

Rozwój technik uwydatniania sfilmowanego ruchu do zastosowań biomedycznych

Mateusz P. Popek

Techniki uwydatniania sfilmowanego ruchu, *ang. Video Motion Magnification*, do niedawna były wykorzystywane w sposób jakościowy, umożliwiając zobaczenie bardzo małych ruchów w filmach dzięki zwielokrotnieniu niewielkich zmian luminancji lub lokalnej fazy. W tej rozprawie doktorskiej proponowane jest zastosowanie technik VMM w sposób ilościowy w celu uzyskania bezkontaktowej, dalekozasięgowej i niskokosztowej metody pomiaru niewielkich ruchów w biomedycynie, takich jak puls rogówkowy lub wychylenia ciała w posturografii. Pierwszym z celów tej pracy było ustalenie, czy techniki VMM nadają się do pomiaru mikroprzemieszczeń o jednej częstotliwości bazowej. Do rejestracji niewielkich przemieszczeń obiektu wykorzystano typowe urządzenia rejestrujące filmy, takie jak kamera internetowa oraz lustrzanka cyfrowa, zaś wyniki po uwydatnieniu ruchu zostały skontrastowane z pomiarami wykonanymi czujnikiem ultradźwiękowym przystosowanym do pracy w powietrzu o dokładności pomiaru poniżej jednego mikrometra. Uzyskano wysoką korelację pomiędzy pomiarami wykonanymi za pomocą VMM oraz przy użyciu ultradźwięków. Wykazano, że techniki uwydatniania sfilmowanego ruchu nadają się do dokładnych pomiarów mikroprzemieszczeń w zakresie od około $5 \mu\text{m}$ do około $40 \mu\text{m}$ z odległości około 1 m. Charakterystyka widmowa sygnałów składających się z pojedynczej częstotliwości pozostała zachowana. W następnym kroku wykazano, że obecnie istniejące techniki VMM nie zachowują poprawnie częstotliwości podczas przetwarzania ruchów o wielu częstotliwościach składowych. Aby rozwiązać ten problem, w tej pracy doktorskiej zaproponowano nową metodę VMM bazującą na radialnej ułamkowej sterowalnej dwuwymiarowej transformacji Hilberta. Jej odpowiedź częstotliwościowa została porównana z odpowiedziami dwóch innych, istniejących już, metod. Przebieg działań podczas uwydatniania ruchu został przeanalizowany i opisany. Uwzględnia on zwielokrotnianie zmian lokalnej fazy pomiędzy klatkami filmu dla wielu częstotliwości przestrzennych z osobna dzięki wykorzystaniu piramid obrazowych. Piramidy te są na końcu składane do nowego filmu z uwydatnionymi ruchami. W nowej metodzie VMM wykorzystano

transformację Hilberta w celu wyodrębnienia zmian lokalnej fazy. Jako miara zachowania częstotliwości została wykorzystana zmodyfikowana dywergencja Kullbacka-Leiblera. Wyliczana ona była między estymatami widmowymi szeregów czasowych przemieszczeń wibrującej płytki zmierzonymi za pomocą szybkiej kamery wideo oraz sygnałem odniesienia, który stanowiły pomiary odległości wykonane synchronicznie z wykorzystaniem głowicy ultradźwiękowej o wysokiej precyzji pomiaru. Porównywane szeregi czasowe opisywały mikrometrowe przemieszczenia o jednej, dwóch oraz trzech częstotliwościach składowych, które uzyskano z filmów o różnych wartościach zwielokrotnienia zmian fazy lokalnej. Wyniki wykazały, że nowo powstała metoda, w większości przypadków przenosiła częstotliwości najlepiej z trzech porównywanych metod. Ostatecznie nowa metoda została przykładowo wykorzystana w celu zmierzenia pulsu rogówkowego. Jako metoda odniesienia ponownie został przyjęty pomiar ultradźwiękowy. Wykazano wysoką zgodność między sygnałami zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości. Podsumowując, techniki uwydatniania sfilmowanego ruchu zostały zbadane i udowodniono ich przydatność do pomiaru mikroprzemieszczeń. Ze względu na skłonność do generowania fałszywych częstotliwości zaproponowano nową technikę VMM, która posiada lepszą charakterystykę częstotliwościową, co czyni ją zdolną do pomiaru przemieszczeń o wielu częstotliwościach składowych, co pokazano na przykładzie pomiaru pulsu rogówkowego.