

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

8 marca 2017 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

autor rozprawy:

mgr inż. Paweł Zajączkowski
Instytut Elektroniki
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Politechnika Łódzka

tytuł rozprawy:

Filtracja obrazów ultrasonograficznych w czasie rzeczywistym przy użyciu procesorów graficznych (GPU)

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na powołanie na recenzenta przez Radę Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej zgodnie z uchwałą z dnia 8 listopada 2016 r., w związku z przewodem doktorskim Pana mgra Pawła Zajączkowskiego. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Mariusz Nieniewski.

1 Zawartość rozprawy

Omówienie ogólne Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów, słownika pojęć i skrótów, spisu literatury i czterech dodatków.

W rozdziale pierwszym przedstawiono tezę i cele pracy.

Rozdział drugi zawiera wprowadzenie do zagadnienia filtracji obrazów ultrasonograficznych. Są w nim omówione specyficzne cechy szumu występującego w tych obrazach oraz jest dokonany przegląd znanych metod usuwania takiego szumu. Przeglądu dokonano w podziale na filtry liniowe, nieliniowe, dyfuzyjne i falkowe. Przedstawiono także środowiska programistyczne, które będą używane w rozprawie, czyli oprogramowanie dla platformy NVIDIA CUDA oraz Matlab jako środowisko pracy na własnej jednostce obliczeniowej komputera.

Od rozdziału trzeciego zaczynają się opisy własnych rozwiązań Doktoranta i opisy wyników uzyskanych z ich wykorzystaniem. Opisy te dotyczą redukcji szumu ziarnistego w obrazach ultrasonograficznych w implementacji równoległej na procesor graficzny na platformie CUDA.

I tak, w rozdziale trzecim opisano redukcję szumu przy użyciu nieliniowej dyfuzji koherentnej (NCD).

W rozdziale czwartym opisano filtrację obrazów za pomocą algorytmu dyfuzji w przód – wstecz (FBD).

Rozdział piąty zawiera opis zadania redukcji szumu przy użyciu filtra średnich nielokalnych (NLM).

Kolejny rozdział szósty zawiera wprowadzenie i badanie metody oceny jakości filtracji obrazów przy użyciu kurtozy wielowymiarowej.

Podsumowanie rozprawy i dyskusję wyników umieszczono w rozdziale siódmym.

Cel i teza pracy Praca ma dwa cele: *opracowanie metod redukcji szumu ziarnistego, występującego w obrazach ultrasonograficznych, oraz opracowanie metody oceny jakości filtracji obrazów ultrasonograficznych.*

Postawiono następującą tezę: *Skuteczna filtracja obrazów ultrasonograficznych jest możliwa w czasie rzeczywistym przy użyciu programowania równoległego na procesorach graficznych (GPU).*

2 Omówienie treści i wyników rozprawy

2.1 Uwagi pozytywne

Zgodnie z podziałem celów pracy, nowe elementy o charakterze naukowym można przyporządkować do zagadnień filtracji obrazów oraz oceny jakości obrazów bez użycia obrazu wzorcowego.

Doktorant prowadził badania w zakresie wielu filtrów, zaś trzy z nich okazały się wartościowe dla rozwiązania postawionego zadania filtracji z wykorzystaniem procesora graficznego:

NCD filtracja nieliniowej dyfuzji koherentnej;

FBD filtracja dyfuzji w przód-wstecz;

NLM filtracja średnich nielokalnych.

W zakresie metody **NCD** interesujące było zastosowanie cyklicznej redukcji niewiadomych w powstającym w metodzie układzie równań. Sama metoda redukcji jest oczywiście klasyczna, kolejność redukcji i jej implementacja w procesorze graficznym pochodzi z literatury, zaś zastosowanie jest oryginalne.

Metoda **FBD** nie była dotąd stosowana do obrazów ultrasonograficznych, lecz do obrazów naturalnych. Doktorant zastosował ją na dwóch etapach przetwarzania: po częściowej filtracji, stosowanej do wygładzenia obszarów o małej zmienności intensywności obrazu, gdzie proces wyostrzania krawędzi prawie nie zachodzi, oraz po filtracji całkowitej, gdy szum ziarnisty już został usunięty i wyostrzenie krawędzi nie mocni szumu.

Metoda **NLM** została zmieniona względem znanych wersji poprzez wykorzystanie tensora dyfuzji wraz z tensorem struktury, oraz poprzez adaptację do wykonywania w karcie graficznej. Pokazano także, że metoda w wersji iteracyjnej, prowadząca do lepszych wyników niż metoda jednego kroku, jest w implementacji równoległej wystarczająco szybka do wykorzystania w czasie rzeczywistym.

Wszystkie filtry zostały zaimplementowane w architekturze równoległej NVIDIA CUDA. Technologia programowania dla tej architektury jest z jednej strony narzędziem o charakterze czysto technicznym, z drugiej jednak strony wymaga zapisu algorytmów w specyficzny dla niej sposób. To wymusza przeprojektowanie metod znanych, a dla metod nowych wprowadza dodatkowe ograniczenia. Doktorant sprostował wynikającym stąd nowym wyzwaniom osiągając czas przetwarzania zgodny z czasem akwizycji nowych ramek obrazu. Wyjątkiem okazał się algorytm **NLM**, którego złożoność ogranicza liczbę klatek na sekundę do 15 (w obrazie 256×256 pikseli). Czasy te jednak będą maleć przy pojawianiu się nowszego i droższego sprzętu.

