人與裝置互動 (human-appliance interaction) 係指該系統偵測眼睛存在或視線接觸，促進與周遭物件的自然互動，如智慧家電藉此降低因候選對象過多、口語指令有限，而語音辨識錯誤的可能性 (Shell, Vertegaal, & Skaburskis, 2003)；二、人機互動 (human-computer interaction) 泛指運用眼動型態之應用，其提供系統適應用戶行為的可靠依據，甚或是感知使用情境及早預防或協助；三、人與人互動 (human-human interaction) 則將注視方向當作溝通線索，強調彼此所關心的癥結，增進社交活動或視訊會議的效率 (Vertegaal, Weevers, Sohn, & Cheung, 2003)，有助釐清疑問且建立共識。

學界針對視線互動的見解不盡相同，為彙整議題全貌 Majoranta 與 Bulling (2014) 參照 Fairclough (2010) 提出之生理計算系統 (physiological computing system) 分類法，將應用界定於外顯 (overt) 至內隱 (covert) 的光譜上，請見圖 1。左起為使用者主動、有意地透過視線輸入與客體互動；中間係屬注意力 (attentive) 與自適應 (adaptive) 介面範疇，該系統會自動回應使用者的眼動表現，或根據其行為模式呈現符合當下需求之訊息；而右側即是系統被動地監視眼球運動狀況，供研究者離線 (off-line) 檢視閱讀歷程。上述面向皆由相同感官出發，但對使用者的影響不一，以下分別說明之：

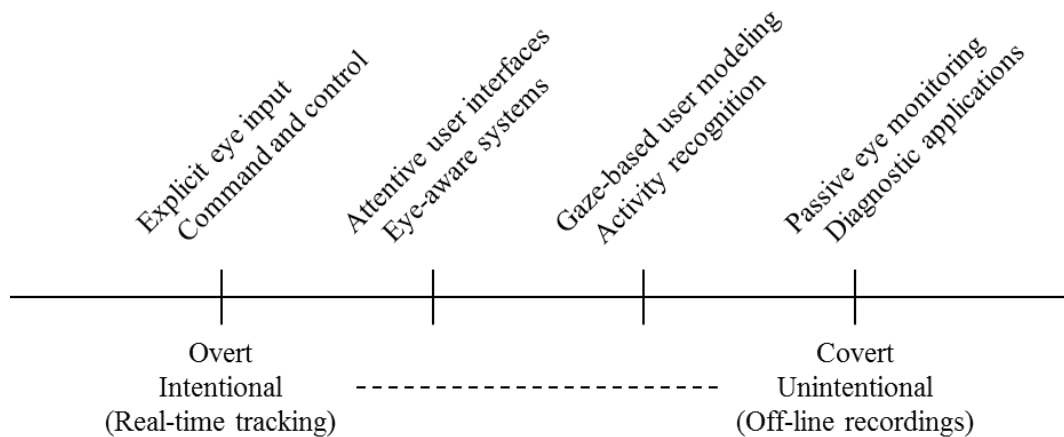


圖 1：視線互動應用光譜

資料來源：修改自 *Advances in physiological computing* (p. 39-65), by S. Fairclough and K. Gilleade, 2014, London: Springer-Verlag.

外在眼動輸入 (explicit eye input)

外在眼動輸入，顧名思義指使用者自主調整眼球運動方向，以此命令、控制系統。尤其行動不便者經學習後便可利用凝視與視線手勢操作介面與虛擬鍵盤，代替語音、手部動作等互動途徑。其中，最常見的應用實屬指向功能，亦即模擬鼠標或結合其他互動技術，於圖形使用者介面上達到點擊、拖拉、縮放等效果。雖說視線控制的準確性遠不及常規輸入裝置 (Majoranta & Riih ,


2002)，如滑鼠、鍵盤或觸控，但藉由演算法減輕晃動狀況，即可媲美頭部移動，不失為堪用的輔助工具（Bates & Istance, 2002; Hansen, Tørning, Johansen, Itoh, & Aoki, 2004）。截至目前，眼控交互廣泛應用在文本輸入、網頁瀏覽、遊戲操作、樂器演奏等，乃至進一步衍生到行動裝置與人—機器人互動上（human-robot interaction）（Dybdal, Agustin, & Hansen, 2012; Mohammad, Okada, & Nishida, 2010）。

注意力使用者介面（attentive user interfaces）

眼動感知（eye-aware）與外在輸入僅有一線之隔，前者係由系統主動偵測眼球，並順應其運動特性即時反應，例如眼動誘發顯示（gaze-contingent display）優先繪製目光焦點之高解析度圖像，並保持周邊視野模糊以節省頻寬（Duchowski, Cournia, & Murphy, 2004）。注意力介面旨在增進使用者的任務表現，經由辨識自然的凝視行為，評估可能之目標或困難處，讓輔助說明在視線變換時同步呈現（Jacob, 1991; Hyrskykari, Majaranta, Aaltonen, & Rähä, 2000）以利訊息整合。亦可自動化部分指向作業，如預選或縮放當前工作視窗，提升任務轉換的效率（Fono & Vertegaal, 2005）。此面向適用於任一個體且容易上手，是故學者認為感知系統將邁向主流。不過，當前所見之原型皆缺乏客觀的判斷依據，僅就實務者自身經驗認定合理閾值，導致回饋時機不盡符合使用者需求。下一節將討論注意力介面相關研究發現，以及本論文欲改善之痛點。

基於視線的用戶建模（gaze-based user modeling）

有別前述兩者聚焦互動與介面議題，建模致力於「預測」使用者行為、認知歷程與意圖，經由感測器持續記錄並剖析個體於各情境的視覺表現，試圖瞭解其「如何」而非「從何處」收錄訊息。此研究取向係屬實驗心理學的方法之一，像是憑藉著凝視時間、眼跳幅度、時序關係與空間分布，模擬不同目標下



的閱讀策略。近年，隨著機器學習（machine learning）與圖形辨識（pattern recognition）技術進步，計算模型的研究規模由單一任務，如閱讀、問題解決、交談或駕駛等，演變成整體行為層次（Kandemir & Kaski, 2012）。學者成功單憑眼球運動特徵自動分辨人們是否處於閱讀或其他辦公活動中（Bulling, Ward, Gellersen, & Troster, 2011）、估算其工作負荷（Tessendorf et al., 2011）與意圖（Bednarik, Vrzakova, & Hradis, 2012）等，諸多行為模型的建構皆為求系統能如實地以使用者為中心，設計對策呼應眼動型態所隱含的心智運作。

被動眼球偵測（passive eye monitoring）

鑒於人類收錄之外界訊息約有 80% 來自視覺（Sanders & McCormick, 1987），又眼球追蹤相較其他即時測量技術具備高時間解析度，故而學界普遍採用眼動資料驗證認知歷程。透過多元指標詮釋實驗操弄或自然情境下的視線動向，觀察其與閱讀理解、學習記憶、圖文整合或手眼協調等作業的對應關係。然而，正因為數十年的研究多以被動偵測的方式進行，唯少數論及即時（real-time）互動下的眼動表現，致使實務應用領域無從植基於心理學既有的發現。故本論文將參照過往對於閱讀歷程的認識，嘗試設計符合生心理反應的感知系統。


第三節 視線感知系統

現今科技產品環伺，人機互動關係愈趨多元，而屢次與電腦裝置接觸無疑是對使用者疲勞轟炸。為了因應未來複雜的環境且減少人們的認知負擔，Nielsen（1993）認為非指令型使用者介面能提供適當的協助，亦即系統不再被動接受使用者指令，而是主動偵測其生理與心理狀態、行為、乃至環境變化，諸如語音、眼動、臉部表情、肢體動作等，據此資訊預測並給予適當之回饋。

其中，「眼球追蹤」屬最能反映個體注意力的互動途徑，尤其應用於虛擬實境（virtual reality）、擴增實境（augmented reality）或混合實境（mixed reality），更能明確地辨識使用者的意圖。同樣概念的自然用戶介面（Natural User Interfaces）派典相繼提出，例如情感計算（affective computing）、情境感知（context-aware）、透明運算（transparent computing）以及普及運算（ubiquitous computing）等。此研究取向訴求由電腦主導互動，透過行為指標揣摩使用者的動機，再決定將傳遞何種內容，藉此，讓使用者保有餘力應對任務本身而非溝通過程（Tennenhouse, 2000）。

本實驗所關心的注意力感知系統（Attention Aware Systems, AAS），或稱注意力使用者介面（Attentive User Interfaces, AUI）雖與上述案例共享目標，卻更強調任何安排皆須配合個體在各作業下的注意力歷程（Vertegaal, 2003; Roda & Thomas 2006），於多重任務的動態環境中適應、支持其行為，且避免無謂的任務中斷。Maglio 等人（2000）則歸結所謂的注意力感知必須能偵測行為、模擬目標、預測需求、補足資訊並與使用者互動，故該系統通常仰賴感測器收錄相關線索（Horvitz, Kadie, Paek, & Hovel, 2003）。除了膚電、腦波等生理回饋外，長期累積的數位足跡（digital footprint），例如網頁瀏覽歷史、社群媒體發布或電子產品使用狀況，皆蘊含不少有價值的訊息，諸多應用從中抽絲剝繭列舉可能的偏好與問題。

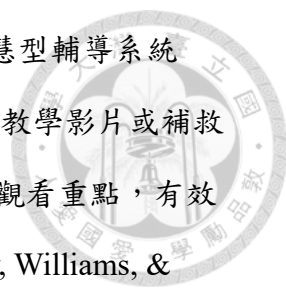
基於本章第一節「眼動之特性與困境」所述，Hyrskykari（2006）指出唯有眼球追蹤得以充分反映注意力投入程度。將眼動表現納入考量促使系統「意識」到使用者的心理狀態，俾利權衡任務優先順序、迎合當下行為模式，遂由視線感知預判使用者需求再適合不過。而相關應用早在 Starker 與 Bolt（1990）就發表小王子說書人（Little Prince Storyteller），根據讀者眼動軌跡判斷其感興趣的區域，局部放大並播送更詳細的旁白，藉此引導故事演進；SUITOR（Simple User Interest Tracker, Maglio & Campbell, 2003）注意力代理（attentive



agents) 利用瀏覽網頁時的注視行為，推斷讀者所關心的議題，並自動查找相應資訊呈現在螢幕四周，其目的在於促進人機溝通的效率；EASE (Eye Assisted Selection and Entry, Wang, Zhai, & Su, 2001) 則嘗試解決中文拼音輸入法為人詬病的選字問題。當同音異義的候選對象過多時，系統便會提前標記視線焦點，使用者只須按下空白鍵確認，即可選取凝視點就近的目標。省略查看數字鍵的流程，好讓注意力資源更充分利用，從而減少該任務的認知負荷；同樣做指引之用的 EyeGuide (Eaddy, Blaskó, Babcock, & Feiner, 2004)、iTourist (Qvarfordt, & Zhai, 2005)、Museum Guide 2.0 (Toyama et al., 2011) 及 GazeGIS (Tateosian, Glatz, Shukunobe, & Chopra, 2014) 皆依循使用者的視線動向，給予貼題的照片、地圖、方向導航、或語音導覽，憑著注意力誘發 (attention-contingent) 機制即時補充其所見事物與所處情境之資訊。且評估結果一致顯示數位個人助理對作業表現與使用經驗有正向影響。


有鑑於閱讀乃人機互動的基本要件，又閱讀歷程關乎使用者資訊獲取的品質，故該領域的輔具設計為實務上熱門的主題。譬如 Takagi (1998) 提出的翻譯支援系統 (Translation Support System)，即隨著使用者瀏覽文章，系統自動移除無用段落並持續更新文本，當偵測到眼神遲疑時便從日英對照的語料庫中提取關鍵字翻譯；而 Sibert 等人 (2000) 的閱讀助理 (Reading Assistant) 強調閱讀外語時的行為變化，若停滯時間超過設限，便劃記提醒 (閾值 1 為 240ms) 再附註該詞彙的母語發音與文字釋義 (閾值 2 為 360ms)，取代過往以滑鼠觸發的方式。經實驗證實有輔具從旁協助之閱讀障礙者，其詞彙再認與答題正確率皆顯著改善，且凝視時間與個數銳減、閱讀速度增快。再者，基於凝視的注釋 (gaze-based annotations) 應用則整合時間和比例指標，將學生閱讀緩慢或反覆多次的文句畫線、填色，且標註篇章間的閱覽順序，以揭示教材艱澀難懂之處，方便教師察覺原因對症下藥。結果顯示對學習成效有所幫助

(Buscher, Dengel, van Elst, & Mittag, 2008; Okoso, Kunze, & Kise, 2014; Cheng,



Sun, Sun, Yee, & Dey, 2015)。數位學習 (e-learning) 平台與智慧型輔導系統 (intelligent tutor system) 亦根據參與者的注視位置，適時播放教學影片或補救教材，比如在圖表處停駐許久便會加註解釋、或顯現動畫引導觀看重點，有效促進其投入與學習 (Calvi, Porta, & Sacchi, 2008; D'Mello, Olney, Williams, & Hays, 2012)。此外，Biedert 等人 (2010) 所開發的 eyeBook 及 Text 2.0 電子書軟體，則利用眼球追蹤與預先規劃的演算法，監測使用者在閱讀文章時的眼動型態。當視線經過 (閾值為 750ms) 網頁上特定文件物件模型 (Document Object Model, DOM) 元素時即呈現翻譯、註腳、發音、或語境所對應的圖案、動畫，期望藉此幫助理解文意。同時融入眼控機制，進行如選取、換頁、滾動等外顯互動，該應用結合多媒體以增強閱讀體驗並展示眼動應用的穩定性。問卷調查指出視線響應文本 (gaze responsive text) 原型屢獲佳評 (Biedert et al., 2010; Hosseiny et al., 2011)。近年，學者如 Ishiguro 與 Rekimoto (2011) 及 Toyama 等人 (2014) 將注意力使用者介面移植至擴增實境，借助視線管理虛擬資訊的顯示位置、類型、亮度與細節層次 (level-of-detail)，即愈接近視野中心者愈清晰詳盡。甚至辨識、即時翻譯使用者以視線手勢所框選的文字內容，幫助非母語者瞭解工作或公共場域的指示標語，避免因語言不通的溝通障礙。

可惜在眾多閱讀相關應用中，僅有 iDict (Hyrskykari et al., 2000; Hyrskykari, Majaranta, & Rähkä, 2003; Hyrskykari, 2006) 無摻雜過多主觀設定，明確地參照心理學在閱讀上的發現。此系列研究進一步聚焦於翻譯功能上，旨在幫助非母語者讀懂外語電子文件，以自然的眼動表現與詞彙特性推估文本難易程度，讓視線互動的效果更貼近使用者的需求。當任一單字的總凝視時間高於該詞頻的詞彙所對應之理論閾限 (註：最早版本設 800ms 為固定閾值；之後改為 $2000-0.17\text{freq}$, $100 < \text{freq} < 6000$)，即意味著不熟悉或遭遇障礙。程式便自動在目標字上方與右側視窗顯示翻譯、例句和詞性變化等介紹。讓使用者在意識到困難前，不經意瞥見系統協助，最小化手動查詢字典所造成的切換成本




(switching cost) 以及對語意理解的干擾，好專注於主要任務—閱讀本身。再者，iDict 導入演算法以視線軌跡、凝視與回視狀況，區辨閱讀、掃視 (scanning)、休眠 (dormant gazing)、遇到困難 (encountering difficulties) 四種眼動型態，藉此減少系統誤判，最適化回饋呈現時機。且更進一步分析詞彙與語法，提前注釋可能有問題的單字、詞組、片語以及複雜句型結構，並存取個人使用偏好，記錄其閱讀習慣以客製化輔助內容。該研究從參與者主觀報告總結出視線感知輔具的確提升了閱讀體驗，雖然評價仍略遜滑鼠一籌，但搭配視線游標 (gaze cursor) 與線標 (line marker) 兩視覺回饋，滿意程度堪比傳統介面。另從註解觸發狀況檢驗，發現實際操作時的假警報 (false alarm) 比例低於百分之三，表示其判定有翻譯需求的詞彙與使用者主觀感受有困難者相符。然而，iDict 採用基於停滯時間的互動模式，並自行推算簡易的數學模型以規避「點石成金」的問題，卻因為疏忽詞長、詞頻與個體差異等因素而預測失準，導致部分使用者反映系統響應性不佳且與期望產生落差。

綜合上述，傳統的圖形介面若能適時融入注意力感知系統，將有助於優化例行事務的流程、改進注意力資源分配。但是，實務應用的研究方向仍屬原型設計與系統開發居多，且一致宣稱眼動誘發機制對用戶獲益匪淺，未討論實際場域的體驗與即時回饋如何影響個體表現。僅在李克氏五點量表中得正面的使用評價，欠缺客觀數據佐證。其中，亦有部分學者提出視線互動個人化與客製化的展望，由於眼球運動變異甚大，因人而異、量身打造的系統設定有其必要性，固定的閾值或互動模式容易與使用者認知有所出入。是故本研究將考量詞彙特性與個體差異撰寫判斷式，並檢視互動當下的眼動型態，藉各項指標瞭解感知系統是否如過去預期所述，能顯著促進訊息整合且增加閱讀效率。


第四節 眼動於閱讀

閱讀乃獲取訊息的必要技能，為瞭解文本所要表達的意義，人們得先辨識



文字符號、進行詞彙觸接、再整合語意線索加以理解。故學界常用眼球追蹤技術觀察各階段對應的眼動表現，推論自然情境下每時每刻（moment-to-moment）的認知處理歷程。研究者亦可考量從整體或局部觀點，分析視線停留及移動的型態，由時序與空間變項探討當下的視覺策略或現象。而相關的眼動指標包羅萬象，其中凝視與顫動係屬眼球運動之基本元件，常概略分為凝視時間（fixation duration）、凝視位置（fixation position）、眼跳速度（saccade velocity）、眼跳幅度（saccade amplitude）、眼跳方向（saccade direction）等訊息。種種行為描述皆經研究驗證能反映閱讀理解歷程（Rayner et al., 2006; Rayner, 2009）。基本上，個體的眼動表現會依作業難度、所需心智資源或訊息密集程度越高而相應變化，如凝視時間延長、凝視點個數增加、眼跳幅度縮減且更常回顧已讀內容。

一般而言，英語使用者閱讀文句時，文字平均凝視時間為 225-250 毫秒，且每次移動距離為 7-9 個字母。知覺廣度（即單一凝視下有效的視覺訊息收錄範圍）約為凝視點左側 3-4 個字母延伸至右側 14-15 個字母。視線由左至右、由上至下依序移動，偶爾會略過不停留（skipping）或逆向再度凝視（regression）目標字，其中，略視比例近乎是眼動表現的三分之一（Brybaert, Drieghe, & Vitu, 2005），回視約佔 10-15 百分比，且大部分是重複閱讀前一單詞或上個段落，學界視之為理解困難，其餘則係在單字內小幅度眼跳以校正過衝（overshoot）的情況（Inhoff & Weger, 2005; Rayner, 1998; Vitu & McConkie, 2000）。而如前述的眼動本質皆會因任務性質、文體種類、閱讀能力，甚至書寫系統而異，比方說隨著文本困難度愈高，凝視愈久、眼跳愈短且回視更頻繁。再者，詞彙處理歷程為是否能成功理解語意的關鍵，故可能的影響因素向來是閱讀領域的研究焦點，諸如字型、詞長、詞頻、詞性及語意等詞彙特性，其探討尺度又涵蓋單字、文句、段落與篇章。舉例來說，研究指出文本易讀性（legibility）較差者，即未啟用螢幕平滑調整工具（ClearType）之字體的凝視



點個數變多、凝視時間延長、閱讀速度趨緩 (Slattery & Rayner, 2010)；實詞 (content word) 被讀者凝視的比例較功能詞 (function word) 高 (Just & Carpenter, 1987)；語意透明度 (semantic transparency) 低者，亦即複合詞 (compound word) 意義無法由組成字直接推敲時，其凝視時間顯著較久 (Pollatsek & Hyönä, 2005)；另外，詞長 (word length)、詞頻 (word frequency) 以及預測性 (word predictability) 效果遍及所有眼動指標。倘若目標詞彙字母數稍多、出現頻率較低、或較難藉語意脈絡預測之，將拖延其首次與再次閱讀時的處理時間、產生多個凝視點、且增加整合比例 (Kliegl, Grabner, Rolfs, & Engbert, 2004; Rayner & Well, 1996; White, Rayner, & Liversedge, 2005; Williams & Morris, 2004)。眾多發現一再說明詞彙特性係影響閱讀歷程的重要因子。

除了如上述從單一詞彙處理 (single-word processing) 的角度探討外，文句語境、句法模糊程度 (syntactic ambiguity)、文章難易與個別差異等變項亦是常見的切入點。舉園徑句型 (garden-path sentence) 為例，讀者因該句之語義、語音或文法架構衝突而理解困難，反映在眼動歷程即為閱讀速度趨緩、凝視時間增加、眼跳幅度縮短、再視及回視比例提高、甚或是反覆審視上下文資訊 (Frazier & Rayner, 1982, 1987)；還有，猶如小孩、教育程度低、或閱讀障礙 (dyslexia) 者之語言能力略差，相對於一般讀者而言，其更容易展現出遲緩猶疑的眼動型態，譬如凝視時間、再閱讀與回視比例增加 (Ashby, Rayner, & Clifton, 2005; Chace, Rayner, & Well, 2005)，然而，針對高層次歷程的研究仍為少數，Rayner、Chace、Slattery 及 Ashby (2006) 將理解視為詞彙辨識 (word recognition)、閱讀流暢度 (reading fluency)、句法處理 (syntactic processing) 及詞意知識 (knowledge of word meanings) 四項能力相互協調而成。並藉由平均凝視時間、凝視點總數與總閱讀時間代替主觀評分，顯見整體性篇章難度與眼動表現的關係。若讀者能無礙地將單詞、文句融會貫通，其處理時間及閱讀

行為皆相對迅速從容。綜上所述，眼動指標用於推論認知歷程的穩定性已受反覆驗證，得以體現閱讀相關的心理現象，是故本研究欲根基既有發現訂定視線感知系統之閾值。



第五節 眼動控制數學模型

閱讀涉及諸多處理歷程，關乎人們日常任務的成敗，故學界亟欲探究高階認知與眼動控制的關聯性，亦即詞彙辨識 (word recognition) 與自發眼跳 (saccade generation) 兩者所組的認知—運動系統 (cognitive-motor system) 如何協調運作。承上所述，過往研究支持字詞的凝視時間取決於詞彙變項，且眼動型態會依文本特性和個體差異而有所變化。然而，相關議題的探討多針對片面觀點或特定情境做量測，缺乏整體性的檢證，是故衍生出數學模型 (mathematical model) 的研究取向。藉由純量化的指標與刺激特徵去描述、詮釋或推估閱讀時的眼動表現，抑或是概括目前所知的生心理現象。基于其提供客觀的計算關係，有別其他視線感知應用由開發者主觀認定閾值，本實驗將參照眼動控制數學模型規劃演算法。

