

Estymator jakości sygnału EKG oparty na ważonych istotnością różnicach parametrów diagnostycznych

Estimate of the ECG signal quality based on relevance-weighted differences of diagnostic parameters

Piotr Augustyniak

Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. +48 (0) 12 617 47 12, e-mail: august@agh.edu.pl

Streszczenie

Jakość sygnału elektrofizjologicznego ma fundamentalne znaczenie dla poprawnej diagnostyki. W przeszłości często stosowane algorytmy kompresji sygnału EKG prowadziły do tak znacznych zniekształceń, że zakazano stosowania kompresji w badaniach klinicznych. Obecnie metody te są znacznie udoskonalone, ale wciąż brak obiektywnej oceny wprowadzanych zakłóceń. Prezentowany artykuł przedstawia propozycję współczynnika oceny jakości sygnału na podstawie różnic pomiędzy rezultatami przetwarzania sygnału oryginalnego i zmodyfikowanego, ważonych przez wartość istotności diagnostycznej każdego parametru w zależności od stanu chorego. Pomysł ten naśladuje postępowanie kardiologa, który w zależności od hipotezy diagnostycznej zwraca szczególną uwagę na pewne wybrane parametry. Wartości tych parametrów powinny być dokładnie wyliczane.

Słowa kluczowe: zniekształcenia sygnału, kompresja sygnału, elektrokardiogram, rezultat diagnostyczny, czynnik ludzki

Abstract

The quality of electrophysiological signal is of primary importance for proper diagnosis. Early ECG compression algorithms led to considerable distortions, in consequence the compression was not accepted in clinical practice. Currently, compression methods have been significantly improved, however the objective method of distortion assessment has not been proposed. This paper presents new approach to ECG signal analysis based on differences between diagnostic parameters calculated from original and modified signal. These differences are weighted by the value of normalized relevance, reflecting also the patient status. This idea follows cardiologist preferences, since – depending on the diagnostic hypothesis – the physician considers certain parameters as most important. These values, considered as the most relevant, should be calculated most accurately.

Keywords: signal distortion, data compression, ECG, diagnostic result, human factor

Wstęp

Ocena jakości diagnostyki kardiologicznej nabiera szczególnego znaczenia wraz z popularyzacją urządzeń diagnostycznych, zwłaszcza telediagnostycznych, wyposażonych w funkcję automatycznej interpretacji zapisu. Przywiązywanie coraz większej wagi do praw pacjenta, pociąga za sobą także konieczność standaryzacji i stałego nadzoru procedur klinicznych oraz aparatury wykorzystywanej przez lekarza.

Dotychczasowe rozwiązania i zalecenia międzynarodowe [1] dotyczące jakości sygnału i parametrów diagnostycznych EKG opierają się na dwóch zasadach: minimalnej wartości zniekształceń sygnału wyrażonej wartością współczynnika odchyłki średniokwadratowej (ang. *Percent Root-mean-square Difference*, PRD, równanie 1), oraz maksymalnej zgodności parametrów diagnostycznych (w tym szczególnie długości załamków) z wartościami średnimi referencyjnej bazy danych uznanej za „złoty standard” [2, 3].

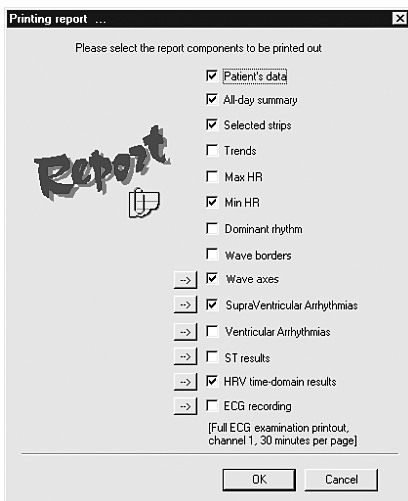
$$PRD = \sqrt{\frac{s_x - s_o}{s_o}} \cdot 100\% \quad 1)$$

Wartość odchyłki średniokwadratowej jest powszechnie wykorzystywana, pomimo dość oczywistej wady, jaką jest jednakowe traktowanie wszystkich próbek sygnału. W konsekwencji, jak wykazano w [4], możliwe jest uzyskanie całkiem poprawnej diagnozy na podstawie sygnału znacznie zniekształconego, podczas gdy zniekształcenia opisane nawet niewielkimi wartościami współczynnika PRD mogą prowadzić do istotnych zmian rezultatów diagnostycznych. Także referencyjna baza danych spełnia swoją funkcję w ocenie jakości algorytmów przetwarzania EKG w obecnie niewystarczającym zakresie, ponieważ zawiera „statyczne” przykłady patologii. W sytuacji gdy dokonuje się długoczasowych rejestracji, a proces interpretacji EKG jest personalizowany, właściwe byłoby zastosowanie wzorców zarejestrowanych w czasie zmian czynności elektrycznej serca.

