

KAMILA BARBARA KALINOWSKA¹,
PAULINA ZACHAR², PATRYK KOT³

WYKORZYSTANIE ALGORYTMÓW UCZENIA MASZYNOWEGO W PROCESIE IDENTYFIKACJI ZWŁOK I SZCZĄTKÓW LUDZKICH O NIEUSTALONEJ TOŻSAMOŚCI

Streszczenie: *Uczenie maszynowe (ang. Machine Learning, skr. ML) jest rodzajem koncepcji sztucznej inteligencji (ang. Artificial Intelligence, skr. AI). ML jako proces wykorzystuje matematyczne modele danych, które są w stanie rozpoznawać pewne wzorce, klasyfikować dane. Zasadniczo algorytmy ML uczą się same wykonywać określone zadania w taki sposób, aby komputer mógł następnie uczyć się bez otrzymywania bezpośrednich instrukcji. Obecnie jest to popularna metoda wykorzystywana w wielu dziedzinach nauki. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie przykładów ukazujących możliwości wykorzystania algorytmów uczenia maszynowego w procesie identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich o nieustalonej tożsamości. Dokonany przegląd literatury obejmował lata 2016-2021. Ostatecznie z bazy 92 artykułów dokonano selekcji 3 i na ich podstawie przeprowadzono analizę zastosowanych rozwiązań, umożliwiając weryfikację skuteczności wykorzystania tych metod w kryminalistyce.*

Słowa kluczowe: uczenie maszynowe, identyfikacja zwłok, identyfikacja szczątków ludzkich, kryminalistyka

¹ kamila.barbara.kalinowska@gmail.com, doktorantka w Zakładzie Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej, Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska.

² paulina.konarzewska.dokt@pw.edu.pl, doktorantka w Zakładzie Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej, Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska.

³ p.kot@ljmu.ac.uk, profesor w Built Environment and Sustainable Technologies (BEST) Research Institute, Liverpool John Moores University.

1. WPROWADZENIE

Problematyka identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich ma charakter interdyscyplinarny wchodząc w zakres zainteresowania zarówno kryminalistyki, jak i nauk przyrodniczych oraz medycznych. Ogólny termin „identyfikacja kryminalistyczna” jest szeroko stosowanym pojęciem. Dotyczyć może różnego rodzaju ustaleń zdarzenia (np. prowadzących do odtworzenia jego przebiegu lub/i wykrycia sprawcy), częściej jednak stosuje się go do badań identyfikacyjnych definiowanych przez kryminalistyków jako pewien proces badawczy (inaczej określane również jako badanie identyfikacyjne), w którym główną rolę odgrywa metoda badań porównawczych (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 262) *i to tylko takiego badania porównawczego, w wyniku którego stwierdzono identyczność cech wzorca i śladu dowodowego* (Szwarc i Kolečki 1973, s. 72-88). Na gruncie rozważań w literaturze, przyjmuje się, że identyfikacja zwłok i szczątków ludzkich stanowi całokształt procesu, którego dominujący element to ustalenie tożsamości, a mianowicie odnalezienie odpowiedzi na pytanie „kim są zwłoki?”. Samo pojęcie tożsamości to posiadanie pewnego zespołu cech indywidualnych, które w sposób oczywisty odróżniają zwłoki od innych. Tożsamość określa się poprzez m.in.: imię i nazwisko, datę i miejsce urodzenia czy odfitki linii papilarnych (Pikulski i Kaliszczak 1998, s. 9). Dla procesu identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich znaczącą rolę posiada odpowiedni materiał porównawczy, który zasadniczo stanowi porównanie materiału postmortem (pośmiertnego) z cechami osoby typowanej, które zostały udokumentowane jeszcze za życia (antemortem). W wyniku przeprowadzonych czynności porównawczych powinno się uzyskać zestaw cech osobniczych, które pozwolą na pozytywną identyfikację, a tym samym ustalenie tożsamości zwłok. Zwłoki lub szczątki ludzkie uznaje się za zidentyfikowane, gdy członek najbliższej rodziny, opiekun prawny lub co najmniej dwie osoby, które bezpośrednio znały zmarłego dokonają pozytywnego rozpoznania. Oczywiście w przypadku zwłok w zaawansowanym stadium rozkładu czy szczątków ustalenie tożsamości przez osoby znającego zmarłego jest odpowiednio utrudnione. Natomiast w przypadku, gdy brak jest możliwości przeprowadzenia takiego rozpoznania np. nie ma osób, które mogłyby w tej czynności uczestniczyć, jako podstawę identyfikacji uznaje się pozytywny wynik przeprowadzonych eksperymentów (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 263).

Obecne metody identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich, jakie uznawane są za najbardziej wiarygodne to metoda: genetyczna, daktyloskopijna i odontoskopijna (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 266). Wraz z rozwojem

wszelkich technologii coraz bardziej powszechne stają się metody, które wspierają proces identyfikacji zwłok z zastosowaniem cyfrowych rozwiązań, w tym metod sztucznej inteligencji (ang. *Artificial Intelligence*, skr. AI), która rozwija się od ponad siedemdziesięciu lat. A od kilku lat zauważamy jej stale rosnące zastosowanie w ośrodkach kryminalistycznych. Uczenie maszynowe daje nam szeroki wachlarz zastosowań i wykazuje bardzo małą odchyłkę błędów w używanych wynikach (Kalinowska i Zawieska, 2021, s.157, 167). Obecnie prowadzone są również eksperymenty nad jej zastosowaniem w identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie przykładów ukazujących możliwości wykorzystania algorytmów uczenia maszynowego w procesie identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich o nieustalonej tożsamości. Dokonany przegląd literatury obejmował lata 2016-2021 z którego ostatecznie dokonano selekcji 3 artykułów. Analizę i agregację otrzymanych wyników dokonano w oparciu o próbę odpowiedzi na 3 z 4 pytań P.G. Caldwell (Caldwell, 1986) dotyczących badań nad rekonstrukcją twarzy:

1. W jaki skuteczny sposób można ustalić istniejące zależności pomiędzy przeżyciowymi cechami twarzy a czaszką znajdującą się pod tkankami?
2. Rozważając każdy przypadek indywidualnie, jaką technikę należy uznać za najwłaściwszą i najłatwiejszą?
3. Czy na gruncie dotychczasowych badań i metod można lepiej niż dotychczas ustalić: płeć, wiek, afiliację biologiczną i budowę bazując na niezidentyfikowanych dotychczas materiałach szkieletowych?

