

新式測謊技術發展現況與潛在問題

曾春僑*

目次

- 壹、前言
- 貳、熱影像資料
- 參、語詞
- 肆、高解析度攝影機
- 伍、語音
- 陸、都普勒雷達波
- 柒、結論

摘要

過去的測謊研究，多數仍聚焦於測謊儀上，主題包括計分方式、判讀規則、題組設計、測前晤談等。然近二十年來，因為資訊科技與設備快速發展，使得謊言偵測有了不同的面貌，除了開發許多新式設備外，也運用機器學習理論協助結果判定。由於法令與實務之需求，本文主要介紹各種非接觸式測謊設備理論與開發現況，包括熱影像、語詞、語音、臉部表情、眼動、都卜勒雷達等，部分技術已經趨近實用化，部分則因使用限制或有替代設備而未再開發。綜觀目前發展現況，新式測謊技術雖具有更多選擇與判斷方式，但存在有偵測設備、會談情境建立、取樣數量、系統整合、標作業程序與個人化分析模式建立等問題尚待克服。

關鍵字：測謊、熱影像、語詞、語音、臉部表情

* 臺灣警察專科學校科技偵查科副教授，中央警察大學犯罪防治系博士，archery@cc.tpa.edu.tw

The present state and potential problems of new lie detection technology

Chun-chiao, Tzeng*

Abstract

Lie detection study has been mostly concentrated on the polygraph instrument in the past. The research topic covered the scoring method, evaluation rule, test question modification, and pretest interview arrangement. Due to the rapid development of information science and computer instruments over the last decade, lie detection has taken a different route. In addition to the development of new equipment, machine learning techniques have been used to assist in the outcome determination. In order to meet the criteria of law policy and practices, this article introduces the theories and advances of several non-contact lie detection devices, such as thermal imaging, linguistic style, auditory analysis, facial expression, eye movements, and Doppler radar. Some of the technologies have progressed to the stage of practical application, while others have remained in lab due to instrument limitation or alternative approaches. Overall, contemporary lie detection technology improves selectivity and judgment processes, but there are still certain challenges in this field, such as interview scenario construction, sampling shortages, system integration, the formation of standard operating procedures and individualized analysis mode.

Key words: lie detection, Thermography, linguistic, acoustic, facial expression

* Associate Professor, Department of Technology Crime Investigation, Taiwan Police College. Ph.D., Graduate School of Crime Prevention and Corrections, Central Police University. archery@cc.tpa.edu.tw

壹、前言

人類面對外在刺激，會以各種不同生理變化加以應對，掌握這些變化趨勢就可能預測當事人情緒、壓力、專注程度等心理狀態，此亦為擷取生理訊號後研判當事人是否說謊之基本原理。

因資訊傳播迅速之故，過去常見的謊言偵測方法已漸為大眾知悉，並教導反制方法，因此不同謊言偵測技術漸被開發出來，近來常用的多模態測謊即屬此類，此技術核心在於將過去醫療上常用的生理偵測系統(vital sign monitoring systems)轉變成非接觸式情報監控設備，透過各種設備追蹤臉部特徵、溫度變化、呼吸與心跳速率、眼球移動、語詞分析、聲音特徵等，達到綜合評估謊言目的。

前述之標的，目前由熱影像鏡頭、常規攝影機與錄音設備組合而成的監控系統即可完成偵測目的，至於後續之分析則又是另一個議題。過去使用之接觸式測謊儀，對於動作極為敏感，測試過程中當事人無法隨意移動，在犯罪偵查測謊中，因需取得當事人同意後才能進行，當事人也知悉正在進行測謊程序，故不會有違法問題，但仍可能因當事人知悉測謊步驟採取反制作為，或是儀器接觸產生不適或緊張感，降低測謊效果；除此之外，包括行政與商業領域的案件調查，都希望能在當事人未察覺下完成，且若未接觸當事人，更可降低儀器接觸不適感產生的誤差，故發展非接觸式測謊技術漸成為主流，消除各種限制因素後也能獲得更好的測試效果(Rajoub & Zwiggelaar, 2014)。

多模態測謊不再以單一偵測標的或設備作謊言判斷依據，但整體來說仍儘量減少與身體之接觸，故本文介紹幾種較具代表性非接觸式測謊設備介紹，部分設備已趨近實用性程度，部分則因準確率無法提升，或是有其他替代設備而較少開發。藉由設備介紹與發展軌跡，也讓讀者了解非接觸式測謊設備發展思維與實際運用限制。

貳、熱影像資料

熱影像主要偵測皮膚表面溫度變化，正常穿著下，臉部較不會被衣物阻擋，故此類設備感興趣區域¹包括前額、耳朵、鼻子、眼睛和頸部露出血管

¹ Region of interest (ROI)，在圖像處理中，泛指以方框、圓、橢圓、不規則多邊形所勾勒出後續程式需要單獨處理之區域。

部分、靜脈網、微笑及視線移動方向有關的肌肉等。

一、影像資料擷取與數據處理步驟

熱影像資料擷取，常使用技術為歐拉視訊影像放大法 (Hessler & Burzo, 2018)，透過細微的顏色變化偵測與時空 (spatio-temporal) 處理放大技術，找出潛藏訊息，此放大法包括下面四道程序，此程序不會將背景雜訊放大，而是將其平移至他處，因此可以達到更好的放大效果 (Wu et al., 2012)。

(一) 空間濾波

將影像序列進行金字塔多分辨率分解，得到不同空間頻率基帶。因圖像在不同空間頻率下呈現不同的信噪比，為了防止失真，不同基帶會使用不同的放大倍數，空間頻率最低的最頂層圖像，信噪比最高²，故用最大放大倍數，下一層的放大倍數依次減小。

(二) 時域濾波

對每個尺度圖像進行時域帶通濾波，擷取感興趣的若干頻率區域；進行此步驟前提為必須要先知道分析標的所在頻率區。

(三) 放大濾波結果

對每個頻帶信號用泰勒級數差分逼近，線性放大逼近結果。

(四) 合成圖像

將放大後圖像重新合成。

二、可由熱影像分析獲得的測謊生理訊號：

(一) 心跳

其原理為分析熱影像圖片中，臉部表面血管與周圍組織血液交換過程造成的些微溫度差異變化，推算出心跳速率。

1. 形態影像學之運用

早期這類技術受限於血管與周圍組織間熱融合效應，冷熱梯度訊號對比太低，無獲得有效數據，近來以形態影像學中的頂帽轉換技術 (top hat

² 訊噪比 (Signal-to-Noise Ratio, S/N Ratio) 是視聽設備所輸出的音訊或視訊中，訊號 (Signal) 強度與因機器運轉所產生噪訊 (Noise) 強度間的比值，以 dB (分貝) 數表示，一般而言，訊噪比數值愈高，代表視聽產品的品質愈佳。

segmentation)³，在黑頂帽及白頂帽交互分析過程中發現，白頂帽技術可以將血管周圍邊緣強化，使血管更為明顯呈現(Buddharaju et al., 2007)。

2. 快速傅立葉轉換

由於沿著血管周圍偵測到的熱影樣訊號屬於複合訊號，其包括脈搏與其他的生理與環境訊號，學者提出以快速傅立葉轉換隔離熱傳播分量，僅留下脈搏訊號之分析法，判定訊號的準確率達到92.1%(Tanda, 2015)。目前配合各種既有模型的使用，準確率更加提升，這其中包括，(1)以已知的血流灌注模型協助定位血管位置，(2)定位後以小波濾波替代快速傅立葉轉換分析，(3)最後評估各血管段差異，選出適合作為心跳偵測的血管區域(Gault & Farag, 2013)。

3. 測謊題組搭配使用

以測謊標準流程，搭配合測謊題組詢問後，比較臉部不同區域部位血流狀況，發現眼眶周圍以時間及流速作圖後，其斜率呈現大幅變化，因此可以作為一個說謊指標區域(Pavlidis & Levine, 2002)。

