

## Metoda transformowania muzyki w figury 4D

**Streszczenie.** Przedstawiony w tej pracy system generuje figury w przestrzeni 4D na podstawie plików muzycznych MIDI. Tworzone figury w przestrzeni 4D i ich rzutowania w przestrzeni 3D dają możliwość obserwacji 4 dźwiękowych akordów, ich zależności między dźwiękowych, ich dysonansowości i charakteru brzmienia. Otrzymane figury, zbudowane z ciągłej linii, różnią się kształtem i gęstością zapętleń, które odzwierciedlają dysonanse i konsonanse w 4 dźwiękowych muzycznych współbrzmieniach.

**Abstract.** The system presented in this paper generates 4D figures based on MIDI music files. Spatial figures created in the fourth dimension space and their 3D projections, allow for the observation of 4-voice chords, their dependence on the sounds they represent as well as their dissonance and sound character. Obtained figures are constructed using continuous line, they differ in shape and complexity, and correspond with consonance and dissonance in 4-voice musical sounds. (**Method of transforming music into 4D figures**).

**Słowa kluczowe:** wizualizacja muzyki, czwarty wymiar, analiza harmoniczna, konsonanse i dysonanse.

**Keywords:** music visualization, fourth dimension, harmonic analysis, consonance and dissonance.

### Wstęp

Odbiór muzyki przez człowieka zawsze był odbiorem subiektywnym, zależnym od preferencji i gustu słuchacza, jego osłuchania, wykształcenia, możliwości percepcji, oraz wytrenowania. Przedstawione w tej pracy podejście wizualizacji muzyki próbuje z jednej strony zobiektywizować odbiór muzyki poprzez jej ścisłą transformację w wizualne figury, a drugiej przedstawia możliwość wzbogacenia odbioru muzyki nie tylko przez zmysł słuchu ale także zmysł wzrokowy. To co było dostępne tylko dla osób o dobrym wytrenowanym słuchu, poprzez wizualizację, staje się dostępne szerszej publiczności.

Zaprezentowane wizualne rozwiązanie wybiega nieco poza możliwości człowieka obserwacji obiektów trójwymiarowych. Tworzone figury w przestrzeni 4D i ich rzutowania w przestrzeni 3D dają możliwość obserwacji 4 dźwiękowych akordów, ich zależności między dźwiękowych, ich dysonansowości i charakteru brzmienia.

### Poprzednie prace

Wizualizacja muzyki w czasie rzeczywistym jest ostatnio dość popularnym tematem poszukiwań prac wielu autorów. Może ona odnosić się do różnych elementów muzycznych odczytywanych z pliku muzycznego. Mapowanie parametrów budowanych obrazów może być powiązane z wysokością dźwięku, rytmem, głośnością, treścią harmoniczną, oraz barwą dźwięku.

W jednej grupie prac danymi wejściowymi są pliki audio (wav, mp3) [1] a w drugiej pliki MIDI symbolicznie reprezentujące muzykę [2, 3, 4]. Ma to wpływ na typ danych możliwy do uzyskania do analizy. Analiza muzycznych plików audio jest utrudniona w porównaniu z plikami MIDI gdzie treść muzyczna jest zapisana w postaci kanałów, ścieżek, instrumentów, nut [5]. Wizualizacja muzyki zawarta jest w odtwarzaczach medialnych (iTunes, WinAmp, Windows Media Player). Opiera się ona głównie na amplitudzie i informacji o częstotliwościach otrzymanych z analizy harmonicznego odtwarzanego pliku i powiązaniu ich z parametrami używanymi do generacji atrakcyjnych obrazów w czasie rzeczywistym. Pomimo graficznej złożoności otrzymane wizualizacje nie są satysfakcjonujące gdyż nie zawierają w sobie odniesień do pozostałych elementów muzycznych, takich jak harmonia czy melodia. Lewiner at al. w pracy [1] do wizualizacji muzyki używa przestrzeni 3D i wcześniej zdefiniowanych obiektów (np. ośmiornica, kot, głowa, dinozaur itp.). Poprzez powiązanie parametrów otrzymanych z analizy harmonicznego odtwarzanej muzyki z metodami deformacji przestrzennych figur, obiekty wprowadzane są w ruch, poruszają w takt muzyki, imitują

