

Piotr Augustyniak*

Optimalizacja wyboru reprezentacji zespołów skurczowych dla celów klasyfikacji zapisów holterowskich

Klasyfikacja reprezentacji zespołów QRS wydaje się być interesującą alternatywą dla klasyfikacji prowadzonej w oparciu o wycinki sygnałów. Redukcja informacji prowadzi do znacznego zmniejszenia zajętości pamięci i przyspieszenia obliczeń. Jednak prawidłowy wybór współczynników kształtu, tj. wielkości stanowiących reprezentacje zespołów QRS jest rzeczą trudną. W szczególności redukcja informacji musi przebiegać w sposób umożliwiający wyraźne rozróżnienie zespołów komorowych i nadkomorowych. Prezentowana praca dotyczy użycia metod statystycznych, a konkretnie testów parametrycznych t do wyboru tej reprezentacji zespołów QRS, która zapewnia rozróżnienie zespołów komorowych i nadkomorowych z najmniejszym prawdopodobieństwem popełnienia pomyłki.

1. WPROWADZENIE

Jednym z założeń systemów 24 godzinnej diagnostyki elektrokardiograficznej (metodą Holtera) jest automatyczne wyodrębnianie i klasyfikacja elektrycznego obrazu skurczu komór (zespołów QRS). Z uwagi na znaczną ilość uderzeń serca w ciągu doby (standardowo: 80000 – 120000) zadanie to wykonywane jest przez maszynę cyfrową za pomocą programu analizującego, którego część zwana detektorem odpowiedzialna jest za identyfikację zespołów QRS, natomiast inna część – klasyfikator dokonuje rozróżnienia typów morfologicznych uderzeń serca, co ma podstawowe znaczenie dla identyfikacji arytmii, a w konsekwencji decyduje o jakości otrzymanej diagnozy.

Niezależnie od stosowanego algorytmu, przedmiotem klasyfikacji mogą być fragmenty sygnału EKG w obrębie zespołów QRS (po odpowiednim przygotowaniu: filtracji, odjęciu trendu i izolacji oraz normalizacji amplitudowej) [11], [13], [2], albo wyliczona na podstawie sygnału **reprezentacja zespołu QRS** [6], [9], [1].

Istotną zaletą metod wykorzystujących reprezentacje zespołów QRS jest mniejsza złożoność obliczeniowa wynikająca z faktu, że reprezentacja posiada zwykle znacznie mniejsze rozmiary (np. 2 bajty/zespół/kanał) niż wycinek sygnału w obrębie zespołu QRS (np. 10-12 bajtów/zespół/kanał). Jak widać, stosowanie reprezentacji zespołów QRS związane jest z redukcją informacji, co pociąga za sobą konieczność wyboru takich cech sygnału, które najlepiej reprezentują różnicę pomiędzy dwoma podstawowymi typami morfologicznymi skurczów serca: zespołami nadkomorowymi (SV) i zespołami komorowymi (VE). Dodatkowym kryterium przydatności konkretnej reprezentacji jest zazwyczaj złożoność obliczeniowa związana z jej uzyskaniem. Wyklucza to m. in. powszechnie stosowane w praktyce klinicznej kryterium czasu trwania zespołu QRS (przyjmuje się zespoły SV < 110 ms, a zespoły VE > 110 ms). Innym, bardziej użytecznym przykładem reprezentacji jest

* Katedra Automatyki AGH, al. Mickiewicza 30, PL-30-059 Kraków e_mail: august@biocyb.ia.agh.edu.pl

współczynnik kształtu wyliczony jako stosunek pola powierzchni do obwodu w obrębie zespołu QRS. Parametr taki, stosunkowo łatwy do wyliczenia zapewnia dość silne rozróżnienie zespołów SV i VE, mając jeszcze i tą zaletę, że nie jest wymagana dokładna synchronizacja wyodrębnionych zespołów QRS. Otwarte jednak pozostaje pytanie czy wybór tak zdefiniowanej reprezentacji zespołu QRS jest optymalny.

2. MATERIAŁY I METODY

Postawiony problem polega na wyborze spośród kilku zaproponowanych reprezentacji zespołów QRS tej, która gwarantuje najlepsze rozróżnienie dwu podstawowych typów morfologicznych skurczów serca: SV i VE. Jako metodę wskazania optymalnej reprezentacji proponujemy testy statystyczne istotności różnic poszczególnych reprezentacji dla zespołów SV i VE wskazanych uprzednio przez kardiologa. Reprezentacja wykazująca największą istotność różnicy zostanie uznana za optymalną.

