

## **SYSTEMY KOMPUTEROWEJ WIZUALIZACJI SYGNAŁÓW AKUSTYCZNYCH**

Praca zajmuje się zastosowaniem techniki komputerowej w wizualizacji sygnałów akustycznych. Przedstawiono definicję procesu wizualizacji dźwięku oraz przedstawiono wybrane zastosowania. Zapropozowano sposób klasyfikacji systemów wizualizacji sygnałów dźwiękowych. Wprowadzono także uniwersalny schemat budowy komputerowego systemu wizualizującego dźwięk.

### **COMPUTER SYSTEMS OF ACOUSTIC SIGNALS VISUALIZATION**

This paper looks into usage of computer systems in visualization of acoustic signals. A definition of sound visualization, as well as a short survey of applications is presented. The paper proposes taxonomy of acoustic signal visualization systems. A universal scheme of computer-based sound visualization system is also introduced.

#### **1. WPROWADZENIE**

Łączenie obrazu i dźwięku obecne jest w kulturze ludzkiej od dawna. Obrzędowi plemiennym, bogatym od strony wizualnej, towarzyszyła muzyka. Taniec traktowany jako forma wizualizacji dźwięku czerpie swe korzenie w prehistorii człowieka.

Pierwsze próby naukowego podejścia do łączenia obrazu i dźwięku datują się na XVIII stulecie. Tematyką tą zajmowali się m.in. Izaak Newton – porównujący interwały pomiędzy nutami do różnic między barwami podstawowymi, Louis Bertrand Castel, przodek Karola Darwina, Erazm Darwin. Wizualizacja dźwięku była wykorzystywana przez Aleksandra Grahama Bella w jego pracach nad wynalezieniem telefonu [3].

Rozwój techniki informatycznej – a w szczególności:

- rosnąca prędkość działania komputerów, umożliwiającą wykonywanie szczegółowych analiz sygnału akustycznego
- zwiększające się możliwości graficzne, stwarzające różnorodność form obrazowania

pozwoił zastosować komputery także do celów wizualizacji sygnałów akustycznych. Praca niniejsza zajmuje się fundamentami wizualizacji dźwięku przy użyciu techniki komputerowej. Przedstawiono propozycję przejrzystej i spójnej taksonomii systemów wizualizacji dźwięku oraz wprowadzono koncepcję uniwersalnego schematu budowy takich systemów. Pozwala to na szersze spojrzenie na tematykę wizualizacji dźwięku, jak również wspomaga twórców systemów wizualizujących dźwięk w ich projektowaniu.

#### **1.1 Definicja komputerowej wizualizacji dźwięku**

Słownik Webstera definiuje wizualizację jako „akt lub proces interpretacji w kategoriach wizualnych lub przenoszenia w te kategorie” [5]. Wizualizacja jest więc takim przekształceniem danego zjawiska, aby było ono odczuwalne przy pomocy zmysłu wzroku.

Słowo „dźwięk” we frazie „komputerowa wizualizacja dźwięku” ogranicza przedmiot jej działania – do specyficznego sposobu interpretacji dźwięku. Z kolei określenie „komputerowa” implikuje obrazowanie przy pomocy techniki informatycznej, w sposób wynikający z działania komputera - to jest generowanego obrazu lub animacji.

W pracy proponuje się następującą definicję:

*Komputerowa wizualizacja dźwięku jest to przekazanie informacji o dźwięku, lub niesionej przez dźwięk poprzez wizualny kanał komunikacji, dokonane przy użyciu techniki komputerowej.*

## 1.2 Zastosowania wizualizacji dźwięku

Wizualizacja dźwięku, także komputerowa, znajduje zastosowanie w wielu obszarach. Wykorzystują ją między innymi takie dziedziny, jak:

- akustyka,
- medycyna,
- kryminalistyka.

Wizualizację dźwięku często stosuje się również do celów typowo rozrywkowych.