taniec, itp. Smith i Williams [3] do wizualizacji muzyki używają kolorowanych sfer, które umieszczają w przestrzeni 3D. Charakterystyka tych wizualnych obiektów zależy od cech opisujących dźwięki: wysokości, głośności i barwy. Podobnym rozwiązaniem lecz w przestrzeni 2D jest Music Animation Machine S. Malinowskiego [4] gdzie wielkość i kolor obiektów są powiązane z wartościami odczytanymi z plików MIDI. Jedną z 12 możliwych opcji wizualizacji (BALLS) prezentuje poruszające się ze strony prawej do lewej wizualizacje. Wielkość rysowanych kół powiązana jest z długością nuty a kolor powiązany został z przynależnością do grupy dźwięków (np. linii melodycznej). Przestrzeń 3D została wykorzystana przy konstrukcji wizualizacji zaproponowanej przez Adli at al. [2]. Obiekty w postaci gwiazd reprezentujące dźwięki poruszają się w kierunku obserwatora. Wielkość obiektów powiązana jest z głośnością a kolor z charakterem akordów: molowe tonacje ciemne kolory, durowe - jasne, radosne. Zestawienie wybranych metod wizualizacji muzyki przedstawił Isaacson w swojej pracy [6]. Zaprezentował metody obrazujące zawartość plików dźwiękowych jak i wizualizacje służące do analizy budowy formy muzycznej utworu. Tylko w jednej ze znalezionej przez autora pracy wizualizacja dotyczy przestrzeni innej niż 2D czy 3D. Przestrzeń 4D (Planet-4D) do wizualnej ilustracji zależności między akordami została użyta przez Baroina w pracy [7].

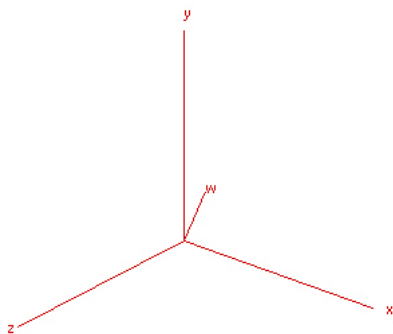
### Czwarty wymiar

Czwarty wymiar jest ograniczony do poruszania się w świecie 3D i również widzi obiekty w przestrzeni trójwymiarowej. Czas jest często określany czwartym wymiarem, ale z tego względu iż ma on zupełnie inne właściwości niż pozostałe 3 zaburza on homogenność strukturę modelu. W tej pracy 4 wymiar jest rozumiany jako dodatkowy, kolejny przestrzenny wymiar.

Czterowymiarowa 4D przestrzeń jest analogicznym rozszerzeniem przestrzeni 3D o kolejny wymiar, poprzez dodanie kolejnej osi ( $W$ ), która jest prostopadła do osi  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ . Podobnie rozszerzając przestrzeń 2D o kolejny wymiar otrzymujemy przestrzeń 3D. Każdy punkt w przestrzeni 4D ma 4 współrzędne ( $x, y, z, w$ ).

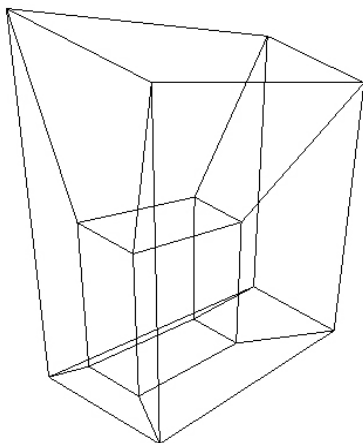
Pomimo że człowiek dość trudno radzi sobie z wizualizacją figur 4D to komputer nie z tym problemem i może je obracać, przesuwając, rzutować. Formuły transformacji figur w przestrzeni wielowymiarowej można znaleźć w pracy [8]. Aby zobaczyć figurę 4D należy wykonać jej rzutowanie do przestrzeni 3D [9]. Analogicznie aby zobaczyć figurę 3D w dwu-wymiarze należy ją rzutować na 2D.