Do testów wykorzystano arytmiczną bazę danych EKG (MIT-BIH) zawierającą w katalogu podstawowym (Mitdb) 44 półgodzinne zapisy holterowskie wraz z diagnozą morfologii każdego skurczu. Podany w bazie typ morfologiczny (będący wypadkową ankiet 3...5 kardiologów z różnych ośrodków USA) stanowił zmienna grupującą – w przygotowaniu danych pominięto wszystkie zespoły QRS o morfologii innej niż SV lub VE. Zmiennymi zależnymi były kolejne testowane reprezentacje zespołów QRS.

Obróbkę statystyczną wykonano w środowisku STATISTICA 5.1. Program ten oferuje m. in. testy nieparametryczne Kołmogorowa-Smirnowa (Rys. 1), które zastosowano w pierwszej, wstępnej fazie analizy reprezentacji. Jako że wszystkie testowane reprezentacje charakteryzowały się silnym rozdzielaniem zespołów SV i VE ($p < 0.1\%$) stad w celu wyodrębnienia reprezentacji optymalnej zdecydowano o użyciu silniejszego testu parametrycznego t .

Zastosowanie testu t wymagało jednak uprzedniej weryfikacji założenia o tym, że rozkłady wartości reprezentacji w każdej z dwóch podgrup SV i VE w każdej testowanej reprezentacji są rozkładami normalnymi. Dokonano tego za pomocą testu W Shapiro-Wilka przy poziomie istotności 5%. W żadnej z testowanych grup nie stwierdzono istotnej wartości statystyki W (Rys. 2), nie znaleziono także żadnych teoretycznych przesłanek dla innego niż normalny rozkładu wartości reprezentacji.

Przed uruchomieniem testu t dokonano także testu jednorodności wariancji (test Levene'a) w wyniku którego nie stwierdzono żadnych statystycznie istotnych (5%) niejednorodności (Rys. 3). Jest to nieco zaskakujący wniosek, powszechnie znany jest bowiem fakt, że różnorodność kształtów zespołów komorowych (VE) jest znacznie większa niż różnorodność kształtów zespołów nadkomorowych (SV).

Znacznie większa różnorodność kształtów zespołów VE, a więc spodziewany większy rozrzut wartości reprezentacji w tej grupie oraz większa liczebność grupy SV były powodami dla których wybrano wariant testu t z oddzielną oceną wariancji w obu podgrupach. Program STATISTICA wprowadza wtedy korekcję liczby stopni swobody dla zwiększenia dokładności oceny istotności statystycznej.

Sformułowano i przetestowano 50 współczynników kształtu opisujących zespoły QRS [1], po analizie wstępnych rezultatów zdecydowano jednak, że jedynie trzy z nich są przedstawienia:

a) stosunek pola powierzchni do obwodu:

$$h_1 = 10 \frac{\sum_{n=0}^N (|s(n)|)}{\sum_{n=1}^N (|s(n) - s(n-1)|)}$$

b) stosunek maksymalnej prędkości do maksymalnej amplitudy:

$$h_5 = 1000 \frac{\max_{n=2,N} (|s(n) + s(n-2) - 2s(n-1)|)}{\left| \max_{n=2,N} (s(n)) - \min_{n=2,N} (s(n)) \right|}$$

