

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Wyznaczanie map ukrwienia i napowietrzenia płuc za pomocą filtracji sekwencji obrazów rezonansu magnetycznego

Autor rozprawy: mgr inż. Artur Wujcicki

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Andrzej Materka

Badania rezonansem magnetycznym (MR) są rutynową procedurą kliniczną w wielu typach schorzeń. Szeroko stosowane są techniki obrazowania struktur naczyniowych zarówno z wykorzystaniem środka cieniującego jak i bez podawania go pacjentowi. W tym drugim przypadku wykorzystywane są protokoły TOF (ang. time of flight). Od kilku lat prowadzone są badania nad bezkontrastową metodą obrazowania płuc. Oprócz istotnych zalet metody dotyczących skrócenia czasu akwizycji oraz eliminacji niekorzystnych dla pacjenta skutków podania środka cieniującego, technika ta umożliwia wyznaczenie map napowietrzenia i ukrwienia bez konieczności wykonania podwójnej akwizycji z podaniem środka cieniującego wziętego a następnie dożylnego.

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje metodę analizy częstotliwościowej serii obrazów MR płuc, której celem jest poprawa skuteczności rozdzielania składowych ukrwienia i napowietrzenia płuc. Przyszłe, kliniczne wykorzystanie metody pozwoli na diagnostykę pacjentów z zaburzonym przepływem krwi w naczyniach krwionośnych płuc oraz z zaburzonym procesem wymiany gazowej płuc. Podjętą w rozprawie tematykę uważam za w pełni uzasadnioną, interesującą i aktualną dla współczesnych prac z obszaru Inżynierii Biomedycznej.

Autor sformułował następujące tezy pracy:

„1. Wąskopasmowe filtry cyfrowe opisane w dziedzinie częstotliwości, skutecznie rozdzielające składowe ukrwienia i napowietrzenia płuc, można zaprojektować w drodze analizy sekwencji obrazów RM. Informacja wzajemna wyznaczona pomiędzy mapami ukrwienia i napowietrzenia płuc może być wykorzystana jako ilościowa miara rozdzielania tych składowych.

2. Jest możliwe zredukowanie niepożądanego informacji związanej z ukrwieniem płuc w mapach RM napowietrzenia płuc – za pomocą filtra tłumiącego składowe ukrwienia o częstotliwościach

przeniesionych w wyniki aliasingu do pasma częstotliwości składowych napowietrzenia”

Praca obejmuje 67 stron podzielonych na 8 rozdziałów, poprzedzonych wykazem najważniejszych skrótów i oznaczeń. Bibliografia zawiera 67 pozycji literaturowych w tym pozycje współautorstwa Doktoranta, w których Doktorant jest pierwszym autorem.

Rozdział pierwszy, będący wstępem, zawiera rys historyczny obrazowania płuc z wykorzystaniem tomografii komputerowej, medycyny nuklearnej, rezonansu magnetycznego oraz obrazowania hybrydowego.

Rozdział drugi przedstawia cel, tezy i zakres pracy.

Rozdział trzeci zawiera przegląd technik obrazowania płuc. Szczególną uwagę zwraca Autor na obrazowanie techniką rezonansu magnetycznego (MR) bez użycia środka cieniującego. Opisana została metoda oparta na analizie widma sygnału, odpowiadającego zmianom jasności sekwencyjnych obrazów MR płuc. Dokładnie zaprezentowana została metoda TOF, wykorzystywana do rejestracji przepływu w rezonansie magnetycznym.

Rozdział czwarty przedstawia zasadniczą część metodologiczną pracy badawczej. Opisany został jednowymiarowy sygnał, zawierający informacje o ukrwieniu i napowietrzeniu płuc oraz zależności pomiędzy amplitudami harmonicznymi obu składowych. Przedstawiono metodologię powstania map ukrwienia i napowietrzenia z sekwencji dopasowanych obrazów MR płuc. Poszczególne etapy obejmują krótkoczasową transformatę Fouriera, analizę widma i dobór filtrów dla składowych ukrwienia i napowietrzenia oraz odwrotną transformatę Fouriera przefiltrowanego sygnału. Kolejne punkty opisują analizę harmonicznymi widma, ich dobór w dalszym przetwarzaniu oraz eliminację tła. Autor zwraca także uwagę na aliasing częstotliwości składowych ukrwienia do pasma częstotliwości składowych napowietrzenia. Więcej uwag przedstawiono w dalszej części recenzji. Rozdział kończy opis ilościowej oceny map ukrwienia i napowietrzenia, wykorzystującej informację wzajemną.

Rozdział piąty opisuje wyniki analizy. Wyznaczona została transmitancja filtrów ukrwienia i napowietrzenia, ich weryfikacja oraz mapy ukrwienia i napowietrzenia dla serii badań 5. dostępnych pacjentów. Przedstawiono spektrogramy przykładowego sygnału dla wszystkich pacjentów oraz obrazy map ukrwienia i napowietrzenia. Ponadto porównano mapy napowietrzenia dla dwóch pacjentów, uzyskane przy wykorzystaniu różnych filtrów, wraz z sygnałem stłumionym. W ostatnim punkcie przeprowadzona została analiza zawartości informacji w mapach ukrwienia i napowietrzenia, uzyskanych przy wykorzystaniu różnych filtrów.

