

Sygnatura utworu w procesie reprezentacji i analizy treści utworu muzycznego

Streszczenie. W artykule przedstawiono pomysł reprezentacji treści utworu muzycznego w postaci sygnatury utworu. Sygnatura utworu jest zbiorem leżących na płaszczyźnie wektorów. Każdy wektor skojarzony jest z jednym z dwunastu dźwięków skali chromatycznej. Kierunek wektorów określany jest zgodnie z układem dźwięków podstawowych tonacji durowych w kole kwintowym, a ich długość odzwierciedla częstość występowania poszczególnych dźwięków w utworze muzycznym lub jego fragmencie. W artykule przedstawiono wyniki eksperymentów, w których potwierdzono korelację kształtu sygnatury z charakterem aranżacji kolęd. Brano pod uwagę opracowania tradycyjne oraz jazzujące.

Abstract. The paper presents the idea of classification of the content of a piece of music based on its signature. The signature is a set of vectors located in the polar coordinate system. Each such vector is associated with one of the tones of the chromatic scale. Their directions are determined by the positions of individual tones comprising the circle of fifths. The lengths of these vectors reflect the number of occurrences of a particular note in a given piece of music or its fragment. Experimental results confirmed that the shape of signature is correlated with the character of the music arrangement. For the purposes of this paper the classical and jazz arrangements have been evaluated. *(The music signature in the process of representation and classification of the content of a piece of music)*

Słowa kluczowe: wizualizacja muzyki, wyszukiwanie informacji muzycznej, komputerowa analiza muzyki, klasyfikacja stylu muzycznego

Keywords: music visualization, music information retrieval, computational music cognition, music genre classification

Wstęp

W ostatnim czasie jesteśmy świadkami zdecydowanego poszerzenia obszaru zastosowań urządzeń mobilnych. W zapomnienie poszły już czasy, gdy jedyną funkcją telefonu komórkowego była możliwość telefonowania. Obecnie funkcje telefonu stanowią niewielką część możliwości urządzeń multimedialnych, oferowanych w formie smartfonów, tabletów itp. Łatwa dostępność urządzeń mobilnych, w powiązaniu z wszechobecnością internetu otwiera szereg nowych zastosowań, wśród których można wyróżnić wiele obszarów związanych z zapewnieniem użytkownikowi odpowiednio podanej rozrywki.

Minął już czas, w którym dominującym nośnikiem, utworów muzycznych były płyty CD. Obecnie znaczna część utworów dystrybuowana jest w postaci plików muzycznych dostępnych w internecie. Odsłuchiwanie muzyki na urządzeniach mobilnych, pociąga za sobą rozwój portali muzycznych, oferujących ogromne bazy utworów. Użytkownik korzystający z takich portali staje przed problemem wyboru interesujących go utworów. W tej sytuacji dużego znaczenia nabiera problem klasyfikacji utworów, często wspomaganą przez automatyczne metody wykrywania ich cech. Powyższe zagadnienia stanowią podstawę nowych gałęzi wiedzy, wśród których można wyróżnić tzn. informatykę muzyczną.

Celem artykułu jest przedstawienie prostego wskaźnika, przydatnego w procesie klasyfikacji charakteru, stylu utworu muzycznego. Istota prezentowanego pomysłu polega na ocenie cech utworu na podstawie kształtu sygnatury utworu, tworzonej na podstawie statystycznej analizy występujących w utworze dźwięków.

Metody oceny i reprezentacji treści muzycznej

Znanych jest szereg metod klasyfikacji i wizualizacji utworów muzycznych. Skupiają się one na różnorodnych aspektach analizy elementów dzieła muzycznego, takich jak wysokość dźwięków, struktura harmoniczna utworu, artykulacja, struktura rytmu itp. [14, 12, 16]. Czasami wywodzą się one z podstaw współbrzmień zaproponowanych przez Pitagorasa, odwzorowania współbrzmień w zbiór liczb kojarzonych ze składnikami rozwinięcia sygnałów zgodnie z teorią Fourier'a, obrazowania współbrzmień w postaci wielowymiarowych figur tzw. Akwentów [6, 7], w istocie podobnych do

krzywych Lissajous. Czasami odwzorowanie współbrzmień przypomina bardziej artystyczne niż techniczne odzwierciedlenie treści muzycznych [1].