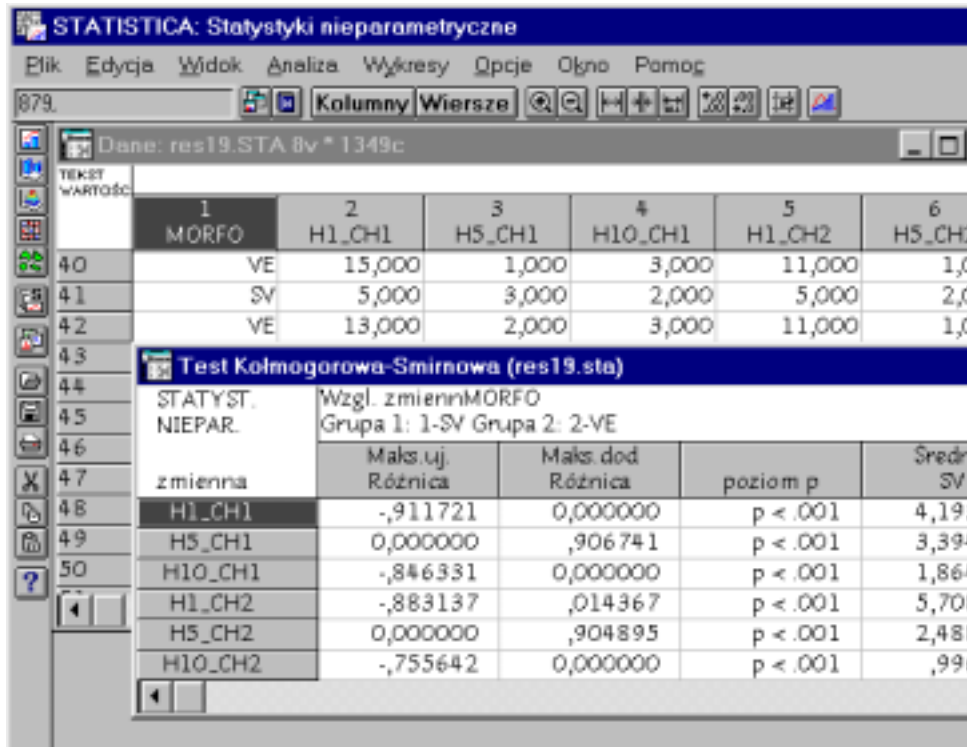
c) ilość próbek, w których prędkość przekracza 40% prędkości maksymalnej:

$$h_{10} = \sum k : |s(k) - s(k-1)| < 0.4 \max_{n=1,N} |s(n) - s(n-1)|$$

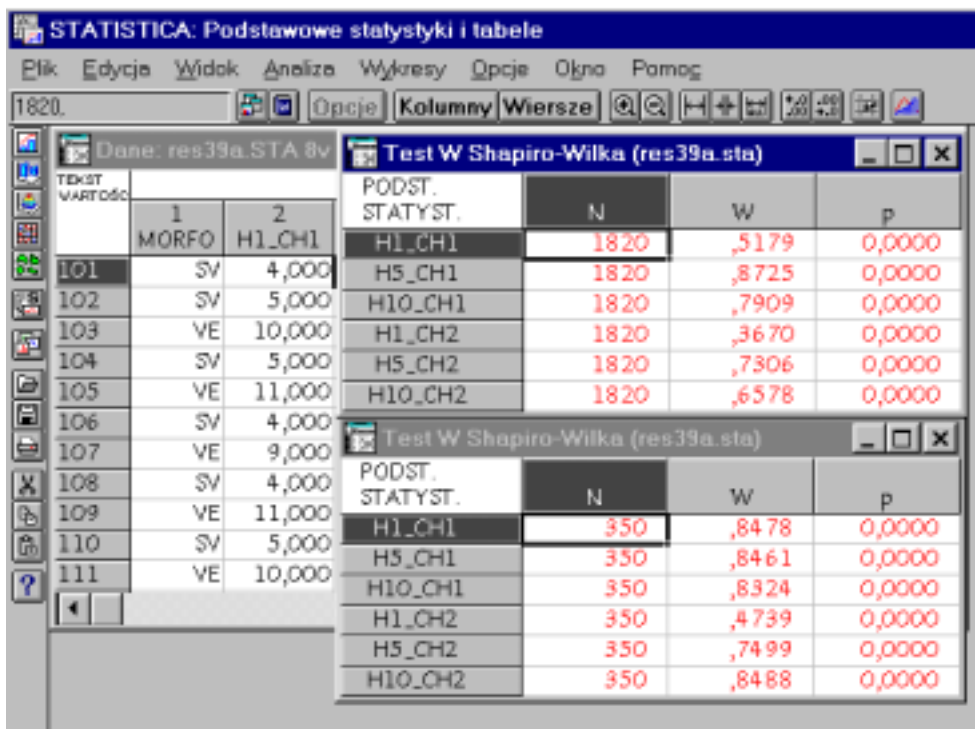
Wszystkie powyższe współczynniki kształtu (reprezentacje zespołów QRS) były obliczane na podstawie fragmentu sygnału rozpoczynającego się 8 próbek (63 ms) przed punktem detekcji, a kończącego się 12 próbek (94 ms) za punktem detekcji. Całkowita długość przedziału wynosiła ok. 157 ms ($N = 20$). Niedokładności położenia punktu detekcji w zakresie +/- 3 próbki (24 ms) nie wpływają w sposób istotny na wartość współczynników kształtu, co jest istotną zaletą proponowanego algorytmu [1]. Dzięki temu mogą być stosowane prostsze i szybsze algorytmy detekcji zespołów QRS.