據悉，閱讀中的眼動計算模型 (computational model) 百家爭鳴，其中最具代表性的係屬 E-Z Reader (Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2003; Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006) 與 SWIFT (Engbert, Longtin, & Kliegl, 2002; Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005; Schad & Engbert, 2012)。兩者基本假設雖不盡相同，但皆企圖建構詞彙特性與凝視時間的數學關係式。亦即個體在閱讀文本時的眼動型態會受詞長、詞頻與預測性影響，例如字母數較多、頻率較低且語意脈絡預測性低者，各類型凝視時間指標皆明顯增加。由於後者採用平行處理 (parallel processing) 模式，參數精簡且限制寬鬆，除了能成功估算出詞頻與詞長效果、再視與回視，也可重現諸如反向最佳注視位置效應 (inverted optimal viewing position effect, IOVP)、略視成本 (costs for skipping)、延遲與前置效果

(lag and successor effects) 等進階眼動現象，合理性及說明之妥當性相對較佳，且此類容許同步處理並隨機選取目標的理論框架，更能解釋複雜的視覺處理作業。

而本實驗遂沿用 SWIFT (Saccade-Generation With Inhibition by Foveal Targets) 所推演的計算關係。有別於初級動眼控制 (primary oculomotor control, POC) 模型—將眼動全然歸因於低層次的物理屬性，如文本編排、起始落點位置，而忽略詞彙辨識歷程，致使其僅能定性描述閱讀行為。SWIFT 係屬於眼動認知模型 (cognitive model) 中的注意力梯度指導理論 (guidance by attentional gradients, GAG)，或稱處理梯度模型 (processing gradient models, PG)，且參照動態場論 (dynamic field theory; Erlhagen & Schoner, 2002) 架構。此模型主張語言處理乃同時並行，視個別字詞為基本單位，且注意力範圍內的候選目標同步激發，相鄰詞彙彼此競爭，由活化能高低決定下一個眼球注視處，過程中牽涉知覺輸入、記憶系統、動作規劃等認知運作機制交互影響。比起序列性注意力轉移理論 (sequential attention shift, SAS)，此模型更強調動態的資源分配，處理效率將隨著注意力分布、辨識進度而調整，即已辨識之詞彙獲取較少資源，並以激發程度高的新詞為優先。也因此每篇文章的詞彙排列亦會影響到模型預測的結果，包括個體的眼跳幅度、回視比例或再視機率等變項。

簡言之，SWIFT 眼動控制模型假設詞彙辨識歷程驅使眼球運動，同時主導何時 (when) 與往何處 (where) 眼跳。文本如顯著圖 (saliency map) 般構成一維的空間分布，任何詞彙皆是可能的跳視目標，其活化程度在預先處理階段 (preprocessing stage) 時上升，並於詞彙完成歷程 (lexical completion process) 依不同速率恢復基準，假如某單字於加工結束後仍在閾限之上，便可能產生回視。其中，各詞彙的最大活化能取決於單字困難程度，由詞頻描述之；且詞彙處理速率 (lexical processing rate) 為離心度 (eccentricity) 的函數，即愈接近當前凝視中心，該字母的處理效率愈佳，且因應非對稱的知覺廣度，以右偏的高

斯函數表示之。同時考量眼球持續運動的特性，單字的加權處理效率皆隨時間演變，且活化能增減速率受語意脈絡預測性調節；此模型另行導入隨機過程 (stochastic process)，調節動態的詞彙觸接 (lexical access)、眼跳目標選擇 (saccade target selection)、中央凹抑制 (foveal inhibition)，以及眼球運動準備歷程 (saccade programming)；再者，詞長特性則間接決定眼跳落點、錯誤與修正等機制，且其所導致的凝視位置與先前的凝視順序將嚴重影響詞彙處理時間。前述機制的數學關係式與建模細節請見 SWIFT 之系列回顧 (Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005; Schad & Engbert, 2012)。

經 Engbert 等人 (2005) 反覆比對原始數據與模擬結果，證明 SWIFT 能準確推算各詞彙特性所對應之多種以字詞為基礎的眼動指標 (word-based measures)，包括凝視時間 (首次凝視、再次凝視、單一凝視與總閱讀時間)、凝視比例 (略視、再視、多次再視與回視)、注視位置與其分配，請參照圖 2。明顯可見總閱讀時間、再視及回視比例皆隨著詞頻越低、詞長越長而增加，略視比例則相反，且實驗觀察值與模型模擬值相近。鑒於眼動控制數學模型的出發點皆為語言共性 (linguistic universal)，即使 SWIFT 系列研究主要以德文語料庫 (Potsdam Sentence Corpus, PSC) 為驗證對象，雖不同於本實驗所採用的英文材料，但模型假設與計算關係仍一體適用。於是，本視線感知系統參考其核心計算方式的邏輯，用以擷取詞彙特性與凝視時間的關聯性，依循模型預測的總閱讀時間 (total reading time) 做為判斷閾值。倘若參與者閱讀時表現不如預期，將予以協助。然而，至今尚無研究探討非母語者閱讀外語時的眼動表現是否全然適用各個計算環節，在學界仍未釐清前，本實驗將藉由事前校正彌補英語熟悉程度所造成的落差—以英文為外語者的詞彙能力與背景知識不及母語者，故可預期其處理歷程應較費時，且難易詞彙之間的變異更為明顯。

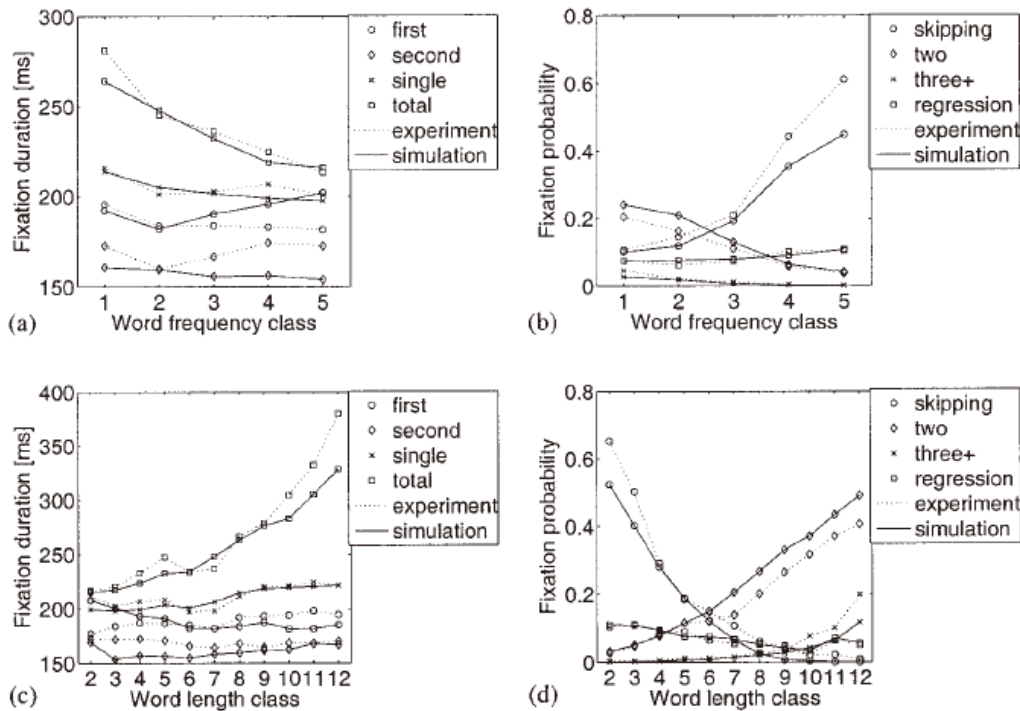


圖 2：SWIFT 模型預測之詞彙特性與凝視指標關係

資料來源：“SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading,” by

R. Engbert et al., 2005, *Psychological Review*, 112, p. 777-813.

第六節 瞳孔與認知負荷

除了追蹤眼球移動外，瞳孔擴張（pupil dilation）和自發眨眼頻率（spontaneous eye blink rate, EBR）亦屬常見的測量指標。前者與工作負荷（workload）密切相關，故本篇研究將藉此延伸探討視線互動應用之效率。呼應 Cockburn 等人（2007）的論述，合宜的互動技術應支持用戶獲取資訊與學習，使用者介面旨在降低規劃、完成作業所需之成本。而此概念常觸及教育心理學與人機互動領域常引用的「認知負荷理論」（Cognitive load theory）——人們的工作記憶有限，訊息僅可短暫保留及運用，唯有不斷複誦（rehearsal）才能使之進入長期記憶。倘若同時處理多個刺激將造成認知負荷超載，影響相關行為表現。而負荷來源細分為心智負荷（mental load）與心智努力（mental

effort)，分別由任務與環境、個體投入程度決定。且在學習過程中經常會發生分散注意力效應 (split-attention effect)，亦即當使用者來回參照原文與翻譯時，其眼動得往返遞移數次，須耗費更多注意力資源做訊息整合，大幅提升負荷量以致於對閱讀理解產生負面效果。

此外，Beatty (1982) 彙整出任務誘發瞳孔反應 (Task-Evoked Pupillary Response) 與處理資源的關聯性，即瞳孔大小隨任務的處理負荷提高而擴張。無論是記憶、語言處理、推理、知覺或注意力作業，皆能觀察到此生理指標隨時間上下波動。適合用以比較任務間 (between-task)、任務內 (within-task) 及個體間 (between-individual) 的需求高低；Hyönä 等人 (1995) 探究芬蘭語和英語即時口譯時的瞳孔變化。發現參與者的負擔分別於聆聽、覆誦、翻譯作業之間有差異，尤其複雜程度高者變異越明顯，且當文本難度提升時瞳孔直徑顯著增加；Engelhardt、Ferreira 及 Patsenko (2010) 則以瞳孔擴張程度反映口語理解 (spoken language comprehension) 所需的處理負荷。當視覺與韻律語境 (prosody context) 不一致時其變動斜率較大，且證實瞳孔尺寸提供比答對率更為敏感、精細的訊息；再者，Iqbal、Zheng 及 Bailey (2004) 為了迴避人機互動經常發生中斷 (interruption) 而造成的心智負荷驟增。針對閱讀、推理與搜尋作業的瞳孔反應做量測，指出參與者進行實驗時的瞳孔尺寸，與其任務完成時間、主觀難度評估呈正相關，且不同難易程度下的瞳孔大小具顯著差異。總而言之，瞳孔反應亦如眼動型態般能詮釋個體的內在認知運作，故本實驗將參照上述研究以此生理表現評估系統是否有效緩和閱讀作業之負荷。

第參章 前測：使用者訪談



為瞭解目標族群—學生的閱讀行為，本研究事前訪談 6 名國立臺灣大學碩士生。彰顯其語言能力有限，飽受詞彙量不足所苦，又有頻繁接觸英語資訊的需求，且情境不限於閱讀文章、翻閱書報或瀏覽網路資源，以探討其閱讀外語文本的經驗、所遭遇的困難以及應對措施。本次訪談結果誠如 Hyskykari (2006) 所歸結：首先，使用者能否理解語意多取決於詞彙熟悉程度。在個別字義不明的前提下，藉由前後文推敲詞意的閱讀策略經常失靈，更遑論掌握語法結構或領會篇章涵義。尤其是通篇專有名詞的學術論文，讀者起碼要對該領域範疇有粗淺的認識，不然會對字彙所欲表達的抽象概念毫無頭緒。所以，使用者一致認為具備適度的「詞彙能力」與「背景知識」有助於提取字面訊息、組織文章表徵。而且閱讀理解的關鍵在「整合」文意，讀者必須經由詞彙、語法 (syntax)、語意 (semantics) 及語用 (pragmatics) 建構命題，再和既有的知識連結，對照並修正新舊訊息後方能理解篇章內容，是故詞彙辨識實屬資訊獲取的必要條件。

再者，當遇到冷僻艱澀的生字時，使用者相當依賴搜尋引擎、電腦中介註解 (computer-mediated glosses) 與線上翻譯服務 (如 Google translate、Cambridge Dictionaries Online) 等輔助工具，透過機器翻譯進行跨語言的資訊檢索。有別於實體紙本或電子辭典的操作型態，其更講求有效率地完成任務，但實際助益因其準確性、即時性而定。好比說，檢索系統往往受限於各語言獨有的分詞 (segmentation) 規則、詞意變換、字彙歧義性 (ambiguity) 而導致翻譯品質不佳，例如錯置子句 (clause) 所修飾的對象或形同義異的候選字。倘若遭遇前述狀況，使用者通常得自行判斷文本關聯性，進一步比對勘誤、潤飾修訂譯稿。另外，使用者亦會衡量「閱讀情境」決定輔助工具的求助順序。假如有任務在身，便傾向選擇即時翻譯服務，講求解決問題的效率，同時會計較用詞

能否和當下語境契合；相對地，若只是在閒來無事時瀏覽網頁，受訪者比較願意搜尋不懂的關鍵字，查看詳盡介紹與額外補充，反而不那麼在乎系統回饋是否恰當。

最後，每逢陌生單字必然中斷閱讀歷程，使用者非得一再執行次要的辭典諮詢作業（dictionary consultation task），否則無法順利整合文本的語意脈絡。不管是使用何種形式的辭典，作業程序不外乎是標識目標、記憶字形、檢索資訊、斟酌翻譯並與原文參照。然而，縱使各細項再容易上手，每回任務轉換（task switching）皆附加成本。且對於非母語者而言，理解困難在所難免，若整套流程在閱讀歷程中周而復始，遲早也會不堪負荷，致使耗時增加、正確率降低、投入程度與意願銳減。特別是以紙本閱讀時更難逃動筆劃記、謄寫注釋等例行公事，是故看似簡單的動作卻有礙主要任務進行。幾位使用者甚至指出，大學時期初次接觸全英語教科書或論文時備感困擾，最大的原因即為不習慣閱讀外語文本。相較於友善的母語學習環境，為了讀懂教材而迫使反覆查詢辭典、重新領受字義的過程常讓人身心疲乏，唯有持之以恆地增進實力，才能克服語言的藩籬。

有鑑於受訪者偏好線上翻譯服務，本段落試舉 Google translate 為例探究其功能與設計概念：與專業英漢辭典迥異，其訴求便利與即時性。使用者僅需在搜尋列鍵入欲查詢內容，系統即呼叫資料庫回傳相應註解，且其精簡眾人較不關心的音標、時態及慣用語法等解釋，選擇犧牲掉翻譯的準確度，僅提供簡單易懂的字義。其實，開發者也察覺到查詢作業的惱人之處，即便透過行動裝置隨手操作，仍得經歷繁瑣的流程，從選取、複製、貼上、切換應用程式直到文字輸入，認知負載與轉換成本不斷累積。當次要任務嚴重影響閱讀理解時得不償失，使用者便會放棄查閱。因此，該服務相繼推出多項功能，諸如網頁擴充套件、觸控翻譯（Tap to translate）、語音翻譯與鏡頭翻譯（Word lens），皆免除手動打字，取而代之的是點擊目標、口頭陳述或拍攝照片。嘗試塑造真正的即

時體驗，讓使用者進行當前作業的同時，盡可能以最低成本滿足需求。然而，無論是彈出（pop-up）、點擊（click-on）或鍵入（key-in）等互動途徑，使用者仍免不了跳離原本的閱讀環境，造成理解歷程停頓或錯亂，因此如何不突兀的、適時的提供即時翻譯尚待考察。

觀察翻譯工具的使用概況後發現，網頁與手機版服務仍是受訪者的首選，其極少透過語音、拍照等管道求助。歸納原因有二：一為「學習」大多是面對文件資料，前兩類應用較方便接觸，且與原先的工作情境相近，能避免冗餘的語意線索佔據工作記憶。二為其他功能皆是以彈出式視窗顯示，雖然提供適當的協助，卻也如插頁廣告（interstitial advertisements）般遮蔽原始內容，妨礙執行任務、降低互動體驗。此外，部分使用者特別指出外語學習的矛盾—加註翻譯於陌生詞彙旁有助於理解文意，但是隨著註解越多視覺越擁擠，將有礙於閱讀行為。故如何拿捏筆記內容亦是學生常見的困擾。

接續上述問題探索需求。假使撇除應付考試的情況，使用者閱讀文章時較注重語意理解與資訊獲取，其目的不在背誦或刻意習得英文單字。其迫切期望能排除難懂術語的阻礙，好讓知識能無礙傳播。其次，辭典諮詢作業每每需要在原文與翻譯資料間切換介面，步驟繁複又徒耗心力，且過程中常因過度專注於不熟悉的字詞，而容易遺忘句子或段落的關鍵語意線索，故使用者希冀能在同個情境下完成任務。再者，註解回饋呈現的時機與位置應盡量配合閱讀脈絡，避免遮蓋文本內容，並斟酌提供釋義即可，無須補充完整詞彙資訊，如詞性、同反義詞或例句等。另針對可能的使用情境，受訪者則認為當主要任務具急迫性或身處多重任務處理（multitasking）時，更能顯現即時翻譯功能的重要性，好比研讀書籍或是編撰報告，勢必得一心多用，如果此時查詢作業瓜分過多的認知資源，將嚴重耽誤處理進度。而本研究所規劃的視線感知閱讀輔具，亟欲改善現有翻譯服務的缺失，並採納非指令型使用者介面、眼動與認知相關概念，驗證凝視翻譯的可行性，以及對閱讀體驗和任務表現的影響。

第肆章 實驗方法與設計



本研究目的在於檢視互動當下的眼動型態，以及驗證視線感知即時翻譯工具對閱讀效率的影響。人機互動領域的相關研究指出，視線誘發回饋能有效提升閱讀體驗，並增進任務表現，主張其對使用者無任何負面干擾。然而，僅有 iDict (Hyrskykari, 2006) 針對偵測品質、互動方式、視覺線索等面向做評估，其餘原型皆概略陳述使用者回饋，或比較作業完成時間、正確率等，缺乏客觀的眼動資料分析與討論。常理而言，突現的刺激會吸引注意力，且中文翻譯須經詞彙處理，再與原文對照整合後始能幫助理解英文文句的語意，如此一來勢必干擾閱讀歷程。再者，眼動係由凝視與眼跳交錯而成，但各事件發生之條件迥異，如對閱讀內容不解時，個體普遍會延長停滯時間，僅偶爾伴隨逆向眼跳以擷取額外訊息。最後，註解對於閱讀的助益應該與詞彙難度有關。因此，在本實驗中預期會看到以下結果：(一) 整體篇章與個別詞彙上的眼動型態皆因註解出現而延緩；(二) 基於不同指標顯示的註解將影響使用者的閱讀策略，個體會適應輔助資訊呈現的時機而調整凝視比例；(三) 提供中文翻譯對閱讀的助益反映在理解題正確率與認知負荷量上；(四) 個體需重複閱讀中英文資訊，以整合、理解艱澀詞彙的語意，故中文翻譯對閱讀歷程的影響將因詞頻而異。

本實驗參照眼動控制數學模型改良基於停滯時間閾值的演算法，以個人化眼動誘發回饋。操弄註解顯示內容（有意義的中文翻譯、無意義的 X's 字串）與註解顯示時機的計算方式（基於停滯時間、基於回視眼跳）。招募非英語為母語者為研究對象，採用自行規劃的視線感知原型，模擬實際使用情形，觀察系統因應理解狀況而呈現的註解如何影響眼動、認知負荷與閱讀理解，並進一步分析不同閾值指標下的中文翻譯對整體與區域處理歷程的影響，檢證其差異性如何體現於眼跳速度與幅度、凝視時間與比例上，藉此討論注意力感知系統較為適切的演算規則。

第一節 實驗準備



參與者

本研究設計之視線感知系統原型，旨在提供即時翻譯以協助外語能力尚可、需頻繁閱讀英文文本的族群。故招募國立政治大學在校學生，共計 46 名，其中 4 位因眼動校正失敗而不列入採計，另 2 位眼動資料超出範圍比例甚高，為求嚴謹仍在評估後予以刪除。有效樣本為 40 筆，男性 17 名，以及女性 23 名，其中大學部 34 名，碩士班 6 名。年齡介於 20 歲至 24 歲（平均年齡為 23.03 歲），皆為繁體中文母語使用者，具有正常視力或已矯正之視力，且先前未參加實驗材料評量作業。為確定其英語能力相近，參與者得於事前自陳已通過之英語能力檢測認證與每日接觸英文時數作參考。並於事後填寫 Marian、Blumenfeld 及 Kaushanskaya (2007) 所設計的「語言經歷與語言水平問卷」(Language Experience and Proficiency Questionnaire, LEAP-Q)，請見附錄二。第一部分為語言經歷，題目包括教育程度、移居經驗、身心障礙、所學語言、習得順序、接觸時間、閱讀及交談語言選擇、文化認同等共 9 項；第二部分為語言水平，題目則涵蓋學會及精熟英文的時間、居住在英文環境時間、英文口音標準程度、聽說讀寫能力自評等共 7 項，總計 16 個題組。此份問卷藉政大眼動與閱讀實驗室之 EMRLabSurvey 線上問卷系統編製而成，結果如表 1、表 2。本實驗藉此篩選掉英語能力卓越（如外語相關科系）或差劣者，確保研究參與者的語言經歷與水平相似，有 29 名通過全民英語能力分級檢定測驗 (General English Proficiency Test, GEPT) 中高級初試，或國際溝通英語測驗 (Test of English for International Communication, TOEIC) 750 分以上，另 11 名則未曾參加過同等檢定，平均每日接觸英文 47.84 分鐘。參與者在完成實驗後，以新台幣 280 元車馬費致謝。

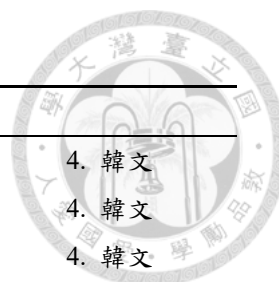


表 1 語言經歷問卷結果

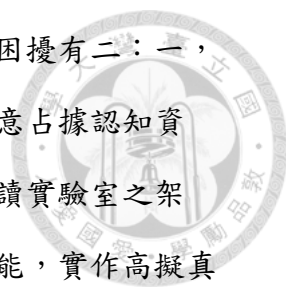
語言經歷	排序			
已習得之語言	1. 中文	2. 英文	3. 日文	4. 韓文
語言習得次序	1. 中文	2. 英文	3. 日文	4. 韓文
常使用的語言	1. 中文	2. 英文	3. 日文	4. 韓文
閱讀材料選擇	1. 中文	2. 英文	3. 日文	4. 韓文
英文學習來源	1. 閱讀	2. 自學	3. 聽音樂	4. 看電視
文化認同程度	1. 中華文化	2. 日本文化	3. 美國文化	4. 歐洲文化

