

Klasyfikacja materiałów przy niepełnej informacji w obrazach rentgenowskich

Krzysztof Dmitruk

Streszczenie

Rentgenowskie skanery bagażowe służą zapewnianiu masowego bezpieczeństwa. Operator obsługujący skaner uzyskuje obraz będący płaskim rzutem tworzonym przez promienie rentgenowskie przechodzące przez badany obiekt. Część z fotonów zostaje pochłonięta przez warstwy materiałów, z których składają się obiekty wewnątrz bagażu, powodując zaciemnienia w odpowiadających im obszarach obrazu. Na podstawie takiego obrazu operator powinien ocenić zawartość bagażu pod względem niebezpiecznych lub niedozwolonych przedmiotów i substancji. Praca operatora jest monotonna, stresująca, a także podatna na szybki spadek skuteczności. Czas na podjęcie decyzji liczony jest w pojedynczych sekundach, a odpowiedzialność za popełniony błąd może być ogromna.

Celem rozprawy jest zaproponowanie nowatorskich metod analizy obrazu rentgenowskiego powstałego za pomocą pojedynczego rzutu na dwuwymiarową powierzchnię. Wzajemne nakładanie warstw materiałów powoduje ograniczenie dostępnej informacji w obrazie, która kompensowana jest analizą obszaru badanego materiału i jego otoczenia. Cel ten zrealizowany jest poprzez zespół powiązanych algorytmów, który wybranemu punktowi w obrazie przedstawia listę sklasyfikowanych materiałów wraz z procentowo wyrażoną miarą prawdopodobieństwa celności klasyfikacji oraz grubością warstwy materiału. Tezą pracy jest, że za pomocą pojedynczego rzutu obrazu rentgenowskiego, wykonanego z zastosowaniem standardowego skanera bagażowego, możliwa jest dokładna klasyfikacja znajdujących się na nim materiałów oraz określenie grubości ich warstw. Wykorzystanie standardowo wyposażonego skanera bez dokonywania w nim zmian konstrukcyjnych jest warunkiem komercyjnej użyteczności przedstawionych rozwiązań. Współczesne skanery bagażowe dysponują dwuenergetycznymi kartami detekcyjnymi wyposażonymi w dwa detektory analizujące promienie o różnym widmie energii. Generowane są w ten sposób dwa obrazy tego samego rzutu, ale o różnej charakterystyce, a różnice między nimi umożliwiają rozpoznawanie materiałów.

Rozprawa składa się z czterech rozdziałów. Rozdział pierwszy poświęcony został przedstawieniu problematyki budowy i działania skanera rentgenowskiego jako całości oraz jego podzespołów. Rozdział drugi przybliży zasady oddziaływania promieniowania rentgenowskiego z materią. Omówiony jest w nim także proces tworzenia obrazu, zastosowany model absorpcji materiałów oraz wyniki pomiarów wykonanych na potrzeby stworzenia tego modelu. Aby otrzymać niezbędne parametry, wykonane zostały pomiary absorpcji dziesięciu rodzajów materiałów oraz pomiary absorpcji złożeń materiałów. Model został zweryfikowany poprzez porównanie wyliczonych z jego pomocą wartości absorpcji z opublikowanymi danymi tablicowymi. Rozdział trzeci i czwarty zawierają opisy algorytmów stanowiących oryginalne rozwiązanie problemu.

Metoda segmentacji materiałów w obrazie rentgenowskim jest tematem rozdziału trzeciego. Obraz dzielony jest na zachodzące na siebie bloki. W każdym z nich dokonuje się niezależna segmentacja w przestrzeni wartości pikseli opisanej na dwuwymiarowym histogramie. Reprezentacja tej segmentacji w przestrzeni obrazu przybiera postać lokalnych klas. Klasy te łączone są w klasy globalne na podstawie ich nakładających się fragmentów przy użyciu grafu ważonego. Klasy globalne są zbiorami pikseli grupującymi obszary obrazu homogeniczne pod względem absorpcji. Są one ostatecznym wynikiem algorytmu. Przeprowadzone testy pokazały poprawność segmentacji z użyciem zaprezentowanego algorytmu na poziomie 93% według miary DSC.

Wynik segmentacji jest podstawą dalszych kroków podejmowanych przez algorytm klasyfikacji, a także stanowi najistotniejszy krok do prezentacji operatorowi obrazu skanu z użyciem pseudokoloru. Kolorowanie otrzymanych ze skanera obrazów jest standardową i rutynowo realizowaną praktyką. Dzięki wynikom segmentacji możliwe stało się dostosowanie zakresu barw do istniejących materiałów. Pozwoliło to optymalnie rozdysponować kolory z dostępnej palety i odwzorować zmiany wewnątrz klas z dokładnością znacznie przewyższającą wyniki publikowane w literaturze. Przedstawiony algorytm jest już zaimplementowany w oprogramowaniu skanera i wykorzystywany komercyjnie.

Dwuetapowy algorytm klasyfikacji materiałów jest opisany w rozdziale czwartym. Pierwszym krokiem algorytmu jest kolejna segmentacja otrzymanych wcześniej globalnych klas. W jej wyniku powstają nakładające się wzajemnie warstwy. Przed wykonaniem segmentacji każda klasa poddawana jest weryfikacji, czy taki proces może zostać wykonany. Segmentacja opiera się na porównaniu poziomów absorpcji wewnątrz i na zewnątrz obrysu klasy. Wyznaczane są punkty zmian, które są propagowane do wnętrza klasy. Pełna propagacja pozwala poznać absorpcję warstwy materiału, która może być odseparowana od absorpcji tła tworząc niezależną warstwę. W drugim kroku algorytmu wysegmentowana warstwa poddawana jest klasyfikacji poprzez odniesienie jej wartości absorpcji do absorpcji znanych materiałów zdefiniowanych w modelu. Otrzymane wyniki pokazały wysoką skuteczność przedstawionej metody pod warunkiem użycia czterech obrazów absorpcji, które mogą zostać otrzymane w trakcie dwóch skanów oraz weryfikacja wyłącznie materiałów uwzględnionych w modelu. Przy spełnieniu tych założeń dokładność klasyfikacji przekracza 94% według miar dokładności, precyzji i czułości.