

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Dwumodalne obrazowanie lewej komory serca i naczyń wieńcowych z wykorzystaniem tomografii komputerowej oraz spoczynkowej echokardiografii przezklatkowej

Autor rozprawy: mgr inż. Adama Skurskiego

Promotor rozprawy: Prof. dr hab. inż. Andrzej Napieralski

Diagnostyka obrazowa stała się istotnym i trudnym do zastąpienia etapem weryfikacji stanu zdrowia pacjenta. W ostatnich latach dostrzega się intensyfikację prac związanych z łączeniem różnych modalności umożliwiających wizualizację na jednym modelu funkcji narządu i jego struktury anatomicznej. Pozwala to na dokładniejszą lokalizację zmian patologicznych oraz ograniczenie konieczności obciążania pacjenta procedurami inwazyjnymi.

Przedstawiona do recenzji rozprawa obejmuje badania dotyczące dwumodalnego obrazowania lewej komory serca i naczyń wieńcowych z wykorzystaniem anatomicznych badań tomografii komputerowej oraz badań ultradźwiękowych uwidaczniających kurczliwość mięśnia sercowego. Fuzja tych obrazów umożliwia wizualizację wyników badań czynnościowych na tle morfologii naczyń wieńcowych. Podjętą w rozprawie tematykę uważam za w pełni uzasadnioną, interesującą i aktualną dla współczesnych prac z obszaru zastosowania informatyki w medycynie.

W rozprawie Doktorant sformułował następujące tezy pracy: (1) Połączenie obrazów echokardiograficznych oraz tomografii komputerowej lewej komory serca ludzkiego umożliwi jednocześnie przedstawienie dysfunkcji ruchowej mięśnia sercowego i wad strukturalnych naczyń wieńcowych. (2) Automatyczne wyznaczenie trzech punktów anatomicznych lewej komory serca na podstawie trójwymiarowej reprezentacji struktury serca uzyskanej za pomocą badania tomografii komputerowej umożliwi zdefiniowanie orientacji mapy planarnej kurczliwości mięśnia lewej komory.

Praca zawiera 94 strony podzielone na spis treści oraz 13 rozdziałów. Bibliografia zawiera 62 pozycje.

Rozdział pierwszy stanowi wykaz skrótów.

Rozdział drugi zawiera wstęp, w którym Autor zawarł motywację podjęcia pracy, postawione cele oraz dwie tezy pracy.

Rozdział trzeci przedstawia anatomie układu krwionośnego ze szczególnym uwzględnieniem budowy serca oraz wybrane choroby układu sercowo-naczyniowego, w tym niewydolność serca, ze wskazaniem podstawowych metod terapeutycznych (angioplastyka i bypass).

Rozdział czwarty prezentuje techniki sygnałowe i obrazowe diagnostyki kardiologicznej ze wskazaniem procedur inwazyjnych i nieinwazyjnych. W grupie procedur nieinwazyjnych Autor omawia skrótowo elektrokardiografię, echokardiografię, tomografię komputerową (TK), rezonans magnetyczny, medycynę nuklearną (SPECT i PET). W diagnostyce inwazyjnej wymienione są, cewnikowanie serca i angiografia. Rozdział kończą uwagi charakteryzujące powikłania będące skutkiem diagnostyki inwazyjnej.

Rozdział piąty poświęcony jest tematyce nakładania obrazów medycznych i ich wykorzystania w kardiologii. Autor pokazuje przykład łączenia badań TK i SPECT oraz nakładanie obrazów TK i echokardiograficznych. Autor wymienia obrazy anatomiczne ukazujące m.in. lewą komorę serca, drzewo naczyń wieńcowych oraz obrazy odzwierciedlające skurcze lewej komory serca i ich prezentację w postaci diagramu.