4. 未來發展

若要進一步校正這些差異，尚可要求受試者穿上配有各種感測器的智能襯衫，擷取各種心電圖訊號，再與熱影像訊號做比對，從而找出當事人最佳熱影像分析模型(Bennett et al., 2016)，但此技術必須使用穿戴式裝備，某種程度上與非接觸式測謊原意有所牴觸。

(二) 呼吸

過去部分學者將偵測重點放在呼吸過程中胸部與腹部起伏造成的影像變化上，但成效不佳，尤其當事人穿著厚重衣物時更難偵測，因此目前多朝向偵測鼻子附近影像變化為主。

1. 偵測原理

在前述影像增強、校正、感興趣部位標示基礎上，利用熱影像偵測呼吸速率可區分為兩大方法，一為溫度識別法，此對於規律呼吸的偵測效果較好，藉由圖像分段處理方式，追蹤與計算眼眶周圍、鼻尖與鼻孔處溫度變化趨勢，從而推算出呼吸速率，運用的策略包括圖像增強、降噪、邊緣偵測、臉部識別與鼻部 ROI 區域標示技術等；二為動作識別法，此對於不規則呼吸，如過度換氣、呼吸中止等效果較佳，其原理為計算每一張圖像間的絕對

³ 頂帽轉化法(top hat segmentation)主要包括白頂帽(white top hat)與黑頂帽(black top hat)兩種，其中白頂帽是將原影像和斷開後影像相減所產生，此運用於暗背景的明亮物件上；黑頂帽則是將原影像和閉合後影像相剪所產生，運用於亮背景的暗物件分析上。

值差異達成偵測目的。

2. 即時分析

呼吸偵測另一個議題為如何達到即時分析的效果，此須搭配各種門檻值技術，此領域中常用方法包括 Otsu、Kapur's、Tsai's 等，對於不同區域如臉部、頸部或身體之偵測效果各有不同，目前被認為脸部偵測效果較好者為 Otsu 分群法，其本質為一維 Fisher 判別分析的離散化類比法⁴，由於此方法易受背景值影響，因此需先將背景值去除，再將灰階影像經由 Otsu 方法計算影像類別間的變異數而取出門檻值後，以此門檻值為指標做二值化，較能在短時間內處理好每一圖像。這些方法再搭配各種訊號處理技術，如集群 (cluster) 與調和 (harmonic) 分析，小波分析 (wavelet) 及高通濾波等，將可使呼吸訊號判別更為精準。

(三) 皮膚溫度

人類體溫恆定取決於核心溫度與皮膚溫度調節，核心溫度由大腦控制，維持個體溫度恆定，皮膚溫度受血流量與環境所影響。人類體溫恆定機制中，遇到熱刺激時，皮膚血流量增加，溫度升高，使多餘熱量能由皮膚發散，遇冷刺激時，血流量降低減少體溫發散以積極保存熱量，也因此透過熱影像儀可以輕易觀察到皮膚溫度變化過程。

1. 選定偵測區域

雖體溫變化差異過大可能代表身體有某種疾病發生，但此並非測謊關注的範圍，且若要獲取真正核心體溫，尚必須透過肛溫或食道溫度測量獲得，測謊儀目的在於獲得「相對」體溫數值即可。在未穿衣服下，可在人體胸腹部位見到明顯體溫變化，但實務上這些部位通常被衣物遮蔽，而脸部較不會被衣物遮蔽，在不同刺激下，心臟輸送至脸部附近的血液量與肌肉活動也會有差異，造成溫度變化 (Charkoudian, 2003)，測謊原理即為比較詢問時溫度變化差異，從而推算出當事人陳述內容正確性，此技術困難點在於脸部溫度變化差異較小，故需配合感興趣區域設定與分群演算法才能找出差異所在。

2. 建立個人血流變化模型

若進一步能先建立個人化脸部區域血流變化傳送模型，則屬最佳分析

⁴ 又稱大津法，由日本學者大津於 1979 年提出，又稱為最大類間差法，計算簡單，不受影像亮度和對比度的影響，因此在數字影像處理上得到了廣泛的應用。基本原理為按影像的灰度特性，將影像分成背景和前景兩部分，再找尋能將兩類分開的最佳閾值，使得它們的類內變異數最小。

模式，到目前為止有關此技術發表報告中記載的測謊準確率約為80%左右，也有少量實驗性設備運用在機場櫃檯上；在2011年一項機場熱影像測謊實驗中，安排51名旅客隨機對安檢人員撒謊，並透過熱影像儀偵測體溫變化情況，並以說謊者體溫會有明顯變化，誠實者體溫恆定為基礎作為說謊與否判斷基準，結果發現該系統可以正確判斷出64%的誠實者與69%的說謊者；該實驗另同步安排獨立調查員根據語言與非語言徵候判斷當事人是否說謊，結果發現獨立調查員可找出72%的誠實者與77%的說謊者，整體準確率高於熱影像儀，因此報告認為以皮膚體溫作為判斷標準尚有爭議(Warmelink et al., 2011)，但此報告爭議點在於研究者係以大眾認知標準進行分析，並未考慮到個人差異因素。其他學者以體間(between person)與個體內(within person)作為分類基礎進行比較，結果發現以體間為基礎之預測效果不佳，但個體內，亦即以每個人反應模式做為訓練集，並以k最鄰近法分類器建立預測模式，則可以達到87%的準確率(Rajbou & Zwigelaar, 2014)。

(四) 皮膚導電度與汗腺活動程度

皮膚導電度(skin conductance level)包含強直程度(tonic level)、相位反應(phasic response)與自發性波動(SF)三種。強直程度是平靜狀態下的緩慢膚電活動，故可當作基準點(baseline)；相位反應是人遭受刺激後，立即產生的膚電變化(response)；自發性波動反應系人體自然規律波動，並非刺激所產生，故一般皮膚導電度的測定標的，均以強直與相位間差異為標的(Dawson et al., 2007)。

1. 皮膚偵測區域

比較眼眶(periorbital)、前額(supraorbital)與上頷區(maxillary)熱訊號，配合手掌膚電活動數據，以拉普拉斯分布⁵對相關訊號建模比對，並以小波分析不同頻率範圍數據後，發現上頷區域所得神經活動反應幾乎與手掌皮膚導電度同步(Shastri et al., 2008)。雖然有些報告顯示眼眶周圍的小波轉換分析與皮膚導電度亦呈現相同反應趨勢，但實務應用時，眼眶周圍訊號因眨眼等引發雜訊過多，估算時容易產生偏差，故仍以上頷區域所得訊號較為可靠。

2. 汗腺活動

與皮膚導電度有關的另一個議題為汗腺活動程度，透過高解析度，波

⁵ 拉普拉斯(Laplace)概率密度用相對於平均值的差的絕對值來表示。因此，拉普拉斯分布的尾部比常態分配更加平坦，作圖時，兩平移指數分布背靠背拼接在一起，因此又稱雙指數分布(Double exponential distribution)。

段為 3-5 μm 的中波紅外線熱影像儀，可以達成非接觸式監控汗腺活動目的，汗腺活動指標包括毛孔活化指數 (pore activation index, PAI) 與毛孔計數 (pore count, PC)，而研究結果顯示，指尖上的 PAI 數值與皮膚導電度呈高度正相關，而臉部毛孔反應雖然不若指尖靈敏，但仍可做為一項參考指標 (Krzywicki et al., 2014)。

參、語詞

語詞測謊概念，主要是分析當事人談話的字詞結構與脈絡關係，了解當事人陳述內容中隱藏的觀點、情緒、情感、評價、信念等，並找出這些內容與情緒壓力關聯性，進而推估陳述內容真實性，文章分析可以針對單詞、片語、句子或整個文檔，再與現有資料庫比對詞性內容，進而了解當事人情緒狀態與壓力狀況。