W literaturze szeroko dyskutowane są różnorodne aspekty obrazowania, różnicowania sekwencji dysonans-konsonans [3], czy też określania stopnia dysonansowości współbrzmień. Znane są również metody wizualnego różnicowania akordów durowych od molowych, pełniące równocześnie rolę ciekawej koncepcji wizualizacji muzyki [7] oraz pomysły odwzorowania treści muzycznych w postaci barw [2, 11]. Istota transformacji sprowadza się do odwzorowania dźwięków, akordów na odpowiednio tworzone obrazy, na podstawie tzw. map barw. Czasami mapa barw wписywana jest w strukturę odpowiednio skompresowanego [2] lub przekształcanego koła kwintowego [5, 11]. W procesie analizy i wizualizacji treści muzycznych bardzo często wykorzystuje się dane zapisane w formacie MIDI [4, 16]. Znane są również metody analizy sygnałów akustycznych, które z plików zapisanych w formacie wav lub pokrewnych wydobywają informację o wysokości dźwięków składowych, czy nawet strukturze harmonicznnej poszczególnych współbrzmień [5]. Bardzo dynamicznie rozwijającym się obszarem informatyki muzycznej są problemy klasyfikacji, czy też identyfikacji stylów muzycznych [9, 13, 16]. Zwykle w procesie parametryzacji wykorzystuje się standard MPEG 7, który w kwestii dotyczącej audio zawiera szereg informacji natury raczej technicznej, niż muzycznej. Niewątpliwie stwarza to solidny fundament klasyfikacji, choć zdaniem autorów, ze względu na brak czysto muzycznych wskaźników (np. brak oceny skali muzycznej utworu), stanowi pewien problem, niekorzystnie wpływający na skuteczność klasyfikacji. Nie da się jednak ukryć, iż bardzo zaawansowane narzędzia analizy i klasyfikacji [9, 13, 15, 16], często wykorzystujące metodę SVM (ang. Support Vector Machines) mogą rekompensować brak muzycznych wskaźników w procesie oceny treści utworu.

Przedstawiona w artykule sygnatura utworu jest prostym „muzycznym” wskaźnikiem, który może być przydatny w procesie klasyfikacji utworów muzycznych.

Sygnatura utworu – podstawy teoretyczne

Utwór muzyczny można traktować jako sekwencję pojedynczych dźwięków lub złożonych współbrzmień.

Pomijając zakresy oktawowo, poszczególne dźwięki można skojarzyć z jednym elementem dwunastoelementowego zbioru {C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, H}. Zgodnie z zasadami enharmonii przyjmujemy, że Cis=Des, Dis=Es itd.

Niech x_i oznacza krotność występowania nuty i w utworze muzycznym, gdzie $i = C, Cis, \dots, H$. Niech x_{\max} oznacza maksymalną krotność wyznaczoną zgodnie z zależnością:

$$(1) x_{\max} = \max(x_C, x_{Cis}, x_D, x_{Dis}, x_E, x_F, x_{Fis}, x_G, x_{Gis}, x_A, x_{Ais}, x_H)$$

W celu uniezależnienia opisu statystycznego zawartości utworu od jego długości, znormalizujemy krotności poszczególnych dźwięków (nut) zgodnie z zależnością (2):

$$(2) k_i = \frac{x_i}{x_{\max}}, \text{ gdzie } i = C, Cis, D, \dots, H$$

Niech K będzie wektorem krotności dźwięków, który zawiera znormalizowane krotności poszczególnych dźwięków uporządkowane zgodnie z kolejnością dźwięków tonicznymi w kole kwintowym. Przyjmując, że pierwszym elementem wektora krotności będzie krotność dźwięku A i dodatni kierunek obrotu, jego postać jest następująca

$$(3) K = [k_A, k_D, k_G, k_C, k_F, k_B, k_{Es}, k_{As}, k_{Des}, k_{Fis}, k_H, k_E]$$

Przykład 1

Rozważmy fragment utworu przedstawiony na rys. 1, dla którego chcemy utworzyć wektor krotności K .