Rozdział szósty przedstawia techniki przetwarzania obrazów a wśród nich podstawowe metody segmentacji, metodę ray casting stosowaną w trójwymiarowej grafice komputerowej oraz techniki tekstuowania i mapowania. Rozdział kończy krótkie omówienie metody automatycznej analizy kurczliwości lewej komory serca, będącej wynikiem badania echokardiograficznego.

Rozdział siódmy omawia dokonania Autora w zakresie opracowania metodologii fuzji trójwymiarowego modelu anatomicznej budowy serca oraz diagramu funkcji lewej komory serca. Szczegółowy opis zawarty jest w dalszej części recenzji.

Rozdział ósmy przedstawia wartości diagnostyczne opracowanej metody oraz osiągnięte cele oraz dalsze plany rozwoju systemu.

Rozdział dziewiąty wymienia nagrody i wyróżnienia oraz zgłoszenie patentowe.

Rozdziały dziesiąty do dwunastego stanowią odpowiednio wykaz bibliografii, spis ilustracji oraz tabel.

Rozdział trzynasty zawiera trzy załączniki. Pierwszy uzasadnia wybór środowiska programistycznego, drugi wspomina o istnieniu standardu DICOM, trzeci – o bibliotece STL.

Do istotnych elementów rozprawy zaliczam:

1. Dobór i wyznaczenie punktów charakterystycznych wykorzystywanych na etapie fuzji obrazów tomografii komputerowej i USG serca. Autor wybrał trzy punkty charakterystyczne. Są nimi koniuszek serca, dwa punkty leżące u podstawy lewej komory serca, na granicy przegrody międzykomorowej. Lokalizacja koniuszka serca jest procesem dwuetapowym. Pierwszy etap wykorzystuje układ współrzędnych serii przekroi TK, drugi koryguje położenie na podstawie wyznaczonej osi długiej lewej komory serca. Lokalizacja znaczników u podstawy lewej komory serca wykorzystuje zmodyfikowaną metodę przekształcenia stosowaną w grafice komputerowej – ray casting. Detekcja punktów zlokalizowanych na przedniej i tylnej ścianie lewej komory wykorzystuje zaproponowaną przez Autora metodę rzutowania promieni o zdefiniowanych punktach zaczepienia oraz pomiaru odległości pomiędzy obrysem ściany lewej komory serca a obrysem osierdza. Do wyznaczenia punktów charakterystycznych na echokardiogramach wykorzystano diagramy kołowe, przygotowywane przez producenta ultrasonografu.
2. Nałożenie modeli wygenerowanych na podstawie badań tomografii komputerowej oraz danych uzyskanych z diagramów badań echokardiograficznych. Danymi wejściowymi są zbiory werteksów reprezentujących trójwymiarowe modele lewej komory serca, drzewa naczyń wieńcowych i worek osierdziowy oraz reprezentacja graficzna kurczliwości mięśnia sercowego uzyskana podczas badania echokardiograficznego zapisana jako dwuwymiarowy obraz grafiki rastrowej. W odwzorowaniu obrazu płaskiego na model trójwymiarowy wykorzystano punkty charakterystyczne. W oparciu o koniuszek lewej komory i środek ciężkości modelu wyznaczono oś długą komory. Metoda wykorzystuje rzutowanie punktów obu przestrzeni, przekształcenia współrzędnych biegunowych na kartezjańskie oraz skalowanie. Ostatnim etapem procesu jest trójwymiarowa wizualizacja wyników.

Lektura rozprawy doktorskiej nasuwa także pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym lub polemicznym, które nie wpływają na pozytywną ocenę pracy.