Zagadnienie obiektywnej oceny jakości obrazu ultrasonograficznego jest znacznie utrudnione przez brak obrazu pozbawionego zakłóceń, który mógłby być użyty jako wzorzec. Wyklucza to metody porównawcze. Doktorant zaproponował, aby do oceny jakości obrazu zastosować miarę, w której wykorzystuje się kurtozę funkcji obrazu. Miara taka ilościowo uwzględnia takie cechy

funkcji jasności obrazu, jakie są zgodne z subiektywnym odczuciem jakości krawędzi. Pozwala to zastosować tę miarę do porównywania jakości obrazów, w których jakość krawędzi odgrywa zasadniczą rolę.

Należy podkreślić, że trzy wymienione filtry zostały przez Autora wybrane, na podstawie własnych doświadczeń, spośród kilkudziesięciu filtrów możliwych do zastosowania.

Poprawa jakości obrazów ultrasonograficznych to zagadnienie ważne ze względu na powszechność badań USG we współczesnej medycynie.

2.2 Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Rozkłady o dużej i małej kurtozie Zasadniczo, kurtoza świadczy o ciężkości lub lekkości ogonów rozkładu, a nie o wartości maksymalnej.

Liniowość i nieliniowość filtrów Filtry Frosta i Kuana są nieliniowe, gdy weźmiemy znaną definicję liniowości. Właściwie liniowe są tylko filtry wykorzystujące splot ze stałą funkcją.

Nowość metody eliminacji zmiennych Metody eliminacji zmiennych nie można nazywać nową. Ruber pokazał, jak rozwiązać układ w sposób równoległy. Doktorant wykonał tylko zastosowanie tych metod we właściwy sposób.

Opis filtracji FBD Strona 67: co to znaczy, że współczynnik λ jest stosowany dla zachowania poprawności obliczeń? Dlaczego przyjęto wartości parametrów podane w ostatniej linijce strony?

Uwagi redakcyjne i językowe

Rozdział 6: chyba chodzi o kurtozę wielowymiarową, a nie wielowariantową. Angielski termin *multivariate* oznacza *dotyczący wielu zmiennych*, czyli w tym przypadku *wielowymiarowy*.

S. 7₂: po co pisać o *softwarze*, kiedy można napisać o *oprogramowaniu*.

S. 9₇: nie chodzi o *wymiary* obrazu, lecz o jego *rozmiary*. Obraz jest płaski i zmienny w czasie, więc jego wymiar to zawsze trzy.

S. 15: na początku napisano o metodzie *nieinwazyjnej*, a na końcu o *bezinwazyjnej*.

S. 18: nie *aparatura* lecz *apertura*; nie używajmy słowa *kiepska* w tekście naukowym; zła osoba przymiotników *trudne*, *niemożliwe*; z pewnością w XIX wieku nie opisywano szumu ziarnistego w obrazach USG; brak nawiasów wokół pozycji literatury; pozycje [15, 39, 100] powołane dwukrotnie.

S. 19, **równania (2.2), (2.3)**: oznaczenia $s(x, y)$ i $\eta_m t(x, y)$ są podane bez wyjaśnienia, w szczególności nie wiadomo, jak rozkłada się $\log(\eta_m(x, y))$ na czynniki η_m oraz $t(x, y)$ i dlaczego funkcja $\eta_m(x, y)$ staje się stałą η_m .

S. 20: znowu nieprawidłowe wielokrotne cytowania. Można cytować tak: [1, 17, 33].

S. 21: nie wyjaśniono skrótów DPAD, SRBF, OBFLM, GLM i innych. Chyba zamiast SSIM powinno być SSIN. W zdaniu na dole strony: *laplasjan* pisze się z małej litery.

S. 22: to nie piksel, ale jego jasność jest rozważana jako średnia ważona.

- S. 23: rozmiary okien niepotrzebnie podane w nawiasach kwadratowych.
- S. 24¹³: chyba nie *duża*, ale *mała* wartość wariancji wskazuje na brak krawędzi i możliwość rozmycia. Dalej: progowanie jest operacją nieliniową. Niestety, filtry o prostej udowie są dokładnie omówione, a bardziej złożone tylko wzmiankowane. Wiem, że trudno zrobić inaczej, ale taki stan nie jest zaletą.
- S. 25: niepotrzebne cudzysłowy wokół słów *krzyża* i *całym oknie*; niepotrzebna kreska w napisie *k-pikseli*.
- S. 29₆: anakolut: *grupowanie – tworząc*.
- S. 29₆₋₂: niepotrzebne wielkie litery na początku tekstów w punktach.
- S. 39, drugi i kolejne zredukowane układy równań: te same zmienne oznaczają co innego w kolejnych układach.
- S. 39: anakolut: *Układ (...) rozwiązywany jest (...) redukując*.
- I tak dalej.
- S. 123²: *neuronaczymiowego*.

W wielu miejscach brakuje przecinków, np. 16₂ po *rzeczywistym*, 29⁴ po *falkowy*.

3 Podsumowanie

Podsumowując, w rozprawie można wyróżnić istotne elementy oryginalne. Całość została pozytywnie zweryfikowana na przykładach wielu obrazów ultrasonograficznych pozyskanych w typowej praktyce medycznej.

Opisywane metody zostały opublikowane oraz 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, ze zmianami; tekst jednolity według Dz. U. z 2016 r. poz. 882, 1311), w szczególności podane w Art. 13 ust. 1.