Wizualizacja dźwięku w akustyce używana jest do obrazowania parametrów opisujących cechy fizyczne dźwięku. Wskaźniki przedstawiające cechy dźwięku w formie wizualnej są w szerokim zakresie używane podczas realizacji nagrań dźwiękowych. Studia nagraniowe korzystają z trzech grup tego rodzaju urządzeń:

- wskaźniki poziomu sygnału,
- analizatory widma sygnału,
- inne, jak wskaźnik zgodności fazy sygnału stereofonicznego.

Inną dziedziną akustyki, w której wizualizacja dźwięku odgrywa dużą rolę, jest pomiar charakterystyk sprzętu audio oraz instrumentów muzycznych [4]. Zmierzone wartości, na przykład zakłócenia wprowadzane przez dany sprzęt do przeniesionego sygnału dźwiękowego, są często przedstawiane w formie wizualnej – w postaci wykresów. Podnosi to znacząco ich czytelność.

Wizualizacja dźwięku w medycynie stosowana jest od długiego czasu w diagnostyce i leczeniu narządów głosu oraz zaburzeń mowy [6]. Metody wykorzystujące wizualizację dźwięku są pomocne w badaniu i leczeniu zaburzeń neurologicznych oraz chorób układu oddechowego i układu krążenia (analiza pracy serca) [1]. Systemy wizualizacji dźwięku stosuje się również w rehabilitacji osób niesłyszących [7].

Zastosowania wizualizacji dźwięku w kryminalistyce koncentrują się w obszarze rozpoznawania mówców, tj. identyfikacji osoby na podstawie cech jej głosu [2]. Obrazy charakterystycznych parametrów głosu przestępcy wymawiającego kwestię, którą udało się nagrać oraz głosu osoby podejrzanej wypowiadającej taką samą kwestię mogą posłużyć do identyfikacji przestępcy, a w konsekwencji do celów procesowych.

Wizualizacja dźwięku, czy bardziej ogólnie – łączenie obrazu z dźwiękiem, jest często spotykana w zastosowaniach mniej naukowych. Pokazy typu „światło i dźwięk”, balet, a także niektóre konkurencje sportowe, jak jazda figurowa na lodzie odbierane są zarówno zmysłem słuchu, jak i wzroku. Systemy wizualizacji dźwięku znajdują swoje zastosowanie podczas koncertów i w dyskotekach. Rosnąca popularność muzyki zapisanej w formacie MP3 wpłynęła na pojawienie się różnorodnych systemów wizualizacji dźwięku działających na komputerach osobistych, umilających użytkownikowi jej słuchanie [8].

## 2. KLASYFIKACJA SYSTEMÓW WIZUALIZACJI DŹWIĘKU

Systemy wizualizacji dźwięku mogą różnić się pomiędzy sobą znacznie, dlatego celowe jest opracowanie metody ich klasyfikacji. Podział systemów proponowany poniżej opracowano po przeanalizowaniu już istniejących systemów pod kątem znalezienia ich cech wspólnych i różnic, jak i po uwzględnieniu potencjalnych nowych możliwości w sferze wizualizacji dźwięku.

### 2.1 Kryteria podziału

W proponowanej klasyfikacji systemów wizualizacji dźwięku wyróżniono dwie grupy kryteriów ich podziału: kryteria dotyczące strony koncepcyjnej wizualizacji dźwięku oraz kryteria dotyczące strony technicznej.

Kryteria dotyczące strony koncepcyjnej wizualizacji dźwięku:

- zbiór wizualizowanych parametrów dźwięku,
- sposób wizualizacji,
- sposób powiązania parametrów dźwięku i obrazu,
- stopień zależności obrazu od dźwięku,
- interaktywność wizualizacji,
- charakter wizualizacji,
- zastosowanie wizualizacji.

Kryteria dotyczące strony technicznej wizualizacji dźwięku:

- postać dźwięku na wejściu systemu,
- postać wyjścia z systemu,
- czas tworzenia wizualizacji,
- sposób realizacji.

Kryteria dotyczące strony koncepcyjnej są uniwersalne – zastosować je można do każdego, nie tylko komputerowego systemu wizualizacji dźwięku. Proponowane kryteria techniczne są natomiast ukierunkowane na opis systemów komputerowych.