Rys.1. Fragment utworu muzycznego

Na podstawie zapisu nutowego analizowanego fragmentu utworu można wyznaczyć krotności poszczególnych dźwięków, które wynoszą odpowiednio:

$$x_A=9; x_D=8; x_G=7; x_C=10; x_F=4; x_B=0; \\ x_{Dis}=0; x_{Gis}=1; x_{Cis}=1; x_{Fis}=0; x_H=5; x_E=7$$

Znając krotności poszczególnych dźwięków można wyznaczyć wartość x_{\max} .

$$x_{\max} = \max(x_A, x_D, x_G, x_C, x_F, x_B, x_{Dis}, x_{Gis}, x_{Cis}, x_{Fis}, x_H, x_E) = \\ = \max(9, 8, 7, 10, 4, 0, 0, 1, 1, 0, 5, 7) = 10$$

Wartości znormalizowanych współczynników krotności k_i wynoszą odpowiednio:

$$k_A=0,9; k_D=0,8; k_G=0,7; k_C=1; k_F=0,4; k_B=0; \\ k_{Dis}=0; k_{Gis}=0,1; k_{Cis}=0,1; k_{Fis}=0; k_H=0,5; k_E=0,7$$

Biorąc pod uwagę wartości współczynników krotności, dla analizowanego fragmentu utworu muzycznego wektor krotności dźwięków przyjmuje postać:

$$(4) K = [0,9 \ 0,8 \ 0,7 \ 1 \ 0,4 \ 0 \ 0 \ 0,1 \ 0,1 \ 0 \ 0,5 \ 0,7]$$

Def. 1:

Sygnaturą utworu muzycznego nazywamy zbiór wektorów $\{\vec{k}_i; i=0,1,2,\dots,11\}$, których współrzędne biegunowe (r_i, ϕ_i) wyznaczone są zgodnie z poniższymi zasadami:

- długość wektora jest równa elementowi wektora krotności dźwięku, tzn. $r_i = \overline{k_i}$,
- kierunek wektora wyznaczany jest zgodnie z zależnością $\phi_i = i \cdot 30^\circ$.

Sygnatura utworu muzycznego lub jego fragmentu stanowi geometryczne odzwierciedlenie treści utworu. Interpretacja definicji 1 sprowadza się do graficznego odzwierciedlenia znormalizowanych krotności występowania

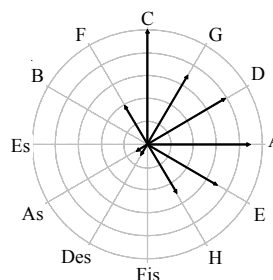
poszczególnych nut w utworze muzycznym, które są ukierunkowane zgodnie ze strukturą koła kwintowego.

Przykład 2

Celem przykładu jest przybliżenie procesu tworzenia sygnatury utworu. W tym celu rozpatrzmy fragment utworu analizowany w przykładzie 1. Wektor krotności dźwięków K przyjmuje postać zgodną z równaniem (4). Zgodnie z definicją sygnatury utworu (fragmentu utworu), współrzędne biegunowe wektorów $\vec{k}_i = (k_i, \phi_i)$ wynoszą odpowiednio:

$$\vec{k}_0 = (0,9; 0^\circ) \quad \vec{k}_1 = (0,8; 30^\circ) \quad \vec{k}_2 = (0,7; 60^\circ) \quad \vec{k}_3 = (1; 90^\circ) \\ \vec{k}_4 = (0,4; 120^\circ) \quad \vec{k}_5 = (0; 150^\circ) \quad \vec{k}_6 = (0; 180^\circ) \quad \vec{k}_7 = (0,1; 210^\circ) \\ \vec{k}_8 = (0,1; 240^\circ) \quad \vec{k}_9 = (0; 270^\circ) \quad \vec{k}_{10} = (0,5; 300^\circ) \quad \vec{k}_{11} = (0,7; 330^\circ)$$

Znając współrzędne poszczególnych wektorów można utworzyć sygnaturę, która przedstawiona jest na rys. 2.



Rys.2. Sygnatura fragmentu utworu analizowanego w przykładzie 1

Utwory muzyczne charakteryzują się specyficzną strukturą harmoniczną, która często jest charakterystyczna dla danego kompozytora, czy też gatunku muzycznego. Jednym z kryteriów oceny struktury harmoniczej jest stopień różnorodności występujących w utworze współbrzmień. Czasami struktura utworu nie wychodzi poza obszar podstawowych akordów T, S, D lub ich przewrotów, a czasami jest uzupełniona szeregiem bardzo zróżnicowanych współbrzmień, takich jak akordy zmniejszone, zwiększone, czy też różnego typu chromatyczne postępy harmoniczne. Okazuje się, że złożoność harmoniczną utworu można ocenić na podstawie rozkładu wektorów tworzących sygnaturę utworu. Tego typu miara może być przydatna w procesie oceny sposobu aranżacji, czy też stylu muzycznego, stanowiąc uzupełnienie powszechnie stosowanych wskaźników. Nasuwa się jednak pytanie, w jaki sposób ocenić kształt sygnatury utworu.

