



# 利用深度神經網路進行 鑑識科學中刀傷凶器的快速識別： 概念驗證研究

Harnessing Deep Neural Networks for Rapid Knife Wound  
Identification in Forensic Science: A Proof-of-concept Study

## 一、研究團隊介紹

本研究由三位跨領域專家合作完成，整合電子工程、鑑識科學與人工智慧的專業知識：

- **魏均達 (Chun-Ta Wei)**：泉州信息工程學院副教授，2024 年獲國防大學理工學院博士學位。研究領域涵蓋影像處理、深度學習與鑑識科學，為本研究第一作者與系統開發主導者。
- **李承龍 (Jeff Cheng-Lung Lee)**：臺灣警察專科學校教授，國立清華大學博士。曾任新竹市警察局鑑識課代理課長及卡達警官學院特聘副教授，長期研究犯罪現場調查與冤案分析，負責法醫應用驗證。
- **陳聿廣 (Yu-Guang Chen)**：國立中央大學電機系副教授與通訊作者，專長於可靠電路設計與 AI 晶片架構，負責 FPGA 硬體實作與效能最佳化。

## 二、期刊與研究背景

本研究發表於《Sensors and Materials》（Vol. 37, No. 5, 2025, pp. 2115-2133），該期刊已被收錄於 Clarivate Analytics 的 Science Citation Index Expanded（SCIE）中，屬於 SCI 一類期刊。其影響因子（Impact Factor, IF）依官方網站顯示，2023 年 IF 為 1.2，在感測與材料應用領域具有高度學術影響力。

本文結合鑑識科學與深度學習，開發一套自動化刀傷凶器識別系統，展示人工智慧在鑑識現場即時分析的可行性。此研究為 AI 技術應用於刑案鑑識的重要里程碑。

## 三、實驗背景與實驗方法介紹

### 1. 研究背景

工具痕跡分析是法醫鑑識的重要組成，能根據傷口特徵推測凶器類型與使用方式。傳統方法仰賴專家以顯微鏡比對，耗時且主觀性高。儘管近年已有數學或影像比對技術應用，但在刀痕鑑識中仍缺乏自動化與智慧化工具。

因此，本研究嘗試以深度神經網路（Deep Neural Network, DNN）結合 FPGA（可程式邏輯閘陣列）硬體加速，建構一套可攜式、即時運作的刀傷識別系統，提供快速、客觀且高準確度的武器判定輔助。

### 2. 凶器類型與假設

依據全球暴力犯罪統計，最常見的三類凶器為：

| 剪刀型<br>(Scissors) | 單刃刀型<br>(Single-edged knives) | 剁刀型<br>(Cleavers) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|
|-------------------|-------------------------------|-------------------|

不同刀具造成的傷口外觀差異明顯：剪刀與單刃刀多為深且窄的穿刺傷；剁刀則產生平滑且邊緣整齊的撕裂傷。此差異成為模型訓練的主要依據。

### 3. 模擬資料集開發

由於真實刀傷影像受倫理與樣本限制，研究團隊以樹脂黏土（resin clay）模擬人類皮膚特性，具有適度黏性與纖維撕裂感。

- **控制變項**：黏土濕度、表面光滑度、拍攝角度與焦距。
- **變動變數**：刺入深度、角度與拔出力道，以及光線條件（模擬不同膚色）。

最終經資料增強（旋轉、灰階化、對比調整、標準化）後，建立 3,272 張訓練影像與 400 張驗證影像，尺寸統一為  $28 \times 28 \times 1$ ，對應三類刀具傷口，構成完整訓練資料集。

## 4. 模型設計與訓練

本研究採用經典的 LeNet-5 深度神經網路架構，因其運算輕量且具良好分類性能，適合嵌入式裝置部署。

- **激勵函數**：ReLU
- **損失函數**：Cross-Entropy
- **優化器**：Adam（自動調整學習率）

LeNet-5 由多層卷積與池化組成，可有效提取傷口紋理與形狀特徵，完成三類刀傷分類。

## 5. FPGA 硬體部署與最佳化

系統部署於 TUL PYNQ-Z2 FPGA 平台，搭配 OV5640 攝像頭模組。

- **運算分工**：卷積與池化層於可程式邏輯（PL）側進行平行運算，全連接層則於處理系統（PS）側執行，以兼顧速度與資源使用率。
- **硬體優化**：初始設計 LUT 使用率達 150%，超出 FPGA 容量。研究團隊將第二卷積層卷積核由  $5 \times 5$  改為  $3 \times 3$ ，並將輸出通道由 16 減為 3，使 LUT 使用率降至 68%，確保模型能穩定執行。

## 四、結果簡介與對於鑑識的貢獻

### 1. 系統效能

在包含模擬與真實刀傷的 420 張測試影像上，系統達到 98.8% 準確率。每次推論僅需 1.632 毫秒（ms），每秒可執行超過 600 次運算，達到即時分析標準（ $<10\text{ms}$ ）。該成果證明深度學習模型經硬體化後可於低功耗裝置上高效運作，具現場快速分析潛力。

### 2. 對鑑識科學的主要貢獻

- **快速判定凶器**：可即時識別傷口特徵，加速刑案現場分析。
- **提升客觀性**：以模型自動比對取代人工判斷，減少誤差並提高一致性。
- **輕量化與行動應用**：FPGA 裝置低功耗、便於攜帶，適合部署於現場鑑識設備。
- **教育訓練應用**：可作為法醫與警政教育模擬工具，幫助學習不同刀傷特徵。

### 3. 未來發展方向

研究團隊將持續：

- 擴充資料集，涵蓋更多刀具與不同膚色模擬條件；

- 引入注意力機制與多尺度特徵融合，提高模型對複雜傷口的辨識力；
- 建立法醫影像資料庫，結合區塊鏈保存分析紀錄以確保證據追溯性；
- 與醫學單位合作進行真實影像驗證，推進倫理與實務應用。

## 五、研究內容相關的照片

圖1、三種常見凶器類型



(a) 剪刀型



(b) 單刀刀型



(c) 剃刀型

出處：Sensors and Materials, Vol. 37, No. 5 (2025), Fig. 1 (Color online)

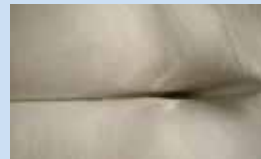
圖4、模擬傷口範例



(a)  
黃色皮膚剪刀型  
傷口



(b)  
白色皮膚單刀刀型  
傷口



(c)  
黑色皮膚剃刀型  
傷口

出處：Sensors and Materials, Vol. 37, No. 5 (2025), Fig. 4 (Color online)

## 六、結論

本研究發表於 SCI 期刊《Sensors and Materials》，成功將深度神經網路與 FPGA 硬體整合，開發出可即時運作的刀傷凶器識別系統。該系統具備高準確度（98.8%）與毫秒級運算速度，能快速分析傷口影像、推測凶器類型，提升鑑識效率與客觀性。

本研究的三項創新貢獻為：

- 建立首個以樹脂黏土模擬刀傷的法醫影像資料集；
- 完成 DNN 模型之硬體化部署與資源優化；
- 驗證 AI 技術在現場鑑識實務中的即時應用潛力。

此成果象徵鑑識科學邁入 AI 驅動的新時代，未來可廣泛應用於犯罪現場即時分析、法庭證據呈現與鑑識教育訓練等領域，為智慧鑑識奠定堅實基礎。FACT