2. METODY IDENTYFIKACJI ZWŁOK I SZCZĄTKÓW LUDZKICH

Wybór metody identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich jest uzależniony od okoliczności ujawnienia oraz stanu, w jakim się one znajdują. W 1993 roku na V Konferencji Komisji Interpolu do spraw Identyfikacji Ofiar Katastrof Masowych i Klęsk Żywiolowych została ustalona kolejność metod jakie należy stosować do identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich, począwszy od tych najbardziej wiarygodnych do jedynie sugerujących tożsamość (Hołyst 2018, s.838):

- porównanie profilu DNA (metoda genetyczna);
- porównanie odcisków palców (linii papilarnych);

- badania odontologiczne (uzębienia);
- metoda radiologiczna;
- porównywanie informacji z danych medycznych (historia chorób, przebytych zabiegów leczniczych i chirurgicznych);
- porównywanie znaków szczególnych (np. blizn, tatuaży itp.);
- porównanie danych rysopisowych;
- identyfikacja rzeczy osobistych (np. elementów garderoby, biżuterii itp.);
- identyfikacja na podstawie dokumentów tożsamości znalezionych przy ujawnionych zwłokach;
- rozpoznanie przez członka najbliższej rodziny, opiekuna prawnego lub co najmniej dwie osoby, które bezpośrednio znały zmarłego.

2.1. Ujawnienie zwłok i szczątków ludzkich

Procedura postępowania w przypadku ujawnienia zwłok i szczątków ludzkich ma istotny wpływ na dalsze ustalenie ich tożsamości. Trudności jakie możemy napotkać przy procesie ustalania tożsamości zwłok czy szczątków ludzkich wiążą się od stanu w jakim zostały znalezione. Cała procedura wsparta jest szeregiem skoordynowanych działań, których głównym celem jest zebranie jak największej liczby informacji, które w dalszym etapie mogą przyczynić się do pozytywnej identyfikacji (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 266).

Pierwszym z etapów ujawnienia zwłok i szczątków ludzkich jest dokonanie ich oględzin wraz z miejscem ujawnienia. Istotny element oględzin to zabezpieczenie śladów i przedmiotów (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 266).

W przypadku braku ustalonej tożsamości zwłok lub szczątków, zostaje sporządzony ich szczegółowy rysopis, zarówno samych zwłok lub szczątków, jak również odzieży. Istotnym elementem jest wykonanie zdjęć, a także pobranie odbitek linii papilarnych palców rąk i dłoni oraz, o ile to możliwe, próbki materiału biologicznego. W sytuacji braku możliwości wykonania powyższych czynności na miejscu oględzin (np. z uwagi na złe warunki zewnętrzne), należy je przeprowadzić po przewiezieniu zwłok lub szczątków do zakładu medycyny sądowej (Krzyżan 2021, s. 24-25).

Wstępna identyfikacja pozwala na zaklasyfikowanie zwłok lub szczątek do grupy poszukiwanych, jak również stwarza możliwość kategorię wykluczenie pochodzenia od konkretnego człowieka. Ustalenie przybliżonego czasu, jaki upłynął od momentu śmierci do momentu ujawnienia zwłok lub szczątków jest istotne na gruncie aktualnego stanu prawnego. Jeżeli biegły lekarz ustali, że

czas zgonu nastąpił ponad 35 lat od daty ujawnienia, w takim przypadku nie prowadzi się identyfikacji (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 267).

W procesie ujawnienia zwłok (ogłędzinach) bierze udział lekarz medycyny sądowej. Jego zadaniem jest potwierdzenie zgonu, określenie czasu, który upłynął od chwili ustania czynności życiowych, ustalenie przyczyny śmierci i mechanizmu powstania obrażeń. W przypadku zakopanych zwłok określenie czasu, jaki upłynął od chwili śmierci osoby jest utrudnione, jednak istnieją pewne empiryczne modele, które pomagają na przybliżone określenie tego parametru (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 266). Z reguły zwłoki wcześniej zakopane ulegają wolniejszemu rozkładowi (3-5 lat do całkowitego rozpadu tkanek miękkich, a 5-10 lat do całkowitego zeszkieletowania), natomiast zwłoki pozostawione na świeżym powietrzu ulegają całkowitemu zeszkieletowaniu po upływie 1,5-2 lat. Ponadto, należy wspomnieć, że czynniki zewnętrzne w postaci warunków atmosferycznych czy aktywności zwierząt mają istotny wpływ na proces rozkładu. Najrozleglejsze uszkodzenia powodują larwy much, w wyniku działania których do całkowitego zeszkieletowania może dojść nawet w ciągu 40 dni (Hołyst 2018, s.839).

Pomocne w wyznaczeniu wartości granicznych czasu zgonu mogą się okazać przedmioty odnalezione przy zwłokach jak np.: szczątki ubrania, biżuteria (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 266).

W procesie ujawnienia szczątków (ogłędzinach) bierze udział antropolog sądowy. Jego zadaniem jest w pierwszej kolejności ustalenie czy ujawnione szczątki stanowią ludzki materiał kostny czy zwierzęcy. Dopiero po pozytywnej weryfikacji antropolog przystępuje do ustalenia wieku biologicznego, płci, cech rasowych, cech budowy fizycznej takich jak wzrost, waga itp., oraz cech charakterystycznych, które mogły być wynikiem przebytych urazów mechanicznych czy chorób (Sołtyszewski i Moszczyński 2021, s. 266).