3. REZULTATY

Jak to zostało stwierdzone w fazie przygotowawczej za pomocą testu nieparametrycznego (Kolmogorowa-Smirnowa) wszystkie testowane reprezentacje cechują się silnym rozdzielaniem morfologii SV i VE. Należy jednak mieć na uwadze, że z punktu widzenia jakości diagnostyki holterowskiej istotną wadą może być pominięcie już nawet tylko jednego (na 100000 w ciągu doby) zespołu komorowego (VE). W przypadku testów parametrycznych t program STATISTICA oprócz wartości statystyki t oblicza także dokładną wartość prawdopodobieństwa p (popęlnienia błędu polegającego na odrzuceniu hipotezy o braku różnic obu testowanych grup). W celu wybrania optymalnej reprezentacji istotne jest więc nie tyle stwierdzenie, że wartość prawdopodobieństwa p nie przekracza pewnego założonego progu, ile znajomość dokładnej wartości tego prawdopodobieństwa. Optymalna reprezentacja zespołów QRS jest charakteryzowana przez minimalną wartość p . Jest to współczynnik kształtu opisujący fragment sygnału EKG w obrębie zespołu QRS w sposób pozwalający rozróżnić zespoły typu SV i VE z najmniejszym prawdopodobieństwem pomyłki (Rys. 4). Dla porównania na rys. 5 przedstawiono ramkowe wykresy rozrzutu wartości reprezentacji H1, H5 i H10 uzyskanych w kanale 1.



Rys. 1. Rezultaty testu Kolmogorowa-Smirnowa dla reprezentacji H1, H5 i H10. Wszystkie testowane reprezentacje wykazują znaczną zdolność separacji zespołów typu SV i VE. Jednocześnie wykazano, że nieparametryczny test K-S jest zbyt słabym testem do wyznaczenia reprezentacji optymalnej



Rys. 2. Rezultaty testu W Shapiro-Wilka dla reprezentacji H1, H5 i H10. Wartości p nie uprawniają do odrzucenia hipotezy, że rozkład wartości reprezentacji jest rozkładem normalnym

STATISTICA: Podstawowe statystyki i tabele

Plik Edycja Widok Analiza Wykresy Opcje Okno Pomoc

.000000001134010888! Opcje Kolumny Wiersze

Dane: res19b.STA 8v * 51c

	1 MORFO	2 H1_CH1	3 H5_CH1	4 H10_CH1	5 H1_CH2	6 H5_CH2
12	VE	13,000	3,000	4,000	11,000	1,000
13	SV	4,000	3,000	2,000	5,000	3,000
14	VE	13,000	2,000	3,000	11,000	1,000

Grupująca: MORFO (res19b.sta)

PODST. STATYST. Grupa 1: SV
Grupa 2: VE

Zmienna	p	N ważnyc SV	N ważnyc VE
H1_CH1	,00000000113	31	19
H5_CH1	,00100943917	31	19
H10_CH1	,00000036732	31	19
H1_CH2	,00001123053	31	19
H5_CH2	,00000000206	31	19
H10_CH2	,00000000061	31	19

Rys. 3. Rezultaty testu Levene'a dla reprezentacji H1, H5 i H10. Wartości p nie uprawniają do odrzucenia hipotezy o jednorodności wariancji