Ciekawym pomysłem oceny symetrii figur płaskich jest ocena symetrii bilateralnej i obrotowej stosowana do oceny symetrii galaktyk [8]. Została ona z powodzeniem wykorzystana w procesie oceny symetrii nadążnej trajektorii stabilograficznej, pozwalając na ocenę postępów rehabilitacji osób po endoprotezoplastyce stawu biodrowego [10]. W zasadzie przedstawiona w pracach [8, 10] metodologia oceny symetrii figur mogłaby być z powodzeniem wykorzystana do oceny symetrii kształtu figury, będącej obrysem sygnatury utworu, ale wiązałyby się to z koniecznością przeprowadzenia bardzo złożonych obliczeń. Specyficzne właściwości sygnatury utworu pozwalają na istotne uproszczenie algorytmu oceny jej kształtu.

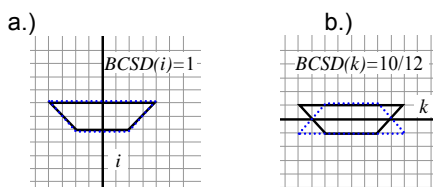
Oś przechodząca przez figurę dzieli ją na dwie części. Pojęcie symetrii bilateralnej wiąże się z określeniem geometrycznych zależności pomiędzy powstałymi w wyniku podziału częściami. Figura jest symetryczna bilateralnie względem zadanej osi wtedy, gdy dzieli ją na dwie identyczne części. Często nie istnieje oś dzieląca figurę na dwie symetryczne względem siebie części. Możliwa jest jednak ilościowa ocena stopnia symetrii bilateralnej figury

względem zadanej osi i , określana poprzez wartość współczynnika BCSD (ang. Bilateral Central Symmetry Degree) definiowanego jako [8]:

$$(5) \quad BCSD(i) = \frac{A(F \cap F')}{A(F)}$$

gdzie: F – analizowana figura, F' – figura stanowiąca odbicie lustrzane figury F względem zadanej osi i , a A oznacza operator zwracający pole analizowanego kształtu.

Możliwe do uzyskania wartości współczynników BCSD(i) zawierają się w przedziale $[0,1]$, przy czym wartość 1 oznacza idealną symetrię bilateralną względem osi i (rys.3a), podczas gdy 0 oznacza jej całkowity brak.



Rys. 3 Graficzna interpretacja sposobu wyznaczania BCSD

W przypadku przedstawionym na rys.3b wartość powierzchni $A(F)$ obejmuje 12 elementarnych kwadratów, a powierzchnia części wspólnej trapezoidów zaznaczonych ciągłym i przerywanym konturem wynosi 10 elementarnych kwadratów. W tej sytuacji wartość współczynnika symetrii bilateralnej względem osi k wynosi $10/12$ ($BCSD(k)=0,83$).

W przypadku sygnatury utworu miarę symetrii kształtu mogą być wartości współczynnika symetrii sygnatury utworu będące sumą długości wektorów.

Def. 2:

Współczynnikiem symetrii bilateralnej sygnatury utworu utworzonej przez zbiór wektorów $\{\vec{k}_i : i=0,1,2,...,11\}$, względem osi i tworzącej z osią odciętych kąt $\phi_i=i*30^\circ$ nazywamy wartość BSD(i) (ang. Bilateral Symmetry Degree) wyznaczoną z zależności:

$$(6) \quad BSD(i) = \frac{2 \sum_{j=1}^{j=5} \min(|\vec{k}_{i+j}|; |\vec{k}_{i-j}|)}{\sum_{j=1}^{j=5} |\vec{k}_{i+j}| + \sum_{j=7}^{j=11} |\vec{k}_{i+j}|}$$

przy czym $\vec{k}_{-1} \equiv \vec{k}_{11}, \vec{k}_{-2} \equiv \vec{k}_{10}, \dots$ oraz $\vec{k}_{12} \equiv \vec{k}_0, \vec{k}_{13} \equiv \vec{k}_1 \dots$ itd.