3. UCZENIE MASZYNOWE

Termin Sztuczna Inteligencja pierwotnie stworzony został w 1955 roku przez Johna McCarthy'ego. Tym samym określeniem zatytułowana została również pierwsza konferencja poświęcona AI, jaka odbyła się w Dartmouth College w 1956 roku (Popper i in. 2018, s. 14-15). Jednakże to kilka lat wcześniej; w październiku 1950 roku, brytyjski matematyk Alan Turing swoją publikację „Computing machinery and intelligence” rozpoczął od zadania prowokującego pytania: *Czy maszyny mogą myśleć?* (ang. *Can machines think?*) i to właśnie dzięki jego rozważaniom rozpoczęto badania nad AI

(Turing 1950, s. 433-460). Bazując na przeprowadzanych przez Alana Turinga tzw. testach Turinga można przytoczyć prostą definicję sztucznej inteligencji określającą, że sztuczna inteligencja jest pewną zdolnością maszyny, która wzoruje się na naśladowaniu ludzkiej inteligencji. Z tego również wywodzimy pojęcie uczenia maszynowego, które jest techniką programowania posiadającą zdolność uczenia się realizowaną w ramach sztucznej inteligencji (Kalinowska i Zawieska 2020, s. 157; Zalewski 2020, s. 2, 4).

Kolejnym krokiem rozwoju AI było wynalezienie przez Franka Rosenblatta w 1958 roku algorytmu wykorzystującego koncepcję sztucznych sieci neuronowych (ang. *Artificial Neural Network*, skr. ANN) (Popper i in. 2018, s. 14-15). ANN są systemami obliczeniowymi jakie wzorują się na działaniu biologicznych sieci neuronowych zarówno ludzkich, jak i zwierzęcych. Nie są to co prawda systemy zaprogramowane do wykonywania określonych zadań, ale wykonują je na zasadzie nauki z wyuczonych wcześniej wzorców (Gupta, Sharma i Johri 2020, s. 7181-7184). Jednak dopiero wraz z opracowaniem w 1967 roku przez Thomasa Covera i Petera Harta algorytmu najbliższego sąsiada (ang. *Nearest Neighbour Algorithm*, skr. NNA) uczenie maszynowe zaczęto wykorzystywać w rzeczywistych aplikacjach. Pomimo szybkiego rozwoju algorytmów w pierwszej fazie istnienia sztucznej inteligencji, pozostawała ona wciąż ograniczona ze względu na brak możliwości wyrażenia i przedstawienia wielu koncepcji (Popper i in. 2018, s. 14-15; Kalinowska i Zawieska 2020, s. 157).

Druga faza rozwoju przypadła na lata 80. i 90., kiedy to systemy ekspertowe (Popper i in. 2018, s. 14-15) (tzw. programy komputerowe wykorzystujące posiadaną bazę wiedzy do rozwiązywania problemów (Furmankiewicz i Ziuziański 2013, s. 63) rozwijały się niezwykle szybko i zyskały znaczący wpływ w modelowaniu matematycznym. Coraz częściej zaczęto również wdrażać koncepcję sztucznych sieci neuronowych. W 1966 roku IBM (International Business Machines Corporation) opracowało program szachowy Deep Blue, który w 1996 roku pokonał mistrza świata gry w szachy. Stanowiło to pierwszy raz, kiedy program komputerowy wykazał zdolności przewyższające zdolności ludzkie (Kalinowska i Zawieska 2020, s. 157).

Za trzecią fazę rozwoju AI (trwająca do dziś) uznaje się początek XXI wieku (Popper i in. 2018, s. 14-15). W 2006 roku Geoffrey Hinton, Simon Osindero i Yee-Whye Teh przedstawili koncepcję sieci głębokich (ang. *Deep Networks*, skr. DN) która zakładała uczenie sieci warstwowo, a następnie jej kontrolowane douczanie (Hinton, Osindero i Teh 2006, s. 1527-1554). Publikacja ta do dziś stanowi jedną z najbardziej wpływowych prac nad badaniami sztucznej inteligencji. Sukces algorytmów uczenia maszynowego

potrafiących rozpoznawać mowę czy obraz przyciąga znaczne zainteresowanie ze strony wszystkich społeczności naukowych, przedsiębiorstw, jak również rządu (Popper i in. 2018, s. 14-15; Kalinowska i Zawieska 2020, s. 157). Wraz z rozwojem metod głębokiego uczenia i ciągłym wzrostem wydajności procesorów graficznych, sztuczna inteligencja, a w szczególności metody głębokiego uczenia znalazły szerokie zastosowanie w rozpoznawaniu komputerowym i analizie obrazu. Sam wachlarz możliwości wykorzystania AI jest niemal nieograniczony i w większych ośrodkach zagranicznych uczenie maszynowe stanowi jedną z bazowych form stosowanych w kryminalistyce.

4. ZASTOSOWANIE METOD ML W PROCESIE IDENTYFIKACJI ZWŁOK I SZCZĄTKÓW LUDZKICH

W poniższym rozdziale przeprowadzona została analiza 3 wybranych artykułów naukowych opisujących zastosowanie AI w procesie pomocnym przy identyfikacji zwłok lub szczątków ludzkich (Tabela 1).

