

15 września 2015 r.

dr hab. inż. Leszek J Chmielewski, prof. SGGW
Wydział Zastosowań Informatyki i Matematyki
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej

autor rozprawy:

mgr inż. Artur Wujcicki
Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki
i Automatyki, Instytut Elektroniki

tytuł rozprawy:

**Wyznaczanie map ukrwienia i napowietrzenia płuc
za pomocą filtracji sekwencji obrazów rezonansu magnetycznego**

Recenzja została przygotowana na zlecenie Prodziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, wykonującej uchwałę Rady tego Wydziału w związku z przewodem doktorskim Pana mgra inż. Artura Wujcickiego. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Andrzej Materka.

1 Zawartość rozprawy

Omówienie ogólne Rozprawa dotyczy przede wszystkim zagadnienia rozdzielania informacji o ukrwieniu i napowietrzeniu w obrazach rezonansu magnetycznego wykonanych bez środka cieniującego.

Rozprawa zawiera następujące rozdziały: Wstęp; Cel, tezy i zakres pracy; Obrazowanie płuc; Materiały i metody; Wyniki; Dyskusja oraz Podsumowanie, a także spis literatury i wykaz ważniejszych oznaczeń.

We wstępie przedstawiono dziedzinę i metody stosowane do obrazowania płuc. Wskazano na ważność metod obrazowych w badaniach medycznych i umieszczono główne zagadnienie pracy w odpowiednim kontekście. W rozdziale poświęconym tezom i zakresowi pracy przedstawiono konkretne zagadnienia i zadania, które zostały opracowane i zrealizowane w pracy.

W kolejnym rozdziale przedstawiono stan wiedzy w przedmiotowym zakresie, na podstawie literatury (której spis obejmuje 67 pozycji). Omówiono obrazowanie technikami tomografii komputerowej (CT), rezonansu magnetycznego (MRI), a także wspomniano o tomografii pozytonowej (PET) i tomografii emisyjnej pojedynczych fotonów (SPECT), oraz o scyntygrafii. Przedstawiono tu bliżej problem wydzielenia części obrazów dotyczących ukrwienia i napowietrzenia płuc i rozdzielania informacji o ukrwieniu i napowietrzeniu, w najbardziej obiecującej modalności, jaką jest obrazowanie rezonansu magnetycznego bez środka cieniującego. Na końcu tego rozdziału Autor skupia się na metodzie FD MRI (obrazowanie rezonansu magnetycznego z dekompozycją Fouriera). Rozdział ten stanowi dobre wprowadzenie do rozdziału czwartego, w którym Autor przedstawia oryginalną wersję metody filtracji obrazu FD MRI. Celem tej filtracji jest rozdzielanie sygnałów ukrwienia i napowietrzenia. Problemy w realizacji tej filtracji wynikają zasadniczo z nieregularności rytmów oddechu i bicia serca pacjentów, w wyniku czego trudno jest zbudować filtry, w których

zarówno podstawowe, jak i wyższe harmoniczne rytmów oddechu i bicia serca są właściwie odseparowane. Autor uzasadnił, że interesujące są zasadniczo mapy wartości skutecznej pól. Rozważył, które harmoniczne mogą powodować wzajemne zakłócenia map i dostosował do tego pasma przepustowe filtrów. Ze względu na osobnicze zróżnicowanie częstotliwości, filtry dobierane były indywidualnie dla poszczególnych pacjentów. Było to realizowane na podstawie samych danych uzyskanych w rozważanym badaniu diagnostycznym, bez dodatkowych pomiarów. Filtrowane były osobno sygnały pochodzące z poszczególnych pikseli obrazu, przy czym obrazy w sekwencji były wzajemnie dopasowane, dla kompensacji ruchu (metody dopasowania nie były przedmiotem pracy doktorskiej).