Na rysunku 1 przedstawiono widok osi X, Y, Z, W przestrzeni 4D.



Rys.1. Osie X, Y, Z i W w przestrzeni 4D

Hipersześcián w przestrzeni 4D nosi nazwę **tesseract** i posiada 16 wierzchołków, 32 krawędzie, 24 ściany i 8 komórek. 3D rzut tesseractu wygląda jak sześcián który jest połączony z sześciánem który jest w jego środku (rys. 2). Dokonując obrotu hipersześciánu dookoła płaszczyzn możemy próbować wyobrazić sobie jak on wygląda.



Rys.2. Hipersześcián czterowymiarowy – tesseract

### Metoda tworzenia figur czwartym wymiarze

Wielogłosowy utwór muzyczny można rozpatrywać jako rozkład współbrzmień wielodźwiękowych rozłożonych w czasie. Każde współbrzmienie 3 lub więcej dźwiękowe jest akordem. Sekwencja akordów składa się na treść harmoniczną utworu.

Akordy 3, 4 i 5 dźwiękowe w przestrzeni 3D były rozpatrywane poprzednich pracach autora [10, 11, 12]. W niniejszym artykule skupiono się głównie na współbrzmieniach 4 dźwiękowych. Rozpatrzmy akord  $A_k$  składający się z 4 dźwięków. Dla uproszczenia, aby pominąć barwę dźwięku każdy składnik akordu  $A_k$  opisano funkcją sinusoidalną  $S_i(t)$  o częstotliwości  $f_i$ . Przyporządkowując każdą z otrzymanych funkcji jednej z osi X, Y, Z, W układu 4D  $\{U\}$ , budujemy figurę przestrzenną 4-wymiarową  $\Phi$ , odpowiadającą akordowi  $A_k$ :

$$(1) \quad A_k \rightarrow \Phi$$

Powstanie każdej figury opisano jako wynik ruchu punktu  $P$ , którego przestrzenne położenie określają wartości funkcji  $S_i(t)$ , podane odpowiednio na osiach X, Y, Z i W (rys. 3). Każdej osi układu  $\{U\}$  (X, Y, Z, W) przyporządkowano sygnał sinusoidalny  $S_i(t)$  o częstotliwości  $f_i$ , gdzie  $i=1,2,3,4$ . Sinusoidy te reprezentują każdy dźwięk współbrzmienia 4 dźwiękowego (akordu). Poprzez dyskretyzację sygnałów  $S_i(t)$  za pomocą częstotliwości

próbkiwania  $F \gg f_i$ , otrzymano ciąg próbek, którego każdy element rozpatrujemy jako 4-składnikowy wektor, determinujący pozycję punktu  $P_j$ . Współrzędne pojedynczego punktu  $P_j$ , które są wyliczane na podstawie wspólnego czasu  $t$  i funkcji sygnałów  $S_i(t)$ , można zapisać następująco:

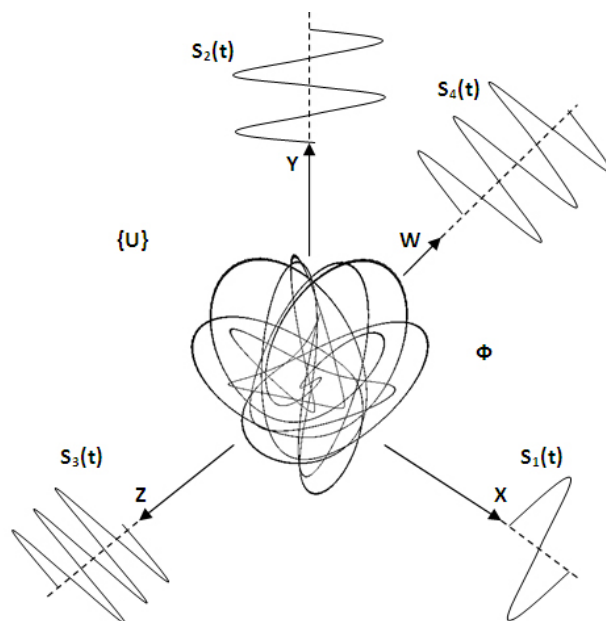
$$(2) \quad P_j = (P_{jx}, P_{jy}, P_{jz}, P_{jw})$$