Tabela 1. Tabela przedstawiająca analizowane artykuły

Lp.	Tytuł	Autor	Rok publikacji	Wykorzystane dane	Metoda	Cel
1	Modeling Skull-Face Anatomical/Morphological Correspondence for Craniofacial Superimposition-Based Identification	Campomanes-Álvarez i in.	2018	Modele 3D pozyskane skanerem na światło strukturalne	Głębokie uczenie	Identyfikacja na podstawie czaszki
2	A Generative Deep Learning Approach for Forensic Facial Reconstruction	Hargreaves i in.	2021	Obrazy tomografii komputerowej	Głębokie uczenie	Rekonstrukcja twarzy
3	ANINet: a deep neural network for skull ancestry estimation	Pengyue i in.	2021	Obrazy tomografii komputerowej	Głębokie uczenie	Identyfikacja pochodzenia (etniki) czaszki

Źródło: Opracowanie własne

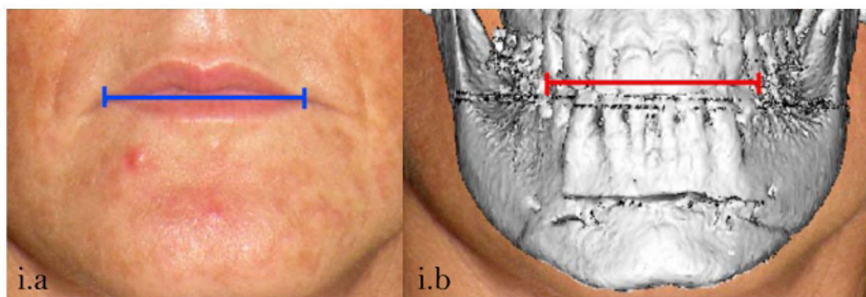
Campomanes-Álvarez i in. (Campomanes-Álvarez i in. 2018) zaproponowali wykorzystanie metod ML w superprojekcji czaszkowo-twarzowej (ang. *CranioFacial Superimposition*, skr. CFS), która należy do technik identyfikacji sądowej i bada anatomiczną i morfologiczną zależność pomiędzy czaszką a twarzą. Proces ten opiera się na nakładaniu zmiennej liczby obrazów

twarzy na czaszkę. Na gruncie obecnych czasów, kiedy większość ludzi posiada fotografie dobrej jakości (z dobrze widoczną twarzą) technika ta ma ogromny potencjał.

Autorzy artykułu zaproponowali kompletny system, który zapewnia ostateczny stopień zgodności czaszkowo-twarzowej. System został sprawdzony pod kątem automatycznej identyfikacji, poprzez analizę jego możliwości w przypadku bazy zamkniętej (potencjalna baza osób, w której znajdowała się poszukiwana odpowiedź) i w przypadku bazy otwartej (w której nie było pewności co do obecności poszukiwanej odpowiedzi). Na koniec eksperymentu przeprowadzone zostało porównanie otrzymanych wyników z wynikami uzyskanymi przez ekspertów metodami tradycyjnymi. Na system składało się 6 nowych regionów poddanych badaniom w metodzie CFS:

1. Porównanie długości okluzji ust: odległości międzykłowej (Rys. 1). Aby możliwe było dokonanie tego typu porównania, w pierwszej kolejności wyznacza jest okluzja twarzy (linia okluzji twarzy w widoku z przodu i w pozycji neutralnej), oraz obszar pomiędzy dwoma pierwszymi kłami w modelu 3D czaszki. Po zrzutowaniu (nałożeniu) regionu 3D na obraz 2D, dwa najbardziej odległe punkty są łączone. Powstała długość jest porównywana z linią obrazu twarzy 2D. Warto zauważyć, że położenie kącika ust jest niezależne od wieku i wskaźnika masy ciała (BMI).

Rysunek 1. Odzworowanie odległości międzykłowej.



Źródło: Campomanes-Álvarez i in. 2018.

2. Porównanie położenia części chrzęstnej zewnętrznego przewodu słuchowego z częścią kostną (Rys. 2). Na obrazie twarzy część chrzęstna została zaznaczona jako region (poligon), w ten sam sposób została zaznaczona przez eksperta na modelu 3D czaszki. Po zrzutowaniu (nałożeniu) regionu 3D na obraz 2D, wartość podobieństwa uzyskuje się, porównując relację położenia z modelem referencyjnym,

którym jest model 3D. Zależność ta nie zmienia się wraz z wiekiem czy wskaźnikiem BMI.

Rysunek 2. Odzworowanie regionów części chrzęstnej zewnętrznego przewodu słuchowego i części kostnej.



Źródło: Campomanes-Álvarez i in. 2018.

3. Porównanie długości (równoległej) linii zewnętrznych kącików oczu (Rys. 3). Linię tę uzyskuje się poprzez połączenie dwóch punktów orientacyjnych zewnętrznych kącików oczu na obrazie 2D twarzy i dwóch punktów na obrazie 3D czaszki. Po zrzutowaniu (nałożeniu) regionu 3D na obraz 2D porównuje się obie linie z uwzględnieniem równoległości linii. Położenie nie powinno się zmieniać z wiekiem czy BMI, jednak sama widoczność może się zmieniać np. ze względu na opadnięcie powieki.

Rysunek 3. Odzworowanie linii zewnętrznych kącików oczu.



Źródło: Campomanes-Álvarez i in. 2018.

4. Porównanie szerokości nosa (Rys. 4). Kostny otwór nosowy w najszerszym miejscu stanowi trzy piąte całkowitej szerokości nosa. W związku z tym maksymalna szerokość nosa na obrazie 2D powinna odpowiadać szerokości otworu nosowego plus dwie trzecie tej szerokości na obrazie czaszki 3D. Aby wymodelować tę zależność, na fotografii 2D twarzy zaznacza się linię maksymalnej szerokości, natomiast na modelu 3D czaszki zaznaczane są dwie linie: linia odpowiadająca maksymalnej szerokości otworu nosowego i ta sama linia jednak do każdego z jej krańców dodaje się wektor równy jednej trzeciej szerokości.

Następnie cała ta linia rzutowana jest na obraz 2D i porównywana z linią zaznaczoną na fotografii. W tym przypadku również nie zaobserwowano zmian szerokości nosa wraz z wiekiem czy BMI.

