

Streszczenie

Sekcja zwłok jako czynność niepowtarzalna przeprowadzana jest tylko raz. Jej wyniki są kluczowe zarówno dla medycyny sądowej, jak i dla toczących się postępowań. Z tego powodu dokumentacja z sekcji zwłok odgrywa istotną rolę w procesie dowodowym, zapewniając transparentność i umożliwiając późniejszą analizę przez ekspertów. Znaczenie medycyny sądowej dla wymiaru sprawiedliwości jest więc niepodważalne, ujawniając informacje o przestępstwie, jak do niego doszło, a nawet kto mógł je popełnić. Pod tym względem podczas zewnętrznej sekcji zwłok następuje klasyfikacja ujawnionych obrażeń, gdzie jako jedno z istotniejszych i najczęściej występujących wymienia się podbiegnięcia krwawe i otarcia naskórka. Podbiegnięcia krwawe (ang. *bruises*) to wylew krwi do tkanek podskórnych w wyniku uderzenia lub ściśnięcia co w konsekwencji powoduje miażdżenie tkanek miękkich i rozrywanie naczyń krwionośnych jednak bez naruszania skóry. Ten typ obrażeń jest niezwykle istotny w przypadkach wykrywania przemocy. Z kolei, otarcia naskórka (ang. *abrasions*) pojawiają się w wyniku urazu, kiedy działające na ciało narzędzie ociera skórę z warstwy zrogowaciałej, tym samym obnażając brodawki skóry właściwej. Wielkość otarcia przyjmuje różne formy, od niewielkich do pokrywających znaczne obszary ciała. Natomiast kształt w dużej mierze uzależniony jest od użytego narzędzia oraz kąta jego oddziaływania. Właściwa analiza otarcia znacząco przyczynia się do ustalenia przebiegu zdarzenia czy użytego narzędzia (rozumianego również jako obiekt), które spowodowało dane obrażenie. Tradycyjne metody analizy obrażeń, opierają się na ocenie wzrokowej i często uzależnione są nie tylko od doświadczenia lekarza medycyny sądowej, jak również od jego subiektywnych spostrzeżeń. Postęp rozwoju technologii cyfrowych analiz, skłonił autorkę do próby ich implementacji w obszarze medycyny sądowej.

Wobec powyższego niniejsza rozprawa doktorska, w oparciu o obrazy post-mortem, przedstawia wybrane algorytmy uczenia głębokiego do detekcji i klasyfikacji dwóch typów obrażeń (podbiegnięcia krwawe i otarcia naskórka) oraz ich zapisu na wygenerowanych cyfrowych modelach 3D. Opracowane przez autorkę rozwiązania cyfrowe dodatkowo umożliwiły przeprowadzenie zaawansowanych analiz morfologicznych w przestrzeni 2D przyczyniając się do poprawy wyrazistości, granic i konturów obrażeń dzięki operacjom na macierzach konwolucji. Natomiast analizy morfometryczne przeprowadzone w przestrzeni 3D pozwoliły na precyzyjne określenie takich cech obrażeń, jak ich kształt, wielkość, głębokość czy kierunek powstania, co znacząco usprawniło klasyfikację oraz rekonstrukcję mechanizmu ich powstawania. Opracowane rozwiązania znacząco przyspieszyły czas rozpoznania

i rejestracji obrazów w porównaniu z tradycyjnymi metodami. Dodatkowo, wyeliminowano wpływ subiektywnych czynników, takich jak pośpiech czy doświadczenie lekarza. Proponowane rozwiązania pozwoliły na stworzenie unikatowej bazy danych dla medycyny sądowej oraz wykazały, że elementy zewnętrzne, takie jak płyny czy zabrudzenia, nie wpływają znacząco na jakość cyfrowej dokumentacji ciał i umożliwiają precyzyjną segmentację semantyczną, modelowanie 3D ciał oraz analizę obrazów bez konieczności uprzedniego ich przygotowania. Dzięki temu proces dokumentacji i analizy stał się bardziej efektywny, tym samym osiagając:

- możliwość wsparcia sekcji zewnętrznych w medycynie sądowej poprzez szybką, precyzyjną i nieinwazyjną metodę wspomagającą istniejące tradycyjne metody analizy obrazów. Podejście to może odnaleźć zastosowanie w sytuacjach, gdzie czas ma kluczowe znaczenie, obrażenia są drobne lub trudne do zauważenia, lub gdy występuje ich wiele;
- udoskonalenie analizy przypadków klinicznych dotyczących ofiar przemocy poprzez zastosowanie automatycznej metody dokumentowania obrazów umożliwiając zrozumienie dynamiki i przyczyny, szczególnie w przypadkach obrazów sugerujących charakter celowy ich zadania. Wspomaganie dochodzenia w sytuacjach przemocy jest kluczowe i wymagające szczególnej uwagi. Liczne podbiegnięcia krwawe i otarcia naskórka w różnych stadiach gojenia, zwykle wskazują na powtarzającą się przemoc;
- analizę wykrytych i udokumentowanych obrazów stosując zaawansowane technologie cyfrowe do szczegółowego badania wykrytych obrazów poprzez analizy morfologiczne i morfometryczne. Takie podejście umożliwia precyzyjne określenie cech obrazów, takich jak ich kształt, wielkość, głębokość czy kąt/kierunek powstania, co wspiera klasyfikację i ocenę ich charakteru. Dodatkowo, przeprowadzenie takich analiz pomaga w identyfikacji potencjalnych wzorców, a to z kolei wspiera rekonstrukcję mechanizmu powstawania obrazów oraz w przygotowaniu ekspertyz sądowych.