Rozdział szósty podsumowuje problem w dotychczas stosowanych metodach wyznaczania map ukrwienia i napowietrzenia oraz elementy nowatorskie zawarte w rozprawie na tle istniejących rozwiązań. Wskazuje zalety stosowania krótkoczasowej transformaty Fouriera, pozwalającej na zlokalizowanie w dziedzinie częstotliwości sygnałów ukrwienia i napowietrzenia. Dyskusja obejmuje także problem aliasingu sygnału ukrwienia w mapie napowietrzenia.

Rozdział siódmy podsumowuje wyniki pracy, wskazując na istotne osiągnięcia naukowe. Podkreśla także fakt wykonania testów jedynie na grupie osób zdrowych oraz konieczności przeprowadzenia badań na danych pacjentów z zaburzonym przepływem krwi w naczyniach krwionośnych płuc oraz z zaburzonym procesem wymiany gazowej płuc.

Rozprawa zawiera elementy, które uznać można jako wkład Doktoranta w badania nad diagnostyką obrazową płuc z wykorzystaniem rezonansu magnetycznego. Zaliczam do nich:

1. propozycję metody wyznaczenia składowych napowietrzenia i ukrwienia płuc na podstawie serii obrazów rezonansu magnetycznego poddanych krótkoczasowej transformacji Fouriera. Do oddzielenia obu składowych zastosowano filtry o transmitancji dopasowanej do analizowanych sygnałów płuc. Analiza widma pozwoliła na dobór odpowiednich pasm przepustowych filtrów umożliwiających wyznaczenie map napowietrzenia i ukrwienia płuc.
2. propozycję informacji wzajemnej jako miary ilościowego porównania składowych napowietrzenia i ukrwienia płuc wyznaczonych przy użyciu filtrów o różnych transmitancjach.
3. redukcję skutków aliasingu częstotliwości składowych ukrwienia do map napowietrzenia płuc za pomocą filtru tłumiącego niepożądane składowe.

Lektura rozprawy nasuwa także pewne uwagi o charakterze polemicznym lub dyskusyjnym, które nie wpływają na ocenę całości pracy badawczej wykonanej przez Doktoranta i przedstawionej w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

1. Zaproponowane filtry składowych napowietrzenia i ukrwienia zawierają szereg elementów dobranych heurystycznie. Należą do nich m.in. próg jasności wydzielający obszar płuc, kryterium odcięcia tła, wyznaczenie pierwszej i drugiej harmonicznej, dobór stałej we wzorach (10) i (11). Autor kwituje to stwierdzeniami, „badania wykazały, że...” (str. 32 i 37). W rozprawie brak opisu tych badań. Wskazana byłby graficzna prezentacja harmonicznych, na bazie których wyjaśnienia dotyczące doboru parametrów byłyby bardziej przekonujące. Eksperymentalny dobór parametrów jest często stosowany, ale wymaga większej liczby danych. Autor wykorzystał jedynie 5 serii obrazowych pacjentów zdrowych. Mając świadomość problemu związanego z pozyskaniem danych klinicznych, na podstawie tak małej liczby badań ocenę metodologii analizy oraz dobranych parametrów należy traktować z pewną dozą nieufności.
2. Na str. 38/39 Autor powołuje się na wykonaną, ilościową ocenę map ukrwienia i napowietrzenia poprzez porównanie metod FD MRI i DCE MRI dla składowych ukrwienia oraz z badaniami CT/SPECT dla porównania składowych ukrwienia i napowietrzenia. Nie znalazłam wyników tej analizy w rozprawie.

3. Zastanawiająca jest identyczna wartość częstotliwości składowych napowietrzenia dla trzech różnych pacjentów (tabela 1). Oznacza to, że dla populacji 60% pacjentów otrzymano identyczny parametr.

Podsumowanie

Mgr inż. Artur Wujcicki posiada odpowiednią wiedzę z zakresu technik rejestracji i metod cyfrowego przetwarzania obrazów. Przedstawiona do recenzji rozprawa zawiera sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz stanowi ciekawy wkład w dziedzinę przetwarzania danych biomedycznych, zwłaszcza w zakresie analizy obrazów rezonansu magnetycznego. Zawarta w pracy metodologia badań doprowadziła do udowodnienia tez pracy oraz realizacji postawionego celu jakim było opracowanie metody rozdzielania składowych ukrwienia i napowietrzenia płuc na podstawie obrazów rezonansu magnetycznego. Sformułowany problem badawczy i jego realizacja skłaniają do postawienia wniosku o dopuszczenie mgr inż. Artura Wujcickiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ca. Ryszard