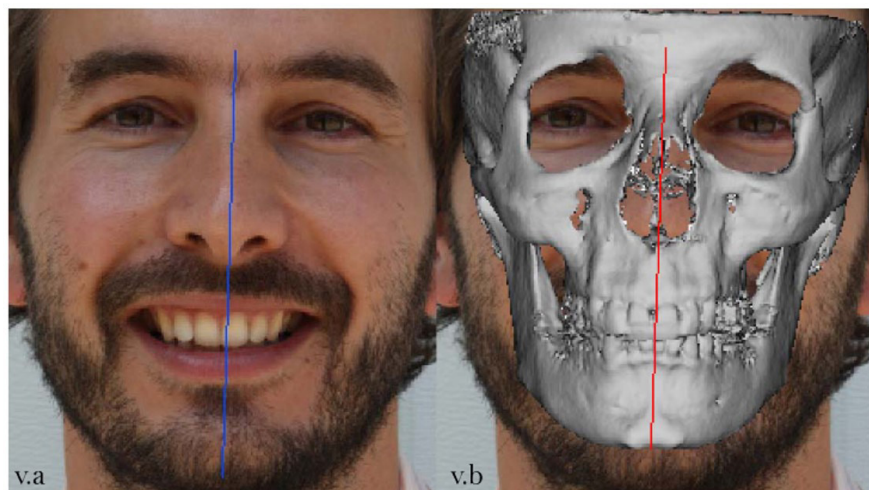
Rysunek 4. Odzworowanie linii szerokości nosa.



Źródło: Campomanes-Álvarez i in. 2018.

5. Porównanie równoległości linii środkowej twarzoczaszki (Rys. 5). Linię tę uzyskuje się poprzez połączenie punktów orientacyjnych glabelli (punkt wysunięty najbardziej do przodu w dolnej części czoła między łukami brwiowymi) i gnathionu (punkt najbardziej wysunięty ku dołowi i do przodu na dolnym zarysie bródki). Podobnie jak w poprzednim przypadku linia rzutowana jest na obraz 2D i porównywana z linią zaznaczoną na fotografii. Zależność ta nie zmienia się z wiekiem ani BMI.

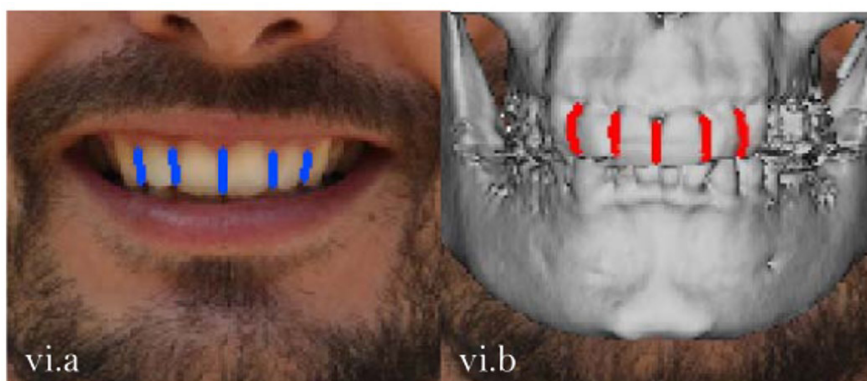
Rysunek 5. Odzworowanie linii środkowej twarzoczaszki.



Źródło: Campomanes-Álvarez i in. 2018.

6. Nakładanie się linii międzyzębowych (Rys. 6). Gdy na zdjęciu antemortem pojawiają się fragmenty zębów, poświęca się im szczególną uwagę, ponieważ ten sam obiekt może być porównywany zarówno w czaszce, jak i w twarzy. Niestety, jest prawie niemożliwe, aby cały ząb był widoczny na zdjęciu lub zachowany w dobrym stanie w czaszce. Z tego powodu do porównania zamiast całego zęba wykorzystuje się linie łączące fragmenty zębów. Na zdjęciu 2D linie są zaznaczane bezpośrednio, po zrzutowaniu z 3D muszą znajdować się w tym samym położeniu.

Rysunek 6. Odwzorowanie badanych linii międzyzębowych.



Źródło: Campomanes-Álvarez i in. 2018

W opisywanym eksperymencie wykazano, że proponowany system jest w pełni użyteczny. W 62,5% przypadków, wynik pozytywny był wskazywany jako pierwszy na liście potencjalnych odpowiedników. Porównanie otrzymanych wyników przeprowadzono z zastosowaniem metody tradycyjnej 26 ekspertów z 17 różnych instytucji. Ogólna dokładność (suma poprawnych decyzji) wyniosła średnio 78,99%, natomiast ogólna wydajność (współczynnik poprawnych decyzji) zaproponowanego systemu uzyskał średnią na poziomie 90,00%.

Kolejny przykład wykorzystania metod ML został przedstawiony przez Hargreaves i in. (Hargreaves i in. 2021), którzy zaproponowali metodę rekonstrukcji twarzy bezpośrednio z kości, dysponując jedynie zdjęciami tomografii komputerowej (*ang. Computed Tomography, skr. CT*). Model został wytrenowany na 665 skanach głów, które następnie zostały oczyszczone z szumów, obrócone do prawidłowej orientacji, a następnie poddane preprocessingowi gdzie z wykorzystaniem filtracji gęstości pogrupowano obrazy w celu wydzielenia tych z tkanką kostną i tkanką miękką, aby odpowiednio wykorzystać je

jako dane wejściowe i etykiety. Na Rys. 7 ukazane zostały przykładowe wyniki wraz z porównaniem do wyników uzyskiwanych przez inne algorytmy. Pomimo obiecującej poprawy w stosunku do pozostałych metod, zaproponowany model miał trudności z niektórymi przypadkami np. obrazy z otwartą szczęką. Odnotowano również duże podobieństwo w generowanych nosach, co mogło być spowodowane niską korelacją z kością w tym obszarze. Jednakże wyniki wykazały, że model generuje realistyczne uszy, oczy i nosy - czyli cechy, które są tradycyjnie trudne do automatycznego wygenerowania za pomocą tradycyjnych technik.