$$(3) \quad P_{jx} = S_1(t_j) = A \sin \omega_1 t_j$$

$$(4) \quad P_{jy} = S_2(t_j) = A \sin \omega_2 t_j$$

$$(5) \quad P_{jz} = S_3(t_j) = A \sin \omega_3 t_j$$

$$(6) \quad P_{jw} = S_4(t_j) = A \sin \omega_4 t_j$$



Rys.3. Tworzenie figury w przestrzeni 4D

Dla uproszczenia przyjęto jednakową amplitudę  $A$  dla wszystkich składników akordu. Powoduje to że poruszanie się punktu rysującego figurę we wszystkich wymiarach mieści się w tych samych granicach  $[-A, A]$  i figura jest bardziej regularna. Przedstawiona metoda budowy figury koncentruje się na wyrażeniu zależności między częstotliwościami składników akordu a pomija aspekt głośności składników. Oczywiście w prosty sposób amplitudę można uzależnić od głośności dźwięków co spowodują dodatkową modyfikację figury (wielkość amplitudy w poszczególnych wymiarach).

### Wizualizacja akordów 4-dźwiękowych w 4 wymiarze

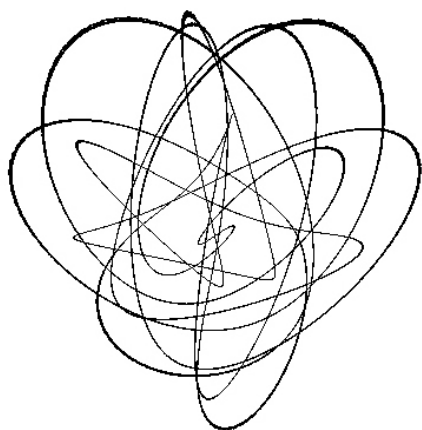
Rezultatem przeprowadzonych eksperymentów są figury 4 wymiarowe. Na bazie podstawowych akordów czterodźwiękowych otrzymano wizualizacje im odpowiadających figur.

#### Akord 4-dźwiękowy durowy

Na rysunku 4 przedstawiono zapis nutowy akordu (C-E-G-H). Jego wizualizację w przestrzeni 4D zaprezentowano na rysunku 5a.

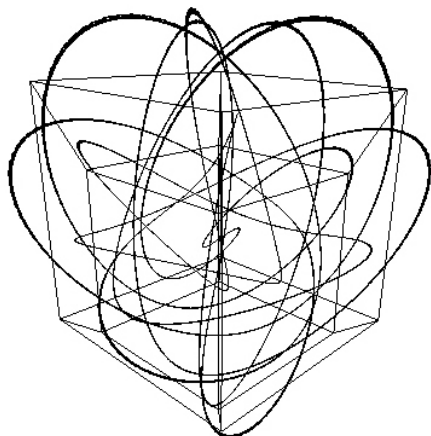


Rys.4. Zapis nutowy akordu C-E-G-H



Rys.5a. Wizualizacja 4D akordu C-E-G-H

Połączenie hipersześcianu (tesseract) i figury akordu czterodźwiękowego przedstawiono na rysunku 5b. Umożliwia on porównanie jak powstała figura wpasowuje się w przestrzeń hipersześcianu.



