

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jana Gierałtowskiego**  
**pt. *Wielkoskalowa analiza właściwości fraktalnych rytmu serca człowieka***

Rozprawa doktorska pana mgr. inż. Jana Gierałtowskiego, powstała na podstawie oryginalnych prac jego współautorstwa, łączy ze sobą w umiejętny sposób dwa wątki. Pierwszy z nich jest czysto teoretyczny i dotyczy metod analizy sygnałów czasowych w celu wykrycia struktur fraktalnych, co, z kolei, jest związane z występowaniem w przebiegach czasowych pewnych korelacji. W części pracy poświęconej tym zagadnieniom autor omawia dostępne w literaturze przedmiotu metody takiej analizy, a następnie proponuje nowe oryginalne podejście do problemu. Drugi wątek pracy ma charakter interdyscyplinarny, autor stosuje opracowaną przez siebie metodę do analizy szeregów czasowych zmienności rytmu serca ludzkiego wykorzystując do tego dane kliniczne.

Analiza przebiegów czasowych różnego rodzaju zjawisk, nie tylko z obszaru czystej fizyki, ale też w ekonomii, czy, jak w recenzowanej pracy, biologii i medycynie, ma już stosunkowo długą historię, i to właśnie w obszarze medycyny, gdzie opracowano takie techniki jak EEG, czy EKG, polegające na pomiarze aktywności elektrycznej organów organizmu, a następnie analizie cech charakterystycznych ich zmienności w czasie. Oczywiście, głównym celem jest tu opracowanie metod diagnostycznych, w szczególności różnicujących organizmy zdrowe i takie, w których występują zjawiska patologiczne z medycznego punktu widzenia. Można oczekiwać, że zmierzone sygnały niosą wiele informacji niewykrywalnych poprzez stosunkowo prostą analizę powtarzalności pewnych widocznych struktur, czy też jakościową analizę kształtu sygnału (czy jego charakterystycznych fragmentów), co stanowiło podstawę diagnostycznych zastosowań metod elektrokardiografii i elektroencefalografii, a także w dużym stopniu, bardziej zaawansowanych metod fizycznych, jak na przykład magnetyczny rezonans jądrowy. Pierwsza część pracy pana mgr. inż. Gierałtowskiego (rozdziały 1.5-3) poświęcona jest opisowi metod badania własności fraktalnych przebiegów czasowych, które to własności są wynikiem występowania w sygnale czasowym pewnych typów korelacji. Autor opisuje szczegółowo znane metody ilościowej charakteryzacji multifraktalności sygnału. Taką charakteryzację otrzymać można poprzez obliczenie na podstawie danych tzw. lokalnego wykładnika Hursta, tzn. wykładnika z jakim skaluje się (potęgowo) tzw. funkcja fluktuacji sygnału. Funkcja ta, skonstruowana z wartości czasowych sygnału w przedziałach czasowych o wybranej długości (wyznaczających *skalę* lokalnej analizy) zależy od dodatkowego parametru, który poprzez zmianę jego wartości pozwala na odniesienie rezultatu do dużych lub małych fluktuacji występujących w sygnale. Klasyczna analiza za pomocą wykładnika Hursta zakłada, iż funkcja fluktuacji skaluje się potęgowo z długością skali, a wykładnik tego skalowania jest funkcją jedynie wspomnianego powyżej parametru wypuklającego rolę małych i dużych fluktuacji.

Autor przedstawia najbardziej popularne metody obliczania wykładnika Hursta i wskazuje na ich słabości, związane z takimi czynnikami, jak odporność na szum pomiarowy, czy też niedookreślone konkretne szczegóły ich wdrażania pozostawiające pewną słabo kontrolowalną dowolność w ich implementacji. Proponuje remedium w postaci opracowanej przez niego metody nazywanej wieloskalową analizą fraktalną, w której lokalny wykładnik Hursta zastępuje się funkcją dwóch zmiennych: skali i parametru określającego wielkość (amplitudę) fluktuacji. Oczywiście zależność funkcji fluktuacji od skali przestaje być czysto potęgowa, jednak pozostaje taką w dobrym przybliżeniu w wypadku słabej zależności wykładnika od skali. Wykres omawianej funkcji jest więc dwuwymiarową powierzchnią nazywaną przez autora powierzchnią Hursta i to ona jest głównym obiektem badania (i wizualizacji) wyników analizy. Ten prosty, na pierwszy rzut oka, pomysł okazuje się bardzo płodny. Panu mgr. inż. Gierałowskiemu udało się wykazać przewagi jego metody nad stosowanymi dotychczas, pozwala ona bowiem na usunięcie wielu słabości tychże, związanych np. z koniecznością arbitralnego decydowania o dopasowaniu trendu, niezbędnego dla wyliczenia wykładnika Hursta dla średnich skal, tu bowiem wykładnik ten *explicite* zależy od skali. Przede wszystkim jednak, co autor wykazuje w drugiej części pracy, opracowana metoda jest skuteczna i płodna w zastosowaniach medycznych. Oczywiście, sama metoda może znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie przebiegi czasowe wykazują charakterystyki (multi)fraktalne, a więc np. w ekonomii, o czym autor pisze wspominając o oddźwięku jakim cieszy się jego stosunkowo niedawno opublikowana praca, w której po raz pierwszy przedstawiono omawianą metodę.

Druga część pracy (rozdział 5) poświęcona jest, przede wszystkim, zastosowaniom opracowanej metody do danych klinicznych dotyczących porównania własności rytmu serca u osób zdrowych i dotkniętych różnymi chorobami serca, rozwoju układu regulacji rytmu serca u płodu oraz analizie wpływu fazy snu na fraktalne własności rytmu serca.

Autor ze współpracownikami opracował metody efektywnej analizy własności powierzchni Hursta, co pozwoliło mu na pokazanie, iż powierzchnie te mają, średnio, inne własności w wypadku osób zdrowych i chorych, a ponadto różnym, wybranym schorzeniom serca odpowiadają powierzchnie Hursta o innych własnościach charakterystycznych. Kryteria pozwalające na stwierdzenie występowania takich różnic i ich opisywanie są stosunkowo łatwe do zastosowania i, w dodatku, przetłumaczalne na cechy jakościowe, łatwe do opisu w praktycznym stosowaniu. Obserwowane charakterystyczne cechy powierzchni Hursta zostały stwierdzone w wyniku analizy stosunkowo dużych zbiorów danych klinicznych, co daje wnioskowi solidną podstawę. Dalsze badania mogą sprawić, że zaobserwowane cechy charakterystyczne powierzchni Hursta mogą być wykorzystywane w diagnostyce konkretnych przypadków. Autor, mniej lub bardziej *explicite*, wyraża taką nadzieję, jednak słusznie pozostaje tu bardzo ostrożny i zwraca uwagę na potrzebę dalszych badań na podstawie większych zbiorów danych.