一、早期之發展

在尚未以電腦分析前，語詞分析了解陳述可靠度的概念早已成形，多係藉由評估者對當事人說謊內容符合項目程度進行評分來完成。

(一) 陳述真實性分析法

Undeutsch 於 1976 年發展之陳述真實性分析法 (Statement Reality Analysis, SRA) 使用評估表型式，包括 2 大類別與 5 個判斷標準，分析者就表列中幾種不符常理之現象或順序項目進行評分，若符合項目越多，則說謊可能性越高 (Undeutsch, 1989)。在搭配詞性、文本、脈絡並配合統計與電腦分析技術使用前，內容分析法發展大致承襲這樣的概念，表列各種評斷標準，再由分析者閱讀或聽完陳述後，依照表格填入符合程度，加總分數後，轉化為可靠度數據。

(二) 科學化內容分析法

科學化內容分析法 (Scientific Content Analysis, SCAN) 是專門針對書寫文字內容做分析，判斷陳述內容可靠性。當事人依循結構化的題目順序以書寫方式回答，分析者再根據 SCAN 表列分析準則，例如事件時間順序、合理性、內容細緻程度、詞語使用背景特性等進行分析。在各種人力資源調查場合，這類書寫內容可被視為履歷表的延伸，免除偵訊當事人之爭議，故在執法人員、私人企業或保全公司招募過程中常被使用 (Sapir, 1987)。

(三) 準則基礎內容分析法

目前國內仍較常被使用，且分析結果亦被法庭接受做為評估當事人陳述真偽的則為準則基礎內容分析法 (Criteria-based content analysis, CBCA)，其理論基礎為說謊者與誠實者認知和動機不同，因此在陳述細節、文字使用與印象管理策略均有所差異，該分析表共有 4 大類別 19 項判斷標準 (Krasavina, 2017)，四大類別分別為一般特徵 (general characteristics)，具體內容 (specific contents)，動機內容 (motivation related contents)，具體犯罪情節 (offense specific elements) 等，整體來說，其主要是針對犯罪主題內容去做評估，不針對單純或是善意的謊言作分析。

(四) 真實監控法

真實監控 (Reality Monitoring, RM)，最初是針對兒童性侵害或受虐事件證詞調查而開發，針對兒童認知與記憶能力，將各種陳述歸類為真實經驗或想像事件，藉以分析陳述的可靠性。該技術基礎認為，經歷真實事件的記憶與一般想像所形成的記憶不同；親身經歷事件會包含有身心知覺、背景及情感等各面向訊息，而想像事件較可能出現模糊或非具體的認知運思在內⁶，亦即會有較多的推理成分，此方法最初涵蓋感知、空間與時間等三大主題與 8 項評斷標準，包括清晰度、知覺資訊、空間資訊、時間資訊、相關感覺、事件重建程度、真實性和認知操作等，時至今日，配合統計結果，在這基礎上陸續發展出許多不同評斷標準與策略 (Sporer et al., 2021)。

前述幾種技術的評分，一開始都須經由訓練過的人員，回顧整篇文本內容後，逐一針對符合項目給予分數，雖然多數報告均認同若由訓練合格人士進行分析，彼此間歧異性不會太大，但仍有人認為這仍可能牽涉個人主觀認知因素，為了達到自動化分析與一般人均可操作程度，加上網路快速擴張後，各種網路言論虛假難辨，也難靠人工逐一檢視，因此各界陸續開發自然語言處理⁷為基礎的數據化文字分析測謊系統。

二、自然語言處理技術運用

自然語言處理運用範圍極廣，如智能助理、聊天機器人、文件生成、情感分析、語音辨識、詐騙文件偵測與文件處理等領域，而測謊主要從情感分析領域中衍生出來，情感分析為挖掘文字或話語中隱藏情緒或意圖的技術，

⁶ 根據美國心理學會的解釋，認知運思定義為個人對其思想中的物體所表現的內在心智活動。(https://dictionary.apa.org/cognitive-operation)

⁷ Natural Language Processing (NLP)，一種透過複雜的數學模型及演算法來讓機器去認知、理解並運用我們的語言的技術。

謊言偵測就是透過演算法比較其中情緒、意圖是否偏離正常狀況太多，進而將陳述內容可靠性數據化。

(一) 自然語言處理之謊言分析主要步驟：

1. 斷詞

亦即將句子拆成單一的字或詞，至於判斷標準，就必須不斷與資料庫做比對，其可為詞庫比對、統計比對或是混合比對等方式。目前繁體詞庫中，最為完整的當屬中央研究院所建立的現代漢語標記語料庫，而斷詞系統，各界最常用的亦為中研院開發之中文斷詞系統(Chinese Knowledge and Information Processing, CKIP)，其除具有分詞功能外，並附加有詞類標記與辨識未知詞類之功能。

2. 詞頻計算

計算每個字詞特性在文章內出現的頻率，通常為詞語出現的次數除以該檔案的總詞語數，也可以搭配內建字典計算字詞所屬類別，例如語文探索與字詞計算軟體⁸，將所有字詞分成 80 種類別，透過一篇文章中各類別比重的計算，了解整篇文章結構與所隱含的情緒意涵。

3. 比對詞彙之字詞向量

所謂字詞向量(Word Vector 或 Word Embedding)是先將大量文章輸入電腦，利用前後文章字詞連結特性，計算每一個詞彙的字詞向量，亦即將每個詞彙的相似程度以空間向量加以數據化。

4. 找出詞頻、字詞向量與說謊之關聯性

與誠實樣本比對，了解待比對樣本與誠實樣本差異程度，並將差異程度轉化為陳述可靠度，至於誠實樣本來源，可以是個人化比對(within group)，也可以是群體間(between group)的比較。

⁸ 語文探索與字詞計算(Linguistic Inquiry and Word Count, 簡稱 LIWC)是 Pennebaker 及其同僚於 1990 年初開始著手發展，以字與詞進行語文分析，針對諸如代名詞、情緒詞及認知詞等的相對使用百分比，起初發展的文本中詞類出現的頻率分析工具。