Def. 3:

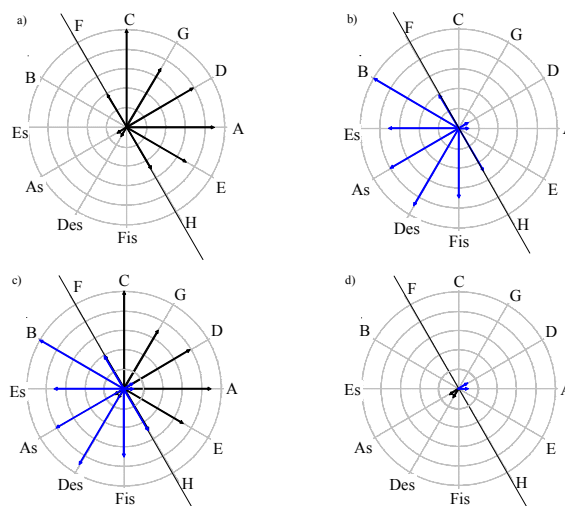
Główną osią symetrii sygnatury utworu nazywamy oś i , dla której $BSD(i)=\min$.

Współczynnik symetrii bilateralnej sygnatury utworu jest logicznie powiązany ze współczynnikiem symetrii bilateralnej figury, przy czym zamiast operatora powierzchni wykorzystywane są długości symetrycznych względem zadanej osi wektorów. Odpowiednikiem iloczynu powierzchni stosowanej w przypadku określenia symetrii bilateralnej figury jest relacja minimum długości dwóch nakładających się na siebie wektorów.

Przykład 3

Rozpatrzmy analizowaną w przykładzie 2 sygnaturę utworu i wyznaczmy dla niej współczynnik symetrii bilateralnej względem osi, na której leżą wektory \vec{k}_4 i \vec{k}_{10} . Zgodnie z opisem koła kwintowego analizowana oś symetrii odpowiada kierunkowi FH (rys.4). Dla uproszczenia wprowadźmy oznaczenie BSD(FH). Sposób wyznaczenia wartości BSD(BH) opisany algebraicznie zależnością (2) można przybliżyć za pomocą odpowiednich przekształceń

graficznych. Pierwotną postać sygnatury utworu przedstawiono na rys.4a. Wartość mianownika wyrażenia (2) można wyznaczyć sumując długości wektorów z pominięciem wektorów leżących na analizowanej osi FH. Symetryczne odbicie analizowanej sygnatury względem osi FH zobrazowano na rys.4b. Nałożenia sygnatur z rys. 4a i 4b przedstawia rys. 4c. Wynik wyboru krótszych wektorów o identycznych kierunkach z pominięciem wektorów leżących na osi FH przedstawiono na rys. 4d. W efekcie przedstawionych na rys.4a-d przekształceń powstają wzajemnie symetryczne względem rozpatrywanej osi pary wektorów. Wyznaczenie sumarycznej długości wektorów zawartych na rys.4d sprowadza się do określenia długości wektorów znajdujących się po jednej stronie osi FH i pomnożenie otrzymanej wartości przez 2, co algebraicznie odpowiada licznikowi zależności (2). Graficzna interpretacja współczynnika symetrii bilateralnej umożliwi intuicyjne wskazanie głównej osi symetrii sygnatury utworu. W dużym uproszczeniu rzecz ujmując można stwierdzić, że jest to oś, która dzieli zestaw wektorów tworzących sygnaturę na dwa podzbiory, w których różnica sumarycznej długości wektorów przyjmuje wartość maksymalną. W analizowanym przypadku główną osią sygnatury jest niewątpliwie oś FH.

