

Akademia Górniczo-Hutnicza  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii  
Biomedycznej  
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej



Autoreferat rozprawy doktorskiej

**KODOWANIE INFORMACJI DODATKOWYCH W STRUKTURZE  
CYFROWEGO ELEKTROKARDIOGRAMU**

Mgr inż. Agnieszka Świerkosz

Promotor:  
Prof. zw. dr hab. inż. Piotr Augustyniak

Kraków 2018

## 1. Wstęp

Kodowanie informacji w systemach transmisji i archiwizacji jest przedmiotem badań od wielu lat. Jego celem są zwykle: kompresja danych, zwiększenie odporności na zakłócenia oraz ochrona przed nieuprawnionym dostępem. W tym ostatnim zastosowaniu używane są techniki kryptograficzne, wykorzystujące szyfrowanie informacji oraz steganograficzne polegające na ukrywaniu istnienia informacji. Wbrew przyrostkowi '*grafia*', nośnikami informacji poufnej są nie tylko obrazy, ale również sygnały, w tym sygnały pochodzenia biologicznego. Kilka doniesień naukowych porusza tematykę wykorzystania zapisu elektrokardiograficznego jako nośnika informacji dodatkowych (metrykalnych, fizjologicznych lub środowiskowych).

Niniejsza rozprawa dotyczy ukrywania (steganografii) informacji dodatkowych w sygnale EKG. Autorka prezentuje analizę obecnego stanu wiedzy, własne propozycje algorytmów steganograficznych oraz wyniki ich testów. Badania kardiologiczne przeważnie wykonywane są w szpitalach i klinikach, w ustalonych warunkach, przez wykwalifikowany personel medyczny. Coraz częściej, dzięki rozwojowi telemedycyny oraz zminiaturyzowaniu i uproszczeniu sprzętu elektrokardiologicznego, można te pomiary wykonywać w domu. Tu rodzi się potrzeba poprawy kontroli warunków pomiaru. Można to osiągnąć między innymi poprzez:

- 1) identyfikację i eliminację czynników zakłócających,
- 2) interpretację składników elektrokardiogramu związanych z podstawową aktywnością elektryczną serca w kontekście aktywności i środowiska osoby badanej.

Podjmując badania Autorka założyła następującą tezę:

**W reprezentacji czasowo-częstotliwościowej sygnału EKG można wskazać obszary niewykorzystane przez składniki kardiogenne, które mogłyby być użyte do ukrycia informacji dodatkowych bez wpływu na jego zawartość diagnostyczną.**

Teza ta mówi, że dodatkowe informacje diagnostyczne lub administracyjne mogą być dołączone do struktury elektrokardiogramu cyfrowego nie zakłócając jego podstawowych informacji diagnostycznych. Celem przeprowadzonych badań jest zaproponowanie reguł kodowania, wdrożenie przykładowej procedury testowania oraz poznanie charakterystyki tego procesu dla różnych parametrów: sposobu dekompozycji sygnału nośnika (tzn. EKG),

gęstości strumienia i rodzaju danych dodatkowych. W konkluzji Autorka przedstawia uzasadnienie wyboru parametrów kodowania, przy których informacje diagnostyczne pozostają niezmienione i oszacowanie wpływu przekroczenia tych granic.

## **2. Przegląd stanu wiedzy**

Steganografia jest metodą utajniania informacji, w której zakodowany np. obraz może być przykryty inną, nieznaczącą treścią, aby odwrócić uwagę od sekretu i ukryć jego istnienie. Metody steganograficzne są na tyle skuteczne, że postronny odbiorca nie domyśla się, że pod jawną treścią nośnika skrywana jest tajemnica. Informacja dołączona jest w taki sposób, aby jawny obraz nie zdradzał, iż może zawierać zakodowany tekst lub inne treści dodatkowe. W przypadku steganografii z użyciem EKG, postronny odbiorca nie odróżni sygnału oryginalnego od nośnika z zakodowaną informacją i będzie w stanie przeprowadzić pełnowartościową i jednoznaczną interpretację każdego z nich nie domyślając się, iż poza sygnałem EKG, cyfrowy zapis kryje możliwość odkodowania z niego jeszcze jakichkolwiek innych informacji dodatkowych. Nośnik z zakodowaną informacją nie jest identyczny z sygnałem oryginalnym, ale pozostaje z nim jednoznaczny z punktu widzenia interpretacji zarówno wizualnej jak i maszynowej.