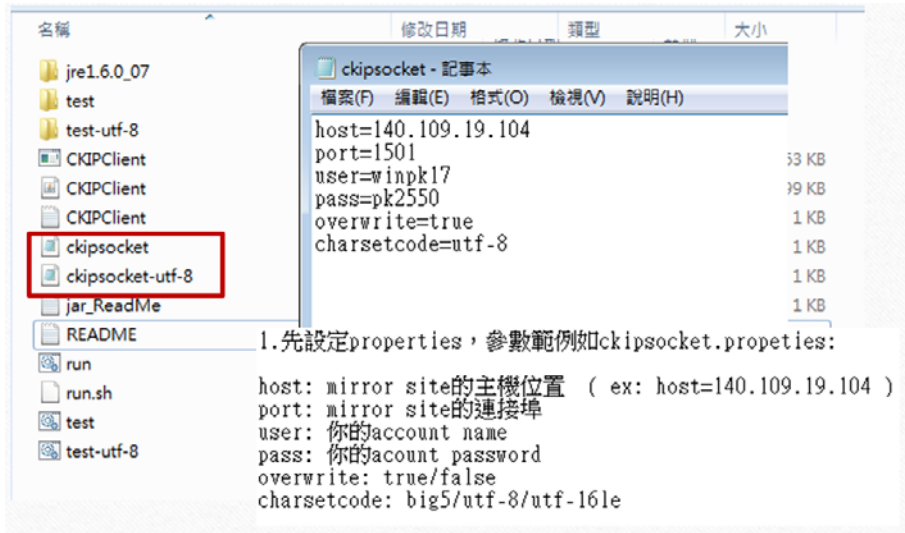


圖 1 中央研究院之斷詞程式客戶端安裝過程。

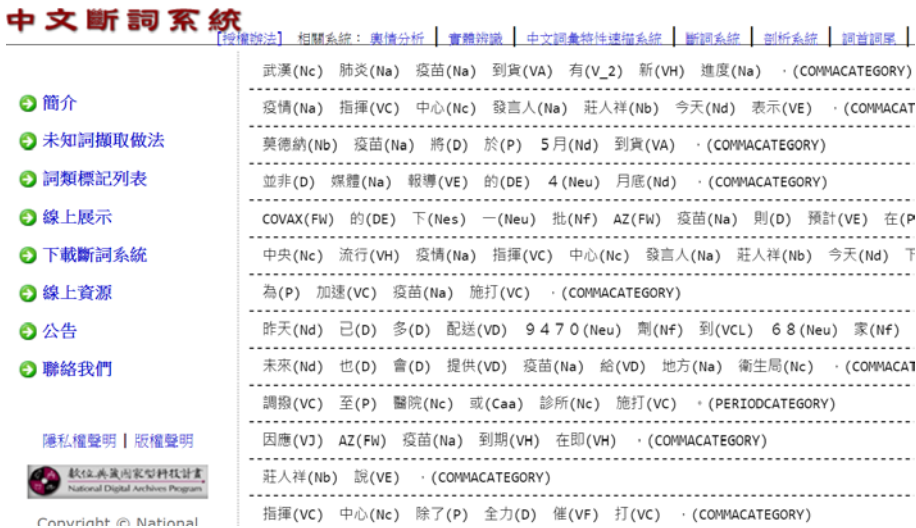


圖 2 中央研究院線上斷詞程式之斷詞標記結果範例。

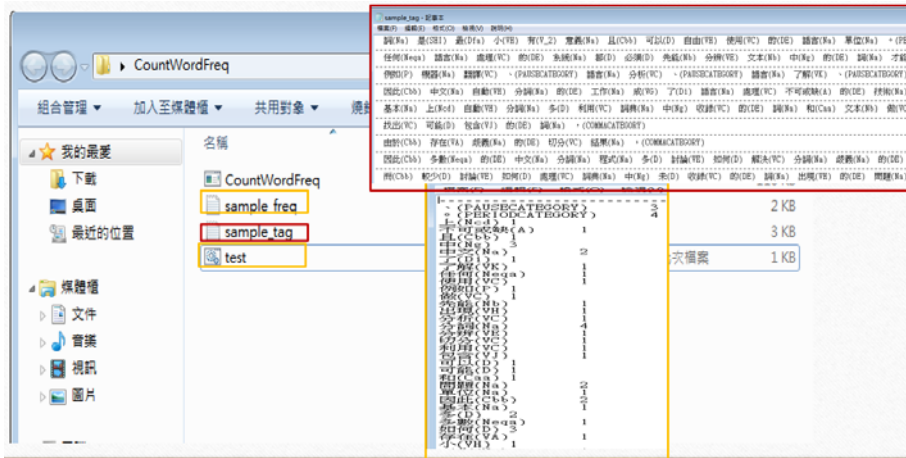


圖 3 中央研究院之詞頻統計程式。

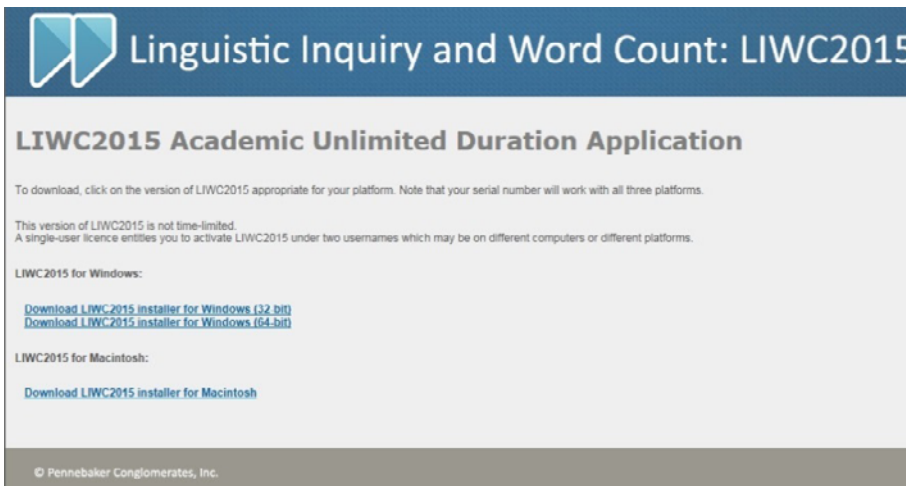


圖 4 LIWC 語詞分析系統 (資料來源：LIWC 網頁)。

(二) 相關研究

1. 詞性差異分析

早期代表性研究，多以 LIWC 程式為基礎，並包含多種實驗設計測量欺騙程度，結果發現，在詞性分布上，相較於誠實陳述者，說謊者表現出較低認知複雜度 (cognitive complexity)，使用較少自我參照 (self-references) 及他人參照 (other-references) 詞彙，以及使用更多負向情緒字詞 (negative emotion words)，在五個廣泛性調查研究中，整體辨識率約為 67% (Newman et al., 2003)

2. 文體學 (stylometry) 區分陳述真偽

在語言鑑識領域中，文體學主要是透過統計方式，分析文章撰寫風格差異，常見的如作者剖繪與抄襲分析等，另一種為成熟風格分析，就文章內容分析作者可能年齡、人生經歷、性別等基本特性，其理論基礎在於陳述或撰寫內容，會與當事人生長、教育、經歷等因素有關，若偏離太多，代表陳述內容可能有虛構可能性；Fornaciari 等人以前述 LIWC 技術為基礎，就陳述風格差異分析法庭上各類證詞，萃取陳述過程中表面關聯特徵 (surface-related feature) 與內容關聯特徵 (content-related features) 進行分析，表面關聯特徵主要分析詞性與功能詞等特性，內容關聯特徵則是分析詞義與內容相關訊息，這可以透過辭典與詞彙比對完成。該透過 n 元語法 (n-gram) 語言模型估計 n+1 出現機率，比較辭庫中用語，如語法、詞法、心理性用詞等，與當事人陳述用語之差別，結果顯示該分析法，可有效區分法庭上陳述內容真偽 (Fornaciari & Peosio, 2011)。

3. 作者辨識

為了解中文字 (characters) 與詞 (words) 能對個人寫作差異提供多少解釋力，並探勘文件風格，諸如結構、主觀化、情緒特徵等特性，以及對社群短語的作者判斷提供何種程度協助，研究者以社群網站 Facebook 上的個人語料進行分析，並分析何種特徵權重，如詞頻逆向文件頻率 (Tf-idf)⁹、詞頻、比例分布等數值，何種組合可提供較佳的判定基礎。研究採用向量機套件 LibLinear 作為分類器，以便了解各特徵貢獻分數。第一項研究發現 Tf-idf 特徵權重表現較比例分布佳，但較詞頻表現差；顯示在社群短語中，不論是單則文章或是整體實驗語料庫內，關鍵詞較少重複出現。原因有可能來自於在社群網站語詞較短，內含文字少，且此種社交平台主題不斷更新，導致 Tf-idf 這種降低功能詞權重並提高文章關鍵詞權重的計算方式未見良好分類效果，反而簡單的詞頻計算方式表現較佳。第二項研究針對中文不同階層的詞彙，如字、詞、二字詞、字與詞混合等不同狀態，能提供辨識作者程度為何。不同於字母系統語言，中文在語言表層結構上並不存在字元間隔以區分單詞，此亦為中文之重要特性，故研究以中研院斷詞系統進行分詞，並同時採用不分詞與分詞後的結果作為特徵值，探索中文不同字詞單元分別能提供的作者分類鑑識力，結果顯示以詞為本的特徵值分類效果優於以字為本的特徵值，同時在實驗中加入字詞以外的特徵集，如包含結構特徵、主觀化特

⁹ Tf-idf (term frequency-inverse document frequency) 是一種用於資訊檢索與文字挖掘的常用加權技術，用以評估一字詞對於一個檔案集或一個語料庫中的其中一份檔案的重要程度，字詞的重要性隨著它在檔案中出現的次數成正比增加，但同時會隨著它在語料庫中出現的頻率成反比下降。