Rysunek 7. Przykłady uzyskanych wyników dla opracowanego modelu z porównaniem do wyników uzyskiwanych przez dotychczasowe algorytmy: gdzie „Input” oznacza dane wejściowe, „Our Model” wynik dla modelu omawianego artykułu, „Label” porównanie z rzeczywistym modelem.

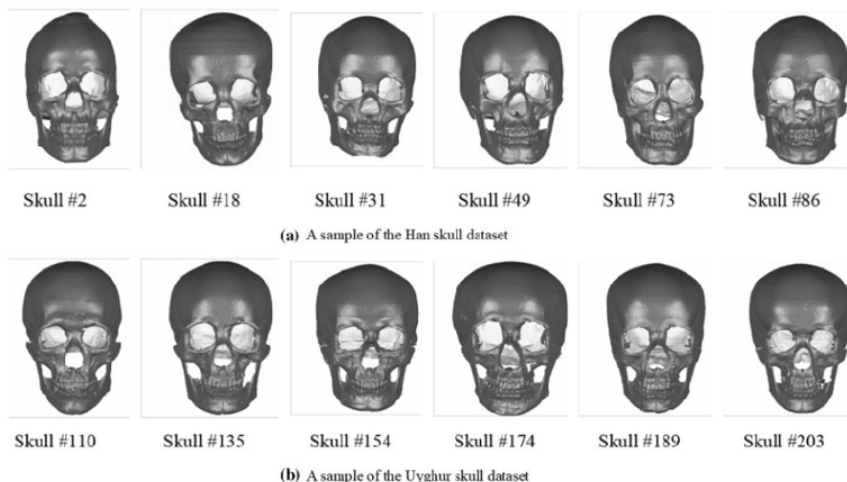


Źródło: Hargreaves i in. 2021.

Ostatni przykład to praca przeprowadzona przez Pengyue i in. (Pengyue i in. 2021), którzy zajęli się ustaleniem pochodzenia etnicznego czaszki

wykorzystując obrazy głębi czaszki (obrazy z tomografii komputerowej) jako dane wejściowe. Eksperyment przeprowadzono na 205 czaszkach z bazy zdjęć TK w Xi'an (Chiny) pochodzących od: populacji Azjatyckiej (55 czaszek mężczyzn i 45 czaszek kobiet), populacji Europejskiej (55 czaszek mężczyzn i 55 czaszek kobiet) (Rys. 8). Wyniki eksperymentu wykazały, że dokładność dla zaproponowanego modelu szacowania etnicznego pochodzenia czaszki osiągnęła odpowiednio 98,21%, 98,04% i 99,03%. Automatyczna metoda ma na celu uniknięcie wad tradycyjnych metod szacowania przodków czaszki, uniknięcia czasochłonnej i pracochłonnej ręcznej kalibracji punktów charakterystycznych oraz zmniejszenie ryzyka subiektywności wyników.

Rysunek 8. Przykłady obrazów TK dla bazy danych a) populacji Azjatyckiej (Chiny), b) populacji Europejskiej (Turcja).



Źródło: Pengyue i in. 2021.

PODSUMOWANIE

W Tabeli 2 przedstawione zostało podsumowanie każdego z analizowanych artykułów w oparciu o pytania P.G. Caldwell (Caldwell, 1986), natomiast Tabela 3 stanowi ogólne podsumowanie przeprowadzonej analizy.

Podsumowując, w pracy wykazano przydatność metod sztucznej inteligencji w kryminalistyce ukazując przegląd kilku zastosowań. Ponadto, powyższa praca pozwala dostrzec potencjał wykorzystania systemów sztucznej inteligencji do konkretnych przytoczonych przykładów oraz stanowi podstawę do wykorzystania zaawansowanych technologii w celu przyspieszenia

przetwarzania danych obrazowych, a co za tym idzie przyspieszenia procesów identyfikacji zwłok i szczątków ludzkich o nieustalonej tożsamości. Widoczny jest wkład, jaki wniosły metody ML do dziedziny kryminalistyki, a także potrzeba udoskonalania i walidacji rozwiązań w zakresie metod stosowanych w kryminalistyce. Metody analizy obrazu, rekonstrukcji twarzy czy pomiary czaszki mogą również wspomagać specjalistów w podejmowaniu dokładnych decyzji w procesach związanych z identyfikacją.

Tabela 2. Tabela przedstawiająca podsumowanie analizowanych artykułów w oparciu o pytania P.G.Caldwella

Pytanie P.G. Caldweila w stosunku do zastosowania nowej metody	Udzielona odpowiedź w oparciu o wybrany artykuł
<p>W jak skuteczny sposób można ustalić istniejące zależności pomiędzy przeżyciowymi cechami twarzy a czaszką znajdującą się pod tkankami?</p>	<i>Campomanes-Alvarez i in. 2018</i>
	<p>W badanym artykule zależności te ustalone zostały w sposób automatyczny w wyniku wcześniejszego wyuczenia modelu na zbiorze danych z poprawnie zaznaczonymi adnotacjami. Adnotacje zbioru treningowego wskazane zostały manualnie przez ekspertów.</p>
	<i>Hargreaves i in. 2021</i>
	<p>W badanym artykule zależności te ustalone zostały w sposób automatyczny wyznaczone bezpośrednio z danych wejściowych jaką było zdjęcie CT czaszki. Obrazy CT zostały przekształcone na obrazy 2D, jednak należy zauważyć, że topologia powierzchni twarzy, mimo wszystko została zachowana (obejmuje ona punkty orientacyjne twarzy często używane do identyfikacji, takie jak położenie i kształty oczu, ust, nosa i linii żuchwy).</p>
<p>Rozważając każdy przypadek indywidualne, jaką technikę należy uznać za najwłaściwszą i najłatwiejszą?</p>	<i>Campomanes-Alvarez i in. 2018</i>
	<p>Dla 5 z 6 badanych regionów można przyjąć, że zaproponowana metoda jest najlepszą. Dla regionu linii międzyzębnych obecnie istnieją bardziej skuteczne metody z wykorzystaniem AI.</p>
	<i>Hargreaves i in. 2021</i>
<p>Na gruncie obecnych badań zastosowana metoda jest najdokładniejszą i generuje najbardziej realistyczne rekonstrukcje jeżeli bazujemy jedynie na zdjęciu czaszki bez korespondenta w postaci np. zdjęcia antemortem.</p>	