Autorka tej pracy doktorskiej poświęciła publikację sekretnemu, progowemu podziałowi obrazów, czyli kodowaniu informacji w obrazach [Świerkosz A., 2016a]. Napisała również kilka prac dotyczących modelowania w inżynierii biomedycznej [Świerkosz A., 2015] [Holewa K. i in., 2015]. Ostatnimi opracowaniami Autorki były projekty kodowania informacji w cyfrowym elektrokardiogramie opublikowane jako materiały konferencyjne [Augustyniak P. i Świerkosz A., 2015], [Świerkosz A., 2016b], [Świerkosz A., 2016c], [Świerkosz A., 2017]. Wyżej wymienione prace są ściśle związane z rozprawą i zawierają częściowe rezultaty prac badawczych przedstawionych w rozprawie.

## **3. Materiały i narzędzia**

Korelacja (współzależność cech) określa wzajemne powiązania pomiędzy wybranymi zmiennymi. Pozwala na porównanie sygnału z przebiegiem odniesienia (wzorcem). Redukuje wpływ składowych losowych oraz pomaga wykryć składowe sygnału podobne do wzorca [Podstawy teorii sygnałów-splot i korelacja].

Do wykonania eksperymentu opisanego w tej pracy zastosowano dyskretną transformację falkową (ang. *Discrete Wavelet Transform*, DWT). Jej opis wymaga wprowadzenia pojęcia falek, które to według słownika języka polskiego [Słownik języka

polskiego-falki] są rodziną funkcji i każda z nich wyprowadzana jest z funkcji macierzystej za pomocą przesunięcia i skalowania. Falki mają zastosowanie w analizie i przetwarzaniu sygnałów cyfrowych [Słownik języka polskiego-falki]. Falki stosuje się przy analizie reprezentowanych przez sygnały procesach przejściowych [Białasiewicz J. T., 2000].

Aby oprogramowanie mogło zyskać nazwę 'oprogramowania do interpretacji EKG' lub urządzenie, którego jest częścią - nazwę 'elektrokardiografu z interpretacją' niedokładności średnie dla 96% spośród 100 plików testowych nie mogą przekroczyć wartości progowych. Dopuszczalne odchyłki zaprezentowano w tabeli 1. [Norma IEC].

Tabela 1. Dopuszczalne średnie różnice i odchylenia standardowe dla globalnych czasów trwania załamków i odstępów dla zapisów biologicznych [norma IEC].

<b>Pomiar globalny</b>	<b>Dopuszczalna średnia różnica</b>	<b>Dopuszczalne odchylenie standardowe</b>
Załamek P	±10	15
Interwał PQ	±10	10
Zespół QRS	±10	10
Interwał QT	±25	30

#### 4. Falkowy schemat steganografii w EKG

Ukryta wiadomość jest całkowicie osadzana we współczynniki reprezentacji czasowo-skalowej w najwyższej (pierwszej) skali poza odcinkiem zawierającym zespół QRS. Druga skala (w której czasowa rozpiętość współczynników jest dwukrotnie większa niż w pierwszej) jest następnie używana dla warstwy opisu danych. To umożliwia identyfikację wiadomości i przechowywanie trzech deskryptorów kontenera danych: położenia początku kontenera względem położenia maksimum załamka R (6 bitów), długości kontenera (9 bitów) i identyfikatora głębi bitowej kodowania (3 bity). Zestaw deskryptorów opisujących kontener danych jest poprzedzony wzorcem autoryzacji dostępu (do 12 bitów) tworzącym odpowiednią sekcję kluczową. Tak skomponowany ciąg identyfikacyjny jest zakodowany za pomocą prostej metody LSB we współczynniki drugiej skali reprezentacji czasowo-skalowej elektrokardiogramu i zajmuje 30 kolejnych próbek (tj. 240 ms przy 500 Hz). Ciąg identyfikacyjny rozpoczyna się od próbki położonej w określonej odległości R-to-Key (RK) od szczytu załamka R (rys. 2.9) [Augustyniak P., 2014].