表 2 語言水平問卷結果

語言水平	平均值	標準差
英文能力自評 (1-40)	25.05	4.44
英文習得年齡 (說)	14.20	3.94
英文習得年齡 (讀)	13.98	2.84
居住英文國家時間 (年)	0.05	0.22
居住英文家庭時間 (年)	0.00	0.00
就讀英文學校時間 (年)	0.45	1.83
英文口音 (他評 %)	64.00 %	28.27
英文口音 (自評 1-10)	4.93	2.35

實驗設計與材料

考量字彙量 (vocabulary size) 為能否理解英語之關鍵，但實驗者難以透過量表掌握參與者熟悉詞彙的類型與數目，又系統於測驗開始前會執行個人化的閾值校正，故本實驗採 2 x 2 受試者內設計 (within-subject design)。操弄兩個自變項：註解顯示內容 (有意義的中文翻譯、無意義的 X's 字串) 與註解顯示時機的計算方式 (基於停滯時間、基於回視眼跳)。而之所以選擇無意義字串做為對照組，而非比較「有無翻譯」的篇章，係預期眼動誘發註解必定會影響閱讀，故藉由中性且與目標字等長之 X's 確保各情境皆有刺激隨著眼動而置換，等同於 iDict (Hyrskykari, 2006) 原型所採用的視線游標與線標，以視覺回饋提醒參與者當下的凝視位置。依變項則為閱讀速度、瞳孔尺寸、理解題正確率、凝視時間以及凝視比例。



承使用者訪談所述，非英語為母語者在閱讀英文文章時的困擾有二：一，查詢作業重複性高且易中斷閱讀歷程；二，整合翻譯與原文語意占據認知資源，進而拖累任務表現。為因應此問題，本研究沿用眼動與閱讀實驗室之架構，另行增修「閾值修正」、「閱讀偵測」及「註解呈現」等功能，實作高擬真度 (high-fidelity) 視線感知辭典原型。透過 SWIFT 模型辨認使用者是否有翻譯需求，且以眼動誘發回饋的方式，確保目標字註解在閱讀過程中自動、即時顯示在視野範圍內。其運作原理大致如下：

首先，本實驗設有「基於停滯時間」與「基於回視眼跳」計算出的兩種閾值。前者係屬時間變項，為擷取詞彙特性與凝視時間的計算關係，實驗者預先利用 Schad 與 Engbert (2012) 的開源 C 語言程式碼建置數學模型。輸入自選材料的文本特性，包括行數、字數、詞長、詞頻 (SUBTL frequency norms; Brysbaert, & New, 2009) 與預測性 (註：預測力介於 0~1，須藉由克漏字測驗評估之，但考量文本與個體變異甚大，難以在事前或互動當下取得資料，故皆設為 0.5)，保留原有參數與設定，模擬出各英文詞彙「理想」的凝視時間。由於眼動軌跡 (eye trajectory) 紊亂，添加系統實時判定閱讀次序之困難度，再者 Engbert 等人 (2005) 認為凝視時間總和 (gaze duration) 指標無法精確反映早期詞彙處理歷程，且整合範圍又不及總閱讀時間 (total reading time) 全面，故視總閱讀時間為判斷標準。其介於 200~300 毫秒，且隨著詞長越長、詞頻越低，預期凝視時間愈久，請見圖 3。然而，該數據得經過事前校正彌補英語能力所造成的落差，因為非英語為母語者處理英文詞彙的時間應遠高於此，故本系統同步計算參與者於練習階段的眼動表現，並在正式實驗開始前，依詞頻特性分段調整閾值，即將個別詞彙的預期總閱讀時間加上相對應詞頻區間的平均校正值 (練習觀察值減去模型預測值)，後續便套用此校正結果進行測驗；基於回視眼跳則係屬空間變項，同為反映讀者在理解與統整困難程度之指標。當視線跳出目標字後，逆著閱讀方向再度凝視時即觸發註解。

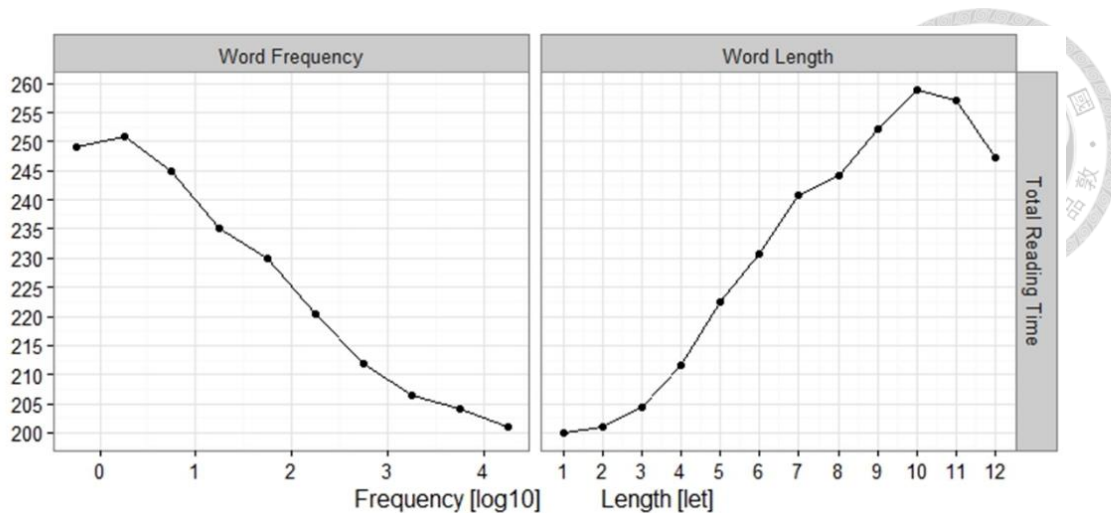


圖 3：實驗文本之 SWIFT 模型預測結果

再者，本系統透過眼動儀同時記錄資料、與電腦互動，執行後使用凝視座標取代滑鼠且隱藏游標圖示。程式根據使用者表現是否異於閾限，決定註解顯示的時機、位置與內容。而系統計數、運算的單位實為個別詞彙（word），如圖 4 框線所示。每個單字除了自身 26 號字體外，更向上下擴充 26 和 13 像素寬的距離以增加位置公差，所涵蓋之範圍稱作興趣區。唯有視線出入邊界，才開始累計次數或判定是否曾經凝視，落於空白處的凝視資料一律不採計。如圖 5 所示，當停滯時間（凝視點 3 與 4 相加）超過校正後的模型預測值或逆向眼跳（由凝視點 14 跳至 15）時，系統便會讀取該詞彙所對應的翻譯或無意義字串（與目標字等長之 X's），靠右對齊、緊鄰顯示在原文上方，以符合英文由左向右閱讀方向。另外，為確認凝視點已遠離且避免刺激無謂閃爍，註解呈現直到視線離開興趣區後 100 毫秒或觸發另一個時消失。因此，頁面上同一時間點僅會有一個註解存在，藉此減少視覺刺激閃現、擁擠所造成的額外干擾。倘若反覆閱讀已顯示過註解者，只須停留 100 毫秒即可重新觸發。

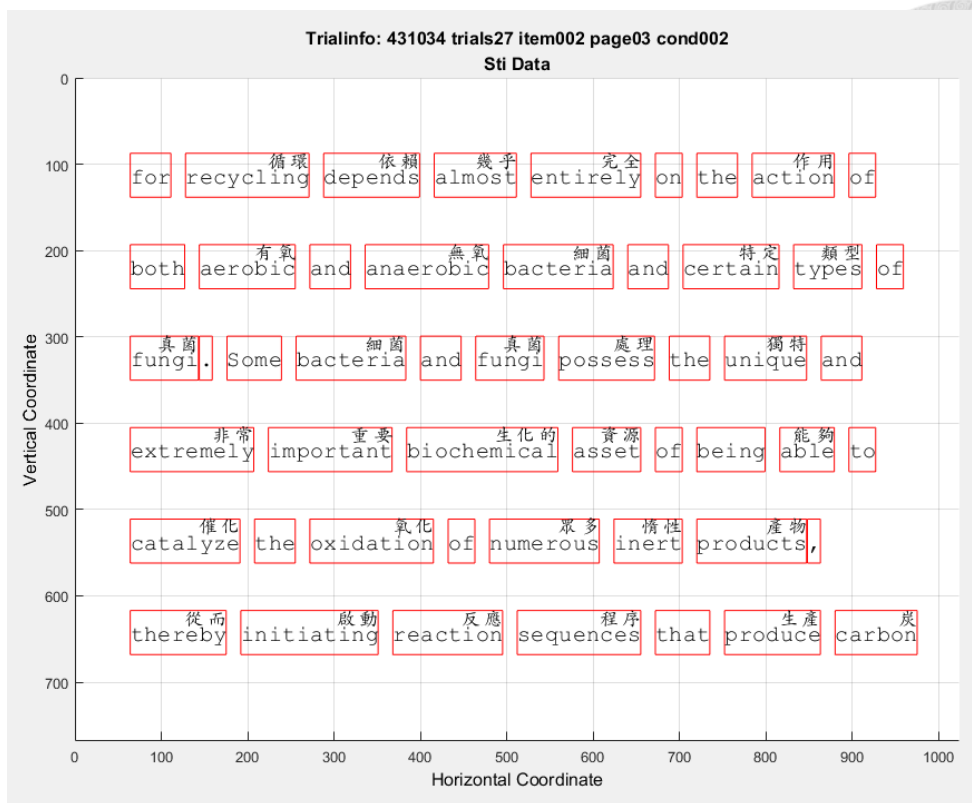


圖 4：實驗文本之興趣區劃分

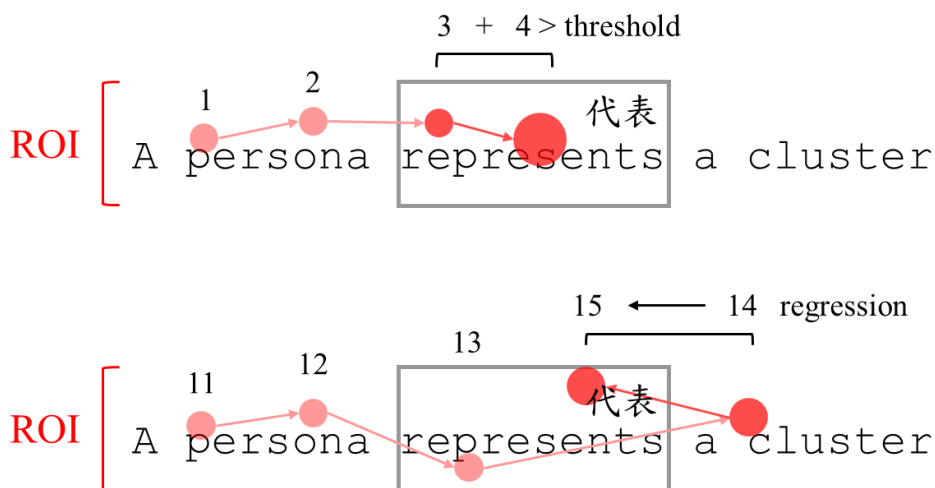
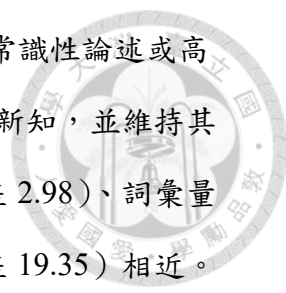


圖 5：註解顯示時機的計算方式

為控制實驗用文本對參與者具一定難度，文章取自美國研究生入學考試 (Graduate Record Examinations, GRE) 或檢定非英語為母語者的英語能力考試 (the Test of English as a Foreign Language, TOEFL) 之閱讀理解模擬試題，共計




12 篇與 24 道是非理解題。且事先篩選內容與詞彙特性，避免常識性論述或高同質性議題，主題包含生態保育、生命科學、社會科學及科普新知，並維持其詞頻（平均值 2.13，標準差 1.68）、詞長（平均值 5.51，標準差 2.98）、詞彙量（平均值 99.00，標準差 10.35）、篇幅（平均值 159.00，標準差 19.35）相近。選用文本也經 15 位大學生或已有大學學歷以上（含）者以五點量表評估，平均分數為 3.58，表示主觀難度中偏難。再者，除了標點符號與詞長小於四的功能詞，如 a、on、in、the 等省略不計外，系統所呈現的翻譯內容係參照劍橋線上辭典（Cambridge Dictionaries Online），但用字遣詞皆經實驗者依語意脈絡斟酌調整，且片語中動詞與介係詞的註解相同，文本範例請見附錄一。實驗文本呈現順序採用拉丁方格對抗平衡。

實驗設備

本研究使用 SR Research EyeLink 1000 桌上型眼球追蹤系統，偵測參與者優勢眼之瞳孔與角膜，並以九點校正進行眼動調校。其設備包含一台主試者電腦（Host PC），負責記錄與監控參與者的眼動軌跡，另一台顯示用電腦（Display PC），則負責呈現實驗材料供參與者觀看，兩台電腦以網路線相連，可即時回饋眼動儀狀態與眼球位置，以及一台眼動儀攝影機，放置於電腦螢幕前方、距離參與者座位約 70 公分處。且為了確保眼動資料穩定，設置 SR Research 下巴支撐架固定頭部位置，避免因頭部晃動造成之誤差。本研究採用 1000Hz 取樣頻率，並將刺激材料顯示於解析度 1024 x 768 之 19 吋 ViewSonic PT795 映像管（CRT）螢幕，所有文句皆套用黑色楷體或 Courier New 字型，以每篇 4 頁、每頁 6 行、每行 58 個字母、行距 80 像素、26 號字體且靠左對齊之格式呈現在淺灰色背景中。註解則套用相同字型，緊鄰原文呈現。實驗程式以 Psychtoolbox 3.0（Kleiner et al, 2007）與 Matlab R2015b 編譯，基於國立政治大學心理系眼動與閱讀實驗室之既有架構撰寫，並在 OS X 作業系統環境下執行。

實驗程序



本實驗包含「準備」、「篇章閱讀」以及「問卷填答」三部分，總耗時約 60~90 分鐘不等，因人而異。經問卷篩選英語能力相當於全民英檢中高級初試、視力正常、無眼睛相關症狀且有意願配合者得參加本實驗。當參與者抵達實驗室後，首先確認其身分與條件，再給予實驗簡介、知情同意書供參考，說明大致流程與權利義務，待簽署同意後即引導進入實驗間。正式開始前，主試者將協助參與者量測優勢眼、修正攝影機角度、調整身體與頭部至合適位置、完成九點眼動位置調校程序，以估計眼睛移動距離與電腦刺激顯示位置的相對關係。倘若經多次嘗試仍無法通過（平均誤差 $<0.4^\circ$ ），便改為五點校正，若還是失敗則該名參與者不適合進行實驗，整體設定耗時 5~10 分鐘。

校正完成後，要求參與者詳閱指導語，同時，主試者口頭解釋實驗內容與注意事項，提醒過程中請勿移動頭部且盡量避免眨眼，敬請參與者依正常閱讀速度閱讀文句，並根據文章內容作答後續理解題。篇章閱讀分為「練習」與「實驗」兩階段：一、進入正式實驗前會先試行 3 篇「無註解」的練習文章，第一篇讓其熟悉操作與閱讀方式，後二則用以校正基於停滯時間的閾值。二、正式開始時將依序呈現 9 篇「有註解」的實驗文章，首篇仍為練習用，以知會參與者註解呈現的狀況，分析時不採計該資料，而後 8 篇即為主要實驗操弄。每篇文章約 3-4 頁（嘗試次），各嘗試次的流程皆為先在螢幕左上角第一個字的位置出現十字凝視點，主試者確定參與者眼睛落在該點上時按鍵顯示下一頁，參與者依照其平常閱讀速度閱讀文句，閱畢即自行按下反應盒上任一按鍵以結束該嘗試次。各篇文章結束後皆附有兩道理解題，以是非題的方式呈現，參與者須根據所讀內容判斷題目敘述是否正確，並以反應盒上的左右鍵作答「是」或「否」，電腦螢幕下方會立即給予答案正確與否的回饋。再者，各階段與文章間皆提供充分的休息機會，讓參與者調整坐姿或閉目養神，待其準備好才接續進行，且為維持眼動資料品質，每篇文章開始前皆須重新校準，若中途失敗則

實驗中止。依此類推，前述作業反覆 12 遍約耗時 50~60 分鐘，實驗程序請見圖 6。

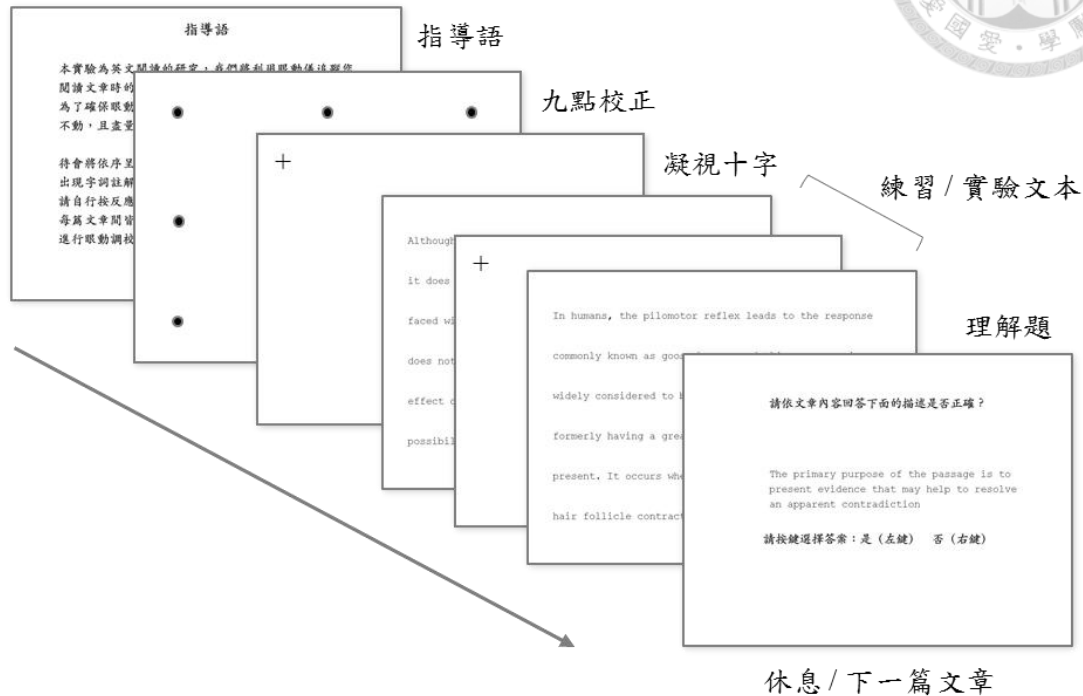


圖 6：眼動實驗程序

篇章閱讀階段結束後，短暫休息 5 分鐘便請參與者至個人電腦，進行「語言經歷與語言水平問卷」暨「系統易用性量表」(System Usability Scale, SUS; Brooke, 1996) 線上問卷填答，約耗時 10~15 分鐘。最後將針對實驗操弄釋疑，並借助產品反應卡 (Product reaction cards; Benedek, & Miner, 2002) 簡單訪談其對視線互動應用與原型的看法，經上述所有流程即完成本實驗。問卷請見附錄三、四。

第二節 量測指標與定義

本研究採用整體性 (global) 與區域性 (local) 兩分析尺度，且依照當下凝視的詞彙是否先前曾凝視或略過，將區域性指標分為「首次通過閱讀」(first-

pass reading) 與「再次通過閱讀」(second-pass reading)。根據過往的閱讀研究，前者主要反映早期詞彙處理歷程，即語意觸接，後者則反映晚期處理歷程，包括語意與語境資訊整合。然而，本實驗旨在瞭解視線互動即時 (real-time) 的眼動表現，考慮到不同脈絡下的眼動型態所代表之心理實質涵義有別，是故針對凝視時間與比例指標的詮釋得衡量註解呈現的影響。以下說明各指標之定義：

一、註解觸發狀況：


- (一) 註解觸發個數 (Number of Annotations, nAnnot)：該嘗試有觸發註解的詞彙數加總
- (二) 註解觸發次數 (Number of times, nTimes)：該嘗試註解顯示的總次數
- (三) 註解顯示時間 (Annotation Duration, AD)：該嘗試註解顯示的平均時間

二、整體性眼動型態：

- (一) 凝視點數量 (Number of fixations, nFix)：該嘗試的凝視點總數
- (二) 總時間 (Total time, TT)：該嘗試的凝視時間加總
- (三) 閱讀速度 (Reading speed)：每分鐘閱讀單字數 (words per minute)
- (四) 單字平均凝視時間 (Mean fixation duration, mFD)：目標字上凝視點的平均時間
- (五) 平均向前眼跳長度 (Mean Forward Saccade Length, mFSL)：目標字上向右眼跳的平均幅度
- (六) 瞳孔尺寸 (Pupil diameter, Pupil)：目標字上各個凝視點的平均瞳孔大小，反映認知負荷

三、首次通過閱讀：

- (一) 首次凝視時間 (First fixation duration, FFD)：首次凝視在目標字上時間
- (二) 單次凝視時間 (Single fixation duration, SFD)：僅凝視在目標字上一次，該次的凝視時間

- 
- (三) 凝視時間總和 (Gaze duration, GD): 凝視在目標字上, 在未離開之前, 所有的凝視時間加總
 - (四) 略視比例 (Skipping rate, SKIP): 未凝視在目標字上的比例
 - (五) 再視比例 (Refixation rate, ReFIX): 凝視在目標字上, 在未離開之前對目標字有兩次以上的凝視比例

四、再次通過閱讀:

- (一) 越過前總凝視時間 (Go-past time, GPT): 首次凝視在目標字區域, 直到首次越過右邊邊界的時間加總, 包括回視至目標字左側任何字的凝視時間, 反映將當下擷取的資訊與之前閱讀過的資訊整合所需花費的時間
- (二) 再閱讀時間 (Rereading time, RRT): 已有首次通過凝視, 然後再次凝視此區域的時間加總
- (三) 總凝視時間 (Total viewing time, TVT): 凝視時間加總。此定義等同 SWIFT 模型所報告的總閱讀時間 (Total reading time)
- (四) 再閱讀比例 (Rereading rate, ReREAD): 已有首次通過凝視, 然後再次凝視此區域的可能性, 無論其方向是由左或右而來
- (五) 再回視比例 (Regression-in rate, RegIn): 已有首次通過凝視, 然後自目標字區域的右邊跳進目標字上繼續閱讀之可能性, 反映後面新擷取的資訊需重新與目標字做整合
- (六) 往前回視比例 (Regression-out rate, RegOut): 已有首次通過凝視, 然後接續跳出目標字區域的左邊邊界繼續閱讀之可能性, 反映目前所儲存之資訊需與前面做整合

第五章 分析結果



本實驗有效樣本共計 40 筆，每筆 28 次嘗試、1208 個目標字與 151 個標點符號。顧及兩閾值定義所涵蓋的事件有交集（註：交集係指於逆向閱讀時滿足停滯時間門檻，約佔全體 2%），且各篇章末頁的文句不甚完整，故事前刪除上述不適者（約佔全體 8%）。各個眼動指標之資料特性與篩選條件不盡相同—在整體性表現上，由於參與者閱畢所有頁面，故無特殊排除條件。在區域性表現上，若該詞彙的眼動資料落於興趣區外，或涉及眨眼（blink）、每行首詞或尾詞、以及換行掃視（return sweep）將不列入分析，而凝視時間指標若低於 80 毫秒亦會被排除（約佔全體 5%）。再以此資料於 R 軟體（Version 3.3.2）下，採用 lmer 語法（Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2014）進行「線性混合效應模型」（Linear Mixed-effects Model, LMM）（Baayen, Davidson, & Bates, 2008）統計考驗。分析模型同時考量操弄變項的固定效果（fixed effect），以及參與者（subjects）與項目（items）的隨機效果（random effect），模型中的主要效果包括：（一）閾值效果，對比基於停滯時間與基於回視眼跳；（二）註解效果，對比中文翻譯與無意義字串。再者，為瞭解註解對不同難度詞彙的處理歷程之影響，進一步分析高、低頻字詞的主要效果是否顯著。資料處理上則根據整體性或區域性眼動指標，決定是以嘗試次（trial-based）、凝視點（fixation-based）或詞彙（word-based）為分析基準。其中，時間指標皆經對數轉換（log transform）以符合模型之常態分配假設。每項統計考驗均報告其估計量（estimated effect size, b ）、標準誤（standard errors, SE ）及 t 值（絕對值大於 2 者即達顯著水準）。

第一節 感知系統使用情形

本節將補述「閾值校正結果」與「註解觸發狀況」，助於瞭解此視線感知翻

譯工具的使用情形。首先，為彌補非英語為母語者的程度落差，基於停滯時間的閾值皆須經過校準。系統會根據參與者閱讀練習文本時的眼動觀察值，依詞頻特性分段調整模型預測值，故實際閾限為個別詞彙的預期總閱讀時間（隨該詞彙詞頻與詞長變動）加上相對應詞頻區間的校正值，數值請見表 3 和圖 7。

表 3 總閱讀時間在各詞頻區間的觀察值、預測值及校正值

閾值校正	詞頻區間	練習階段觀察值		模型預測值	閾值校正值
		平均值	標準差		
總閱讀 時間	- 0.0	3012.47	1143.40	235.48	2776.99
	0.0 - 0.5	2180.21	870.73	242.43	1937.78
	0.5 - 1.0	1847.09	550.44	238.37	1608.72
	1.0 - 1.5	1711.65	477.52	229.45	1482.20
	1.5 - 2.0	1540.60	558.07	227.69	1312.91
	2.0 - 2.5	1117.34	372.75	215.58	901.76
	2.5 - 3.0	1340.38	484.89	212.20	1128.18
	3.0 - 3.5	1085.36	413.32	211.46	873.90
	3.5 - 4.0	846.90	209.52	206.52	640.38
	4.0 -	678.88	192.59	201.00	477.88

註：表中數值為各人各區間之平均的平均與標準差；詞頻單位為對數百萬詞頻，以每 0.5 分段；觀察值、預測值和校正值單位為毫秒；閾值校正值為練習觀察值減去模型預測值。

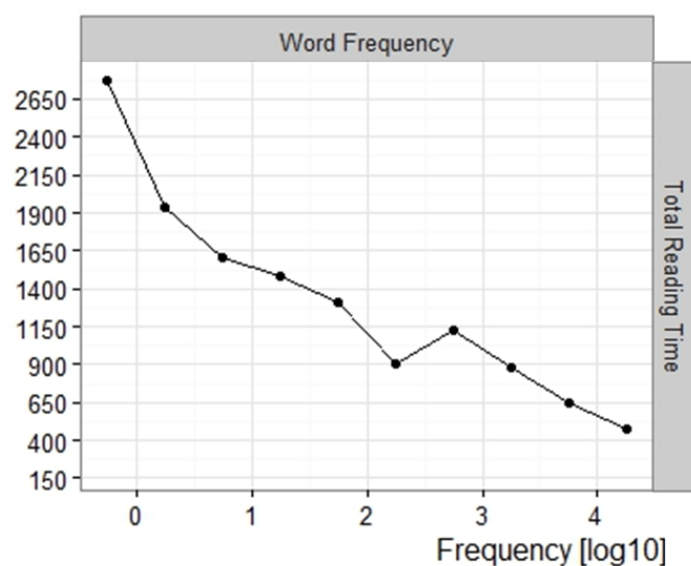


圖 7：總閱讀時間在各詞頻區間的平均閾值校正值

再者，實驗過程中註解顯示狀況，包括觸發個數、觸發次數以及顯示時間的平均值與標準差，請見表 4 和圖 8，閾值效果、註解效果之統計結果請見附錄五 (A)。僅有閾值計算方式的效果 (nAnnot, $b = -0.98$, $SE = 0.07$, $t = -14.60$, $p < .05$; nTimes, $b = -10.73$, $SE = 0.69$, $t = -15.63$, $p < .05$; AD, $b = 0.21$, $SE = 0.02$, $t = -11.74$, $p < .05$) 在各指標上達到顯著，並無觀察到註解效果與交互作用 (all $ps > .05$)。亦即當閾值基於停滯時間時，參與者觸發較多註解，且其顯示時間較短。

表 4 目標詞在各情境之註解觸發狀況平均值與標準差

註解指標	註解	Reg		Dwell		
		平均值	標準差	平均值	標準差	
觸發狀況	nAnnot	CN	3.06	0.10	3.93	0.13
		`XX	3.07	0.12	4.15	0.16
	nTimes	CN	12.29	1.06	22.05	1.34
		XX	11.30	1.01	22.99	1.74
	AD	CN	420.64	11.13	338.05	7.23
		XX	420.82	11.12	346.71	11.59

註：nAnnot 為該嘗試有觸發註解的詞彙數，單位為個；nTimes 為該嘗試註解顯示的總次數，單位為次；AD 為該嘗試註解顯示的平均時間，單位為毫秒。

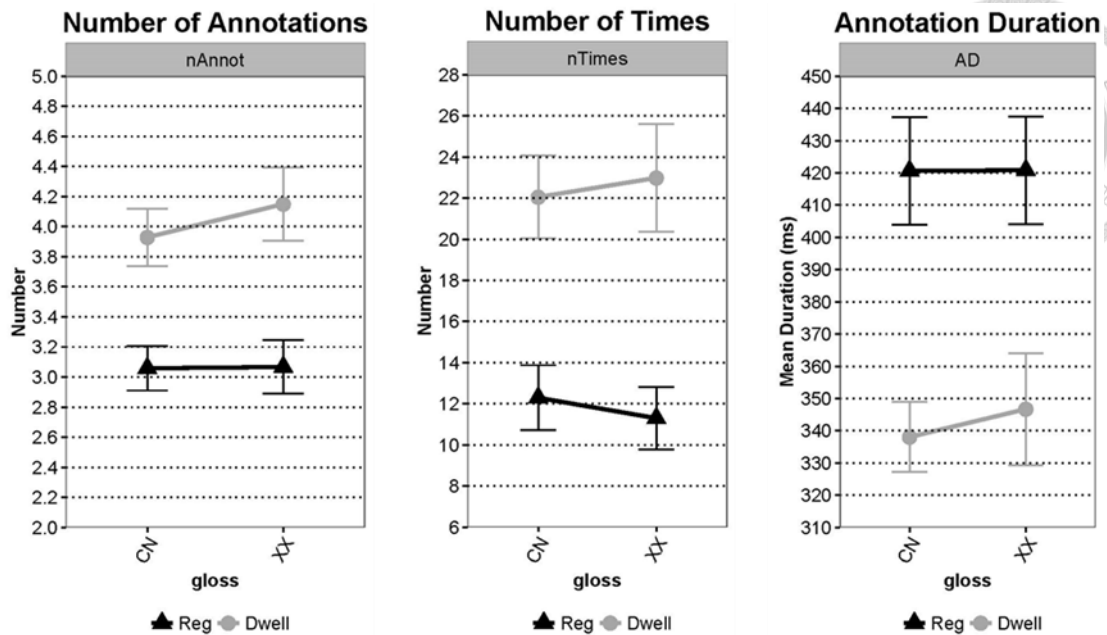


圖 8：各情境之註解觸發狀況平均值及標準誤

第二節 篇章閱讀的眼動表現

整體性眼動型態與答題表現

通篇目標字在各情境之整體性眼動指標與理解題正確率的平均值、標準差，請見表 5 和圖 9，閾值效果、註解效果之統計結果請見附錄五 (B)。首先，在平均向前眼跳長度上觀察到閾值效果 ($b = 0.13$, $SE = 0.04$, $t = 3.35$, $p < .05$)；另在總時間、閱讀速度、瞳孔尺寸以及正確率上有註解效果 (TT, $b = 0.03$, $SE = 0.02$, $t = 1.90$, $p < .05$ ；WPM, $b = -5.93$, $SE = 2.55$, $t = -2.33$, $p < .05$ ；Pupil, $b = -27.30$, $SE = 1.71$, $t = -15.96$, $p < .05$ ；CorrRate, $b = 0.24$, $SE = 0.03$, $t = 7.85$, $p < .05$)，其餘指標皆不顯著 ($ps > .05$)；再者，兩主要效果的交互作用僅在瞳孔尺寸上發生顯著 ($b = 24.99$, $SE = 1.71$, $t = 14.58$, $p < .05$)，進一步分析後，Pupil 指標上的閾值效果在中文翻譯與無意義字串皆顯著 ($b = 23.36$, $SE = 2.40$, $t = 9.74$, $p < .05$ ； $b = -26.63$, $SE = 2.45$, $t = -10.89$, $p < .05$)，但註解效果僅在基於停滯時間時顯著 ($b = -52.29$, $SE =$

2.43, $t = -21.51$, $p < .05$)。表示基於回視眼跳產生註解時的凝視落點較分散。提供中文翻譯時的閱讀時間較久、速度較慢，但認知負荷量降低、理解題正確率提升。



表 5 目標詞在各情境之整體性眼動指標平均值與標準差

眼動指標	註解	Reg		Dwell		
		平均值	標準差	平均值	標準差	
整體性	nFix	CN	144.68	7.67	137.20	6.72
		XX	137.74	6.89	137.62	7.68
	TT	CN	40762.27	2127.51	38298.83	1819.71
		XX	38767.68	1928.34	38914.03	2090.95
	WPM	CN	91.90	4.42	96.44	4.42
		XX	100.11	6.25	100.08	5.49
	mFD	CN	271.99	4.91	279.30	5.08
		XX	274.87	5.26	277.14	4.92
	mFSL	CN	4.53	0.11	4.39	0.08
		XX	4.53	0.11	4.42	0.10
	Pupil	CN	1567.48	61.87	1550.82	59.57
		XX	1578.86	60.62	1593.04	66.85
	CorrRate	CN	0.84	0.03	0.84	0.03
		XX	0.61	0.03	0.60	0.04

註：nFix 為該嘗試凝視點總數，單位為個；TT 為該嘗試凝視時間加總，單位為毫秒；mFD 為目標字上凝視點平均時間，單位為毫秒；WPM 為閱讀速度，單位為單字每分鐘；mFSL 為目標字上的平均眼跳，單位為字母；Pupil 為該嘗試平均瞳孔大小，單位為像素；CorrRate 為理解題正確率，單位為百分比。

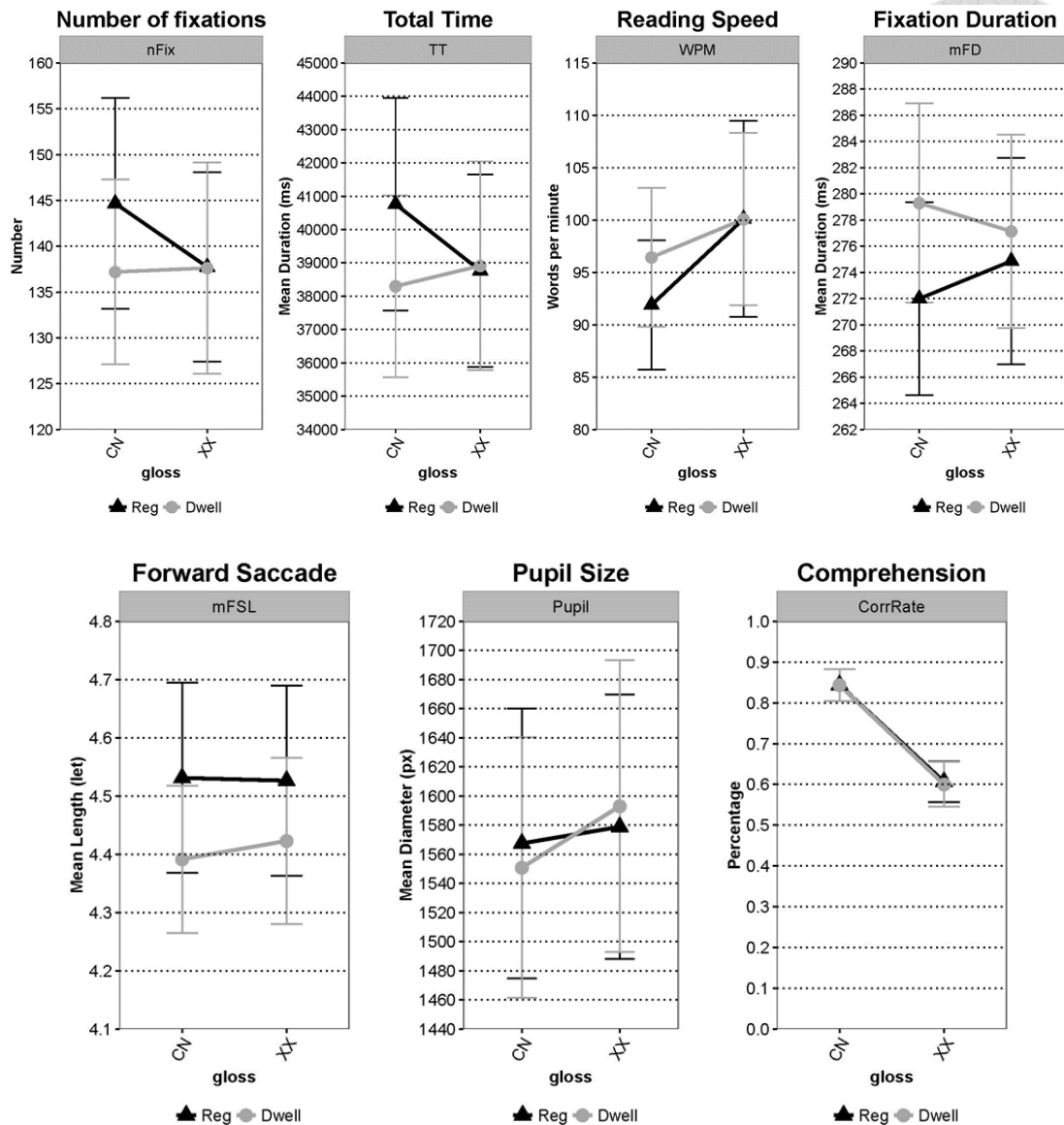


圖 9：各情境之整體性眼動指標與理解題正確率平均值及標準誤

區域性眼動型態

為瞭解詞彙難度的影響性，本研究斟酌參考 SUBTLEX-US (Brysbaert, & New, 2009) 視每百萬出現低於 50 次者為低頻，將所有目標字分為高、低頻兩組，以類別變項的形式進行閾值 x 註解 x 詞頻效果的三因子分析。目標字在各情境之凝視時間的平均值與標準差，請見表 6 和圖 10、11，閾值效果、註解效與詞頻效果之統計結果請見附錄五 (C)、五 (D)。在早期眼動指標僅觀察到詞



頻效果 (FD, $b = 0.08$, $SE = 0.01$, $t = 12.06$, $p < .05$; SFD, $b = 0.13$, $SE = 0.01$, $t = 15.24$, $p < .05$; GD, $b = 0.30$, $SE = 0.01$, $t = 34.44$, $p < .05$); 晚期指標則有顯著的註解效果 (GPT, $b = -0.03$, $SE = 0.01$, $t = -2.52$, $p < .05$) 與詞頻效果 (GPT, $b = 0.41$, $SE = 0.01$, $t = 36.26$, $p < .05$; RRT, $b = 0.39$, $SE = 0.01$, $t = 16.98$, $p < .05$; TVT, $b = 0.43$, $SE = 0.01$, $t = 35.25$, $p < .05$); 閾值效果與註解效果的交互作用在 TVT 指標上達顯著 ($b = -0.04$, $SE = 0.01$, $t = -3.33$, $p < .05$); 註解效果與詞頻效果亦在 TVT 指標上有交互作用 ($b = -0.03$, $SE = 0.01$, $t = -2.13$, $p < .05$); 主要效果之間無三階交互作用 ($p > .05$)。亦即, 註解與閾值並不影響首次通過閱讀時的眼動表現, 但提供中文翻譯時的越過前總凝視時間顯著較久。

進一步分析後, TVT 指標上的閾值效果在中文翻譯與無意義字串皆顯著 ($b = -0.05$, $SE = 0.01$, $t = -2.74$, $p < .05$; $b = 0.03$, $SE = 0.01$, $t = 1.97$, $p < .05$); 註解效果在基於回視與停滯時間亦有顯著 ($b = -0.04$, $SE = 0.02$, $t = -2.32$, $p < .05$; $b = 0.04$, $SE = 0.01$, $t = 2.40$, $p < .05$); 詞頻效果則在中文翻譯與無意義字串達顯著 ($b = -0.45$, $SE = 0.02$, $t = -26.55$, $p < .05$; $b = 0.40$, $SE = 0.02$, $t = -23.43$, $p < .05$)。

表 6 目標詞在各情境之凝視時間平均值與標準差

凝視時間 (單位：毫秒)	註解	詞頻	Reg		Dwell		
			平均值	標準差	平均值	標準差	
首次 通過 閱讀	FFD	CN	Low	296.31	5.60	302.57	6.37
			High	271.48	5.48	271.52	5.32
		XX	Low	297.20	5.78	298.55	5.33
			High	273.62	6.66	274.06	4.63
	SFD	CN	Low	314.63	6.49	324.76	7.33
			High	278.84	5.23	280.35	5.55
		XX	Low	322.67	6.54	315.88	5.84
			High	279.49	7.10	278.52	5.06
	GD	CN	Low	450.44	8.51	459.72	7.42
			High	326.06	7.65	337.58	6.12
		XX	Low	457.55	8.28	454.93	8.21
			High	327.73	8.14	337.39	6.38
再次 通過 閱讀	GPT	CN	Low	620.41	17.50	628.85	15.60
			High	411.11	14.01	415.34	12.92
		XX	Low	596.35	17.01	599.74	17.01
			High	405.48	15.66	408.74	13.83
	RRT	CN	Low	543.60	26.11	546.30	25.36
			High	366.41	22.67	344.91	22.58
		XX	Low	547.99	28.53	593.26	50.65
			High	381.31	20.29	373.30	20.10
	TVT	CN	Low	629.76	18.80	687.71	22.14
			High	426.98	14.11	432.99	16.48
		XX	Low	640.16	22.56	636.80	20.42
			High	437.67	14.89	438.79	17.16

註：FFD 為首次凝視在目標字上的時間；SFD 為僅凝視在目標字上一次，該次的凝視時間 GD 為凝視在目標字上，在未離開之前，所有的凝視時間加總；GPT 為首次凝視在目標字區域，直到首次越過右邊邊界的時間加總，包括回視至目標字左側任何字的凝視時間；RRT 為已有首次通過凝視，然後再次凝視此區域的時間加總；TVT 為所有凝視時間加總，同總閱讀時間。

