

Streszczenie

Tematem tej rozprawy doktorskiej są nowe metody wykorzystania momentów Zernike w problemach analizy obrazów mikroskopowych sekcji tkanek. Rozwijamy również dostępne podejście do problemów budowania sekwencji tkanek na obrazach mikroskopowych, a także problemów identyfikacji typów tkanek na obrazach oraz detekcji uszkodzeń na obrazach tkanek. Do rozwiązania użyjemy zaprojektowanych przez nas algorytmów wykorzystujących momenty Zernike.

Obrazy medyczne są wizualną reprezentacją wnętrza ludzkiego organizmu, odzwierciedlają także funkcjonowanie jego organów i tkanek. Jest to szeroka kategoria obrazów, zróżnicowanych pod względem zawartości jak i sposobu pozyskiwania. Czyni to rejestrację obrazów medycznych rozległą dziedziną badań o bardzo zróżnicowanej bazie obiektów badawczych i powiązanych problemów poczynając od wyrównywania obrazów z rezonansu magnetycznego po diagnozowanie komputerowe na podstawie sekcji histologicznych czy po prostu budowanie atlasów medycznych.

Obrazy mikroskopowe sekcji histologicznych są podkategorią obrazów medycznych. Tkanki z natury są złożonymi strukturami, a ich obrazy często wymagają odpowiednio skrojonych metod analizy i przetwarzania. Z tego względu w naszej rozprawie zawężiliśmy temat do wybranych trzech zagadnień z analizy obrazów mikroskopowych. Są to: sekwencjonowanie i rekonstrukcja tkanek, identyfikacja typów tkanek i wykrywanie uszkodzeń na obrazach mikroskopowych.

W naszym podejściu polegamy na deskryptorach obrazów zbudowanych z momentów Zernike oraz ich zmodyfikowanej wersji – skumulowanych momentach Zernike. Pozostałe narzędzia obejmują m.in. dedykowane sieci neuronowe czy modele regresji logistycznej. Użycie momentów Zernike w takiej formie pozwala nam na kontrolowanie rozmiaru deskryptora m.in. przez zmianę liczby i rzędu momentów. Ma to wiele zalet, które wynikają z właściwości momentów Zernike jak redukcja ilości danych w obiegu, zwiększona odporność na szum czy zmianę orientacji kąta.

W problemie sekwencjonowania slajdów mikroskopowych algorytm używa deskryptorów z momentów Zernike jako reprezentacji obrazów i na ich podstawie wyszukuje optymalnego porządku slajdów, czyli sekwencji o najmniejszej wartości błędu pomiędzy sąsiadującymi obrazami w kolejce. W problemie rozpoznawania typów tkanek na obrazach mikroskopowych używamy algorytmów uczenia maszynowego jak sieci neuronowe do budowy profili klas dla różnych typów tkanek, a potem do ich identyfikacji na podstawie deskryptorów obrazów. To podejście jest w dalszej części rozwinięte do identyfikacji tkanek na podstawie losowo spróbkowanych fragmentów obrazu mikroskopowego. W tym przypadku deskryptory z momentów Zernike są liczone tylko dla tych próbek, a nie całego obrazu. Z racji tego, że deskryptory działają dla różnych problemów identyfikacyjnych, rozwinęliśmy ich użycie do detekcji odchyłań i uszkodzeń w obrazach tkanek. W tym przypadku używamy deskryptorów i uczenia maszynowego do przeglądania kolekcji tkanek w celu identyfikacji obrazów, na których są uszkodzone, odkształcone lub niepasujące do kolekcji tkanki.

Skuteczność proponowanego rozwiązania została sprawdzona na przedstawionym zestawie problemów. Zestaw danych testujących składa się z obrazów mikroskopowych sekcji histologicznych, które są zróżnicowane pod kątem złożoności struktur jak i poziomu powiększenia. Najczęściej używamy tkanki naczyniowej, tkanki mięśnia sercowego i tkanki ścięgna, ale nie są to jedyne typy tkanek użyte w testach.