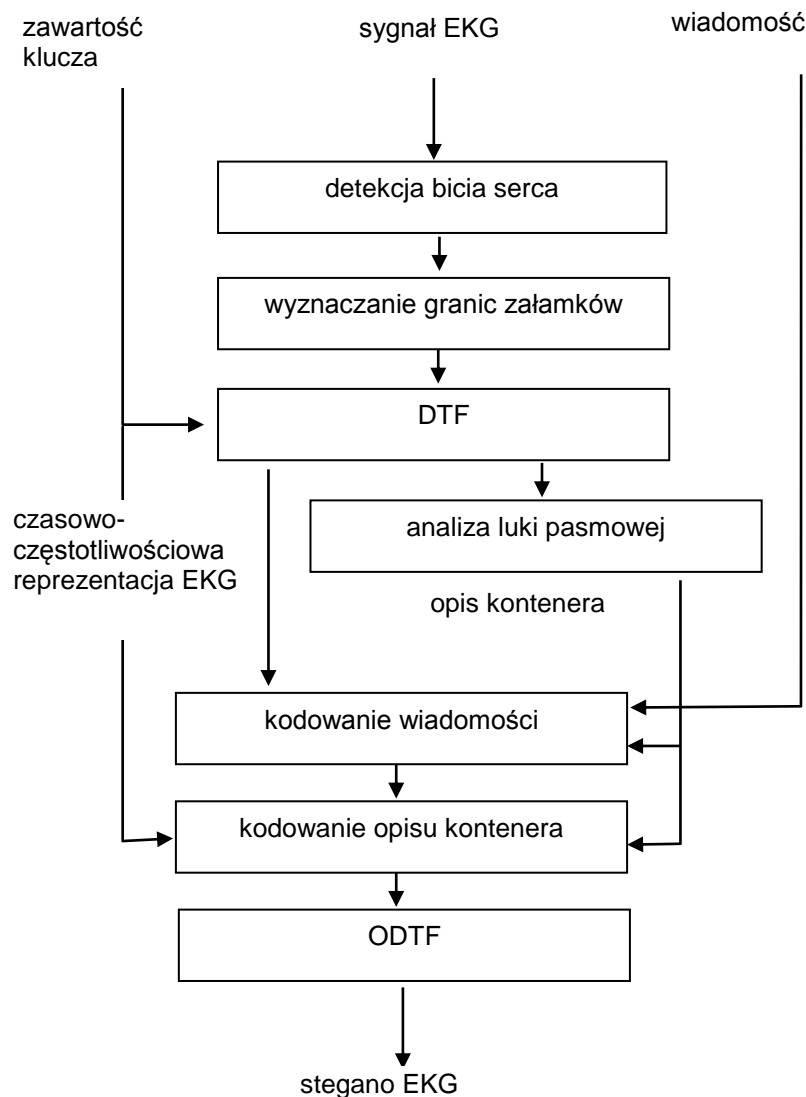
Jak sugeruje termin, klucz jest podstawowym elementem w osadzaniu ukrytej wiadomości w elektrokardiogramie. Aby zwiększyć ochronę danych, zastosowano trzeci

system ochrony zgodnie z Kluczową Klasyfikacją Schematów Steganograficznych. W związku z tym klucz składa się z trzech sekcji o następujących funkcjach:

- specyfikacja użytej falki,
- specyfikacja odległości RK,
- wzorzec autoryzacji dostępu [Augustyniak P., 2014].

## 5. Eksperymentalna ocena schematu kodowania

Zaproponowany schemat seganografii z wykorzystaniem sygnału EKG jako nośnika został zaimplementowany w środowisku Matlab i zweryfikowany na drodze eksperymentalnej z użyciem standardowych zapisów wieloodprowadzeniowych z bazy CSE. Poniższy rysunek przedstawia schemat działania przy kodowaniu informacji w EKG.



Rys. 5.1. Schemat blokowy schematu przetwarzania dodatkowego kodowania wiadomości cyfrowych [Augustyniak P., 2012]

## 5. Wyniki eksperymentu i podsumowanie

Teza dotycząca tego, że dodatkowe informacje diagnostyczne lub administracyjne mogą być dołączone do struktury cyfrowego elektrokardiogramu w sposób nie zniekształcający informacji diagnostycznej została udowodniona. Co prawda były przypadki, kiedy to zakodowana wiadomość mogła wpłynąć na zawartość diagnostyczną, ale zostały one zidentyfikowane i wyjaśnione. Wśród czynników mających wpływ na jakość nośnika EKG z zakodowanym znakiem wodnym można wyróżnić:

- Głębokość bitową kodowania informacji dodatkowej; gdy zastosowano głębokość bitową powyżej 3 bitów na próbkę, statystyka wartości informacji dodatkowej przypominała statystykę szumu i zniekształcenia praktycznie nie występowały.
- Rodzaj informacji; zakładając hipotezę o braku istotnej statystycznie różnicy odchyłek podczas kodowania ciągu znaków tekstowych i numerycznych sporadycznie otrzymywano podstawy do jej odrzucenia, a praktycznie nie dostrzega się różnicy.
- Zawartość elektrokardiogramu; w niektórych przypadkach dla niektórych sygnałów EKG wartość diagnostyczna zakodowanej informacji jest gorsza a w niektórych przypadkach pozostaje bardzo dobra.