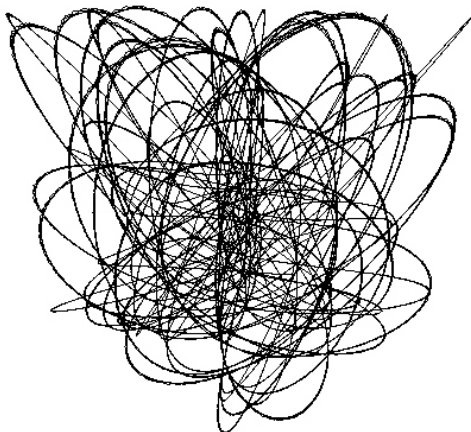
Rys.5b. Wizualizacja 4D akordu C-E-G-H wraz z tesseractem

#### Akord 4-dźwiękowy molowy

Na rysunku 6 przedstawiono zapis nutowy akordu (C-Es-G-H). Jego wizualizację w przestrzeni 4D zaprezentowano na rysunku 7.



Rys.6. Zapis nutowy akordu C-Es-G-H



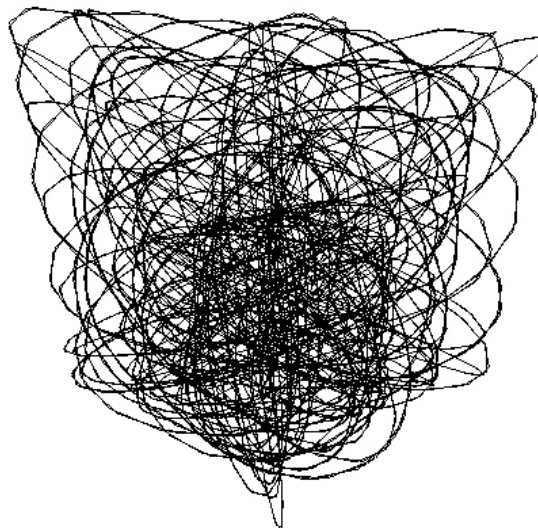
Rys.7. Wizualizacja 4D akordu C-Es-G-H

#### Czterodźwięk zmniejszony

Na rysunku 8 przedstawiono zapis nutowy czterodźwięku zmniejszonego (Cis-E-G-B). Jego wizualizację w przestrzeni 4D zaprezentowano na rysunku 9.



Rys.8. Zapis nutowy akordu Cis-E-G-B



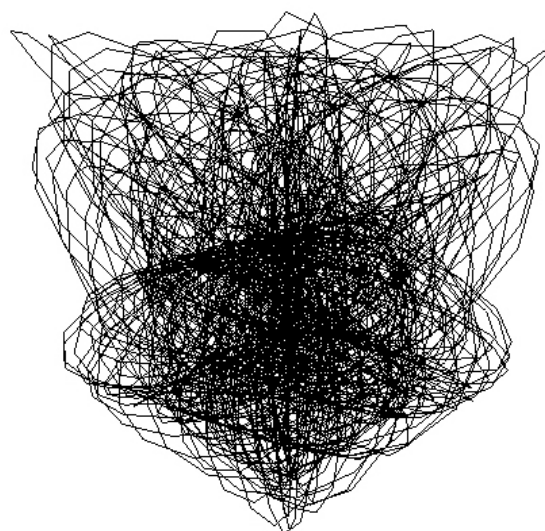
Rys.9. Wizualizacja akordu Cis-E-G-B

#### Klaster czterodźwiękowy

Na rysunku 10 przedstawiono zapis nutowy współbrzmienia złożonego z dźwięków położonych blisko siebie (klastra), czyli bardzo dysonansowego. Jego wizualizację w przestrzeni 4D zaprezentowano na rysunku 11.



Rys.10. Zapis nutowy klastra H-C-Des-Eses



Rys.11. Wizualizacja 4D klastra H-C-Des-Eses

### Związek kształt figur – dysonansowość akordu

Zaobserwowano wyraźny związek pomiędzy brzmieniem akordu a jego wizualizacją. Generalna reguła brzmi: im bardziej dysonansowy jest akord tym bardziej jego wizualizacja jest skomplikowana, zamazana, im bardziej akord jest konsonansowy tym bardziej figura jest przejrzysta i regularna. Akordy durowe posiadają bardziej przejrzyste, mniej skomplikowane wizualizacje niż akordy mollowe.