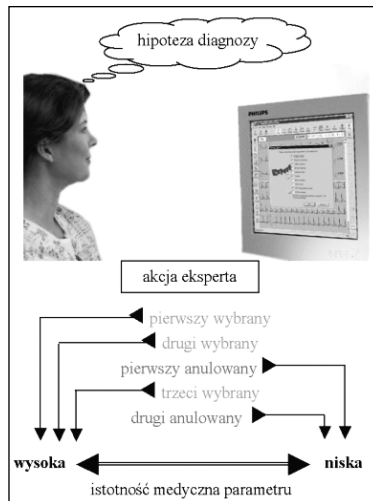
W ostatnim piętnastoleciu przedstawiono różne propozycje poprawy oceny jakości sygnału EKG, z czego na uwagę zasługują trzy prace:

- Takahashi w [5] zwrócił uwagę, że jakość sygnału EKG dobrze jest oceniać nie z punktu widzenia odchyłek sygnału, ale z punktu widzenia odchyłek parametrów diagnostycznych, wynikłych z interpretacji zniekształconego sygnału,
- Zigel w [6] zaproponował obliczanie 18 parametrów diagnostycznych i uwzględnienie ich z arbitralnie dobranymi współczynnikami wagowymi do wyliczenia ważonego diagnostycznego współczynnika zniekształceń (ang. *Weighted Diagnostic Difference*, WDD)
- Augustyniak w pracy [7] proponuje dokonanie identyfikacji załamków w sygnale i przypisanie poszczególnym odcinkom atrybutu lokalnej istotności sygnału, który zostanie użyty do wyliczenia wskaźnika podobnego do PRD.

Prace podjęte w Laboratorium Biocybernetyki AGH i będąca ich rezultatem propozycja nowego estymatora jakości sygnału EKG jest oparta na wymienionych powyżej publikacjach i uwzględnia najnowsze wyniki badań dotyczących istotności parametrów diagnostycznych w uzależnieniu od stanu pacjenta [8]. Uwzględnienie zmiennych oczekiwań lekarza w zależności od hipotezy diagnostycznej jest oryginalnym rozwiązaniem o nowatorskim charakterze.



Rys. 1 Przykładowy ekran wyboru zawartości raportu końcowego. Kolejność elementów raportu i ich początkowy stan zaznaczenia są ustawiane losowo, co zmusza uczestnika eksperymentu do aktywnego wyboru



Rys. 2 Schemat postępowania uczestnika eksperymentu i dokonywana interpretacja istotności parametrów diagnostycznych

kację, polegającą na wyświetlaniu ekranu wyboru składowych części raportu końcowego w przypadkowej kolejności i z losowo zaznaczonymi polami wyboru (rys. 1).

W pierwszej kolejności obserwowany lekarz poszukiwał najważniejszej części raportu i zaznaczał wybór, w następnej kolejności zaznaczane lub odznaczane były informacje o malejącej istotności diagnostycznej. Wybrane elementy pojawiały się w końcowym raporcie w kolejności zaznaczenia (rys. 2). Zaznaczenie każdego z elementów powodowało przyrost wskaźnika kosztu, którego wartość końcowa była limitowana, uniemożliwiając zaznaczenie wszystkich opcji i powodując wybór elementów najistotniejszych. W niezależnej bazie danych, niedostępnej dla użytkownika systemu, rejestrowane były wybrane elementy według kolejności zaznaczenia i końcowa diagnoza lekarska.

W opisany sposób przeprowadzono ankietę 1730 przypadków analizy EKG, co pozwoliło śledzić wybór kardiologa w 12 najczęściej spotykanych jednostkach chorobowych w 16 do 323 przypadków, co uprawnia do wnioskowania statystycznego (tabela 1). Otrzymał ponadto zapisy 17 innych patologii, jednak ich występowanie w populacji, którą diagnozowali obserwowani lekarze było zbyt rzadkie dla potrzeb generalizacji wniosków.