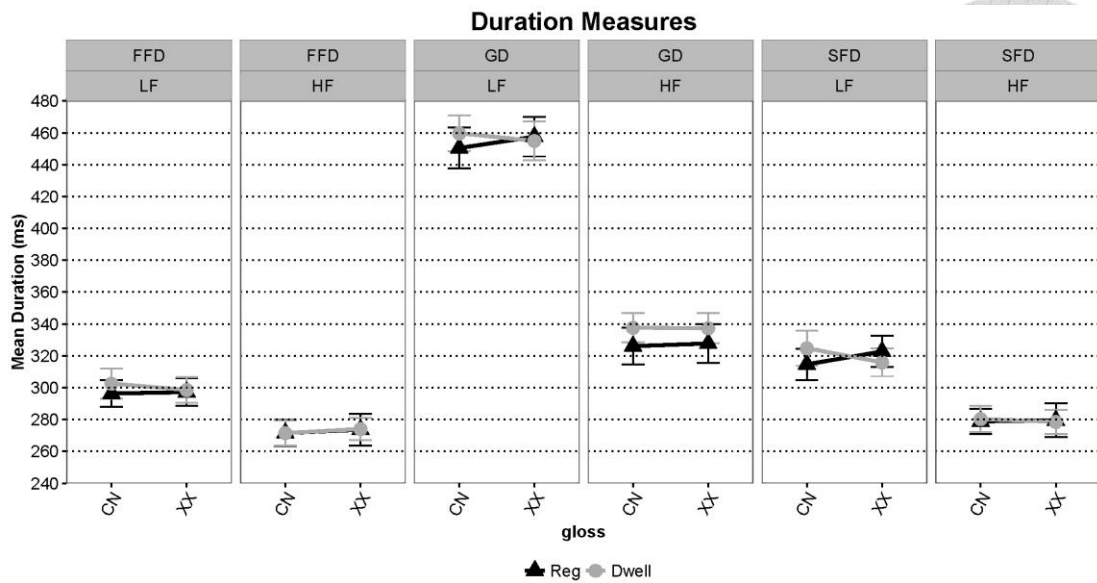


圖 10：高低頻字在各情境之早期凝視時間平均值及標準誤

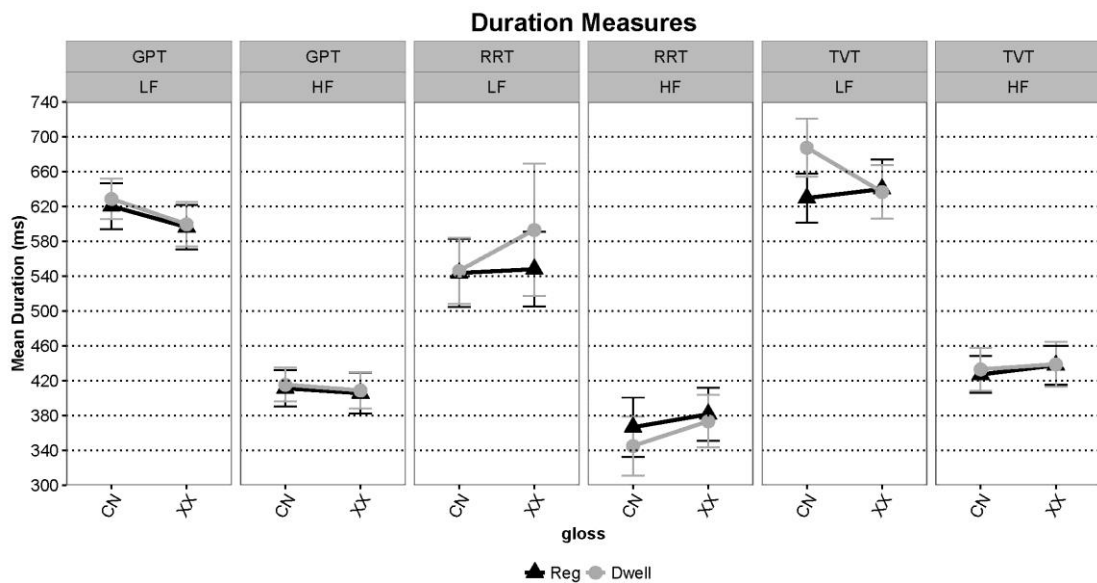


圖 11：高低頻字在各情境之晚期凝視時間平均值及標準誤

目標字在各情境之凝視比例的平均值與標準差，請見表 7 和圖 12、13，閾值效果、註解效果之統計結果請見附錄五 (E)、五 (F)。在早期眼動指標觀察到邊際註解效果 (SKIP, $b = 0.07$, $SE = 0.04$, $t = 1.88$, $.05 < p < .06$) 與詞頻效果 (SKIP, $b = -0.78$, $SE = 0.04$, $t = -21.12$, $p < .05$; ReFIX, $b = 1.28$, $SE = 0.05$, $t = 28.43$, $p < .05$); 閾值效果 (ReREAD, $b = -0.10$, $SE = 0.05$, $t =$



-2.12, $p < .05$; RegIn, $b = -0.14$, $SE = 0.06$, $t = -2.26$, $p < .05$; RegOut, $b = -0.11$, $SE = 0.05$, $t = -1.96$, $p < .05$)、註解效果 (RegIn, $b = -0.12$, $SE = 0.06$, $t = -1.88$, $.05 < p < .06$; RegOut, $b = -0.10$, $SE = 0.05$, $t = -1.90$, $.05 < p < .06$) 以及詞頻效果 (ReREAD, $b = 0.17$, $SE = 0.05$, $t = 3.60$, $p < .05$; RegIn, $b = -0.21$, $SE = 0.06$, $t = -3.33$, $p < .05$; RegOut, $b = 0.29$, $SE = 0.05$, $t = 5.31$, $p < .05$) 在晚期指標皆發生顯著或邊際顯著; 閾值效果與註解效果在 ReREAD 指標有交互作用 ($b = -0.10$, $SE = 0.05$, $t = -2.19$, $p < .05$); 閾值效果與詞頻效果在 SKIP 指標有交互作用 ($b = -0.07$, $SE = 0.04$, $t = -2.03$, $p < .05$); 註解效果與詞頻效果的交互作用則在 ReREAD 和 RegIn 指標達顯著 (ReREAD, $b = -0.12$, $SE = 0.05$, $t = -2.56$, $p < .05$; RegIn, $b = -0.16$, $SE = 0.06$, $t = -2.49$, $p < .05$); 主要效果間無三階交互作用 ($p > .05$)。

進一步分析後, SKIP 指標上的閾值效果在高頻字達顯著 ($b = -0.11$, $SE = 0.06$, $t = -2.01$, $p < .05$), 詞頻效果則在基於回視與停滯時間達顯著 ($b = 0.70$, $SE = 0.05$, $t = 13.47$, $p < .05$; $b = 0.85$, $SE = 0.05$, $t = 16.52$, $p < .05$); ReREAD 指標上的閾值效果在無意義字串顯著 ($b = 0.20$, $SE = 0.07$, $t = 3.05$, $p < .05$), 註解效果在低頻字顯著 ($b = 0.12$, $SE = 0.06$, $t = 2.06$, $p < .05$), 詞頻效果則在中文翻譯達顯著 ($b = -0.29$, $SE = 0.07$, $t = -4.34$, $p < .05$); RegIn 指標上的註解效果在低頻字有顯著 ($b = 0.27$, $SE = 0.08$, $t = 3.36$, $p < .05$), 詞頻效果則在無意義字串上達顯著 ($b = 0.37$, $SE = 0.09$, $t = 4.05$, $p < .05$)。結果顯示提供中文翻譯時, 詞彙受參與者凝視的比例較高。在目標字為高頻的前提下, 基於停滯時間較常發生略視的現象。基於停滯時間的回視、再閱讀比例顯著較低。當提供中文翻譯時參與者傾向往前回視, 且若目標字為低頻, 再閱讀與再回視比例較高。

表 7 目標詞在各情境之凝視比例平均值與標準差

凝視比例 (單位：百分比)	註解	詞頻	Reg		Dwell		
			平均值	標準差	平均值	標準差	
首次 通過 閱讀	SKIP	CN	Low	0.25	0.03	0.22	0.02
			High	0.38	0.03	0.40	0.03
	XX	Low	Low	0.25	0.03	0.26	0.03
			High	0.38	0.03	0.42	0.03
	ReFIX	CN	Low	0.54	0.02	0.54	0.02
			High	0.24	0.02	0.27	0.02
		XX	Low	0.53	0.02	0.55	0.02
			High	0.26	0.02	0.27	0.02
再次 通過 閱讀	ReREAD	CN	Low	0.31	0.03	0.31	0.03
			High	0.25	0.02	0.26	0.03
		XX	Low	0.29	0.03	0.27	0.02
			High	0.29	0.03	0.26	0.02
	RegIn	CN	Low	0.11	0.01	0.11	0.01
			High	0.12	0.01	0.11	0.01
		XX	Low	0.10	0.01	0.08	0.01
			High	0.13	0.01	0.11	0.02
RegOut	CN	Low	0.21	0.02	0.21	0.01	
		High	0.17	0.02	0.16	0.02	
	XX	Low	0.20	0.01	0.19	0.02	
		High	0.17	0.02	0.15	0.02	

註：SKIP 為未凝視在目標字上的比例；ReFIX 為凝視在目標字上，在未離開之前對目標字有兩次以上的凝視比例；ReREAD 為已有首次通過凝視，然後再次凝視此區域的可能性，無論其方向是由左或右而來；RegIn 為已有首次通過凝視，然後自目標字區域的右邊跳進目標字上繼續閱讀之可能性；RegOut 為已有首次通過凝視，然後接續跳出目標字區域的左邊邊界繼續閱讀之可能性。

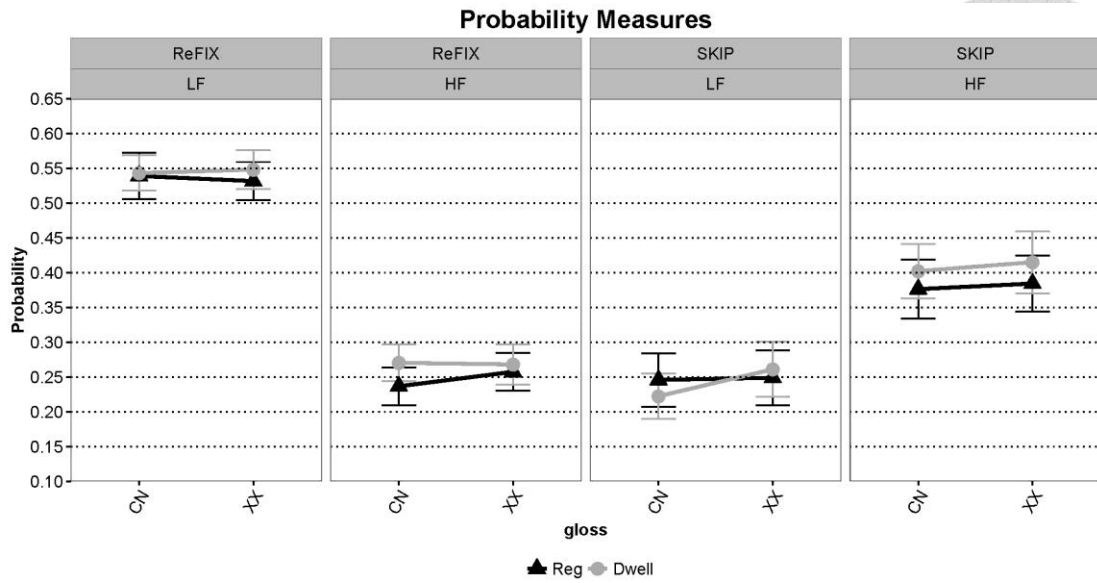


圖 12：高低頻字在各情境之早期凝視比例平均值及標準誤

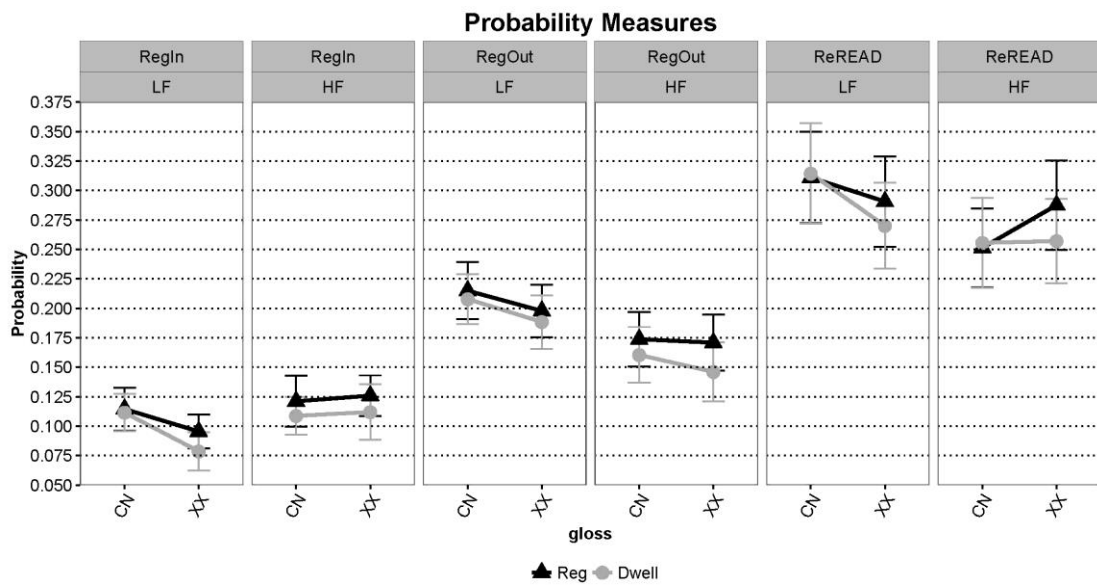


圖 13：高低頻字在各情境之晚期凝視比例平均值及標準誤

表 8 和表 9 呈現各效果的整理以利理解：(一) 閾值效果，對比基於停滯時間與基於回視眼跳；(二) 註解效果，對比中文翻譯與無意義字串；(三) 詞頻效果，對比高頻與低頻詞彙，於註解觸發狀況、整體性與區域性眼動指標的影響性。

表 8 各主要效果在註解觸發狀況與整體性眼動指標的顯著性

	註解觸發狀況			整體性眼動指標						
	nAnnot	nTimes	AD	nFix	TT	WPM	mFD	mFSL	Pupil	CorrRate
閾值效果	◆	◆	◆					◆		
註解效果					m	◆			◆	◆
閾值 x 註解									◆	
閾值效果@中文	◆	◆	◆	◆	◆		m	◆	◆	
閾值效果@無義	◆	◆	◆						◆	
註解效果@回視				m	◆	◆				◆
註解效果@停滯	◆								◆	◆

註：◆ 表示顯著， $p < .05$ ；m 表示邊緣顯著， $.05 < p < .06$ 。

表 9 各主要效果在區域性眼動指標的顯著性

	區域性眼動指標										
	首次通過閱讀					再次通過閱讀					
	FFD	SFD	GD	SKIP	ReFIX	GPT	RRT	TVT	ReREAD	RegIn	RegOut
閾值效果									◆	◆	◆
註解效果				m		◆				m	m
詞頻效果	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
閾值 x 註解								◆	◆		
閾值 x 詞頻				◆							
註解 x 詞頻								◆	◆	◆	
三階交互作用											
閾值效果@中文			◆					◆			
閾值效果@無義								◆	◆	◆	◆
註解效果@回視								◆			
註解效果@停滯				◆		◆		◆		m	◆
閾值效果@高頻			◆	◆					◆	◆	
閾值效果@低頻								m			
註解效果@高頻											
註解效果@低頻				◆		◆			◆	◆	m

註：◆ 表示顯著， $p < .05$ ；m 表示邊緣顯著， $.05 < p < .06$ 。

第陸章 討論與問題



第一節 綜合討論

本研究目的在於探討眼動誘發回饋對閱讀效率的影響，同時評估視線感知輔助工具的使用情形。實驗操弄註解顯示內容（有意義的中文翻譯、無意義的 X's 字串）與註解顯示時機（基於停滯時間、基於回視眼跳）。以非英語為母語、英語能力普通者為研究對象，控制文本難度中等、詞彙特性相近，使用眼球追蹤儀器記錄閱讀篇章的過程，並同時以視線軌跡取代滑鼠游標，做為與自行設計之即時翻譯功能互動的唯一途徑。檢視視線互動對閱讀歷程的影響性，後續再就「感知系統使用情形」、「整體性眼動型態」以及「區域性眼動型態」進行分析，以瞭解系統自動提供之回饋如何改變參與者的行為表現。以下分別就三項實驗結果討論：

感知系統使用情形

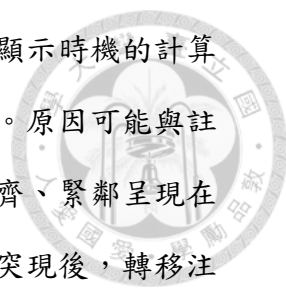
基於停滯時間的閾限雖已借用 SWIFT 的計算邏輯，但以英文為外語者的閱讀表現肯定不如母語者，故本實驗採取事前校準的方法拉近落差。校正結果顯示，練習階段所觀察到的與數學模型所模擬的總閱讀時間確實存在 500 至 2800 毫秒不等的差距，且校正值隨著詞頻愈低而愈高，即符合一般對詞頻效果的認識，故推論兩者差異應來自參與者英語能力的不足。從練習階段觀察值可顯見個體內與個別間之差異—所有區間涵蓋 2330 毫秒的變異範圍，且當詞頻愈低，同區間詞彙之總閱讀時間的標準差愈大。表示非英文為母語者處理難易詞彙的效率不一，彼此也因英語能力迥異而產生懸殊的差別。據此，系統確實得考量其語言精熟程度調整閾值，以個人化、客製化翻譯顯示時機。倘若沿用 Reading Assistant (Sibert et al., 2000)、舊版 iDict (Hyrsykari et al., 2003) 及 Text 2.0

(Biedert et al., 2010) 缺乏彈性的固定閾限，如 360、800 或 750 毫秒，將無法因應各英語程度使用者的需求。再者，截然二分的判斷條件將增加誤觸註解的風險，亦即排除掉觀察值在閾限以下者觸發的可能性，同時大幅提升罕見生字的顯示次數。然而，頻率與熟悉度 (word familiarity) 並不全然相等，總是呈現低頻詞彙的翻譯未必對閱讀作業有幫助，是故如本研究採納詞長、詞頻特性，又依個人表現調校閾值的計算方式較為恰當。至於驗證 SWIFT 模型非關本研究重點，相關數據僅供後人參考。

另外，根據觸發狀況的分析結果發現，註解內容是否為中文翻譯無任何影響性，表示閱讀行為並不因註解有無意義而改變，艱澀詞彙所對應的眼動表現依舊。但不同呈現時機下的註解個數、次數與持續時間有顯著差異，亦即當閾值基於停滯時間時，參與者較頻繁觸發註解，且其顯示時間較短。推測原因為總閱讀時間涵蓋的可能性甚廣，無論是再視、回視、再次閱讀或單一凝視點過久等，皆有機會使累積時數超出閾限。又部分參與者在本次實驗時求好心切，為答對理解題而產生反覆確認文意的閱讀策略，故更容易觸發註解；相對地，回視眼跳通常伴隨著詞彙處理困難，勢必是不懂前一單字的涵義或文句不通順，才自然逆向閱讀，而此一眼動型態的發生比例較低。再者，倘若趁反向眼跳時顯示註解，參與者必須刻意停駐凝視。對比之下，基於停滯時間的狀況更貼近一般閱讀習性，若於視線順向移動時觸發註解，參與者便可自行取捨是否要延長注視之，或僅在確認字義後迅速帶過，兩者差異便反映在顯示時間上。

整體性眼動型態


多數視線互動應用研究的評估方式為主觀報告，由問卷或訪談得知使用者對該原型的偏好與心得，且往往依此歸結出促進任務表現的論述，甚至篤定感知系統無任何負面效果，缺乏謹慎的實驗設計以及客觀的數據佐證。故本實驗希望提供互動當下的眼動資訊與閱讀的客觀指標，方便瞭解註解與閱讀效率的



關係。首先，結果顯示除了向前眼跳幅度外，其他指標皆不受顯示時機的計算方式影響，表示基於回視眼跳產生註解時，凝視落點較為鬆散。原因可能與註解的觸發頻率與顯示位置有關，有鑑於本系統設定註解靠右對齊、緊鄰呈現在目標詞彙上方，又基於停滯時間較容易超出閾限。當視覺刺激突現後，轉移注意力時視線便會在原文與註解之間遞移，故而造成眼跳距離短小的狀況；再者，註解效果則在總時間、閱讀速度與正確率指標上達顯著，意味著系統提供中文翻譯時，使用者在每個嘗試次上所花費的時間較長、閱讀速度較慢，但答題正確率明顯進步；有趣的是，在凝視點數量與單字平均凝視時間上並沒有觀察到任何主要效果和交互作用。由於此二指標採計頁面上所有凝視點，不受興趣區侷限，是故表示各人各情境之間的個別文本和凝視區域的難度、資訊量相近；還有，亦在瞳孔尺寸指標上發現註解效果及其與閾值效果的交互作用。顯示中文翻譯能顯著降低使用者的認知負荷量，特別是基於停滯時間所提供的註解。最後，儘管在凝視點數量、總時間、閱讀速度三者沒有觀察到交互作用，假若單看描述性統計與單純主要效果的話，不難發現在給予中文翻譯的情況下，基於回視眼跳時之凝視點較多、耗時較久、速度偏慢，而且該顯示時機的計算方式對註解內容的影響較為敏感，能明顯觀察到中文資訊會延緩閱讀行為。綜上所述，基於不同標準呈現註解對整體閱讀表現無直接影響，不過，提供中文註解確實讓閱讀理解顯著改善、舒解其心智負荷，但是會拖累任務完成的效率，負面效果尤其體現在基於回視眼跳的閾值上。

區域性眼動型態

更甚前述檢視整體閱讀效率，本實驗亦以詞彙為單位觀察註解如何影響個別字詞的處理歷程。結果顯示，除了在各眼動指標皆相當穩定的詞頻效果外，註解效果（GPT、RegIn、RegOut）與閾值效果（ReREAD、RegIn、RegOut）主要發生在晚期指標上，較少在早期階段看到顯著的影響性，僅有如 SKIP 上



的邊際註解效果。再者，也多在晚期指標上能觀察到主要效果之間的二階交互作用（閾值 x 註解：TVT、ReREAD；閾值 x 詞頻：SKIP；註解 x 詞頻：ReREAD、RegIn）。首先，之所以早期指標差異性低，是因為本系統所規畫之註解觸發時機皆接近歷程晚期，諸如總閱讀時間逾越閾限或再次凝視目標字，且能在首次通過閱讀時便超標者仍為少數，即刻意或無意延長凝視時間總和者，故而主要效果通常顯現在晚期。從凝視時間得知，當系統提供中文翻譯時，各詞彙的越過前總凝視時間顯著較久，表示使用者得花費比無意義字串更多的時間，為整合擷取自文本與註解的新舊語意資訊。然而，總凝視時間指標則出現非次序性交互作用，即單字的平均總處理時間因不同的註解顯示時機與內容配對而有所消長—像是相對回視眼跳，基於停滯時間提供翻譯時注視較久，但無意義字串時則較短；另從凝視比例分析，視線是否略過不停留取決於註解內容，當顯示中文翻譯時，使用者因註解富有重要資訊而傾向多注視之。還有，在目標字為高頻的前提下，基於停滯時間的閾值較常發生略視的現象，推測使用者在獲取低頻詞彙的幫助後，便不需要、也不希望觸發過於簡單的翻譯內容。此外，晚期指標皆反映基於停滯時間閾值的回視、再閱讀比例顯著較低，代表此類情境的眼動表現相對流暢、閱讀阻礙較少。其中，尤其在目標字為低頻時，可觀察到註解效果在再閱讀與再回視比例指標有顯著性，也就是說，當系統針對困難詞彙顯示中文翻譯的話，使用者更容易再次凝視目標區域做再確認和訊息整合。相對地，往前回視比例指標上的註解效果則不受詞頻影響，亦即只要該情境提供中文翻譯，使用者便會傾向逆向繼續閱讀，可能是整合前文與目前新進的資訊，抑或是為回頭觸發先前的註解內容。