Wszystkie przedstawione algorytmy są zaadaptowane do wymagań każdego z problemów. Wszystkie używają deskryptorów z momentami Zernike u podstaw, jednak pewne modyfikacje są konieczne do spełnienia wymagań poszczególnych problemów. Każde z rozwiązań jest przetestowane na zróżnicowanym zestawie danych. Wyniki końcowe potwierdzają wstępne założenia, a proponowane rozwiązanie może być wykorzystane jako narzędzie w tego typu problemach identyfikacyjnych. Wszystkie wnioski i wyniki są zobrazowane na odpowiednich rysunkach, bądź umieszczone w odpowiednich tabelach i podsumowaniach w rozprawie.

Key words: obrazy medyczne, obrazy mikroskopowe, rejestracja obrazów medycznych, sekcje histologiczne, identyfikacja tkanek, klasyfikacja obrazów, sekwencjonowanie obrazów, rozpoznawanie wzorców, momenty Zernike

Abstract

The aim of this thesis is to present a new approach to using Zernike moments in problems of microscope image analysis of tissue sections. We also offer a new approach to know problems of image analysis like sequencing of microscope slides, identification of tissue types and detection of damage in microscope images. The final step is development of algorithms on the basis of Zernike moments to solve the aforementioned problems.

Medical images provide a visual representation of the interior of the human body and the function of organs and tissues. It is a broad category of images which varies greatly in terms of the subject and the means of its acquisition. It makes medical image registration an extensive field of study with a very diverse subject base ranging from alignment of MRIs to computer-aided diagnosis or simple atlas building. Microscope images of histological sections are a subcategory of medical images. By their nature tissue sections are complex structures which often require custom-made methods of analysis and processing. Therefore, in our thesis we focus mostly on three problems of microscope image analysis. These are sequencing and tissue reconstruction, identification of types of tissue and detection of damage in microscope images.

In our approach, we rely on image descriptors built out of Zernike moments and their modified version of accumulated Zernike moments. As support, we employ other tools in the form of dedicated neural networks or logistic regression models. Using Zernike moment-based descriptors allows us to control the size of the descriptors by controlling the number and the order of moments. Such approach has many advantages carried from the properties of Zernike moments like reduction of data to process or robustness to noise and rotation invariance to begin with.

In the problem of sequencing of microscope image slides, the proposed solution uses Zernike moment-based descriptors as image representations and finds the optimal order by finding the sequence with the least value of error between subsequent entries. In the problem of recognition of tissue types from microscope images of histological sections, we use machine learning algorithms like neural networks to build classification profiles of different tissue types, and then to identify tissue with descriptors as input data. We further develop this approach into identifying tissue using random samples from the image. Here, the Zernike moment-based descriptors are calculated for the sampled images. Since Zernike moment-based descriptors work for various problems of identification, we expanded the use to the problem of detection of aberrations and other damages in tissue sections. In this case, we use Zernike moment-based descriptors to sort through tissue collections and identify images which contain missing fragments, noticeable disfigurements or do not match the profile of the collection at all.

We examine the effectiveness of Zernike moment-based descriptors and their derivatives on the presented set of problems. The data pool in all cases consists of microscope images of histological section which come in varying levels of details and magnification. We most prominently use samples of vein tissue, cardiac muscle tissue and tendon tissue, however, these are not the only types in use.

All algorithms are tailored to each type of problem. While all use Zernike moment-based descriptors at their core, some adjustments have to be made in order to properly accommodate the specifics of each problem. Each proposed solution is tested using a diverse set of data. The final results are satisfactory, and the proposed approach may find further applications. All conclusions and output data are gathered in proper figures, tables and summaries in the thesis.

Key words: medical images, microscope images, medical image registration, histological sections, tissue identification, image classification, image sequencing, pattern recognition, zernike moments