Materiały i metody

Pojęcie istotności parametrów diagnostycznych elektrokardiogramu jest stosowane w odniesieniu do doświadczenia lekarza kardiologa, który w zależności od stanu pacjenta zwraca uwagę na wybrane parametry diagnostyczne dostarczone przez system automatycznej interpretacji. Podczas realizacji badań opisanych w [8] powstał pomysł, aby wiedzę tę usystematyzować i przedstawić w postaci hierarchii parametrów wyznaczonych w atrybut współczynnika istotności. Przeprowadzenie ankiety jawnej wprowadza trudne do zaakceptowania obciążenie procesu pomiarowego, ponieważ kardiolog, którego zachowanie jest przedmiotem pomiaru, byłby dodatkowo obciążony procesami związanymi ze zrozumieniem pytań i formułowaniem odpowiedzi. Zdecydowano się zatem na zastosowanie ankiety ukrytej jako metody pozyskiwania informacji o postępowaniu kardiologa, a osoby badane nie były uprzedzane, że ich postępowanie jest monitorowane przez oprogramowanie. Przedmiotem monitorowania były czynności związane z formatowaniem raportu końcowego w badaniu holterowskim. Podczas testowania oprogramowania komercyjnego w uzgodnieniu z producentem wprowadzono modyfikację,

Tabela 1 Hierarchia parametrów diagnostycznych EKG dla poszczególnych patologii (fragment, cała tabela zawiera 22 kolumny)

Diagnoza	Częstość akcji serca	Ośrodek bódco-twórczy	Odstęp PQ	Położenie osi QRS
rytm zatokowy miarowy	0.15	0.25	0.12	0.15
tachycardia zatokowa	0.55	0.25	0.10	0.13
bradycardia zatokowa	0.57	0.23	0.10	0.13
prawdopodobny blok AV	0.23	0.17	0.27	0.18
przedwczesne uderzenia komorowe	0.27	0.61	0.07	0.05
trzępotanie przedsionków	0.35	0.08	n. a.	0.06
defekt przewodzenia AV	0.19	0.13	0.39	0.21
zawał mięśnia sercowego	0.15	0.12	0.14	0.28
powiększenie przedsionków	0.12	0.02	0.15	0.02
przerost komory	0.03	0.07	0.05	0.31
blok lewej odnogi pęczka Hisa	0.11	0.18	0.21	0.34
blok prawej odnogi pęczka Hisa	0.08	0.17	0.21	0.28

Rezultaty

Ponieważ wartości atrybutów parametrów diagnostycznych są znormalizowane i sumują się do jedności, mogą zostać użyte jako współczynniki wagowe przy obliczaniu GD, proponowanego estymatora jakości sygnału EKG (2).

$$GD = \sum_{n=1}^{22} w_n \cdot |p_n - r_n| \quad (2)$$

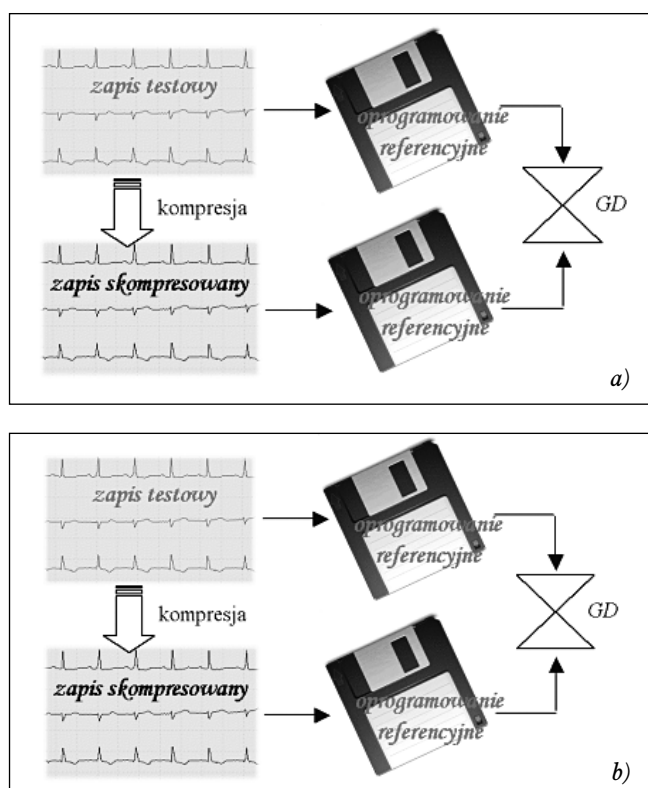
gdzie n jest numerem parametru diagnostycznego (kolumny tabeli 1), w_n oznacza współczynnik wagowy z tabeli 1, p_n oznacza bieżącą wartość parametru n , a r_n oznacza referencyjną wartość tego parametru.