STATISTICA: Podstawowe statystyki i tabele

Plik Edycja Widok Analiza Wykresy Opcje Okno Pomoc

.000000001660197771! Opcje Kolumny Wiersze

Dane: res19b.STA 8v * 51c

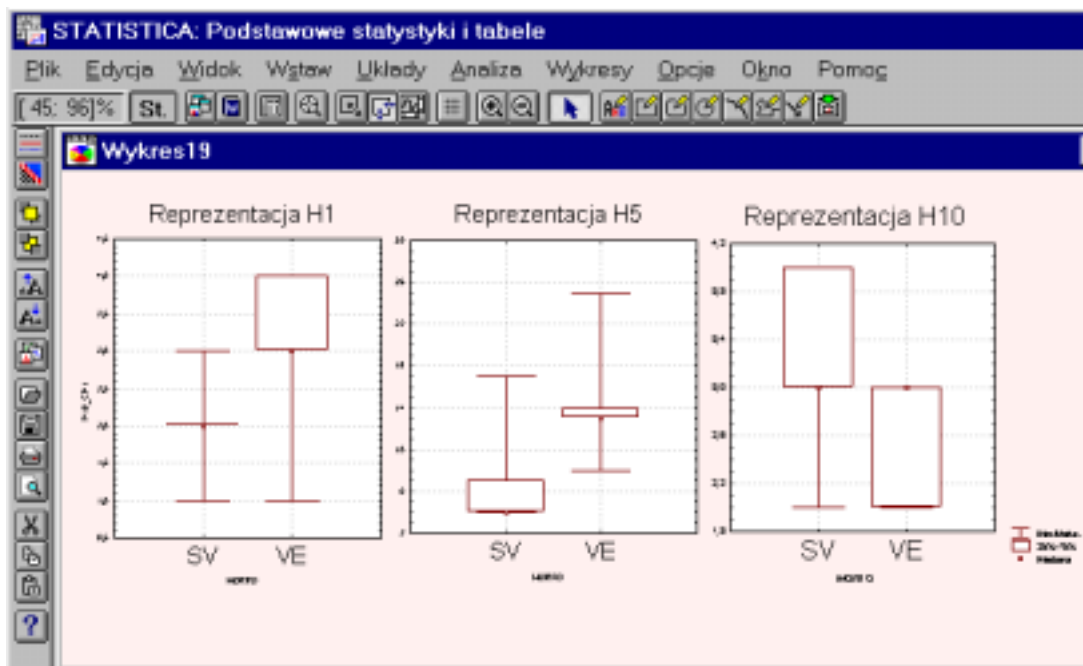
	1 MORFO	2 H1_CH1	3 H5_CH1	4 H10_CH1	5 H1_CH2	6 H5_CH2
12	VE	13,000	3,000	4,000	11,000	1,000
13	SV	4,000	3,000	2,000	5,000	3,000
14	VE	13,000	2,000	3,000	11,000	1,000

Grupująca: MORFO (res19b.sta)

PODST. STATYST. Grupa 1: SV
Grupa 2: VE

Zmienna	p dwustron	N ważnyc SV	N ważnyc VE
H1_CH1	,00000000166	31	19
H5_CH1	,00072573083	31	19
H10_CH1	,00004423310	31	19
H1_CH2	,00000059412	31	19
H5_CH2	,00000000022	31	19
H10_CH2	,00000027855	31	19

Rys. 4. Rezultaty testu t z oddzielną oceną wariancji dla reprezentacji H1, H5 i H10. Wartości p nie uprawniają do odrzucenia hipotezy o istotnej różnicy obu testowanych grup. Jednocześnie, najmniejsza wartość p wskazuje na optymalną reprezentację zespołów QRS



Rys. 5. Wykresy ramkowe rozrzutu wartości reprezentacji H1, H5 i H10 uzyskanych w kanale 1.

Pewną trudność interpretacji sprawia fakt zastosowania reprezentacji H1, H5 i H10 w obu kanałach rejestracji (baza MIT-BIH zawiera dwa współbieżne kanały EKG), przez co uzyskano różne wartości p , a w konsekwencji różne wskazania optymalnej reprezentacji. Wynika to z faktu, że elektryczna reprezentacja zjawiska skurczu komór serca jest zdeterminowana punktem przyłączenia elektrody, a poszczególne cechy morfologiczne sygnału wpływają w odmienny sposób na wartości poszczególnych reprezentacji. Z punktu widzenia elektrofizjologii jest to jeden z czynników uzasadniających wieloodprowadzeniową rejestrację elektrokardiogramu. Propozycja określenia optymalnej reprezentacji dla każdego kanału rejestracji osobno nie wydaje się jednak trafna, z uwagi na wpływ wielu czynników interpersonalnych (np. odmienne ułożenie mięśnia serca u różnych pacjentów), a także stosowanie różnych standardów odprowadzeń rejestrujących.

Wobec faktu, że współczynnik kształtu (reprezentacja) H1 wykazuje niewielkie prawdopodobieństwo p oznaczające najmniejsze ryzyko błędnej klasyfikacji zespołów SV i VE zarówno w kanale 1 jak i 2 (rys. 4) został uznany za **optymalną reprezentację zespołów QRS**.

4. DYSKUSJA

Powyższe rozważania przedstawiają narzędzie statystyczne służące do wyboru optymalnej reprezentacji zespołów QRS. Należy mieć na uwadze, że zbiór algorytmów pozyskiwania reprezentacji jest zbiorem otwartym i jest uzupełniany kolejnymi propozycjami współczynników kształtu w miarę postępu prac badawczych. O wyborze konkretnego algorytmu decyduje oprócz jego skuteczności także szereg innych czynników (np. złożoność obliczeniowa w konkretnej implementacji) nie będących tematem niniejszego opracowania.