徵、情緒特徵等特性，結果顯示主觀化特徵與情緒特徵在社群語料文類中的重要性(陳美瑜，2013)。

4. 謠言辨識

元智大學以 101 篇網路廣為流傳文章作分析以辨識內容真偽，研究以文字探勘技術，並藉由各種特徵變數，了解真實與虛假影響程度，並分析虛假文章(網路謠言)口語習慣，建構自動偵測網路謠言模型。研究使用之特徵變數包括詞頻、詞性、情緒字眼、文章類別及 N-Gram 等，藉由 C4.5 演算法、支持向量機(Support Vector Machine, SMO)、貝氏分類器(Naive Bayes)及最鄰近法(Ibk k-nearest neighbor)等四種分類分析演算法，分析其對謠言文章影響權重，結果顯示詞性及 N-Gram 兩者影響較為顯著。另外透過特徵篩選，以資訊增益量(information gain)篩選出 50 與 150 個屬性後，藉由 SMO 分析可得到 88.11% 的正確度；如果篩選出 200 個屬性，再使用 Bayes 分析，可得到 97.02% 的正確度(周長銘，2016)。

肆、高解析度攝影機

透過肌肉活動傳達情緒為人類溝通方法之一，肌肉活動位置，若在臉部則以各種表情與微表情呈現，在喉部則為聲音(調)變化，在肢體部位則為各種非語言行為，將待比對資料數據化後，再與現有誠實資料庫比對，則可推論當事人陳述可靠度。

一、臉部表情

表情為人類溝通重要媒介之一，根據 Albert Mehrabian 研究顯示，人類情感表達，7% 是透過語言、38% 透過語音聲調等輔助語言、55% 來自肢體動作與表情，因此人的臉部表情隱藏許多訊息。臉部表情運用在測謊中，著重於瞬間即逝的微表情(micro-expression)上，1969 年美國心理學家 Paul Ekman 研究一位精神病患案例時，發現某位住院病患神情愉快提出返家省親要求，但隨後卻自殺身亡，仔細觀看其提出返家要求之對話影帶，發現其出現極為短暫痛苦表情，因此開始微表情相關研究¹⁰。這類表情因出現時間短暫，故稱微表情，且人類無法以意識控制，心理學家認為此係內在防禦機制的展現，因此可顯示一個人內心真正心理狀態，雖然微表情持續時間短，

¹⁰ 目前認知的微表情，出現時間約在 1/5 至 1/25 秒間，故須透過攝影機抓取影像後確認，較難以肉眼直接精確辨識。

很難引起常人注意，但因與心理狀態連結性高，故在犯罪偵查領域運用較廣 (Ekman, 2009)。

(一) 表情編碼

為使臉部運動單元能有統一的分類基礎，目前較常用的臉部編碼系統為 Ekman 與 Friesen 於 1978 年提出的臉部動作表情編碼系統 (Facial Action Coding System, FACS)，在解剖學基礎上，該系統將人臉劃分為若干相互獨立但又緊密聯繫之動作單元 (Action Unit, AU)；如 AU1 對應內側額肌，而 AU9 對應上唇鼻翼肌。這些單元原本僅針對臉部表情做設計，初始編碼到 AU28，後針對各種臉部動作，持續衍生出更多動作單元，目前共有 98 動作單元，在這些單元中，主要可區分為主編碼 (main codes)、頭部動作編碼 (head movement code)、眼動編碼 (eye movement code)、能見度編碼 (visibility code) 及顯著行為編碼 (gross behavior code) 等，如 AU51 為頭部向左轉動，AU54 則為低頭等，每個動作單元還以 A 至 E 區分動作強度。每種情緒，則可與不同動作單元相連結，例如害怕可分成 7 個 AU，包括 AU1 眉毛內側上升、AU2 眉毛外側上升、AU4 額眉低垂、AU5 上眼瞼上升、AU7 下眼瞼緊縮、AU20 嘴唇伸展與 AU26 下巴降低 (Ekman & Friesen, 1978)，基本上定義的各種情緒所衍生的動作，均能從各個動作單元中找到合適的編碼組合。





| Action Unit | Description | Facial Muscle | Example (Hover to Play) |
|-------------|--|--|--|
| 1 | Inner Brow Raiser | <i>Frontalis, pars medialis</i> |  |
| 2 | Outer Brow Raiser (unilateral, right side) | <i>Frontalis, pars lateralis</i> |  |
| 4 | Brow Lowerer | <i>Depressor Glabellae, Depressor Supercilli, Currugator</i> |  |
| 5 | Upper Lid Raiser | <i>Levator palpebrae superioris</i> |  |

圖 5 臉部表情編碼系統 (資料來源：iMotions 網頁)

（二）微表情訓練識別工具之使用

人們容易發現與識別一般表情，但對微表情識別相對困難，若未經過特別訓練，正確率僅在 45~59% 間，早期常用之訓練識別工具為短暫表情識別測驗（Brief Affect Recognition Test, BART）與日本人及高加索人短暫表情識別測驗（Japanese and Caucasian Brief Affect Recognition Test, JACBART），目前較常使用的訓練工具則為 METT（Micro Expression Training Tool），其包括有七種基本情緒，包括悲傷、恐懼、憤怒、厭惡、輕蔑、驚嚇及高興等，並設計有前測、訓練、練習、複習與後測等五個階段。前測係用於了解未接受訓練前的辨識能力，訓練階段則讓當事人觀看微表情之各種解釋與識別技巧相關錄影帶，練習階段讓當事人進行識別訓練並獲得成果回饋，複習階段則重複相關圖像辨識，最後再以後測進行評定。在多數實證研究中，均可發現 METT 可提升 30-40% 的微表情辨識能力（Matsumoto et al., 2014）。在此基礎上，另於 2011 年發展出 Mix 訓練模組（Micro expression Recognition Training Tool），主要增加項目包括訓練數量與不同速度與角度之識別訓練。

（三）深度學習運用

學者選取八種臉部動作單元測試臉部測謊之效果，樣本為從 18-25 歲的 43 名受試者（20 名男性，23 名女性）所獲得 400 個錄影檔案，將所得資料以虛擬通用隨機存取失重神經網路分類器（Virtual Generalizing Random Access Memory Weightless Neural Network, VG-RAM WNN）¹¹ 進行三次分析，準確率達到 84%、85% 和 90%，且在不同性別中均獲得良好結果（Thannon et al., 2019）。

二、眼動

眼動儀開發與心智運作負荷研究有關，芝加哥心理學教授 Hess 發現當事人作心算題目時，其瞳孔直徑會隨答案數字增加而變大，因此認為心智負荷增加時，會引發瞳孔變化。這些狀況，在以聽覺誘發記憶實驗中獲得證實，在以視覺為主研究亦有相等情況。因此在眼動測謊相關研究中，常會讓受測者觀看存在於犯罪現場之物（target stimuli）及不存在犯罪現場之物（control stimuli），比較到過現場犯罪者與未到過現場無辜者間，瞳孔大小（直徑）差異，而由此場景辨識衍生出來的另一議題，即為凝視時間差異與凝視位置差異比較。眼動偵測設備是以小型攝影機偵測瞳孔的位置，依照設

¹¹ VG-RAM WNN 係由可編程的邏輯晶片 FPGA（Field Programmable Gate Array）構建而成，市場主流為 Xilinx 公司相關產品。

定的取樣頻率(例如 500Hz, 即每秒取樣 500 次), 或每隔一段時間(例如 2 毫秒)記錄一次眼睛的位置, 早期偵測瞳孔大小之眼動儀, 仍屬接觸式, 必須要戴在頭上或是將頭部固定在架子上, 後續包括眼球凝視時間與區域偵測設備, 儀器雖不須直接碰觸當事人身體, 但頭部仍無法大動作隨意移動, 所以仍屬接觸式與非接觸式之過渡設備, 目前研究人員仍朝全部非接觸目標邁進中。