Obserwacja figur w 4-wymiarze jest utrudniona. Mogliśmy to również zauważyć już na przykładzie hipersześcian czterowymiarowego – tesseract. Również podczas obserwacji obracających się otrzymanych figur nie do końca wiadomo jak one wyglądają.

Cztero-wymiar daje jednak możliwość wizualizowania czterodźwiękowych akordów w formie jednej figury, reprezentującej stosunki częstotliwości pomiędzy składnikami akordu. Jest to analogiczne do odbioru wrażenia słuchowego: z jednego współbrzmienia otrzymujemy jedno wrażenie słuchowe, z jednego współbrzmienia otrzymujemy jedną figurę.

### Podsumowanie

Zaprezentowana w tej pracy metoda tworzenia figur w przestrzeni 4D jest nowatorskim podejściem do tworzenia wizualnych obrazów powiązanych z treścią muzyki. Zrzutowanie uzyskanych obrazów w przestrzeń 3D umożliwia obserwatorowi ich obserwowanie, choć nie jest to zadanie łatwe. Ułatwianiem w wyobrażeniu sobie powstałej figury jest możliwość jej obracania dookoła wszystkich osi układu współrzędnych 4D. Otrzymane figury, zbudowane z ciągłej linii, różnią się kształtem i gęstością zapętleń, które odzwierciedlają dysonanse i konsonanse w 4 dźwiękowych muzycznych współbrzmieniach. W przyszłości planowane jest przebadanie kolejnych wielodźwięków. Zaprezentowana metoda potwierdza możliwość badania współbrzmień dźwiękowych w układach wielowymiarowych.

Podziękowania: artykuł finansowany z pracy badawczej S/WI/3/2013

### LITERATURA

- [1] Lewiner, T., Marques, C., Paixao, J., Botton, S., Cabral, A., Nascimento, R., Mello, V., Peixoto, A., Martinez, D., Vieira, T., Stereo music visualization through manifold harmonics, *The Visual Computer*, Volume 27, Issue 10, (2011), 905-916
- [2] Adli, A., Nakao, Z. and Nagata, Y., A Content Dependent Visualization System for Symbolic Representation of Piano Stream, B. Apolloni et al. (Eds.): KES 2007/ WIRN 2007, Part II, *LNAI 4693*, (2007), 287–294
- [3] Smith, S.M., Williams, G.N., A visualization of music. In *VIS'97: Proceedings of the 8th conference on Visualization*, (1997), 499-503
- [4] Malinowski, S.: Music Animation Machine, (2006), <http://www.musanim.com>
- [5] MIDI Manufacturers Association: <http://www.midi.org>
- [6] Isaacson, E. J., What you see is what you get: on visualizing music, In *ISMIR* (2005), 389-395
- [7] Baroin, G., The Planet-4D Model: An Original Hypersymmetric Music Space Based on Graph Theory, C. Agon et al. (Eds.): *MCM 2011, LNAI 6726*, (2011), 326–329
- [8] Noll, A. M., A Computer Technique for Displaying n-Dimensional Hyperobjects, *Communications of the ACM*, Vol. 10, No. 8, (1967), 469-473
- [9] Noll, A. M., Computer animation and the fourth dimension, *AFIPS '68* (Fall, part II): Proceedings of the December 9-11, (1968)
- [10] Grekow, J., Emotion Based Music Visualization System, *Foundations of Intelligent Systems: ISMIS'2011, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6804 (2011), 523-532
- [11] Grekow, J., 3D Visualisation of Musical Content, *ISC'2005: 3rd Industrial Simulation Conference 2005*, Fraunhofer-IPK, Berlin, (2005), 50-52
- [12] Grekow, J., Metoda transformowania muzyki w figury 3D, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.89, nr 11 (2013), 327-330

**Autor:** dr inż. Jacek Grekow, Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki, Wiejska 45A, Białystok 15-351, E-mail: [j.grekow@pb.edu.pl](mailto:j.grekow@pb.edu.pl)