總結

首先，經閾值校正結果證實，非英文為母語者在閱讀外語文本時的眼動表現具個體差異。其語言水平與背景知識各異，導致難易詞彙之處理效率相當懸

殊。對比一般平均 200 至 300 毫秒的凝視時間 (Rayner, 2009)，本研究參與者卻得耗費 600 至 3000 毫秒不等。表示翻譯功能必須權衡個體變項與詞彙特性，以契合使用者在閱讀理解上的狀態。假如參照 Reading Assistant (Sibert et al., 2000)、iDict (Hyrskykari et al., 2003) 及 Text 2.0 (Biedert et al., 2010)，其註解顯示時機全然取決於固定閾限，將不符合注意力系統「預測需求」的目標，更無法適時提供必要的輔助訊息。因此，借助數理模型的邏輯與計算關係，採客觀且量化的物理性質推估使用者可能遭遇之困難，係屬理想的運算模式。

本實驗支持眼動誘發之即時「中文翻譯」有效增進理解、降低認知負荷。不過，使用者難以兼顧理解品質與效率，故而放慢閱讀速度，以從中收錄並統整語意線索。再者，個體會因應註解顯示內容施行不同的閱讀策略，亦即有中文翻譯嵌入至原始文本中時，傾向減少略過、延長凝視、逆向眼跳，為求重新觸發註解或再次整合文句。綜觀分析結果，雖然基於不同指標顯示的註解對於整體閱讀表現無顯著影響。但是，唯有基於停滯時間的情境在提供中文翻譯時，依然維持相當程度的理解效率（凝視點數量、總時間、閱讀速度變化較小）。且由再次通過時的凝視比例指標得知，基於停滯時間提供註解時的閱讀表現相對流暢、阻礙較少。

其次，研究指出以停滯時間為閾限時，註解次數較頻繁且急促。此觸發狀況之差異，意味著總凝視時間與回視兩指標，所反映的閱讀理解難處不一。對使用者而言，基於停滯時間仍保有操作上的彈性，當意識到詞彙處理不順，便可恣意停留以觸發註解，直到原文與翻譯內容完全整合；基於回視眼跳則多屬不自主的眼動表現，通常在前一單詞或上個段落處理不全時發生。鑒於刻意逆向反覆閱讀違反常理，使用者鮮少為之，故觸發比例亦如回視現象約 10-15%。於上述區域性眼動型態歸結，在本實驗設計中，基於停滯時間所提供之註解對於詞彙處理歷程的確較優。然而，據此仍無法斷定何者為「最佳」的區辨標準，因為「停滯時間」與「回視眼跳」並非互斥，差別只在於各自適合的使用

情境。考量前者自由度高，偏向視線控制（gaze-control）之應用，更能強調出使用者主觀認為生澀難懂之字詞，故建議用於困難文本上。相對地，逆向眼跳則能凸顯線上（on-line）閱讀理解歷程，反映互動當下詞彙辨識的阻礙。預期趁發生回視時給予目標詞註解將緩解訊息處理的負擔，俾利順暢閱讀，故適用於簡易題材。有鑑於註解顯示時機與任務難度之間的交互關係，後續開發之感知系統應該廣納多元指標，來評估使用者在各情境、任務或文本材料中可能遭遇的困難，其預測力將更勝過去一貫以停滯時間為演算基礎的翻譯原型。

最後，由於本研究側重探討視線互動之全貌，故將全數詞彙納入討論。並未獨立分析有註解者，致使詞頻與其他因子的交互作用難以顯著。即便如此，仍可從描述性統計結果發現，註解內容的影響性多反映在低頻詞上。譬如當系統提供中文提示時，總凝視時間增加、再閱讀時間減少、略視比例降低、回視與再閱讀比例提高。亦即，使用者在瞭解到將有翻譯嵌入文章中後，其針對困難詞彙的處理時間會更久，且經常凝視、反覆閱讀之。對比高頻詞，則有相反的趨勢，表示受惠於低頻詞彙的註解，使用者得以省略簡單易懂的文句，僅就理解困難處多加整合，也可掌握篇章的意涵。故而，將來設計翻譯工具時其實可以考慮事前分析、篩選文本，並調降閾值以優先呈現低頻詞之輔助訊息，或許同樣能改善使用者的閱讀情況。

第二節 設計指南

為符合使用者需求與行為，且應對視線互動之困境，本研究所實作的視線感知即時翻譯工具原型，除了順應書寫脈絡，安排註解靠右對齊顯示在原文上方外，也依循下列幾點規劃準則，僅供後續應用參考：

運用眼動誘發呈現技術

參照閱讀研究常見的移動視窗 (moving window)、邊界 (boundary) 典範，透過眼動儀持續追蹤眼睛狀態，再根據當下的凝視位置與時間置換螢幕上的刺激材料，確保系統回傳的翻譯隨著視線而變化，並顯示於該次凝視期間能處理的範圍內，而非如 iDict (Hyrskykari, 2006) 另開視窗。藉此減少使用者大幅度眼跳的比例，降低來回對照原文與輔助資訊的成本。再者，本系統係以個別詞彙為運算單位，且同時點只會觸發單一註解，不僅維持頁面乾淨，亦可有效規避刺激出現在周邊視野時所造成的干擾 (Jacob, 1995)。

預設位置公差與緩衝時間

為因應感測器與人眼的不穩定性，建議視線互動應用規劃演算法優化、平滑眼動資料，排除極端的眼球運動。而本研究受限於實驗需求，須採用原始數據運算，故程式的判定區塊勢必得相應地放大，以容忍高取樣率下視線軌跡嚴重漂移的情況。系統將目標字上下延伸 1 與 0.5 倍字體大小的像素距離，設定此範圍為興趣區，並視其邊界為基準線。唯有視線停滯於區域內，才開始累計時間或決定該字是否曾被注視。此外，由於眼動儀無法精確校準，當使用者欲觀看註解時，會發生凝視點於興趣區邊界處晃動的窘境，造成程式難以取捨資料點。是故本系統亦訂定 100 毫秒之緩衝時間—無論視線進出目標字幾次，只要離開該區域的時間小於限時，其註解一律保留，且待重新注視時繼續累加凝視指標，如圖 14 的凝視點 4 和 6。相反地，若超出興趣區、逗留過久則取消註解，如圖 14 的凝視區間 14。透過放寬空間與時間誤差的容忍度，以確保系統是在處理當下正被凝視的目標字，並避免視覺刺激閃爍或無故消失。

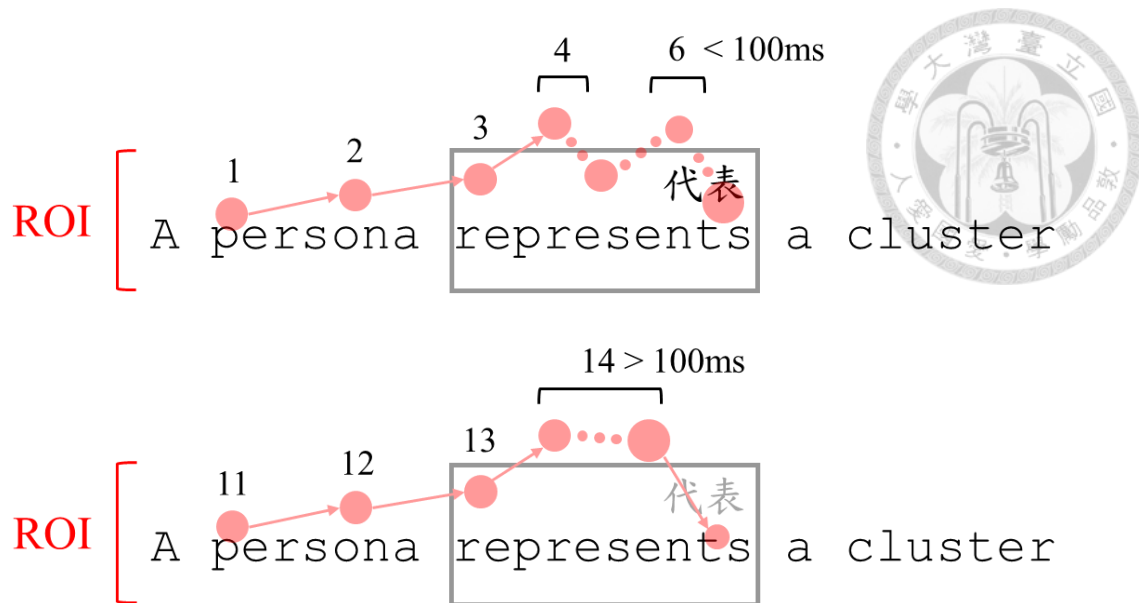
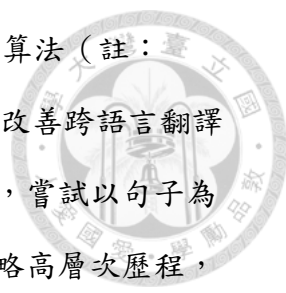


圖 14：程式判定緩衝區示意圖

考量文本特性與個體差異

感知系統的成敗關鍵在於能否掌握用戶的閱讀歷程，但礙於實務上無法即時擷取理解的四個面向—詞彙辨識、閱讀流暢度、句法處理及詞義知識

(Rayner et al., 2006)，尤其後三者牽涉外語的字彙量、熟悉程度及背景知識等複雜變項。縱使相關研究已指出，若個體因語法架構衝突、或語言能力低落而理解困難，會產生特定的眼動型態 (Frazier & Rayner, 1987; Ashby et al., 2005; Chace et al., 2005)。但是，單就兩者的關聯性尚不足以讓系統由使用者當下的閱讀表現回推其「理解品質」，是故本研究選用單一詞彙處理的觀點。雖然在捨去文句語境、句法模糊度等因素的前提下，SWIFT 模型與實際的眼動表現仍有落差。但是比起 Reading Assistant (Sibert et al., 2000) 與 Text 2.0 (Biedert et al., 2010) 的固定閾限，或如 iDict (Hyrskykari et al., 2003) 只取凝視時間與詞頻的線性關係，採納詞長與詞頻的數學式理應更貼近真實情境。而且從校正結果顯示非英文為母語者的總閱讀時間，具明顯的個體內與個別間差異，故多方考量詞彙、文本與讀者的特性，甚或是依使用者偏好客製化註解時機的計算方式勢

在必行。然而，在更適切的機器翻譯（Machine Translation）演算法（註： Google 近期以神經機器翻譯取代過往的基於短語的機器翻譯，改善跨語言翻譯的準確度。若能精準重現文本語意，本系統便能視之為資料庫，嘗試以句子為單位設計原型）或眼動控制數學模型提出之前，本研究暫且忽略高層次歷程，並藉由事前校正的方式彌補個體變項所造成的影響。

第三節 研究限制與建議

本研究旨在檢視眼動誘發註解的時機與內容對閱讀理解歷程的影響，結果顯示系統自動提供的翻譯確實改變整體閱讀效率與區域眼動型態，且部分指標與詞彙難度有關，然而，此實驗仍有幾項缺失有待改善：

參與者的語言能力

本實驗起初預計招募英語能力有待加強者，以凸顯翻譯功能的助益。但由於國立政治大學在校學生皆具備相當程度的語言基礎，且有意願參與實驗者同質性甚高、語言水平與經歷相仿。即便以無註解篇章的眼動表現區分之，高、低兩組間還是沒有顯著差異，故而本研究結果是基於中等程度以上的學生。就閱讀而言，其詞彙量與文法知識堪用，偶爾受專有名詞或艱澀詞彙困擾，因此，無從推論眼動誘發註解能否幫助全數非英語為母語者。期望未來相關研究能找齊英語精通、中等、欠佳者，檢證「凝視翻譯」服務對使用者的影響是否因其程度而異。

實驗材料的選擇


為了讓篇章具有挑戰性，實驗用文本取材自英語檢定之模擬試題庫，其用字刁鑽、文句精簡、篇幅適中且內容多元。對參與者來說不到輕而易舉，也不

至於窒礙難行。可是，此類題目容易使其進入「考試的戰備狀態」，採取格外專注、謹慎的閱讀策略，例如刻意放慢速度、反覆研讀重點，而該行為模式並不符合一般閱讀習慣。即使是學習第二外語，使用者理應抱持相對放鬆自在的心態，故建議未來相關研究改採用較生活化的刺激材料，如時事新聞、短篇故事或科普文章等，或擬定更恰當地測驗題型。觀察自然情境下註解觸發的情形與眼動型態的變化，以呼應注意力感知系統實際運用時的狀況。

另外，本研究在測後邀請參與者針對原型評估，項目包括輔助工具的體驗與易用性，並輔佐國外團隊研發之作品進一步說明和訪談。經由產品反應卡與系統易用性量表得知（註：由於本研究的實驗情境乃交錯呈現，且直至結束才予以總評，故問卷結果參考價值較低，僅以文字敘述之），使用者對於視線互動應用抱有正面態度，認為其有機會創造更直觀、方便、有效率的閱讀體驗。主觀報告中也多提及注意力感知系統明顯減輕負擔，因應艱澀字詞而自動產生的翻譯確實能改善外語理解歷程。不過，參與者普遍覺得註解顯示時機與內容品質良莠不齊，亦即演算法所預測的結果仍與實際感受有落差，偶有令人分心、困惑或無關緊要的誤觸事件，且擔心眼球追蹤技術門檻過高。尤其在實驗室無法全然體現真實場域的需求，無論是感測器的準確性與穩定性、操作與校正方式、設備與環境陳設、或使用情境與行為，皆難以親近一般用戶的閱讀經驗，人為的限制導致使用者懷疑視線互動的適用性。對此，後續研究除了得竭盡避免干擾視覺或語言處理，好讓使用者順暢理解、整合語意外，將來可參考以下幾點延伸討論：

視線互動的品質、與其他途徑主次關係

本實驗已比照閱讀心理學的研究，基於凝視時間與回視眼跳分辨閱讀表現是否偏差，但是仍有部分參與者提出可控性的疑慮，意味著當前演算法所考量的因素尚不足以掌握其意圖。從使用者回饋歸納出兩項問題：第一，對於非英



語為母語者，閱讀不只是詞彙辨識，整合文句也是關鍵。而本系統在摒除語意脈絡預測性的前提下，提供個別字詞翻譯未必能緩解其困難，可能反倒是打斷語意理解歷程，個體必須花更多心力參照中英文資訊。再者，單一眼動指標能類推的心智運作有限，譬如逆向眼跳又可依其橫跨幅度區分，短者通常與詞彙處理相關，長者則表示段落理解失敗。假使於後者情境顯示單字翻譯，而非整句的注釋將略顯突兀，引起使用者疑惑。

其二，使用者未曾見識注意力使用者介面，致使其心智模型（mental model）無法與系統的概念模型（conceptual model）匹配。因此，實驗初期多少會猜測程式運算邏輯，或嘗試以較熟悉的眼控形式進行，但往往會誤觸註解，造成主觀感受不佳。故倘若系統設計與個體主觀認知相差甚遠，勢必得保留手動操作的選項，尤其當使用者還未從滑鼠、鍵盤、圖形介面過渡至非指令型介面時，更需拿捏兩者之間的比例。承上兩點，建議後續研究嘗試不同層次的註解內容與眼動指標，或設法採納語境因素，以改進輔具的效益和眼動控制數學模型的預測力。另外，亦可檢視各情境或任務最適合的人機互動型態，探討外顯的眼控（gaze-control）、次要的視線擴增（gaze-augmented）以及內隱的視線感知對行為表現的影響。甚或是以互動當下的眼動型態建模，推算出更貼近真實情境的數學關係式，進而驗證、修正已知的行為模型。

真實場域

為確保眼動資料的品質，本研究自始至終在實驗室內完成，採取理想的取樣率與準確度，刻意迴避實際互動情境的諸多因素。但是，若將來寄望推廣視線互動應用於日常生活，建議研究者以平價眼動儀實作、驗證之。畢竟近年多家廠商陸續將感測器安裝在螢幕、筆記型電腦、行動裝置、以及頭戴式顯示器上，相關應用則多往遊戲、資訊展示、系統操作等面向拓展。但使用者於不同情境或裝置的眼動型態與任務表現仍待考察，像是閱讀本身即可針對考試和瀏

覽網頁、或電腦和手機做比較，好因應使用者需求做改善。



記憶與學習

本研究強調互動當下的表現，主要觀察眼動型態的變化，並未檢證其對外語學習的長期成效。即閱讀輔助工具提供的助益可否延續，生澀詞彙能否不經意習得、甚或進入長期記憶，仍不得而知。正如電子閱讀研究所述（Garland, & Noyes, 2004），使用者從多媒體獲取訊息時的策略明顯不同，閱讀電子書時傾向進行淺層處理。由於缺乏位置與情境線索，單次的記憶與學習效果遠不及紙本材料，需要一再接觸並覆誦才能瞭解同等的知識內涵。或許視線互動亦會造成類似現象—雖然由系統代勞查詢辭典，可省略任務轉換與手動謄寫的負擔，於此同時卻也錯失投入更多注意力、反覆曝光以及深度處理的機會，故建議未來研究探討感知系統對記憶提取的影響，或設想兼顧學習品質與便利性的方案。

眼動指標的選擇與詮釋

由於本次選用的題材與閱讀行為息息相關，故因循常見的凝視時間與比例指標檢證之。但可惜的是，考量文本與註解緊密相鄰，又眼動資料難免漂移，無法細看興趣區間的交互作用。倘若後續研究者有能力改進程式，或將刺激材料分隔兩處，建議參照多媒體學習（multimedia learning）研究納入整合眼跳（integrative saccades）、閱讀順序（reading order）或凝視占比（proportion of fixations）等，反映眼動如何在目標區與輔助資訊間來回遞移。例如 Johnson 與 Mayer（2012）藉由眼球追蹤驗證空間鄰近效應（Spatial Contiguity Effect），發現當圖表與注釋越接近時，視線越頻繁在兩者之間往返，且傾向優先處理文字資訊，如此增進圖文整合致使學習表現提升。若視線互動應用也能掌握到相關數據，勢必可幫助研究者瞭解系統回饋對行為的影響。

參考文獻



- Ashby, J., Rayner, K., & Clifton, C. (2005). Eye movements of highly skilled and average readers: Differential effects of frequency and predictability. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58, 1065-1086.
- Ashmore, M., Duchowski, A. T., & Shoemaker, G. (2005, May). Efficient eye pointing with a fisheye lens. In K. Inkpen (Chair), *Proceedings of Graphics Interface 2005*. Symposium conducted at the meeting of Canadian Human-Computer Communications Society, Victoria, British Columbia.
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59, 390-412.
- Bates, R., & Istance, H. (2002, July). Zooming interfaces!: Enhancing the performance of eye controlled pointing devices. In V. L. Hanson (Chair), *Proceedings of the Fifth International ACM Conference on Assistive Technologies*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Edinburgh, Scotland.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. *R Package Version*, 1(7).
- Beatty, J. (1982). Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological Bulletin*, 91, 276.
- Bednarik, R., Vrzakova, H., & Hradis, M. (2012, March). What do you want to do next: A novel approach for intent prediction in gaze-based interaction. In C. H. Morimoto & H. Istance (Chair), *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Santa Barbara, California, USA.

Benedek, J., & Miner, T. (2002). Measuring desirability: New methods for evaluating desirability in a usability lab setting. *Proceedings of Usability Professionals Association, 2003*, 8-12.

Biedert, R., Buscher, G., & Dengel, A. (2010). The eyebook—using eye tracking to enhance the reading experience. *Informatik-Spektrum, 33*, 272-281.

Biedert, R., Buscher, G., Schwarz, S., Hees, J., & Dengel, A. (2010, April). Text 2.0. In E. Mynatt & D. Schoner (Chair), *CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Atlanta, Georgia, USA.

Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry, 189*(194), 4-7.


Brysbaert, M., Drieghe, D., & Vitu, F. (2005). Word skipping: Implications for theories of eye movement control in reading. *Cognitive Processes in Eye Guidance, 3*, 53-77.

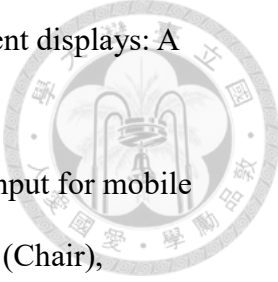
Brysbaert, M., & New, B. (2009). Moving beyond Kučera and Francis: A critical evaluation of current word frequency norms and the introduction of a new and improved word frequency measure for American English. *Behavior Research Methods, 41*, 977-990.

Bulling, A., Ward, J. A., Gellersen, H., & Troster, G. (2011). Eye movement analysis for activity recognition using electrooculography. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 33*, 741-753.

Buscher, G., Dengel, A., van Elst, L., & Mittag, F. (2008, April). Generating and using gaze-based document annotations. In D. Tan (Chair), *CHI'08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Florence, Italy.

Calvi, C., Porta, M., & Sacchi, D. (2008, July). e5Learning, an e-learning

- 
- environment based on eye tracking. In I. Aedo & E. Mora (Chair), *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Symposium conducted at the meeting of IEEE, Santander, Cantabria, Spain.
- Chace, K. H., Rayner, K., & Well, A. D. (2005). Eye movements and phonological parafoveal preview: Effects of reading skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 59, 209.
- Cheng, S., Sun, Z., Sun, L., Yee, K., & Dey, A. K. (2015, April). Gaze-based annotations for reading comprehension. In B. Begole & J. Kim (Chair), *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Seoul, Republic of Korea.
- Cockburn, A., Kristensson, P. O., Alexander, J., & Zhai, S. (2007, April). Hard lessons: Effort-inducing interfaces benefit spatial learning. In M. B. Rosson (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, San Jose, California, USA.
- D'Mello, S., Olney, A., Williams, C., & Hays, P. (2012). Gaze tutor: A gaze-reactive intelligent tutoring system. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(5), 377-398.
- Drewes, H., & Schmidt, A. (2007, September). Interacting with the computer using gaze gestures. In A. M. Pejtersen (Chair), *IFIP Conference on Human Computer Interaction*. Symposium conducted at the meeting of IFIP, Rio de Janeiro, Brazil.
- Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34, 455-470.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice*. London: Springer Science & Business Media.