	<i>Pengyue i in. 2021</i>
	Na gruncie przeprowadzonych eksperymentów porównawczych z istniejącymi state-of-the-art, zaproponowana metoda posiada najwyższy wynik estymacji etnicznej.
Czy na gruncie dotychczasowych badań i metod można lepiej niż dotychczas ustalić: płeć, wiek, afiliację biologiczną i budowę bazując na niezidentyfikowanych dotychczas materiałach szkieletowych?	<i>Campomanes-Alvarez i in. 2018</i>
	Odnosząc się jedynie do budowy badanej w analizowanym artykule, 2 z 6 zaproponowanych regionów są pierwszym przykładem badanych obszarów w kontekście identyfikacji.
	<i>Hargreaves i in. 2021</i>
	Odnosząc się jedynie do płci, afiliacji biologicznej i budowy, które w omawianym artykule również mogą zostać zidentyfikowane; dla budowy jest to obecnie najefektywniejsza metoda, dla ustalenia płci i afiliacji opracowane zostały metody, które bezpośrednio poszukują odpowiedzi na te zagadnienia tym samym uzyskując bardziej oczywiste wyniki.
	<i>Pengyue i in. 2021</i>
	Odnosząc się jedynie do płci, afiliacji biologicznej i budowy, które dotykane są w omawianym artykule; płeć jest istotna z uwagi na różnice występujące w etnicznym pochodzeniu, dla budowy (rozpoznania wybranych cech morfologicznych) i afiliacji biologicznej deep learning stwarza możliwość rozpoznania dla wcześniej niezidentyfikowanych materiałów bazując na wycudzonym modelu.

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 3. Tabela przedstawiająca całościowe podsumowanie analizowanych artykułów w oparciu o pytania P.G.Caldwella

Pytanie P.G. Caldweila w stosunku do zastosowania nowej metody	Udzielona odpowiedź w oparciu o całość kształt analizowanych artykułów
W jak skuteczny sposób można ustalić istniejące zależności pomiędzy przeżyciowymi cechami twarzy a czaszką znajdującą się pod tkankami?	Dzięki nowym, efektywnym rozwiązaniom pracochłonne procesy, które w większości zadań sprowadzają się do manualnej pracy (analizy wizualnej) zostały w powyższych przykładowych publikacjach zastąpione algorytmami komputerowymi. Rozwiązania ML pozwalają na wyszukiwanie wzorców, które mogą w znacznym stopniu wspomóc ustalenie zależności pomiędzy przeżyciowymi cechami twarzy a czaszką znajdującą się pod tkankami. Metody mają co prawda swoje ograniczenia, jednak określenie cech szczególnych, których właściwości i proporcje są skorelowane z cechami czaszki ułatwia
Rozważając każdy przypadek indywidualne, jaką technikę należy uznać za najwłaściwszą i najłatwiejszą?	Stan badań na moment przeprowadzenia przeglądu artykułów był taki, że zaproponowane metody do poszczególnych zadań są najdokładniejsze.
Czy na gruncie dotychczasowych badań i metod można lepiej niż dotychczas ustalić: płeć, wiek, afiliację biologiczną i budowę bazując na niezidentyfikowanych dotychczas materiałach szkieletowych?	Unikalne cechy oraz bogate informacje, które algorytmy ML mogą pozyskiwać na podstawie zidentyfikowanych dotychczas zwłok i szczątków ludzkich, a także na podstawie cech wyglądu ludzi (np. w przypadku wspomnianej estymacji etnicznej) mogą być przydatne w badaniach na niezidentyfikowanych dotychczas materiałach szkieletowych.

Źródło: Opracowanie własne

BIBLIOGRAFIA

Caldwell P.C.

1986 *New questions (and some answers) on the facial reconstruction techniques* [w:] Reichs K. J. (red.), *Forensic osteology. Advances in the identification of human remains*, Wydaw. Springfield: Charles C Thomas Publisher, Illinois.

Campomanes-Alvarez C., Martos-Fernandez R., Wilkinson C. M., Ibanez O., Cordon O.

2018 *Modeling Skull-Face Anatomical/Morphological Correspondence for Craniofacial Superimposition-Based Identification*, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, t. 13 nr 6.

Furmankiewicz M., Ziuziański P.

2013 *Wykorzystanie szkieletowego systemu ekspertowego dla projektu econet* [w:] Zieliński Z. E. (red.), *Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne*, Wydaw. Wyższej Szkoły Handlowej w Kielcach, Kielce.

Gupta S., Sharma V., Johri P.

2020 *Artificial intelligence in forensic science*, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, t. 7 nr 5.

Hargreaves M., Ting D., Bajan S., Bhavnagri K., Basset R., Chang X.

2021 *A Generative Deep Learning Approach for Forensic Facial Reconstruction*, *2021 Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA) Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)*.

Hinton G., Osindero S., Teh Y. W.

2006 *A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets*, *Neural Computation*, t. 18 nr 7.

Hołyst B.

2018 *Kryminalistyka*, Wydaw. Wolters Kluwer Polska SA, Warszawa.

Kalinowska K.B., Zawieska D.

2021 *Algorytm Structure from Motion w przedstawieniu miejsca zdarzenia w przestrzeni 3D*, [w:] Danielewska A., Maciąg K. (red.), *Wybrane aspekty kryminologii, kryminalistyki i bezpieczeństwa w wymiarze narodowym i międzynarodowym*, Wydaw. Naukowe TYGIEL sp. z o. o., Lublin.

Krzyżan M.