Rozdział piąty, w którym opisywane są wyniki badań, zawiera interesujące analizy właściwości uzyskanych filtrów. Potwierdzona zostaje koncepcja dopasowywania filtrów do konkretnego pacjenta. Ma to uzasadnienie w występowaniu indywidualnych wartości stosunku liczb uderzeń serca do oddechu u kolejnych osób. Wartości te odbiegają często znacznie od wartości modelowych, i są zmienne w czasie. Pokazane są mapy ukrwienia i napowietrzenia rozdzielone prawidłowo, lub przynajmniej lepiej niż dotychczasowymi metodami. Rozdzielenie sprawdzano obliczając informację wzajemną i współczynnik korelacji i uzyskano pozytywne rezultaty.

Wnioski zawarte w rozdziale 6 potwierdzają prawdziwość tej pracy i skuteczność zastosowanych metod.

W podsumowaniu, na końcu pracy, zarysowano pewne kwestie otwarte i kierunki dalszych badań, które powinny objąć pomiary dla przypadków osób chorych, dla których zadanie filtracji będzie dodatkowo utrudnione.

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 filtru tłumiącego składowe ukrwienia o częstotliwościach przeniesionych w wyniku aliasingu do pasma częstotliwości składowych napowietrzenia.

Zasadnicze osiągnięcia Zasadnicze osiągnięcia Autora, w moim rozumieniu, dobrze pokrywają się z tezami rozprawy.

2 Omówienie treści i wyników rozprawy

2.1 Uwagi pozytywne

Ważność dziedziny Metody obrazowania omawiane w pracy są rutynowo i powszechnie stosowane w medycynie. Każda metoda umożliwiająca poprawę jakości obrazów MR jest szczególnie cenna. Wady obecnie stosowanych metod rozdzielania omawianych sygnałów sprawiają, że znacząca część obrazów nie nadaje się do celów diagnostycznych.

Miary stosowane do oceny filtrów Zastosowano ilościowe miary zmniejszenia przesłuchu pomiędzy rozważanymi obrazami (informacja wzajemna i współczynnik korelacji). Jest to element zwiększający wiarygodność wyników.

Indywidualne traktowanie danych dla każdego pacjenta Jak już wspomniano, osobnicze różnice w parametrach oddechu i tętna mają zasadniczy wpływ na wyniki filtracji, więc ich uwzględnienie jest istotnym elementem pozytywnym pracy.

Zastosowanie filtru środkowo-przepustowego odróżnia omawianą metodę od tej, jaką stosuje się obecnie w FD MRI.

Publikacje Autora Autor powołał się na dwie prace z własnym udziałem w zakresie omawianej tematyki, w tym jedna w stałej serii *Lecture Notes in Computer Science*, regularnie indeksowanej w ważnych serwisach literaturowych, oraz jedna w czasopiśmie *Zeitschrift für Medizinische Physik* z listy A, IF = 2, 963. Doktorant jest w nich pierwszym autorem. Artykuł w *Zeitschrift* jest, według serwisu Elsevier, często czytany.

Dorobek publikacyjny jest wystarczający do uzyskania doktoratu.

2.2 Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Zasadniczo, moje uwagi mają charakter bardziej dyskusyjny niż krytyczny i są drugorzędne względem zasadniczych osiągnięć omówionych w pracy. Nie podważają one mojej pozytywnej opinii o pracy, którą podaję w podsumowaniu.