- 
- Duchowski, A. T., Cournia, N., & Murphy, H. (2004). Gaze-contingent displays: A review. *CyberPsychology & Behavior*, 7, 621-634.
- Dybdal, M. L., Agustin, J. S., & Hansen, J. P. (2012, March). Gaze input for mobile devices by dwell and gestures. In C. H. Morimoto & H. Istance (Chair), *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Santa Barbara, California, USA.
- Eaddy, M., Blasko, G., Babcock, J., & Feiner, S. (2004, October). My own private kiosk: Privacy-preserving public displays. In T. Martin (Chair), *Proceedings of the Eighth International Symposium on Wearable Computers*. Symposium conducted at the meeting of IEEE, Washington, DC, USA.
- Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research*, 42, 621-636.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112, 777-813.
- Engelhardt, P. E., Ferreira, F., & Patsenko, E. G. (2010). Pupillometry reveals processing load during spoken language comprehension. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63, 639-645.
- Erlhagen, W., & Schöner, G. (2002). Dynamic field theory of movement preparation. *Psychological Review*, 109, 545.
- Fairclough, S. H. (2010). Physiological computing: Interfacing with the human nervous system. In J. Westerink, M. Krans, & M. Ouwerkerk (Eds.), *Sensing emotions* (pp. 1-20). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Fono, D., & Vertegaal, R. (2005, April). EyeWindows: evaluation of eye-controlled zooming windows for focus selection. In R. Grinter et al., (Chair), *Proceedings*

of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing System. Symposium conducted at the meeting of ACM, Portland, Oregon, USA.



- Frazier, L., & Rayner, K. (1982). Making and correcting errors during sentence comprehension: Eye movements in the analysis of structurally ambiguous sentences. *Cognitive Psychology*, *14*, 178-210.
- Frazier, L., & Rayner, K. (1987). Resolution of syntactic category ambiguities: Eye movements in parsing lexically ambiguous sentences. *Journal of Memory and Language*, *26*, 505-526.
- Garland, K. J., & Noyes, J. M. (2004). CRT monitors: Do they interfere with learning?. *Behaviour & Information Technology*, *23*, 43-52.
- Hansen, J. P., Tørning, K., Johansen, A. S., Itoh, K., & Aoki, H. (2004, March). Gaze typing compared with input by head and hand. In A. T. Duchowski & R. Vertegaal (Chair), *Proceedings of the 2004 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. Symposium conducted at the meeting of ACM, San Antonio, Texas, USA.
- Horvitz, E., Kadie, C., Paek, T., & Hovel, D. (2003). Models of attention in computing and communication: From principles to applications. *Communications of the ACM*, *46*, 52-59.
- Hosseiny, M., Biedert, R., Dengel, A., & Buscher, G. (2011, February). The eyePad-Tom Riddle in the 21st Century. In Y. Nakano, C. Conati, & T. Bader (Chair), *Proceedings of the 2nd Workshop on Eye Gaze in Intelligent Human Machine Interaction*. Symposium conducted at the meeting of *IUI 2011*, Palo Alto, California, USA.
- Hyönä, J., Tommola, J., & Alaja, A. M. (1995). Pupil dilation as a measure of processing load in simultaneous interpretation and other language tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *48*, 598-612.

Hyrskykari, A. (2006). *Eyes in attentive interfaces: Experiences from creating iDict, a gaze-aware reading aid*. University of Tampere, Finland.

Hyrskykari, A., Majaranta, P., Aaltonen, A., & Rähkä, K. J. (2000, November). Design issues of iDICT: A gaze-assisted translation aid. In A. T. Duchowski (Chair), *Proceedings of the 2000 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Palm Beach Gardens, Florida, USA.

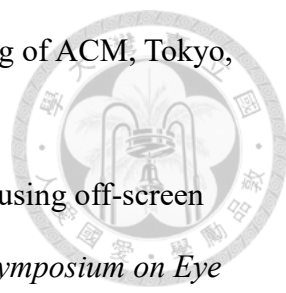
Hyrskykari, A., Majaranta, P., & Rähkä, K. J. (2003, June). Proactive response to eye movements. In C. Stephanidis (Chair), *Proceedings of the International Conference on Human Computer Interaction*. Symposium conducted at the meeting of HCI, Amsterdam, Netherlands.

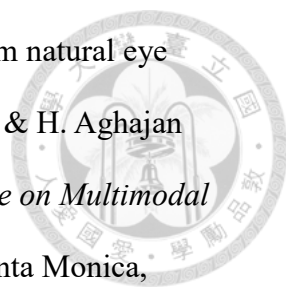
Hyrskykari, A., Majaranta, P., & Rähkä, K. J. (2005, July). From gaze control to attentive interfaces. In B. Schneiderman (Chair), *Proceedings of the 11th International Conference on Human Computer Interaction*. Symposium conducted at the meeting of HCI, Las Vegas, USA.

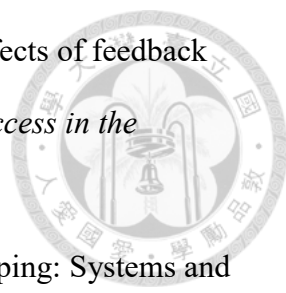
Inhoff, A. W., & Weger, U. W. (2005). Memory for word location during reading: Eye movements to previously read words are spatially selective but not precise. *Memory & Cognition*, 33, 447-461.

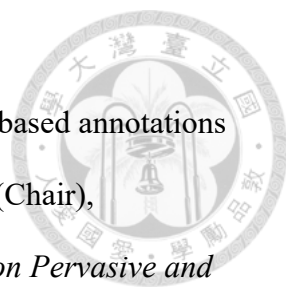
Iqbal, S. T., Zheng, X. S., & Bailey, B. P. (2004, April). Task-evoked pupillary response to mental workload in human-computer interaction. In E. Dykstra-Erickson & M. Tscheligi (Chair), *CHI'04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Vienna, Austria.

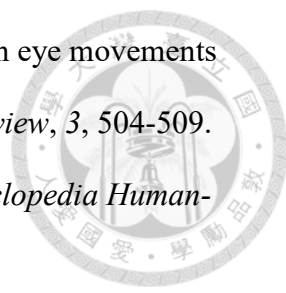
Ishiguro, Y., & Rekimoto, J. (2011, March). Peripheral vision annotation: Noninterference information presentation method for mobile augmented reality. In M. Inami & J. Rekimoto (Chair), *Proceedings of the 2nd Augmented Human*

- 
- International Conference*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Tokyo, Japan.
- Isokoski, P. (2000, November). Text input methods for eye trackers using off-screen targets. In A. T. Duchowski (Chair), *Proceedings of the 2000 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Palm Beach Gardens, Florida, USA.
- Jacob, R. J. (1991). The use of eye movements in human-computer interaction techniques: What you look at is what you get. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 9, 152-169.
- Jacob, R. J. (1993). Eye movement-based human-computer interaction techniques: Toward non-command interfaces. *Advances in Human-Computer Interaction*, 4, 151-190.
- Jacob, R. J. (1995). Eye tracking in advanced interface design. In W. Barfield & T. A. Furness (Eds.), *Virtual environments and advanced interface design* (pp. 258-288). New York, NY, USA: Oxford University Press.
- Jacob, R. J. (2006, April). What is the next generation of human-computer interaction?. In G. Olson (Chair), *CHI'06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Montréal, Québec, Canada.
- Jacob, R. J., & Karn, K. S. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. *Mind*, 2, 4.
- Johnson, C. I., & Mayer, R. E. (2012). An eye movement analysis of the spatial contiguity effect in multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 18, 178.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1987). *The psychology of reading and language comprehension*. Needham Heights, Massachusetts, USA: Allyn & Bacon.

- 
- Kandemir, M., & Kaski, S. (2012, October). Learning relevance from natural eye movements in pervasive interfaces. In LP. Morency, D. Bohus, & H. Aghajan (Chair), *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Multimodal Interaction*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Santa Monica, California, USA.
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R., & Broussard, C. (2007). What's new in Psychtoolbox-3. *Perception*, 36(14), 1.
- Kliegl, R., Grabner, E., Rolfs, M., & Engbert, R. (2004). Length, frequency, and predictability effects of words on eye movements in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 262-284.
- Maglio, P. P., & Campbell, C. S. (2003). Attentive user interfaces: Attentive agents. *Communications of the ACM*, 46, 47-51.
- Maglio, P., Matlock, T., Campbell, C., Zhai, S., & Smith, B. (2000, October). Gaze and speech in attentive user interfaces. In T. Tan, Y. Shi, & W. Gao (Chair), *Proceedings of the Third International Conference on Advances in Multimodal Interfaces*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Beijing, China.
- Majaranta, P. (2011). Communication and text entry by gaze. In P. Majaranta (Eds.), *Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking: Advances in Assistive Technologies* (pp. 63-77). Hershey, Pennsylvania, USA: IGI Global.
- Majaranta, P., Ahola, U. K., & Špakov, O. (2009, April). Fast gaze typing with an adjustable dwell time. In D. R. Olsen & R. B. Arthur (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Boston, Massachusetts, USA.
- Majaranta, P., & Bulling, A. (2014). Eye tracking and eye-based human–computer interaction. In S. Fairclough & K. Gilleade (Eds.), *Advances in physiological computing* (pp. 39-65). London: Springer-Verlag.

- 
- Majaranta, P., MacKenzie, I. S., Aula, A., & Riih , K. J. (2006). Effects of feedback and dwell time on eye typing speed and accuracy. *Universal Access in the Information Society*, 5, 199-208.
- Majaranta, P., & Riih , K. J. (2002, March). Twenty years of eye typing: Systems and design issues. In A. T. Duckowski (Chair), *Proceedings of the 2002 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. Symposium conducted at the meeting of ACM, New Orleans, Louisiana, USA.
- Marian, V., Blumenfeld, H. K., & Kaushanskaya, M. (2007). The Language Experience and Proficiency Questionnaire (LEAP-Q): Assessing language profiles in bilinguals and multilinguals. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50, 940-967.
- Miniotas, D.,  pakov, O., Tugoy, I., & MacKenzie, I. S. (2006, March). Speech-augmented eye gaze interaction with small closely spaced targets. In KJ. Riih  & A. T. Duchowski (Chair), *Proceedings of the 2006 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. Symposium conducted at the meeting of ACM, San Diego, California, USA.
- Mohammad, Y., Okada, S., & Nishida, T. (2010, February). Autonomous development of gaze control for natural human-robot interaction. In E. Andr  & J. Y. Chai (Chair), *Proceedings of the 2010 Workshop on Eye Gaze in Intelligent Human Machine Interaction*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Hong Kong, China.
- Nielsen, J. (1993). Noncommand user interfaces. *Communications of the ACM*, 36, 83-99.
- Ohno, T., Mukawa, N., & Kawato, S. (2003, April). Just blink your eyes: A head-free gaze tracking system. In G. Cockton & P. Korhonen (Chair), *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at

- 
- the meeting of ACM, Ft. Lauderdale, Florida, USA.
- Okoso, A., Kunze, K., & Kise, K. (2014, September). Implicit gaze based annotations to support second language learning. In AJ Brush & A. Friday (Chair), *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Seattle, Washington, USA.
- Pollatsek, A., & Hyönä, J. (2005). The role of semantic transparency in the processing of Finnish compound words. *Language and Cognitive Processes, 20*, 261-290.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2003). Modeling eye movements in reading: Extensions of the EZ Reader model. *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research, 18*, 361-390.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Tests of the EZ Reader model: Exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology, 52*(1), 1-56.
- Qvarfordt, P., & Zhai, S. (2005, April). Conversing with the user based on eye-gaze patterns. In W. Kellogg & S. Zhai (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Portland, Oregon, USA.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 124*, 372.
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*, 1457-1506.
- Rayner, K., Chace, K. H., Slattery, T. J., & Ashby, J. (2006). Eye movements as reflections of comprehension processes in reading. *Scientific Studies of Reading, 10*, 241-255.

- 
- Rayner, K., & Well, A. D. (1996). Effects of contextual constraint on eye movements in reading: A further examination. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 504-509.
- Roda, C., & Thomas, J. (2006). Attention aware systems. *The Encyclopedia Human-Computer Interaction*, 58, 38.
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1987). *Human factors in engineering and design*. New York, NY, USA: McGraw-Hill Book Company.
- Schad, D. J., & Engbert, R. (2012). The zoom lens of attention: Simulating shuffled versus normal text reading using the SWIFT model. *Visual Cognition*, 20, 391-421.
- Shell, J. S., Vertegaal, R., & Skaburskis, A. W. (2003, April). EyePliances: Attention-seeking devices that respond to visual attention. In G. Cockton & P. Korhonen (Chair), *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Ft. Lauderdale, Florida, USA.
- Sibert, J. L., Gokturk, M., & Lavine, R. A. (2000, November). The reading assistant: Eye gaze triggered auditory prompting for reading remediation. In M. Ackerman & K. Edwards (Chair), *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. Symposium conducted at the meeting of ACM, San Diego, California, USA.
- Sibert, L. E., & Jacob, R. J. (2000, April). Evaluation of eye gaze interaction. In T. Turner & G. Szwillus (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Hague, Netherlands.
- Skovsgaard, H., R ih , K. J., & Tall, M. (2011). Computer control by gaze. In P. Majaranta, H. Aoki, M. Donegan, D. W. Hansen, J. P. Hansen, A. Hyrskykari, & K. J. R ih  (Eds.), *Gaze interaction and applications of eye tracking: Advances in assistive technologies* (pp. 78-102). Hershey, PA, USA: IGI Global.

Slattery, T. J., & Rayner, K. (2010). The influence of text legibility on eye movements during reading. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 1129-1148.

Špakov, O., & Majaranta, P. (2012, September). Enhanced gaze interaction using simple head gestures. In A. K. Day (Chair), *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

Squire, L., Berg, D., Bloom, F. E., Du Lac, S., Ghosh, A., & Spitzer, N. C. (2012). *Fundamental neuroscience*. San Diego, California, USA: Academic Press.

Starker, I., & Bolt, R. A. (1990, April). A gaze-responsive self-disclosing display. In J. C. Chew & J. Whiteside (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Seattle, Washington, USA.

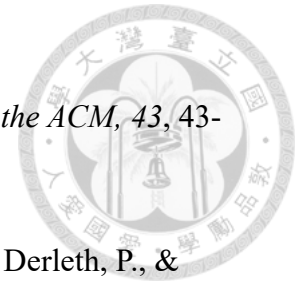
Stellmach, S., & Dachselt, R. (2012, May). Look & touch: gaze-supported target acquisition. In J. A. Konstan (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Austin, Texas, USA.

Surakka, V., Illi, M., & Isokoski, P. (2004). Gazing and frowning as a new human-computer interaction technique. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 1(1), 40-56.

Takagi, H. (1998, April). Development of an eye-movement enhanced translation support system. In R. Grishman (Chair), *Proceedings of the Fifth Conference on Applied Natural Language Processing*. Symposium conducted at the meeting of ACL, Washington, DC, USA.

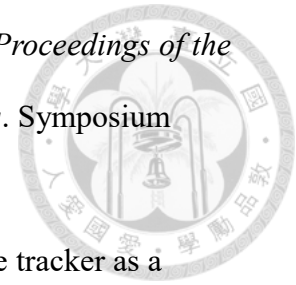
Tateosian, L. G., Glatz, M., Shukunobe, M., & Chopra, P. (2014). *GazeGIS: A Gaze-based Reading and Dynamic Geographic Information System*. North Carolina

State University, North Carolina State, USA.



- Tennenhouse, D. (2000). Proactive computing. *Communications of the ACM*, 43, 43-50.
- Tessendorf, B., Bulling, A., Roggen, D., Stiefmeier, T., Feilner, M., Derleth, P., & Tröster, G. (2011). Recognition of hearing needs from body and eye movements to improve hearing instruments. In K. Lyons, J. Hightower, E. M. Huang (Eds.), *Pervasive Computing* (pp. 314-331). Heidelberg: Springer Berlin.
- Toyama, T., Kieninger, T., Shafait, F., & Dengel, A. (2011, May). Museum guide 2.0- an eye-tracking based personal assistant for museums and exhibits. In L. Ciolfi (Chair), *Proceedings of the International Conference on Re-Thinking Technology in Museums*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Germany.
- Toyama, T., Sonntag, D., Dengel, A., Matsuda, T., Iwamura, M., & Kise, K. (2014, February). A mixed reality head-mounted text translation system using eye gaze input. In T. Kuflik & O. Stock (Chair), *Proceedings of the 19th International Conference on Intelligent User Interfaces*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Haifa, Israel.
- Vertegaal, R. (2003). Attentive user interfaces. *Communications of the ACM*, 46, 30-33.
- Vertegaal, R., Weevers, I., Sohn, C., & Cheung, C. (2003, April). GAZE-2: conveying eye contact in group video conferencing using eye-controlled camera direction. In G. Cockton & P. Korhonen (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Ft. Lauderdale, Florida, USA.
- Vitu, F., & McConkie, G. W. (2000). Regressive saccades and word perception in adult reading. *Reading as a Perceptual Process*, 12, 301-326.
- Wang, J., Zhai, S., & Su, H. (2001, March). Chinese input with keyboard and eye-

tracking: an anatomical study. In J. Jacko & A. Sears (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Seattle, Washington, USA.



Ware, C., & Mikaelian, H. H. (1987, April). An evaluation of an eye tracker as a device for computer input. In J. M. Carroll & P. P. Tanner (Chair), *Proceedings of the SIGCHI/GI Conference on Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Toronto, Ontario, Canada.

White, S. J., Rayner, K., & Liversedge, S. P. (2005). The influence of parafoveal word length and contextual constraint on fixation durations and word skipping in reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 466-471.

Williams, R., & Morris, R. (2004). Eye movements, word familiarity, and vocabulary acquisition. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 312-339.

Zhai, S. (2003). What's in the eyes for attentive input. *Communications of the ACM*, 46, 34-39.

Zhai, S., Morimoto, C., & Ihde, S. (1999, May). Manual and gaze input cascaded (MAGIC) pointing. In M. G. Williams & M. W. Altom (Chair), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Symposium conducted at the meeting of ACM, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

附錄



附錄一 實驗材料範例

實驗文本與中文翻譯

翻譯	目前	首要的	問題	領域	生物材料	科學		
文句	Currently, the paramount problem in the field of biomaterials, the science of							
翻譯	取代	患病的	組織	人造	植入物	控制	介面	
文句	replacing diseased tissue with human-made implants, is control over the interface,							
翻譯	表面	之間	植入	生物材料	活的	組織	物理	
文句	or surface, between implanted biomaterials and living tissues. The physical							
翻譯	特性	多數	組織	吻合	小心	篩選	原始	材料
文句	properties of most tissues can be matched by careful selection of raw materials:							
翻譯	金屬	陶瓷	幾個	種類	聚合物	材料	即使	
文句	metals, ceramics, or several varieties of polymer materials. Even the							
翻譯	條件	生物材料	處理	材料	無毒的	宿主		
文句	requirement that biomaterials processed from these materials be nontoxic to host							
翻譯	組織	滿足	技術	源自	研究	反應	組織	
文句	tissue can be met by techniques derived from studying the reactions of tissue							
翻譯	培養	生物材料	短期	植入物	達到	必要的		
文句	cultures to biomaterials or from short-term implants. But achieving necessary							
翻譯	匹配	物理	特性	整個	介面	之間	活的	非活體
文句	matches in physical properties across interfaces between living and non-living							
翻譯	物質	需要	知識	分子	控制	鍵結	細胞	
文句	matter requires knowledge of which molecules control the bonding of cells							
翻譯	互相	區域	尚未	探索	徹底	雖然	近期	
文句	to each other-an area that we have not yet explored thoroughly. Although recent							
翻譯	研究	允許	穩定	組織	生物材料	介面	控制	
文句	research has allowed us to stabilize the tissue-biomaterial interface by controlling							
翻譯	或者	化學	反應	微觀組織	生物材料			
文句	either the chemical reactions or the microstructure of the biomaterials, our							
翻譯	基本的	理解	植入	裝置	附著	組織	仍然	
文句	fundamental understanding of how implant devices adhere to tissues remains							
翻譯	極其	不全						
文句	woefully incomplete.							