Zastosowanie estymatora jakości sygnału EKG do oceny metod kompresji sygnału jest możliwe, chociaż do pełnego wykorzystania jego zalet wymagane jest wstępne automatyczne oszacowanie stanu pacjenta na podstawie sygnału, w celu zastosowania odpowiednich współczynników wagowych. Inżynier opracowujący nowe algorytmy

sygnału EKG może łatwo stwierdzić w przypadku jakich diagnoz informacja medyczna jest najbardziej narażona na zniekształcenie (rys. 3a).

Zaproponowany estymator jakości może być pomocny także przy rozwijaniu nowych wersji oprogramowania do automatycznej interpretacji EKG. Oprogramowanie takie dostarcza zwykle wiele parametrów, które w przypadku braku hierarchii traktowane są równoprawnie, co zakłóca ocenę procedur zwłaszcza wtedy, gdy znaczne błędy interpretacji występują dla najmniej istotnych parametrów (rys. 3b).

Innym przykładem zastosowań może być ocena jakości parametrów diagnostycznych w przypadku systemów z adaptacyjnym oprogramowaniem. Systemy takie, obecnie projektowane, działają w oparciu o kompromis pomiędzy jakością rezultatu a zapotrze-



Rys. 3 Wykorzystanie estymatora jakości sygnału EKG podczas testowania: a) algorytmu kompresji, b) oprogramowania do interpretacji EKG

bowaniem na zasoby sprzętowe (w tym moc obliczeniową). Zatem ocena jakości rezultatu diagnostycznego przeprowadzana w sposób ciągły z uwzględnieniem bieżącego stanu pacjenta jest podstawą automatycznej modyfikacji oprogramowania interpretującego zapis [9].

Dyskusja

Zaproponowany współczynnik jakości sygnału może służyć zarówno do oceny zmian sygnału np. spowodowanych kompresją z użyciem danego algorytmu interpretacji, jak i do oceny algorytmów interpretacji przy użyciu danego sygnału.

Niedogodnością zmniejszającą użyteczność zaproponowanego współczynnika jakości jest konieczność wykonania

całego procesu interpretacji, co zwiększa złożoność obliczeniową. Dodatkowo, jeśli spodziewana jest powtarzalność otrzymywanych rezultatów, wymagane jest użycie standaryzowanej (np. publicznie dostępnej) procedury interpretacji.

Niewątpliwą zaletą nowego współczynnika jakości sygnału jest uwzględnienie stanu pacjenta. Jest to analogiczne do postępowania lekarza; w wybranych aspektach diagnostyki określony sygnał może być zadowalającej jakości, podczas gdy w innych jest już niewystarczający. ■

**Praca naukowa
finansowana ze środków umowy AGH
nr 11.11.120.612**

Literatura

1. IEC 60601-2-51: *Medical electrical equipment: Particular requirements for the safety, including essential performance, of ambulatory electrocardiographic systems*, 2003.
2. J.L. Willems, P. Arnaud, J.H. van Bommel i in.: *Assessment of the performance of electrocardiographic computer programs with the use of a reference database*, *Circulation* 71: 1985, s. 523-534.
3. The CSE Working Party: *Recommendations for measurement standards in quantitative electrocardiography*, *Eur. Heart J.* 6: 1985, s. 815-825.
4. Y. Zigel, A. Cohen: *On the optimal distortion measure for ECG compression*, *Proc. of European Medical & Biological Engineering Conference* 1999.
5. K. Takahashi, S. Takeuchi, N. Ohsawa: *Performance evaluation of ECG compression algorithms by reconstruction error and diagnostic response*, *IEICE Trans. Inf. and Sys.*, E76-D (12), 1993, s. 1404-1410.
6. Y. Zigel, A. Cohen, A. Katz: *A diagnostic meaningful distortion measure for ECG compression*. *Proc. 19th Conv. of Electrical & Electronic Eng. in Israel*, 1996, s. 117-120.
7. P. Augustyniak: *Fizjologiczny estymator zniekształceń elektrokardiogramów*, w materiałach V Krajowej Konferencji Modelowanie Cybernetyczne Systemów Biologicznych, Kraków, 18-20.05.2000, s. 209-213.
8. P. Augustyniak: *Ekstrakcja wiedzy kardiologa metodą ukrytej ankiety*, w materiałach XV Krajowej Konferencji Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna (wydanie CD) 2007.
9. P. Augustyniak: *Reliability-Based Rearrangement of ECG Automated Interpretation Chain*, *The Anatolian Journal of Cardiology*, July 2007: 7 Suppl 1; s. 148-152.

otrzymano / received: 01.09.2008 r.
zaakceptowano / accepted: 17.09.2008 r.