Zasadnicze osiągnięcie naukowe przeprowadzonych prac polega na:

- zaproponowaniu metody kodowania informacji dodatkowej w postaci znaku wodnego w strukturze cyfrowego elektrokardiogramu w dziedzinie czasowo-skalowej z użyciem różnych baz dekompozycji,
- zaproponowanie metody projektowania i opisu kontenerów danych oraz zależności ich parametrów od lokalnych własności elektrokardiogramu nośnika,
- weryfikacja zaproponowanej metody z użyciem przemysłowego standardu jakości stosowanego dla automatycznej diagnostyki elektrokardiograficznej (IEC60601-2-51),
- analiza statystyczna wyników eksperymentu numerycznego i sformułowanie wniosków dotyczących zakresu stosowalności proponowanej metody.

Ponadto, niniejsza praca doktorska oprócz badań przeprowadzonych przez Autorkę, zawiera również przegląd publikacji dotyczących tematu kodowania informacji w EKG. Są tu opisane metody kodowania, jak również narzędzia matematyczne, bazy danych z których można pobrać sygnał EKG jak również część informacji dotyczących telemedycyny.

## Literatura

[**Augustyniak P., 2012**] Augustyniak P.: Analysis of ECG bandwidth gap as a possible carrier for supplementary digital data. Proceedings of the 39th Computing in Cardiology conference pp. 73-76, 2012.

[**Augustyniak P., 2014**] Augustyniak P.: Encoding the electrocardiogram details in the host record's bandgap for authorization-dependent ECG quality. Computing in Cardiology, vol. 41, 465-468, 2014.

[**Augustyniak P. i Świerkosz A., 2015**] Augustyniak P. i Świerkosz A.: Kodowanie informacji dodatkowych w strukturze cyfrowego elektrokardiogramu - projekt metody [Appending auxiliary information within the digital ECG structure - concept of method]. Warszawa: Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna : XIX krajowa konferencja naukowa; s.21, 2015.

[**Białasiewicz J. T., 2000**] Białasiewicz J. T.: Falki i aproksymacje. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2000.

[**Holewa K. i in., 2015**] Holewa K., Izworski A., Łatas W., Nawrocka A., Orzechowski T. S., Pachana T., Panek D., Stojek J., Świerkosz A., Wesół J.: Wybrane zagadnienia analizy sygnałów, modelowania i sterowania w układach mechanicznych i biomechanicznych. Monografie Katedry Automatykacji Procesów AGH w Krakowie, 2015.

[**Świerkosz A., 2015**] Świerkosz A.: Modeling of metabolic diseases – a review of selected methods. Bio-Algorithms and Med-Systems (Print), vol. 11 iss. 4, s. 205–209, 2015.

[**Świerkosz A., 2016a**] Świerkosz A.: Digital watermarking in telemedicine an example from ECG – review of challenges, methods and applications. Innovations in biomedical engineering, Switzerland : Springer International Publishing; s. 248–255, 2016.

[**Świerkosz A., 2016b**] Świerkosz A.: Charakterystyka wybranych technik ukrywania obrazu. Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, t. 6 nr 4, s. 43–48, 2016.

[**Świerkosz A., 2016c**] Świerkosz A.: Charakterystyka wybranych technik ukrywania obrazu [Characteristic of selected image hiding techniques]. Lublin: WD 2016 : Warsztaty Doktoranckie : New Technologies & Their applications : innovation strategy : konferencja naukowa s.212–213, 2016.

[**Świerkosz A., 2017**] Świerkosz A.: Information coding and decoding using Discrete Wavelet transform. Kraków: 20-th Polish conference on Biocybernetics and biomedical engineering : with the honorary patronage of His Magnificence Rector of the University of Science and Technology, prof. Tadeusz Słomka, abstract book s. 33, 2017.

[**Norma IEC**] International Standards, IEC 60601-2-51: Medical electrical equipment- Part 2-51: Particular requirements for safety, including essential performance, of recording and analyzing single channel and multichannel electrocardiographs. IEC 2003.

[**Słownik języka polskiego-falki**] <https://sjp.pl/falki>