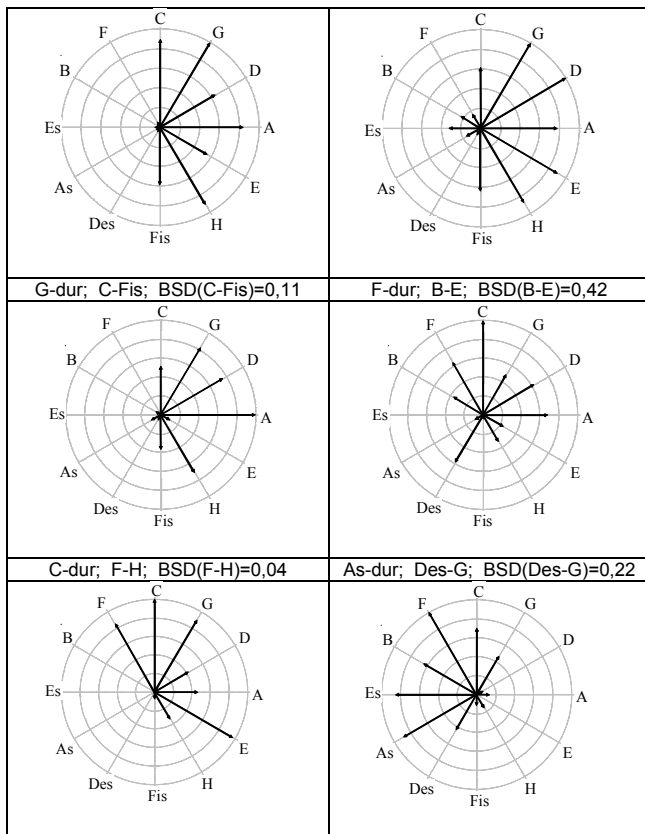


Rys. 4 Geometryczna interpretacja sposobu wyznaczania współczynnika BSD(FH) – opis w tekście

Korelacja między kształtem sygnatury utworu a dźwiękową strukturą aranżacji

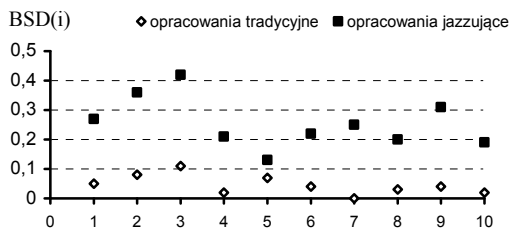
Klasyfikacja stylów muzycznych wymaga stosowania i różnicowania szeregu wskaźników. Kształt sygnatury utworu niewątpliwie różni się dla różnych stylów muzycznych (muzyka poważna, jazz, disco polo itp.). Bez wątplenia zależy również od dźwiękowej struktury aranżacji. W celu potwierdzenia powyższych spostrzeżeń przeprowadzono szereg eksperymentów sprowadzających się do tworzenia i obserwacji kształtu sygnatury dla różnych utworów. W badaniach wykorzystano pliku MIDI będące efektem wykonania różnych utworów na klawiszowych instrumentach elektronicznych. W niniejszym artykule uwagę skoncentrowano na różnych opracowaniach kolęd. Na rysunku 5 zawarto kilka wybranych przykładów. W lewej kolumnie zawarto sygnatury tradycyjnie opracowanych kolęd, a w prawej – sygnatury tych samych kolęd, ale w opracowaniu jazzującym. Nad poszczególnymi sygnaturami podano tonację kolędy, oś główną sygnatury oraz współczynnik symetrii bilateralnej wyznaczony dla osi głównej.

G-dur; C-Fis; BSD(C-Fis)=0,08	G-dur; C-Fis; BSD(C-Fis)=0,36
-------------------------------	-------------------------------



Rys. 5 Sygnatura utworu oraz jej podstawowe parametry – opis w tekście

Wnikliwa obserwacja sygnatur pozwala zauważyć różnice sumarycznej długości wektorów znajdujących po obu stronach osi głównej sygnatury. W przypadku opracowań tradycyjnych występują nieliczne, bardzo krótkie wektory wskazujące dźwięki, które nie należą do podstawowych dźwięków skali muzycznej utworu. W przypadku opracowań jazzujących, występuje więcej takich wektorów, a dodatkowo są dłuższe. Powyższy fakt znajduje odzwierciedlenie w wartościach współczynników symetrii bilateralnej sygnatury utworu. Wartości współczynników symetrii bilateralnej sygnatury dziesięciu kolęd, wyznaczonych dla głównej osi sygnatury przedstawiono na rys. 6. W każdym z przedstawionych przypadków, wartości BSD(i) są wyraźnie większe dla opracowań jazzujących.