附錄二 語言經歷與語言水平問卷 (LEAP-Q)



語言經歷和語言水平問卷

Language Experience and Proficiency Questionnaire (LEAP-Q)

姓		名		日期	
年齡		出生年月日		性別	<input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女

(1) 請按照擅長的程度列出你所學過或用過的語言：

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

(2) 請按照習得順序列出你所學過或用過的語言 (母語排第一個)：

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

(3) 請列出目前你所接觸每種語言時間的百分比：(各項百分比之和為 100%)

語言					
百分比					

(4) 如果有你所學過或用過的幾種語言的閱讀材料供你選擇，你選擇每種語言的比例會是怎樣的？假定原文是另一種你所不熟悉的語言 (各項百分比之和為 100%)

語言					
百分比					

(5) 當你和一個語言能力和水平和你差不多的人聊天交流時，如果讓你選擇某一種語言，你使用每種你所學過或用過的語言百分比會是怎麼樣？請給出全部時間的百分比 (各項百分比之和為 100%)

語言					
百分比					

(6) 請列出你所認同的各種文化名稱，在數字 1-10 內，請標示出你對每一種文化認同感 (例如北美文化、中國文化...等等)

文化					
數值					

(7) 你受過多少年的正規教育？請在最高教育程度欄位打勾 (如果你拿的是其他國家的學位，請在與臺灣學位相應的項目打勾)

- 高職 高中以下 高中 大專 大學 碩士 在學研究生
 博士 其他 _____

(8) 移居國外的日期 (如適合)：_____

如果有移居過其他國家，請在下欄填寫日期和國家名稱：_____

(9) 你是否有過 (請在相關項目內打勾)：

- 視力障礙 聽力障礙 語言障礙 學習障礙 無

如果有的話，請說明 (包括校正)：_____

語言：_____

(1) 當你...時候的年齡

開始說話	說得流暢	開始閱讀	讀的流暢

(2) 請列出你在每種語言環境中所度過的時間(年月):

	年	月
使用該語言的國家		
使用該語言的家庭		
使用該語言的學校或工作單位		

(3) 在 1-10 的分數範圍內，請你替自己的口語能力、聽力、閱讀能力、寫作能力打分數

說		聽		讀		寫	
---	--	---	--	---	--	---	--

(4) 在 1-10 的分數範圍內，下列各個因素對你學習語言的影響程度為：

與朋友互動		自學	
與家庭互動		看電視	
閱讀		聽音樂/廣播	

(5) 在 1-10 的分數範圍內，請標示出你現在接觸下列語境的程度：

與朋友互動		自學	
與家庭互動		看電視	
閱讀		聽音樂/廣播	

(6) 你感覺自己說此語言的口音有多重?(1-10)

(7) 別人根據你的口音判斷你並非此語言的母語使用者的頻率?(1%-100%)

附錄三 系統易用性量表 (System Usability Scale, SUS)

系統易用性量表 (System Usability Scale)

請根據剛剛使用的過程，針對中文翻譯的部分評估此閱讀輔助工具，請在空格裡打勾即可。

題目	非常不同意	不同意	普通	同意	非常同意
1. 我會經常使用這個系統	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 我覺得這個系統不需要這麼複雜	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 我認為這個系統容易使用	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 我覺得我需要技術人員的協助才能使用這個系統	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 我覺得這個系統各種功能整合的很好	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 我認為這個系統有太多不一致的地方	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 我能想像大多數的人可以很快學會使用這個系統	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. 我覺得這個系統用起來非常繁瑣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. 我很有信心來使用這個系統	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. 在我能夠使用這個系統之前，我還有很多要學習	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

附錄四 產品反應卡 (Product reaction cards)



產品反應卡 (Product reaction cards)

請您根據剛剛使用的過程來評估此閱讀輔助工具，請在空格裡打勾即可。以下有一些形容詞，請您快速回憶一下剛剛進行任務的過程，然後從中挑選出適合的形容詞，來描述這個系統給您的感覺。挑選時沒有數量限制，憑感覺挑選就好，不用考慮太多。

- | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 實際的 | <input type="checkbox"/> 不費心力的 | <input type="checkbox"/> 令人害怕的 | <input type="checkbox"/> 精密的 | <input type="checkbox"/> 困難的 |
| <input type="checkbox"/> 容易取得的 | <input type="checkbox"/> 不連貫的 | <input type="checkbox"/> 令人印象深刻的 | <input type="checkbox"/> 可靠的 | <input type="checkbox"/> 可以掌握的 |
| <input type="checkbox"/> 整齊的 | <input type="checkbox"/> 令人入迷的 | <input type="checkbox"/> 無關緊要的 | <input type="checkbox"/> 刺激的 | <input type="checkbox"/> 有趣的 |
| <input type="checkbox"/> 令人煩躁的 | <input type="checkbox"/> 令人分心的 | <input type="checkbox"/> 前後矛盾的 | <input type="checkbox"/> 堅固的 | <input type="checkbox"/> 有創意的 |
| <input type="checkbox"/> 令人有信心的 | <input type="checkbox"/> 令人困惑的 | <input type="checkbox"/> 快速的 | <input type="checkbox"/> 有彈性的 | <input type="checkbox"/> 樂觀的 |
| <input type="checkbox"/> 清楚的 | <input type="checkbox"/> 令人愉快的 | <input type="checkbox"/> 容易維修的 | <input type="checkbox"/> 直接了當的 | <input type="checkbox"/> 有阻礙的 |
| <input type="checkbox"/> 不可抗拒的 | <input type="checkbox"/> 令人興奮的 | <input type="checkbox"/> 沒有價值的 | <input type="checkbox"/> 太技術性的 | <input type="checkbox"/> 非關個人的 |
| <input type="checkbox"/> 平靜的 | <input type="checkbox"/> 充滿活力的 | <input type="checkbox"/> 有吸引力的 | <input type="checkbox"/> 死氣沈沈的 | <input type="checkbox"/> 使人挫折的 |
| <input type="checkbox"/> 共同合作的 | <input type="checkbox"/> 充滿熱情的 | <input type="checkbox"/> 有意義的 | <input type="checkbox"/> 有壓力的 | <input type="checkbox"/> 難用的 |
| <input type="checkbox"/> 強大的 | <input type="checkbox"/> 可預料的 | <input type="checkbox"/> 專業的 | <input type="checkbox"/> 值得信賴的 | <input type="checkbox"/> 令人不知所措 |
| <input type="checkbox"/> 有魅力的 | <input type="checkbox"/> 單調的 | <input type="checkbox"/> 沒有效果的 | <input type="checkbox"/> 令人滿意的 | <input type="checkbox"/> 可客製化的 |
| <input type="checkbox"/> 令人舒服的 | <input type="checkbox"/> 基本必要的 | <input type="checkbox"/> 激勵人心的 | <input type="checkbox"/> 費時的 | <input type="checkbox"/> 有幫助的 |
| <input type="checkbox"/> 容易親近的 | <input type="checkbox"/> 容易使用的 | <input type="checkbox"/> 創新的 | <input type="checkbox"/> 安全的 | <input type="checkbox"/> 最尖端的 |
| <input type="checkbox"/> 傲慢專橫的 | <input type="checkbox"/> 新鮮的 | <input type="checkbox"/> 前後一致的 | <input type="checkbox"/> 有價值的 | <input type="checkbox"/> 有用的 |
| <input type="checkbox"/> 忙碌的 | <input type="checkbox"/> 有掌控權的 | <input type="checkbox"/> 直覺的 | <input type="checkbox"/> 穩定的 | <input type="checkbox"/> 友善的 |
| <input type="checkbox"/> 令人注目的 | <input type="checkbox"/> 有效果的 | <input type="checkbox"/> 有啟發性的 | <input type="checkbox"/> 過於簡化的 | <input type="checkbox"/> 過時的 |
| <input type="checkbox"/> 乏味的 | <input type="checkbox"/> 有效率的 | <input type="checkbox"/> 整合的 | <input type="checkbox"/> 遲緩的 | <input type="checkbox"/> 渴望擁有的 |
| <input type="checkbox"/> 先進的 | <input type="checkbox"/> 混亂的 | <input type="checkbox"/> 難以理解的 | <input type="checkbox"/> 反應快速的 | <input type="checkbox"/> 方便的 |
| <input type="checkbox"/> 沒有吸引力的 | <input type="checkbox"/> 無法控制的 | <input type="checkbox"/> 個人相關的 | <input type="checkbox"/> 品質不良的 | <input type="checkbox"/> 廣泛的 |
| <input type="checkbox"/> 相容的 | <input type="checkbox"/> 特別的 | <input type="checkbox"/> 不安全的 | <input type="checkbox"/> 省時的 | <input type="checkbox"/> 高品質的 |
| <input type="checkbox"/> 可用的 | <input type="checkbox"/> 粗糙的 | <input type="checkbox"/> 無法預測的 | <input type="checkbox"/> 不想擁有的 | <input type="checkbox"/> 關係重大的 |
| <input type="checkbox"/> 普通的 | <input type="checkbox"/> 脆弱的 | <input type="checkbox"/> 有系統的 | <input type="checkbox"/> 不依慣例的 | <input type="checkbox"/> 可理解的 |
| <input type="checkbox"/> 老舊的 | <input type="checkbox"/> 難以親近的 | <input type="checkbox"/> 高高在上的 | <input type="checkbox"/> 連貫的 | <input type="checkbox"/> 熟悉的 |
| <input type="checkbox"/> 複雜的 | <input type="checkbox"/> 預料中的 | <input type="checkbox"/> 新穎的 | | |

(當受訪者挑選完所有形容詞時) 請從剛才挑選出來的形容詞裡面，圈出五個感覺最強烈的。

(受訪者挑選出五個形容詞時) 接下來，請您告訴我，您圈出這五個形容詞的原因。

附錄五 各主要效果統計摘要表



五 (A) 目標詞在各情境之註解觸發狀況的估計量、標準誤及效果量

	nAnnot			nTimes			AD		
	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值
截距 (Intercept)	3.55	0.14	25.60	17.16	1.52	11.31	5.89	0.03	197.55
閾值效果	-0.98	0.07	-14.60*	-10.73	0.69	-15.63*	0.21	0.02	11.74*
註解效果	-0.12	0.07	-1.71	0.03	0.69	0.05	0.00	0.02	0.18
閾值 x 註解	0.11	0.07	1.59	0.97	0.69	1.41	0.00	0.02	-0.20
閾值效果@中文	-0.87	0.10	-9.20*	-9.76	0.97	-10.06*	0.21	0.03	8.16*
閾值效果@無義	-1.08	0.10	-11.45*	-11.69	0.97	-12.04*	0.22	0.03	8.44*
註解效果@回視	-0.01	0.10	-0.09	1.00	0.97	1.03	0.00	0.03	-0.02
註解效果@停滯	-0.22	0.10	-2.33*	-0.93	0.97	-0.96	0.01	0.03	0.27

註：「*」表示 $p < .05$ ，「m」表示 $.05 < p < .06$ 。「閾值效果」為回視減去停滯時間，「註解效果」為中文翻譯減去無意義字串；nAnnot 為該嘗試有觸發註解的詞彙數；nTimes 為該嘗試註解顯示的總次數；AD 為該嘗試註解顯示的平均時間。

五 (B) 目標詞在各情境之整體性眼型態與正確率的估計量、標準誤及效果量

	nFix			TT			WPM		
	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值
截距 (Intercept)	139.31	8.64	16.12	10.48	0.07	154.92	97.13	5.52	17.59
閾值效果	3.80	2.52	1.51	0.03	0.02	1.81	-2.25	2.55	-0.88
註解效果	3.26	2.52	1.30	0.03	0.02	1.90m	-5.93	2.55	-2.33*
閾值 x 註解	3.68	2.52	1.47	0.03	0.02	1.59	-2.29	2.55	-0.90
閾值效果@中文	7.48	3.56	2.10*	0.06	0.02	2.40*	-4.54	3.60	-1.26
閾值效果@無義	0.12	3.56	0.03	0.00	0.02	0.15	0.03	3.60	0.01
註解效果@回視	6.94	3.56	1.95m	0.06	0.02	2.47*	-8.21	3.60	-2.28*
註解效果@停滯	-0.43	3.56	-0.12	0.01	0.02	0.22	-3.64	3.60	-1.01

	mFD			mFSL		
	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值
截距 (Intercept)	5.57	0.02	342.54	4.46	0.11	41.52
閾值效果	-0.01	0.01	-1.74	0.13	0.04	3.35*
註解效果	0.00	0.01	-0.58	-0.02	0.04	-0.56
閾值 x 註解	-0.01	0.01	-0.99	0.04	0.04	1.17
閾值效果@中文	-0.02	0.01	-1.93m	0.17	0.05	3.16*
閾值效果@無義	-0.01	0.01	-0.54	0.08	0.05	1.56
註解效果@回視	-0.01	0.01	-1.09	0.02	0.05	0.43
註解效果@停滯	0.00	0.01	0.29	-0.06	0.05	-1.24

	Pupil			CorrRate		
	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值
截距 (Intercept)	1573.87	65.28	24.11	0.72	0.02	47.22
閾值效果	-1.63	1.71	-0.96	0.00	0.03	0.10
註解效果	-27.30	1.71	-15.96*	0.24	0.03	7.85*
閾值 x 註解	24.99	1.71	14.58*	0.00	0.03	-0.10
閾值效果@中文	23.36	2.40	9.74*	0.00	0.04	0.00
閾值效果@無義	-26.63	2.45	-10.89*	0.01	0.04	0.14
註解效果@回視	-2.31	2.41	-0.96	0.24	0.04	5.48*
註解效果@停滯	-52.29	2.43	-21.51*	0.24	0.04	5.63*

註：「*」表示 $p < .05$ ，「m」表示 $.05 < p < .06$ 。「閾值效果」為回視減去停滯時間，「註解效果」為中文翻譯減去無意義字串；nFix 為該嘗試凝視點總數；TT 為該嘗試凝視時間加總；mFD 為目標字上凝視點平均時間；WPM 為閱讀速度；mFSL 為目標字上的平均眼跳；Pupil 為該嘗試平均瞳孔大小；CorrRate 為理解題正確率。

五 (C) 目標詞在各情境之早期凝視時間的估計量、標準誤及效果量

	FFD			SFD			GD		
	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值
截距 (Intercept)	5.59	0.02	326.84	5.64	0.02	345.58	5.87	0.02	388.04
閾值效果	0.01	0.01	0.94	0.01	0.01	0.62	0.01	0.01	1.59
註解效果	0.00	0.01	0.16	0.00	0.01	-0.14	0.00	0.01	0.44
詞頻效果	0.08	0.01	12.06*	0.13	0.01	15.24*	0.30	0.01	34.44*
閾值效果 x 註解效果	0.00	0.01	-0.40	-0.01	0.01	-1.58	-0.01	0.01	-1.35
閾值效果 x 詞頻效果	0.00	0.01	-0.24	-0.01	0.01	-0.62	-0.02	0.01	-1.74
註解效果 x 詞頻效果	0.00	0.01	-0.41	0.00	0.01	0.30	0.01	0.01	0.75
閾值 x 註解 x 詞頻	-0.01	0.01	-0.72	-0.01	0.01	-1.36	-0.01	0.01	-0.59
閾值效果@中文	-0.01	0.01	-0.94	-0.02	0.01	-1.56	-0.03	0.01	-2.08*
閾值效果@無意義	0.00	0.01	-0.38	0.01	0.01	0.67	0.00	0.01	-0.17
註解效果@回視	0.00	0.01	-0.39	-0.01	0.01	-1.02	-0.02	0.01	-1.27
註解效果@停滯	0.00	0.01	0.17	0.02	0.01	1.21	0.01	0.01	0.64
閾值效果@高頻	-0.01	0.01	-0.71	-0.01	0.01	-0.82	-0.03	0.01	-2.04*
閾值效果@低頻	-0.01	0.01	-0.62	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.13
註解效果@高頻	0.00	0.01	-0.34	0.00	0.01	0.29	0.00	0.01	0.19
註解效果@低頻	0.00	0.01	0.23	0.00	0.01	-0.12	-0.01	0.01	-1.04
詞頻效果@停滯	-0.09	0.01	-8.72*	-0.14	0.01	-11.28*	-0.32	0.01	-25.67*
詞頻效果@回視	-0.08	0.01	-8.34*	-0.13	0.01	-10.31*	-0.29	0.01	-23.12*
詞頻效果@中文	-0.09	0.01	-8.82*	-0.13	0.01	-10.59*	-0.30	0.01	-23.86*
詞頻效果@無意義	-0.08	0.01	-8.23*	-0.13	0.01	-10.99*	-0.31	0.01	-24.90*

註：「*」表示 $p < .05$ ，「m」表示 $.05 < p < .06$ 。「閾值效果」為回視減去停滯時間，「註解效果」為中文翻譯減去無意義字串，「詞頻效果」為高頻減去低頻；FFD 為首次凝視在目標字上的時間；SFD 為僅凝視在目標字上一次，該次的凝視時間 GD 為凝視在目標字上，在未離開之前，所有的凝視時間加總。

五 (D) 目標詞在各情境之晚期凝視時間的估計量、標準誤及效果量

	GPT			RRT			TVT		
	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值
截距 (Intercept)	6.06	0.02	277.07	5.93	0.03	209.86	6.12	0.03	229.75
閾值效果	0.01	0.01	0.50	-0.01	0.02	-0.36	0.01	0.01	0.54
註解效果	-0.03	0.01	-2.52*	0.03	0.02	1.19	0.00	0.01	-0.02
詞頻效果	0.41	0.01	36.26*	0.39	0.02	16.98*	0.43	0.01	35.25*
閾值效果 x 註解效果	-0.01	0.01	-0.96	-0.01	0.02	-0.32	-0.04	0.01	-3.33*
閾值效果 x 詞頻效果	0.00	0.01	0.25	0.02	0.02	0.67	0.02	0.01	1.76
註解效果 x 詞頻效果	-0.01	0.01	-0.43	-0.02	0.02	-0.72	-0.03	0.01	-2.13*
閾值 x 註解 x 詞頻	-0.01	0.01	-0.89	0.01	0.02	0.24	-0.02	0.01	-1.22
閾值效果@中文	-0.02	0.02	-1.03	0.00	0.03	0.02	-0.05	0.02	-2.74*
閾值效果@無意義	0.01	0.02	0.32	0.02	0.03	0.48	0.03	0.02	1.97*
註解效果@回視	0.02	0.02	1.10	-0.04	0.03	-1.08	-0.04	0.02	-2.32*
註解效果@停滯	0.04	0.02	2.46*	-0.02	0.03	-0.60	0.04	0.02	2.40*
閾值效果@高頻	0.00	0.02	-0.16	0.02	0.04	0.64	0.02	0.02	0.76
閾值效果@低頻	-0.01	0.01	-0.66	-0.01	0.03	-0.26	-0.03	0.01	-1.91m
註解效果@高頻	0.02	0.02	1.27	-0.04	0.04	-1.19	-0.03	0.02	-1.32
註解效果@低頻	0.03	0.01	2.59*	-0.01	0.03	-0.39	0.03	0.01	1.80
詞頻效果@停滯	-0.41	0.02	-25.49*	-0.38	0.03	-11.67*	-0.40	0.02	-23.51*
詞頻效果@回視	-0.41	0.02	-25.88*	-0.41	0.03	-12.36*	-0.45	0.02	-26.51*
詞頻效果@中文	-0.41	0.02	-26.01*	-0.41	0.03	-12.43*	-0.45	0.02	-26.55*
詞頻效果@無意義	-0.40	0.02	-25.34*	-0.38	0.03	-11.59*	-0.40	0.02	-23.43*

註：「*」表示 $p < .05$ ，「m」表示 $.05 < p < .06$ ；「閾值效果」為回視減去停滯時間；「註解效果」為中文翻譯減去無意義字串；「詞頻效果」為高頻減去低頻；GPT 為首次凝視在目標字區域，直到首次越過右邊邊界的時間加總，包括回視至目標字左側任何字的凝視時間；RRT 為已有首次通過凝視，然後再次凝視此區域的時間加總；TVT 為所有凝視時間加總，同總閱讀時間。

五 (E) 目標詞在各情境之早期凝視比例的估計量、標準誤及效果量

	SKIP			ReFIX		
	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值
截距 (Intercept)	-0.86	0.11	-7.58	-0.46	0.07	-6.72
閾值效果	0.04	0.04	1.00	0.05	0.05	1.00
註解效果	0.07	0.04	1.88m	0.01	0.05	0.32
詞頻效果	-0.78	0.04	-21.12*	1.28	0.05	28.43*
閾值效果 x 註解效果	0.05	0.04	1.33	-0.04	0.05	-0.87
閾值效果 x 詞頻效果	-0.07	0.04	-2.03*	-0.01	0.05	-0.20
註解效果 x 詞頻效果	0.05	0.04	1.46	-0.01	0.05	-0.13
閾值 x 註解 x 詞頻	0.05	0.04	1.26	0.06	0.05	1.38
閾值效果@中文	0.01	0.05	0.24	-0.08	0.06	-1.32
閾值效果@無意義	-0.09	0.05	-1.66	-0.01	0.06	-0.09
註解效果@回視	-0.02	0.05	-0.39	-0.05	0.06	-0.84
註解效果@停滯	-0.12	0.05	-2.29*	0.03	0.06	0.39
閾值效果@高頻	-0.11	0.06	-2.01*	-0.05	0.08	-0.70
閾值效果@低頻	0.04	0.05	0.79	-0.04	0.05	-0.78
註解效果@高頻	-0.02	0.06	-0.28	-0.02	0.08	-0.27
註解效果@低頻	-0.12	0.05	-2.55*	-0.01	0.05	-0.19
詞頻效果@停滯	0.70	0.05	13.47*	-1.29	0.06	-20.32*
詞頻效果@回視	0.85	0.05	16.52*	-1.28	0.06	-20.08*
詞頻效果@中文	0.83	0.05	15.83*	-1.29	0.06	-20.25*
詞頻效果@無意義	0.73	0.05	14.11*	-1.28	0.06	-20.14*

註：「*」表示 $p < .05$ ，「m」表示 $.05 < p < .06$ ；「閾值效果」為回視減去停滯時間；「註解效果」為中文翻譯減去無意義字串；「詞頻效果」為高頻減去低頻；SKIP 為未凝視在目標字上的比例；ReFIX 為凝視在目標字上，在未離開之前對目標字有兩次以上的凝視比例。

五 (F) 目標詞在各情境之晚期凝視比例的估計量、標準誤及效果量

	ReREAD			RegIn			RegOut		
	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值	估計量	標準誤	t 值
截距 (Intercept)	-1.06	0.11	-9.29	-2.17	0.09	-25.16	-1.55	0.07	-21.24
閾值效果	-0.10	0.05	-2.12*	-0.14	0.06	-2.26*	-0.11	0.05	-1.96*
註解效果	0.00	0.05	0.06	-0.12	0.06	-1.88m	-0.10	0.05	-1.90m
詞頻效果	0.17	0.05	3.60*	-0.21	0.06	-3.33*	0.29	0.05	5.31*
閾值效果 x 註解效果	-0.10	0.05	-2.19*	-0.06	0.06	-0.88	-0.06	0.05	-1.11
閾值效果 x 詞頻效果	0.07	0.05	1.61	0.05	0.06	0.72	0.04	0.05	0.75
註解效果 x 詞頻效果	-0.12	0.05	-2.56*	-0.16	0.06	-2.49*	-0.01	0.05	-0.17
閾值 x 註解 x 詞頻	-0.02	0.05	-0.49	-0.07	0.06	-1.17	0.04	0.05	0.67
閾值效果@中文	0.00	0.07	-0.05	0.09	0.09	1.00	0.05	0.07	0.61
閾值效果@無意義	0.20	0.07	3.05*	0.20	0.09	2.18*	0.16	0.08	2.14*
註解效果@回視	-0.10	0.07	-1.59	0.06	0.09	0.72	0.04	0.07	0.57
註解效果@停滯	0.10	0.07	1.50	0.17	0.09	1.92m	0.16	0.08	2.08*
閾值效果@高頻	0.17	0.07	2.34*	0.19	0.10	1.96*	0.15	0.09	1.61
閾值效果@低頻	0.02	0.06	0.42	0.10	0.08	1.19	0.07	0.06	1.12
註解效果@高頻	-0.12	0.07	-1.65	-0.04	0.10	-0.39	0.09	0.09	1.03
註解效果@低頻	0.12	0.06	2.06*	0.27	0.08	3.36*	0.11	0.06	1.92m
詞頻效果@停滯	-0.09	0.07	-1.43	0.25	0.09	2.92*	-0.25	0.07	-3.31*
詞頻效果@回視	-0.24	0.07	-3.68*	0.16	0.09	1.82	-0.33	0.08	-4.20*
詞頻效果@中文	-0.29	0.07	-4.34*	0.05	0.09	0.61	-0.29	0.07	-3.94*
詞頻效果@無意義	-0.05	0.07	-0.76	0.37	0.09	4.05*	-0.28	0.08	-3.59*

註：「*」表示 $p < .05$ ，「m」表示 $.05 < p < .06$ ；「閾值效果」為回視減去停滯時間；「註解效果」為中文翻譯減去無意義字串；「詞頻效果」為高頻減去低頻；ReREAD 為已有首次通過凝視，然後再次凝視此區域的可能性，無論其方向是由左或右而來；RegIn 為已有首次通過凝視，然後自目標字區域的右邊跳進目標字上繼續閱讀之可能性；RegOut 為已有首次通過凝視，然後接續跳出目標字區域的左邊邊界繼續閱讀之可能性。