(一) 設備使用前校正

眼球追蹤儀的記錄就像一般的攝影機, 可以記錄眼睛的移動, 但若要知道眼睛當下凝視何處就須在使用前, 針對每個人進行校正程序, 一般做法是在螢幕正中間與九宮格位置隨機出現圓圈當作凝視點, 受試者必須保持凝視點在圓圈上, 藉由受試者凝視已知位置上, 對應到攝影機拍攝到的影像, 經計算後即可在後續實驗中對應到凝視點確切位置。測試完畢後, 還要做一次驗證(validation), 故若受試者能配合保持凝視在圓圈上不移動的話, 校正即可輕易完成且獲得正確數據。

(二) 瞳孔大小

國內模擬實際測謊程序之眼動測試中, 研究人員以 2 (固定出現 vs. 隨機出現) × 2 (文字類 vs. 非文字類) 之二因子組內實驗設計, 配合測謊緊張高點法題組進行, 實驗共招募 59 名受試者進行測試; 結果顯示當受測者說謊時, 瞳孔的確有放大現象, 相關研判指標則以瞳孔大小值高低排序、高低點差值排序、眨眼次數以及未眨眼持續期間等四種最佳, 將這些指標依照 2:1:2:2 權重加總後, 正確率可達 70%, 誤判率為 17%, 而無法鑑別率為 13%; 雖然不論文字類或非文字類題組對準確率無影響, 但將目標圖片固定在同一問題部位, 則準確率較位置隨機變動高, 整體研究顯示瞳孔大小與說謊間存在一定關聯(黃孟隆, 2005)。

(三) 凝視時間

為評估眼動儀作為安全監控設備可行性, 研究者設計了一系列以認知為基礎之測試, 評估受測者於電腦上閱讀一段問卷時之瞳孔反應, 實驗一隨機將受測者分配到有罪與無辜組, 並在電腦上撰寫完成相關問卷; 實驗二則加強測試動機與閱讀困難度。結果顯示, 兩個實驗中, 有罪者說謊時, 其瞳孔反應均增加, 凝視題目與閱讀時間均變少(Cook et al., 2012)。

(四) 凝視區域

為了解場景與眼球凝視狀況之關聯, 研究者請受試者先觀看包括 2 張模擬犯罪現場圖片和 8 張一般照片共 10 張照片; 後再觀看 2 張模擬犯罪圖

片、3張一般故事圖片與5張填充圖片，其中模擬犯罪圖片又再經過修圖，讓重要證據消失，構成4種不同情境。研究結果顯示，犯罪組對抹除重要證據區域的凝視次數，明顯高於無辜者組，但平均凝視時間和總凝視時間未見明顯差異（張淑惠，2003）。

伍、語音

人類想要透過語言傳達訊息，需先將所要表達意思在腦中先轉換成語言的型式，後再透過神經系統刺激各器官肌肉，擠壓氣流由肺部、喉腔、口腔、鼻腔等部位以聲波震動方式送出，在人體口腔及鼻腔內時，會透過位置與體積變化，產生氣柱共鳴以發出不同震動波形，這些聲波撞擊到空氣中的粒子，傳到人類耳膜，經過神經系統的傳遞及解碼（decode），成為我們所聽到的語音。人類耳朵根據各種波形差異，感受到包括音調、音量與音色等內容，由於整個發聲過程，係由當事人神經所控制，所以這些聲音差異，是否也反應心理狀態，進而發現其與說謊之關聯，變成測謊研究人員關注的議題。以下就聲紋測謊幾種代表性技術做一說明。

一、語音壓力分析（VSA, Voice Stress Analysis）

此為最早商業化之語音測謊儀，最早為偵測說話時，輸出的能量變化，後結合電腦設備，將共振峰、基頻等均納入分析指標。由於人類發聲與神肌肉運作有關，而人類遇到壓力時，會因情境不同產生戰鬥或逃避等反應¹²，隨著狀況變動產生不同肌肉反應，故透過聲音偵測肌肉反應程度，理論上就可了解說話時之神經活動狀態。由此引申出肌肉微震動觀念（Micro-muscle Tremors, MMT）觀念，在正常情況下，隨意肌收縮正常時，MMT會出現以每秒大約10個週期小幅振盪，但人說謊時，因為腎上腺素分泌增加，改變肌肉協調性，故會降低8-12Hz振動頻率。根據實驗與實測結果發現，當人類於壓力下時，8-12Hz間的聲音頻率分量會大幅度減小，但此規則並非適用於所有人身上（Cósetl, 2011）；另有學者比較震動（jitter）與音高（pitch）強度變化兩種VSA差異，該研究使用Praat軟體分析相關語音，結果顯示MMT的正確率約為40.7%，低於機率值以下，無法偵測說謊；而基於 f_0 強

¹² 簡稱3F反應（Fight, Flight or Freeze Response），1929年美國生理學家Walter Cannon所創建，用以說明動物面對威脅時通常會激起神經和腺體的反應，以使軀體做好防禦、掙扎或者逃跑的準備，反應的中心位於視丘下部，當中亦包括了許多種情緒反應。

多；再利用聚合式階層分群法將受試者行為向量分群後發現，可將同類別受測者區分為3-4個族群；個人化分析結果，當分為三群時，每群之平均辨識率介於0.57-0.73間，分為四群時，每群之平均辨識率則介於0.52-0.73間。整體模型部分，特徵權重分配後之辨識率為0.56(吳乙彤, 2018)。

五、深度學習技術

中央大學以回聲狀態網路(Echo State Network, ESN)為架構，在20人中隨機抽取其中15個人語音做為訓練資料，其餘5人錄音資料做為測試資料，共隨機抽樣10次。並將其結果與受試者填寫於問題列表清單之正確答案做比較，作為其判斷正確性依據，結果顯示正確率為65%(劉丁瑋, 2017)；另學者以雙向長短期記憶(Bidirectional Long Short-Term Memory, BLSTM)技術搭配深度學習神經網路(Deep Neural Networks, DNN)設計一套包含一般聲學特徵與雙向對話變化特徵的分析系統，對每個詞提取整句話的特徵，透過模仿生物神經系統之數學模型，進行不同階層與架構的多次運算和訓練，找出最佳化、最有效的語音學習模型。實測顯示此系統對於繁體中文對話時之謊言偵測率達74.71%，故學者認為除語音特徵外，若再加入雙方對話過程如語調、語速等特徵共同分析，對於提升準確度有所幫助(Chou et al., 2019)。

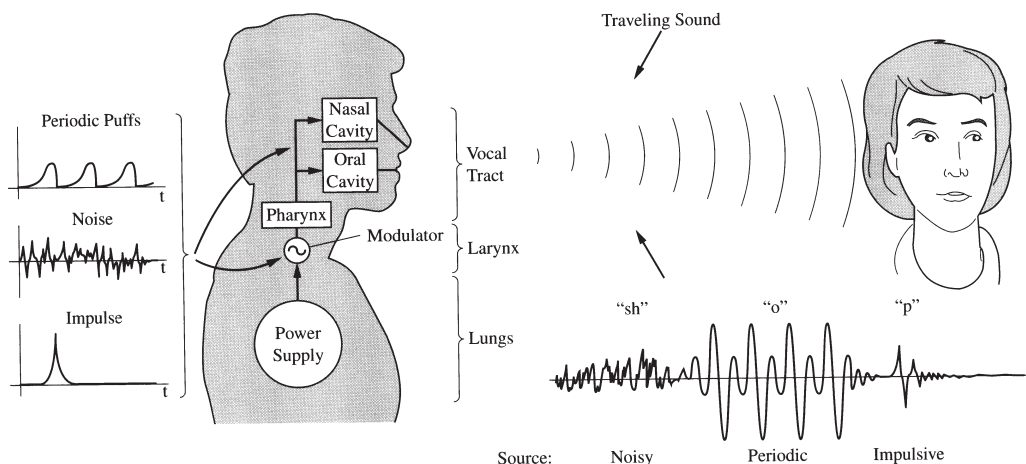


Figure 3.1 Simple view of speech production. The sound sources are idealized as periodic, impulsive, or (white) noise and can occur in the larynx or vocal tract.