Rys. 6 Wartości współczynników BSD(i) dla analizowanych utworów w opracowaniach tradycyjnych oraz jazzujących

Podsumowanie

Zaprezentowana w artykule metoda opisu treści muzycznych w postaci sygnatury utworu stanowi oryginalny sposób przedstawiania zawartości utworu w postaci zbioru odpowiednio skierowanych wektorów, których długości odzwierciedlają częstość występowania poszczególnych dźwięków. Sposób tworzenia sygnatury utworu, jak i zaproponowana metoda oceny kształtu określanego za pomocą współczynnika symetrii bilateralnej stwarza możliwość wykorzystania zaproponowanego pomysłu w

procesie klasyfikacji stylu muzycznego, czy też charakteru analizowanego utworu. Oczywiście może ona stanowić tylko jeden ze wskaźników stanowiących uzupełnienie zestawu analizowanych cech utworu.

Przedstawione w artykule eksperymenty wskazują na możliwość wykorzystania sygnatury utworu w procesie różniczenia sposobu aranżacji. W ramach dalszych prac planowane są eksperymenty, których celem jest zbadanie możliwości określenia skali muzycznej utworu na podstawie kształtu sygnatury.

Praca częściowo finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Autorzy: Paulina Kania, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Wydział Fizyki, ul. Umultowska 85, 61-614 Poznań, e-mail: paulina.kaniaa@onet.eu, prof. dr hab. inż. Dariusz Kania, Instytut Elektroniki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, e-mail: dkania@polsl.pl

LITERATURA

- [1] Alves, B., Digital Harmony of Sound and Light, *Computer Music Journal*, Massachusetts Institute of Technology, Vol.29 No.4, 2005, 45-54
- [2] Ciuha P., Klemenc B., Solina F., Visualization of concurrent tones in music with colours, *Proceedings of the 18th International Conference on Multimedia*, 2010, 1677-1680
- [3] Evas B., Foundation of Visual Music, *Computer Music Journal*, Massachusetts Institute of Technology, Vol.29, (4), 2005, 11-24
- [4] DiPaola S., Arya A., Emotional remapping of music to facial animation, *Proceedings of the 2006 ACM SIGGRAPH symposium on Videogames*, 2006, 143-149
- [5] Gómez E., Bonada J., Tonality visualization of polyphonic Audio, *Proceedings of International Computer Music Conference*, 2005
- [6] Grekow, J., Broadening musical perception by AKWEDs technique visualisation. *Proceedings of the 9th International Conference on Music Perception and Cognition*, ICMPC9, 2006, 1120-1125
- [7] Grekow J., Metoda transformowania muzyki w figury 4D, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 91, Nr 4, 2015, 159-162
- [8] Guo Q., Guo F., Shao J., Irregular Shape Symmetry Analysis: Theory and Application to Quantitative Galaxy Classification, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, no. 10, 2010, 1730-1743
- [9] Hoffmann P., Schuller B., Kostek B., Music Data Processing and Mining in Large Databases for Active Media, *10th International Conference Active Media Technology*, AMT 2014, 2014, 85-95
- [10] Łukasiewicz T., Kania D., Kidoń Z., Pethe-Kania K., Posturographic methods for body posture symmetry assessment, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Sciences*, Vol. 63, No. 4, 2015, 907-917
- [11] Mardirossian A., Chew E., Visualizing Music: Tonal Progressions and Distributions, *Proc. of the 8th International Conference on Music Information Retrieval*, 2007, 23-27
- [12] Paulus J., Muller M., Kalpuri A., Audio-based music structure analysis, *11th International Society for Music Information Retrieval Conference*, ISMIR 2010, 2010, 625-636
- [13] Rosner A., Kostek B., Classification of music genres based on music separation into harmonic and drum components, *Archives of Acoustics*, Vol. 39, No. 4, 2014, 629-638
- [14] Sapp, C.S., Visual Hierarchical Key Analysis, *ACM Computers in Entertainment*, Vol. 4, No. 4, 2005, pp. 1-19
- [15] Shiu Y., Jeong H., Kuo, C., Similar Segment Detection for Music Structure Analysis via Viterbi Algorithm, *IEEE International Conf. on Multimedia and Expo*, 2006, 789-792
- [16] Tzanetakis G., Cook P., Musical Genre Classification of Audio Signals Musical Genre Classification of Audio Signals, *IEEE Transactions on speech and audio processing*, Vol. 10, No. 5, 2002, 293-302