2021 *Postępowanie ze zwłokami po ich ujawnieniu*, Wydaw. Szkoły Policji w Pile, Piła.

Pengyue L., Siyuan X., Yi J., Wen Y., Xiaoning L., Guohua G., Shixiong W.

2021 *ANINet: a deep neural network for skull ancestry estimation*, BMC Bioinformatics, t. 22 nr 1.

Pikulski S., Kaliszczak M.

1998 *Nowa metoda kryminalistycznej identyfikacji zwłok ludzkich*, Wydaw. Wyższej Szkoły Policji, Szczytno.

Popper, J., Hermann, J., Cui, K., Bergweiler, S., Weyer, S., Ruskowski, M., Wang, M., Guang, L., Hu, Y.C., Kueh, V., Wang, D.

2018 *Artificial intelligence across industries*, Wydaw. International Electro-technical Commission (IEC).

Sołtyszewski I., Moszczyński J.

2021 *Metody identyfikacji NN zwłok*, [w:] Gruza E., Sołtyszewski I. (red.), Poszukiwania osób zaginionych, Wydaw. Wolters Kluwer Polska SA, Warszawa.

Szwarc A., KołECKI H.

1973 *Identyfikacja kryminalistyczna*, Zeszyty Naukowe ASW, nr 1.

Turing A. M.

1950 *Computing Machinery and Intelligence*, Mind. A quarterly review of psychology and philosophy, t. 49 nr 236.

Zalewski T.

2020 *Definicja sztucznej inteligencji* [w:] Lai L., Świerczyński M. (red.), Prawo sztucznej inteligencji, Wydaw. C. H. Beck, Warszawa.

THE USE OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN THE PROCESS OF IDENTIFYING HUMAN REMAINS AND CADAVERS OF UNDETERMINED IDENTITY

Abstract: *Machine Learning (ML) is a concept of Artificial Intelligence (AI). ML as a process uses mathematical data models that are able to recognize certain patterns and classify data. Essentially, ML algorithms learn to perform certain tasks by themselves in such a way that the computer can then learn without receiving direct instructions. Currently, it is a popular method used in many fields of science. The purpose of this article is to present examples showing the possibilities of using machine learning algorithms in the process of identifying cadavers and human remains of undetermined identity. The review of the literature carried out covered the period 2016-2021. Finally, from a database of 92 articles, 3 were selected and, based on them, an analysis of the solutions used was carried out, allowing verification of the effectiveness of the use of these methods in forensic science.*

Keywords: machine learning, cadaver identification, human remains identification, forensics

ZAKOŃCZENIE

We współczesnym świecie nauki penalne, a w szczególności zjawisko przestępczości jest poważnym problemem społecznym. Zasięg tego zjawiska nie ogranicza się tylko do jednego państwa, czy nawet kontynentu, a jest zjawiskiem o zasięgu ogólnoświatowym. Nauki penalne stanowią międzynarodowe rozważania na kanwie wielopłaszczyznowej przyciągając uwagę organów ścigania, społeczeństwa czy mediów.

Zamierzeniem Zespołu Autorów było omówienie wybranych aspektów problematyki nauk penalnych, które cechuje różnorodność poruszanej problematyki. Przedstawiona monografia przedstawia wyniki badań i doświadczenia zawodowego oraz naukowego poszczególnych Autorów. Przedstawione zagadnienia wskazują na interdyscyplinarność podjętej problematyki, które są nadal zagadnieniem otwartym wymagającym szerokiej dyskusji z uwzględnieniem zagadnień społecznych i prawnych. Oddzielnym zagadnieniem, które zostało jedynie zasygnalizowane w niniejszej monografii, jest wykorzystanie algorytmów sztucznej inteligencji w rozpoznawaniu obrazów ze zdarzeń kryminalnych.

Wyrażamy nadzieję, że publikacja przyczyni się do podjęcia dysputy naukowej, a zawarta w niej problematyka stanowić będzie źródło wiedzy i inspiracji do dalszych badań.

CONCLUSION

In the modern world of penal science, and in particular, the phenomenon of crime is a severe social problem. The scope of this phenomenon is not limited to just one country or even a continent but is a worldwide phenomenon. Penal science is an international consideration on a multifaceted canvas attracting the attention of law enforcement agencies, the public and the media.

The intention of the Team of Authors was to discuss selected aspects of the issue of penal sciences, which is characterised by the diversity of issues raised. The monograph presents the research results and the individual authors' professional and scientific experience. The presented issues indicate the interdisciplinarity of the undertaken problems, which are still open issues requiring a broad discussion considering social and legal issues. A separate issue, which is only hinted at in this monograph, is the use of artificial intelligence algorithms to recognise images from criminal events.

We hope the publication will contribute to the scientific dispute, and the issues contained in it will be a source of knowledge and inspiration for further research.

Prezentujemy Państwu monografię dotyczącą tematyki zagadnień nauk penalnych. W monografii wydzielone zostały dwie części: aspekty prawne i aspekty kryminalistyczno-kryminologiczne, które są nierozdzielnie ze sobą związane. Zagadnienia te w sposób ścisły korespondują ze skatalogowanymi w rozdziale XIX, obowiązującego kodeksu karnego, przestępstwami przeciwko życiu i zdrowiu. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że zakres tematyczny przedstawionych w monografii opracowań, wykracza poza problematykę przestępstw określonych we wspomnianym rozdziale ustawy karnej. Przedmiot podjętych w niniejszej monografii rozważań stanowią również te zagadnienia, które wykazują szeroki związek z pozostałymi czynami przestępnymi i przebiegiem postępowania karnego zmierzającym do wykrycia i ujawnienia przestępstwa, osądzenia przestępcy i wykonania wyroku. Wyrażamy nadzieję, że publikacja przyczyni się do podjęcia dysputy naukowej, a zawarta w niej problematyka stanowić będzie źródło wiedzy i inspirować do dalszych badań.

ISBN: 978-83-67527-12-5