Kolejną kwestią jest rozpatrzenie możliwości jednoczesnego użycia kilku (niezależnych) reprezentacji w celu poprawy separacji grup SV i VE, a także wyodrębnienia innych typów morfologicznych skurczów serca (analiza wielowymiarowa). Oczywiście wydaje się, że dodanie kolejnego niezależnego kryterium poprawi parametry klasyfikacji, odbędzie się to jednak kosztem głównej zalety klasyfikacji parametrycznej jaką jest redukcja informacji i wynikająca z niej mniejsza złożoność obliczeniowa, a więc mniejsze wymagania sprzętowe

programu analizy holterowskiej. W przypadku analizy wielowymiarowej problem optymalnego wyboru reprezentacji pozostaje aktualny.

5. PODSUMOWANIE

Do wyboru optymalnej reprezentacji zespołów QRS zastosowano powszechnie znane narzędzie (testy parametryczne), choć może w niecodziennym kontekście. Służy ono do oceny wyników eksperymentu numerycznego polegającego na zastosowaniu różnych metod przetwarzania znanego zbioru sygnałów testowych. Mimo wysiłków autora nie udało się dotąd znaleźć lepszego kryterium uzasadniającego wybór optymalnej reprezentacji zespołów QRS

LITERATURA

- [1]. Augustyniak P. The Use Of Shape Factors For Heart Beats Classification In Holter Recordings. Computers in Medicine Zakopane 2-4.05.97
- [2]. Van Bommel J.H. Recognition of electrocardiographic patterns. In: Handbook of statistics. P. R. Krishnaiah and L.N. Kanal Eds. Amsterdam North Holland 1982 vol. 2, p. 501-526.
- [3]. Bortolan G. Degani R. Pedrycz W. A fuzzy pattern matching technique for diagnostic ECG classification. In Computers in Cardiology K.L. Ripley Ed. Long Beach Calif. IEEE Computer Society 1989. pp. 551-554.
- [4]. Haralick R. M. A measure of circularity of digital figures. IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics. SMC-4, 1974.
- [5]. Lin K. Chang W. QRS feature extraction using linear prediction. IEEE Trans. on Biomedical Engineering vol. 36 N 10, Oct. 1989, pp. 1050-1055.
- [6]. Malinowska K. Ocena stopnia rozwinięcia kształtu przekrojów poprzecznych włókien. Przegląd włókienniczy, nr 4 1975,
- [7]. Mikrut Z. Tadeusiewicz R. Automatyczna wizualna identyfikacja obiektów na zrobotyzowanych stanowiskach pracy. Zeszyty Naukowe AGH Elektrotechnika tom 9, zeszyt 3-4 1990.
- [8]. Moody G. Mark R MIT-BIH arrythmia database directory. Massachusetts Institute of Technology, Biomedical Engineering Center 1988.
- [9]. Sornmo L. Borjesson P. Nygard M. Pahlm O. A method for evaluation of QRS shape features using a mathematical model for the ECG. IEEE Trans. on Biomedical Engineering vol. BME-28, N10, Oct. 1981, pp. 713-717
- [10]. Śluzek A. Zastosowanie metod momentowych do identyfikacji obiektów w cyfrowych systemach wizyjnych. Praca habilitacyjna, Instytut Automatyki Politechniki Warszawskiej, 1989.
- [11]. Talmon J. L. Pattern recognition of the ECG. A structured analysis. PhD Thesis Free University of Amsterdam Utrecht 1983.
- [12]. Trahanias P. Skordalatis E. Bottom up approach to the ECG pattern-recognition problem. Medical & Biological Engineering & Computing 27, May 1989, pp 221-229
- [13]. Willems J. L. Lesaffre E. Comparison of multigroup logistic and linear discriminant ECG and VCG classification J. Electrocardiol. 1987 vol. 20, N2, p. 83-92

Abstract

An Optimal Choice of QRS Complexes Representation for Classification in Holter Recordings

The Classification of QRS Complexes Representation seems to be an interesting alternative for a standard correlation methods based on signals fragments. The reduction of information amount yields to significant decrease of memory usage and speeds up the whole processing. Although the correct choice of shape coefficients being representative for each QRS complex is not a straightforward task. Particularly the reduction of information should still preserve the ability of distinguishing of Ventricular (VE) and Supraventricular (SV) beats. This paper deals with statistical methods, namely the parametric *t*-test, used to look for a representation providing the highest reliability in distinguishing SV and VE complexes.