圖 6 語音訊號產生示意圖(擷取自 Thomas F. Quatieri 資料)¹³

¹³ Quatieri, T. F. (2006). Discrete-time speech signal processing: principles and practice. Pearson Education India.

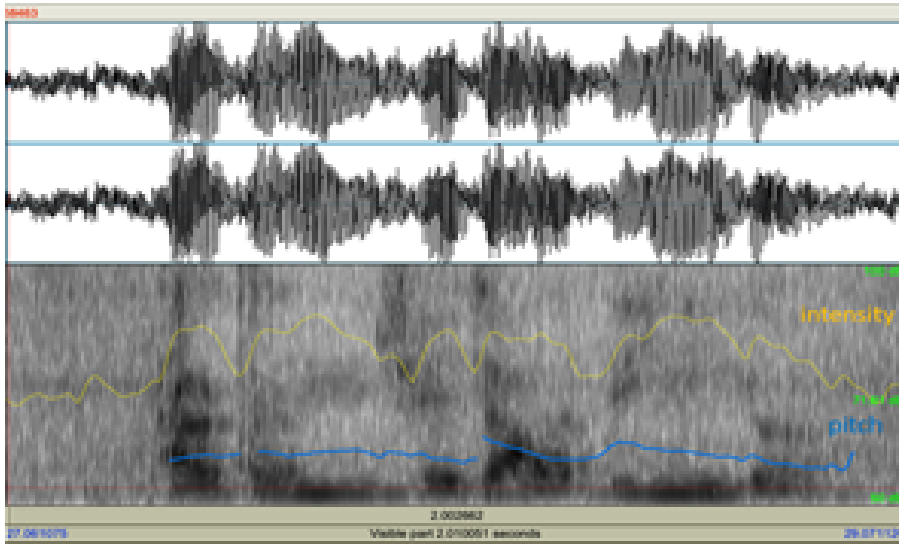


圖 7 聲音之波形圖、頻譜圖、語音活性檢測及音高圖。

陸、都普勒雷達波

雷達系統的原理是發射電磁波至探測物上，藉由分析探測物回彈反射波的時間、波長、波形等散射情形，得知發射點與探測物距離、方向、形狀等訊息，主要設備包括發射、接收天線與處理器等設備，當電磁能量透過天線發射抵達目標後，能量會被物體攔截、吸收或反射，被反射的能量透過接收天線接收後，計算出發射時間差，就可達到定位效果；而若目標處於移動狀態，則可透過計算目標移動產生的頻率變化達到偵測物體移動狀況的目的，這類偵測移動狀況的雷達系統即稱為都卜勒雷達¹⁴。

都卜勒技術常使用超寬頻波做為傳輸媒介¹⁵，頻率範圍介於 3.1 ~ 10.6 GHz 間，其具有高速傳輸、低功率消耗、高安全性、低干擾與精準定位特性，尤其是因具高安全性與精準定位特性，所以被廣泛運用在醫療系統上。早期因戰爭需求，雷達系統係用於偵測數百公里外目標，後逐漸將設備微型化，1975 年美國科學家首次成功以都卜勒雷達量測貓呼吸訊號，1988 年時

¹⁴ 此即為都卜勒效應 (Doppler effect)，當波源和觀察者有相對運動時，觀察者接受到波的頻率與波源發出的頻率並不相同，例如遠方急駛過來的火車鳴笛聲變得尖細 (即頻率變高，波長變短)，而離去的火車鳴笛聲變得低沉 (即頻率變低，波長變長) 即屬都卜勒效應。

¹⁵ 超寬頻 (Ultra-wideband, UWB) 是一種具備低耗電與高速傳輸的無線個人區域網路通訊技術。

量測到人體咽喉振動，這些非接觸式設備均係基於電磁波反射原理，裝置向人體發射電磁波，這些電磁波受胸腔（呼吸）與心搏舒張（心跳）而產生都普勒相位調變訊號，由接收裝置接收後，進一步比對初始波與反射波差異，便能將這微量變化提取出來¹⁶，再經數學理論轉換，計算出呼吸與心跳速率（Pour Ebrahim et al., 2017）。使用電磁波偵測的好處是其比紅外線具有更好的穿透力與較長量測距離。傳統接觸式測謊儀，雖然亦是測量心跳與呼吸，但透過雷達系統測得之心跳資訊，可進一步分析其心率變異度（Heart Rate Variability, HRV），由於心臟除了本身的節律性放電引發的跳動之外，也受到自律神經系統所調控，當人體感受壓力時，通常會增加交感神經活動，並降低副交感神經對心臟的調控，而由心率變異度數據，代表一個人生理反應機制靈敏度，處在壓力下時，交感神經活性指標的低頻訊號會增加，副交感神經活性指標的高頻訊號會降低，代表一個人提升身體靈敏度以隨時應對外在變化。比對超寬頻波反應位置，可發現其波峰波谷相對位置均與心電圖（ECG）相同，且心跳周期常出現在 713 毫秒附近，因此最常擷取 0.7 Hz 為倍數單位的訊號進行分析（Sahu et al., 2014）。

但當人體活動或晃動時會產生較多雜波干擾，若揮手時，訊號強度甚至可超過心肺活動訊號 100 倍之多，讓電路飽和而將心肺反射波訊號蓋過，而小幅度的人體晃動，雖可通過後端電路將反射波再做轉換，但仍容易導致量測偏差；另由於雷達波甚為敏感，而測謊室內同時會有受測者與施測者在內，產生的重疊訊號辨識亦為待解決問題，這些因素均限制了此設備後續在測謊發展的運用，故若能具有提升靈敏度時，又能去除低頻雜訊技術，則此類設備才會有較實際運用價值。

柒、結論

根據目前各種非接觸式測謊設備發展、準確率、使用限制等，筆者提出一些未來使用上可能遇到之相關問題，提供讀參考。

一、偵測距離、角度與人際距離考量

雖然有部分標的開始發展遠距測謊，亦即透過線上談話方式做判斷，這類技術多以臉部表情、聲紋與語詞為大宗，實際運用時，會受到傳輸頻寬、解析度、角度等限制，另人類情感交流中，直接面對當事人與面對螢幕之訪

¹⁶ 稱做同步解調，coherent demodulation

談效果仍有相當差異，許多非語言訊息難以深切感受，導致訪談效果不同，故目前為止多數研究仍認為面對面訪談效果較佳。而在面對面會談情境中，部分設備仍有偵測角度與範圍限制，然實際上又無法限制當事人不能有太大動作出現，造成實務運作上之限制。

二、研究取樣未有一定標準，準確率落差大，容易導致評估錯誤

文章內提及的各種實驗結果，除人數較少外，樣本內容、品質、選取特徵數也差異甚大，以最熱門的機器學習分析模式來說，需要透過大量數據訓練模型，但在數量不足情況時，所得結果代表性不足，若再加上不同族群、文化背景、使用語言、臉部表情、生活習慣等差異，容易出現模型偏差或無法套用到其他樣本情況，從而限制新式測謊技術的使用。

三、系統整合問題

由於前述各項單一測謊標的，無法超越目前測謊儀之準確度，因此需整合各項標的，亦即以多模態測謊方式，考量各種狀況後進行分析，惟選取標的、偵測部位、權重比例等均須重新整合。以現今使用之測謊儀為例，雖製造商不同，甚至在冷戰時期，因管制輸出緣故，不同國家之系統亦不相同，但基本原理、偵測部位、使用方式等均大同小異，而在未來如何整合新式系統變成設備開發需面臨之問題。