1. Brak weryfikacji metody znajdowania punktów charakterystycznych i wyznaczenia dokładności ich wzajemnej lokalizacji w obu modalnościach. Brak także weryfikacji dokładności procedury mapowania.
2. Opis technik diagnostycznych niezwiązanych bezpośrednio z tematem rozprawy nie był konieczny. Odstąpił on bardzo powierzchowną znajomość niektórych z nich, przede wszystkim rezonansu magnetycznego. Przykładowo określenie „Sposób działania oparty jest na oddziaływaniu elektronu na silne pole magnetyczne” (str. 27). Innym przykładem jest opis badań SPECT (str. 37), w których Autor sugeruje, jakoby ilościowe różnicowanie absorpcji w obszarach mięśnia sercowego było oparte na hemodynamicznej analizie perfuzji krwi przez tkanki. Badanie wychwytu radioznacznika przez mięsień serca i badania hemodynamiczne to dwie różne techniki, z których pierwsza bada istnienie

zmiany w obrębie mięśnia sercowego, druga natomiast cechuje się tym, że radioizotop w trakcie badania pozostaje w łożysku naczyniowym.

3. Zbyt ogólnikowy opis metod analizy obrazów lub budzące wątpliwości sformułowania.
 - a. Metodologia wyznaczania punktów u podstawy lewej komory serca powinna zostać dokładniej wyjaśniona i udokumentowana rysunkiem (str. 60). Jakże parametry Autor miał na myśli pisząc „Wyznaczenie sparametryzowanych promieni” (str. 60). Jak interpretować ujemną wartość na wykresie odległości (rys. 31).
 - b. Brak opisu metody wyznaczania środka ciężkości lewej komory serca. W załączniku, do którego czytelnik jest odsyłany (str. 58), opisu metody nie znaleziono.
 - c. Przy odnośnikach do innych rozdziałów Autor ograniczył się do określenia „opisywanej w innych rozdziale pracy” (str. 37), lub „w załączniku niniejszej pracy” (str. 58). Odnośnik powinien wskazać numer rozdziału. Ułatwiłoby to czytelnikowi znalezienie odpowiedniego rozdziału.
 - d. Sformułowanie „uzyskanie obrazu trójwymiarowego wraz z naniesioną na jej obiekt analizą medyczną uzyskaną metodą echokardiografii” (str. 69) jest bardzo niezręczne. Nadużyto określenia teksturowanie, powtarzane dwu a nawet trzykrotnie w jednym zdaniu. Przykładowo: „Jako sposób teksturowania przyjęto metodę teksturowania UV.” lub „Założeniem teksturowania UV jest przyjęcie, że każdy wierzchołek obiektu teksturowanego ma przyporządkowany dokładnie jeden punkt obrazu będącego teksturą.”

Poza nieznacznymi uchybieniami rozprawa jest przygotowana starannie z edytorskiego punktu widzenia. Metody analizy danych wraz z przykładowymi wynikami są dobrze udokumentowane.

Mgr inż. Adam Skurski posiada odpowiednią wiedzę z zakresu grafiki komputerowej ze szczególnym uwzględnieniem badań nad hybrydowymi technikami diagnostyki obrazowej. Przedstawiona do recenzji praca zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz stanowi wartościowy wkład w dziedzinę obrazowej diagnostyki kardiologicznej. Zawarte w pracy oryginalne badania, obejmują opracowanie metodologii fuzji obrazów anatomicznych i funkcjonalnych w oparciu o dobrane i wydzielone punkty charakterystyczne.

Reasumując uważam, że mgr inż. Adam Skurski wykazał się wiedzą i umiejętnościami wymaganymi do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych. Przedstawiona do recenzji praca spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę nowatorskie elementy rozprawy wymienione powyżej oraz duże zainteresowanie wynikami pracy, w tym liczne nagrody uzyskane na międzynarodowych wystawach wynalazków Brussels Innova – złoty medal, Brussels Innova Diploma 2012 - nagroda specjalna, International Trade Fair, Nuremberg – srebrny medal, Wystawa Wynalazków Cluj-Napoca, Rumunia – złoty medal, Archimedes 2013, Moskwa – złoty medal), dyplom Ministra Edukacji Narodowej oraz wysłane zgłoszenie patentowe, wnioskuje o wyróżnienie rozprawy.

C. Kępczyński