- 1. Przeprowadzenie badań wyłącznie na osobach zdrowych** W badaniach bliskich praktyce medycznej kwestie etyczne wynikające z faktu przeprowadzania badań z użyciem wyników dotyczących ludzi są bardzo ważne i nierzadko trudne. Wynikają stąd liczne utrudnienia co do uzyskiwania odpowiednich zbiorów danych. Doktorant dysponował jedynie sekwencjami obrazów uzyskanych dla osób zdrowych, podczas gdy diagnostyka ma w założeniu obejmować osoby chore. Jest to niekorzystna okoliczność. Jednak, można uznać, że nowe metody powinny być rozwijane i badane na takich danych, jakie są aktualnie dostępne, a badania należy rozpoczynać na danych łatwiejszych do analizy (choć nie trywialnych). Nie widzę też potrzeby czekania z obroną na uzyskanie dodatkowych danych, ponieważ wyniki przedstawione w pracy są wystarczająco obszerne, aby zweryfikować kierunek, a także uzyskane dotąd wyniki badań Doktoranta. Doktorant postąpił uczciwie podając do wiadomości, że badania prowadzono na obrazach osób zdrowych.
- 2. S. 32: Kwestia wyższych harmonicznych** W całej pracy współzależności dotyczące wyższych harmonicznych rozważanych sygnałów są bardzo ważne. Natomiast w związku z omawianiem pasma przepustowego filtru SIFT Autor jednym zdaniem stwierdza, że obejmuje ono tylko pierwsze harmoniczne składowych napowietrzeń. Myślę, że wobec ważności kwestii relacji składowych, wymagałoby to nieco szerszego omówienia.
- 3. S. 13: Brak potrzeby kompensacji tętna dzięki szybkim sekwencjom pomiarowym** Nie całkiem rozumiem argument, że zastosowanie szybkich sekwencji pomiarowych sprawia, że kompensacja ze względu na tętno pacjenta staje się niepotrzebna. Przecież to właśnie tętno jest szybsze, niż oddech, i różnica długości czasu akwizycji i okresu jest mniejsza dla tętna, niż dla oddechu. Jednak nie jestem specjalistą w zakresie technik uzyskiwania obrazu RM, więc tę uwagę należy uznać tylko za przejaw mojej ciekawości.

Uwagi redakcyjne i językowe Styl pracy nie dobiega od stanu typowego w dziedzinie i można by pozostawić go bez krytyki (podczas czytania recenzji w czasie obrony tę część zamierzam pominąć prawie w całości). Chcę jednak zwrócić uwagę Autora na kilka powtarzających się potknięć.

1. **Nomenklatura** Używane są zamiennie określenia *środek cieniujący* i *kontrast*, podczas gdy drugie z nich jest żargonowe.
2. **S. 10: Choroby płuc i radioterapia** Skoro wspomina się o radioterapii, to uzyskane obrazy zmian patologicznych zapewne dotyczą chorób nowotworowych. Należałoby to jawnie zaznaczyć.
3. **S. 6:** Zdanie oznacza coś innego, niż to było intencja Autora: wadą metod nie jest samo promieniowanie, ale to, że pacjent jest narażony na jego pochłanianie.
4. **S. 18 i następne:** Nadużywane są cudzysłowy, tak jakby kanki „*nieporuszające się*” jednak nie poruszały się tylko na niby, albo jakby obraz „*oznakowany*” w rzeczywistości oznakowany nie był. W większości przypadków cudzysłowy są niepotrzebne.
5. **Powtórzenia** Zdarzają się powtórzone wyrazy: *analiza analizy*, lub *pacjentów chorych*.
6. **S. 23: Błąd użycia imiesłowu** (...) są *odfiltrowane* składowe widma (...) *pozostawiając* składową ukrwienia – to nie składowe widma pozostawiają składową ukrwienia.

3 Podsumowanie

Podsumowując, w rozprawie można wyróżnić znaczące elementy oryginalne. Całość została pozytywnie zweryfikowana na przykładach zaczerpniętych z praktyki medycznej.

Opisywane metody zostały opublikowane i zaprezentowane na konferencjach, zostały więc także zweryfikowane przez środowisko.

3.1 Wniosek

Powyższy opis, uwzględniający tak zalety pracy jak i uwagi dyskusyjne i krytyczne, uzasadnia mój ostateczny wniosek, że recenzowana rozprawa **stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**. Zagadnienie zostało prawidłowo postawione i skutecznie rozwiązane, a rozwiązanie rzetelnie zweryfikowane. Rozprawa **wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w przedmiotowej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**.

Tym samym, rozprawa spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595; z 2005 r. Nr 164, poz. 1365), a także Ustawy z dnia 18 marca 2011 o zmianie powyższej ustawy oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2011 r. Nr 84, poz. 455, Nr 112, poz. 654).