四、測試標準程序尚待制定

傳統測謊儀經過近百年使用與驗證，並由各測謊協會與團體廣泛討論後，現制定有標準測試流程，雖仍有反對者質疑其準確率，但不可諱言目前美國忠誠查核、職前篩選、性侵害監控以及犯罪偵查等，早已大量使用測謊儀協助相關工作進行，代表測謊儀有相當可信度，否則早就被捨棄不用。而文章內提及之各種新式測謊技術，在小樣本測試中具有60-85%左右準確率，惟此準確率仍低於美國測謊協會認可使用的標準甚多，且這些技術並未將相關標的加以整合，制定出包括測前晤談等標準測試流程，因此這些新式技術距離實際運用層面及獲得多數民眾接受，仍有相當發展空間。

五、個人化分析模式將面臨更大挑戰

傳統測謊儀以測前晤談方式，在和諧情境下，以區域比對法為基礎，導入相關、比對、中性等問題，且比對問題更屬可能性說謊問題，比對標的與

題目主題均有一定規範，歷經相當時日才發展出現今測謊模式，然目前多數搭配各種演算法之新式測謊設備研究中，若要找出群體特徵，樣本數量仍不足，若要從個人化比對著手，在實際情況中又未能於測試前或測試當中建立當事人比對基線資料；多數報告均顯示，個人化比對有較高準確率，故如何建立個人化比對資料，亦為這類新式測謊技術必須面對的另一個問題。

參考文獻

中文部分

- 吳乙彤(2018)。基於語音特徵判斷語句內容真實性(未出版碩士論文)。清華大學。
- 周長銘(2016)。利用文字探勘技術辨別網路謠言之真偽(未出版碩士論文)。元智大學。
- 林明傑、李璟林、蔡景宏、黃敏偉(2010)。我國男性假釋及緩刑之性罪犯接受聲紋測謊相關參數之研究。刑事科學, 68, 1-14。
- 張淑惠(2013)。以場景再認作業建立眼動測謊方法(未出版碩士論文)。玄奘大學。
- 陳世烽(2017)。人類內在感受與外在情緒表達有落差時的語音特徵: 影像刺激條件下分析母音共振峰之特性(未出版碩士論文)。交通大學。
- 陳美瑜(2013)。中文文本作者辨識研究以社群網站-臉書為例(未出版碩士論文)。師範大學。
- 黃孟隆(2005)。在測謊作業上之瞳孔反應(未出版碩士論文)。中央警察大學。
- 劉丁瑋(2017)。人工智慧於雨量預測以及測謊之應用(未出版碩士論文)。中央大學。

英文部分

- Bennett, S. L., Goubran, R., & Knoefel, F. (2016, May). Adaptive eulerian video magnification methods to extract heart rate from thermal video. In 2016 IEEE International Symposium on medical measurements and applications (MeMeA) (pp. 1-5). IEEE.
- Buddharaju, P., Pavlidis, I. T., Tsiamyrtzis, P., & Bazakos, M. (2007). Physiology-based face recognition in the thermal infrared spectrum. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 29(4), 613-626.
- Charkoudian, N. (2003, May). Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. In Mayo clinic proceedings (Vol. 78, No. 5, pp. 603-612). Elsevier.
- Chou, H. C., Liu, Y. W., & Lee, C. C. (2019, November). Joint learning of conversational temporal dynamics and acoustic features for speech deception detection in dialog games. In 2019 Asia-Pacific Signal and Information

- Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)
- Cook, A. E., Hacker, D. J., Webb, A. K., Osher, D., Kristjansson, S. D., Woltz, D. J., & Kircher, J. C. (2012). Lyin'eyes: ocular-motor measures of reading reveal deception. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 18(3), 301.
- Cósetl, R. C., & López, J. D. B. (2011, February). Voice Stress Detection: A method for stress analysis detecting fluctuations on Lippold microtremor spectrum using FFT. In *CONIELECOMP 2011, 21st International Conference on Electrical Communications and Computers* (pp. 184-189). IEEE.
- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Fillion, D. L. (2007). The electrodermal system. *Handbook of psychophysiology* 2, 200–223.
- Ekman, P. (2009). Lie catching and microexpressions. *The philosophy of deception*, 1(2), 5.
- Fornaciari, T., & Poesio, M. (2011, June). Lexical vs. surface features in deceptive language analysis. In *Proceedings of the ICAIL 2011 Workshop: Applying Human Language Technology to the Law* (pp. 2-8). Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh School of Law.
- Gault, T., & Farag, A. (2013). A fully automatic method to extract the heart rate from thermal video. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (pp. 336-341).
- Hessler, C., Abouelenien, M., & Burzo, M. (2018, June). A survey on extracting physiological measurements from thermal images. In *Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference* (pp. 229-236).
- Krasavina, A. G. (2017). History of psychological assessment testimony. *Psychology and Law*, 7(3), 17-26.
- Krzywicki, A. T., Berntson, G. G., & O'Kane, B. L. (2014). A non-contact technique for measuring eccrine sweat gland activity using passive thermal imaging. *International Journal of Psychophysiology*, 94(1), 25-34.
- Liu, X. (2005). Voice stress analysis: Detection of deception. Master's Thesis at the University of Sheffield, Department of Computer Science.
- Matsumoto, D., Hwang, H. C., Skinner, L. G., & Frank, M. G. (2014). Positive effects in detecting lies from training to recognize behavioral anomalies. *Journal of Police and Criminal Psychology*, 29(1), 28-35.
- Newman, M. L., Pennebaker, J. W., Berry, D. S., & Richards, J. M. (2003). Lying words: Predicting deception from linguistic styles. *Personality and social*

- psychology bulletin, 29(5), 665-675.
- Pan, X., Zhao, H., & Zhou, Y. (2015). The application of fractional Mel cepstral coefficient in deceptive speech detection. *PeerJ*, 3, e1194.
- Pavlidis, I., & Levine, J. (2002). Thermal image analysis for polygraph testing. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 21(6), 56-64.
- Pour Ebrahim, M., Sarvi, M., & Yuce, M. R. (2017). A doppler radar system for sensing physiological parameters in walking and standing positions. *Sensors*, 17(3), 485.
- Rajoub, B. A., & Zwigelaar, R. (2014). Thermal facial analysis for deception detection. *IEEE transactions on information forensics and security*, 9(6), 1015-1023.
- Sahu, K. N., Naidu, C. D., & Sankar, K. J. (2014). Radar Based Lie Detection Technique. *Global Journal of Research In Engineering*.
- Sapir, A. (1987). *The LSI course on scientific content analysis (SCAN)*. Phoenix, ZA: Laboratory for Scientific Interrogation.
- Shastri, D., Merla, A., Tsiamyrtzis, P., & Pavlidis, I. (2008). Imaging facial signs of neurophysiological responses. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 56(2), 477-484.
- Sporer, S. L., Manzanero, A. L., & Masip, J. (2021). Optimizing CBCA and RM research: recommendations for analyzing and reporting data on content cues to deception. *Psychology, Crime & Law*, 27(1), 1-39.
- Tanda, G. (2015, October). The use of infrared thermography to detect the skin temperature response to physical activity. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 655, No. 1, p. 012062). IOP Publishing.
- Thannoon, H. H., Ali, W. H., & Hashim, I. A. (2019). Design and Implementation of Deception Detection System Based on Reliable Facial Expression. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(15), 5002-5011.
- Undeutsch, U. (1989). The development of statement reality analysis. In *Credibility assessment* (pp. 101-119). Springer, Dordrecht.
- Warmelink, L., Vrij, A., Mann, S., Leal, S., Forrester, D., & Fisher, R. P. (2011). Thermal imaging as a lie detection tool at airports. *Law and human behavior*, 35(1), 40-48.
- Wu, H. Y., Rubinstein, M., Shih, E., Guttag, J., Durand, F., & Freeman, W. (2012). Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world. *ACM transactions on graphics (TOG)*, 31(4), 1-8.