Należy podkreślić, że powstała w ten sposób cyfrowa dokumentacja w postaci wirtualnego modelu 3D ciała wraz wyrytymi i naniesionymi obrażeniami, stanowi trwały zapis stanu ciała ofiary. Dokumentacja ta może być wielokrotnie analizowana w dowolnym czasie, nawet w sytuacjach, gdy ciało jest już niedostępne lub wymagałoby ekshumacji.

Słowa kluczowe: fotogrametria, medycyna sądowa, modelowanie 3D, obrażenia, segmentacja semantyczna, uczenie głębokie, widzenie komputerowe, zdjęcia post-mortem

Abstract

Title: Development of a methodology for using deep learning and automated 3D modelling in the study of body injuries based on post-mortem images.

The post-mortem examination, as a unique activity, is carried out only once. Its results are crucial for both forensic medicine and ongoing investigations. For this reason, post-mortem documentation plays an important role in the evidentiary process, ensuring transparency and enabling subsequent analysis by experts. The importance of forensic medicine for justice is therefore undeniable, revealing information about a crime, how it happened, and even who may have committed it. In this respect, the external post-mortem examination identifies the injuries revealed where bruises and abrasions are listed as some of the most common and important. A bruise is a sign of haemorrhage into the skin, the tissues beneath the skin, or both. It is typically caused by a blow or squeeze that crushes soft tissues and ruptures blood vessels but does not break the skin. This type of injury is extremely important in cases of abuse recognition. An abrasion occurs when the skin's superficial layers are scraped away. The size of the abrasion varies from small to large areas of the body. In contrast, the shape depends mainly on the tool used and the angle of its impact. A proper analysis of the abrasion contributes significantly to determining the course of the incident or the tool (also understood as an object) used to cause it. Traditional methods of injury analysis rely on visual assessment and are often dependent not only on the experience of the forensic pathologist but also on their subjective observations. Advances in digital analysis technologies have prompted the author to explore their implementation in forensic medicine, identifying the main challenge as ensuring high-quality and precise data, which is essential for obtaining reliable and accurate results.

Given the above, this doctoral dissertation, based on post-mortem images, presents selected deep learning algorithms for the detection and classification of two types of injuries (bruises and abrasions) and their documentation on generated 3D digital models. The digital solutions developed by the author additionally enabled advanced morphological analyses in 2D space, enhancing the clarity, boundaries, and contours of injuries through operations on convolution matrices. Meanwhile, morphometric analyses conducted in 3D space allowed for the precise determination of injury characteristics such as shape, size, depth, and direction of occurrence, significantly improving the classification and reconstruction of the mechanism of injury formation. The developed solutions considerably accelerated the recognition and recording of injuries compared to traditional methods. Furthermore, they eliminated the influence of

subjective factors, such as haste or the physician's level of experience. The proposed solutions facilitated the creation of a unique forensic database and demonstrated that external elements, such as fluids or contaminants, do not significantly affect the quality of digital body documentation. This enables precise semantic segmentation, 3D body modelling, and injury analysis without prior preparation of the body. As a result, the documentation and analysis process became more efficient, achieving::

- the ability to support external examinations in forensic medicine through a rapid, precise, and non-invasive method that complements existing traditional methods of injury analysis. This approach can be particularly valuable in cases when time plays a crucial role, we have minor or low-visibility injuries that may be missed easily or we have a large set of injuries on one body;
- improvements in the analysis of clinical cases involving victims of violence by applying an automated method for documenting injuries. This facilitates the understanding of injury dynamics and causes, particularly in cases where injuries suggest deliberately infliction. Supporting investigations in cases of violence is crucial and requires particular attention, especially in cases involving child abuse. Multiple bruises and abrasions in varying stages of healing may indicate repetitive physical assault;
- the analysis of detected and documented injuries using advanced digital technologies for detailed examinations through morphological and morphometric analyses. This approach enables precise determination of injury characteristics, such as their shape, size, depth, or angle/direction of occurrence, thereby supporting their classification and evaluation. Additionally, such analyses help identify potential patterns, which support the reconstruction of injury mechanisms and the preparation of forensic reports.

It should be emphasised that the resulting digital documentation of the victim, in the form of a 3D virtual body model with marked and recorded injuries, constitutes a permanent record of the victim's condition. This documentation can be analysed repeatedly at any time, even in situations where the body is no longer accessible or would require exhumation.

Keywords: 3D modelling, computer vision, deep learning, forensic medicine, injuries, photogrammetry, post-mortem images, semantic segmentation