### 2.2 Opis kryteriów podziału

Poniżej zamieszczono omówienie funkcji każdego z kryteriów podziału wprowadzonych w podrozdziale 2.1.

#### 2.2.1 Kryteria dotyczące strony koncepcyjnej systemu wizualizacji dźwięku

*Zbiór wizualizowanych parametrów dźwięku* – różnicuje systemy wizualizacji dźwięku pod kątem cech dźwięku, które otrzymywane są z sygnału wejściowego w systemie wizualizacyjnym i wykorzystywane są do jego działania. Do najczęściej używanych wartości należą: amplituda i spektrum fali dźwiękowej, formanty (w przypadku mowy) oraz melodia i rytm (w przypadku muzyki).

*Sposób wizualizacji* – określa wygląd generowanego obrazu, tj. jak prezentuje się wyjście systemu wizualizacji dźwięku. Zawiera się tu zarówno opis generowanych przez system obrazów, jak również to, na które parametry tych obrazów miał wpływ wizualizowany przez dany system sygnał dźwiękowy. Na sposób wizualizacji istotny wpływ ma zakładany *charakter wizualizacji* (omówiony niżej).

*Sposób powiązania parametrów dźwięku i obrazu* – definiuje wzajemne zależności parametrów dźwięku i parametrów powstającego w procesie wizualizacji obrazu. W skład tego pojęcia wchodzi informacja o:

- połączeniach pomiędzy parametrami dźwięku a parametrami obrazu (który parametr dźwięku oddziałuje na który parametr obrazu),
- sposobach przekształcania parametrów dźwięku na odpowiadające im parametry obrazu (także informacja o dodatkowych wykonywanych podczas przekształcania operacjach typu skalowanie, progowanie itp.).

*Stopień zależności obrazu od dźwięku* – określa, w jakim stopniu obraz będący wynikiem działania systemu wizualizacji zależy od dźwięku. Im więcej cech obrazu jest stałych, lub zmieniających się, lecz niezależnie od dźwięku, tym stopień tej zależności jest mniejszy.

*Interaktywność wizualizacji* – informuje o tym, czy użytkownik może wpływać na proces wizualizacji w czasie działania systemu. W wizualizacji nieinteraktywnej człowiek jest biernym obserwatorem; po umożliwieniu mu interakcji z systemem staje się uczestnikiem procesu wizualizacji. Stopień interakcji zależy od liczby i rodzaju udostępnionych użytkownikowi opcji systemu.

*Charakter wizualizacji* – opisuje, czy wizualizacja ma za zadanie przekazać użytkownikowi informację o wartości konkretnych parametrów dźwięku, czy też wywołać u niego odczucia dotyczące dźwięku jako całości. Pierwszy przypadek przedstawia wizualizację, która przedstawia konkretne, mierzalne dane dotyczące przetwarzanego dźwięku – spełnia rolę przyrządu pomiarowego. Wizualizacja taka powinna umożliwić szybką i trafną ocenę parametrów sygnału; informacje o dźwięku powinny zostać przekazane w sposób bezstronny i maksymalnie komunikatywny. Drugi przypadek opisuje system, którego zadaniem jest nie przedstawienie konkretnych wartości, lecz umożliwienie użytkownikowi całościowego odebrania słyszanego dźwięku również za pomocą zmysłu wzroku, pozwolenie mu na „wczucie się” w dobiegający go dźwięk. System taki próbuje odwoływać się, w przeciwieństwie do poprzedniej grupy, do sfery uczuć człowieka. Takie podejście może być stosowane w systemach wizualizacji takich rodzajów dźwięku, które można powiązać z emocjami – jak muzyka czy mowa ludzka. Wybrany charakter systemu wizualizacji dźwięku narzuca niektóre cechy sposobu wizualizacji. W pierwszej, informacyjnej grupie systemów dane przedstawiane będą w postaci liczbowej, w sposób symulujący wygląd przyrządów pomiarowych (wskaźniki wychyłowe, słupkowe, oscyloskopy), lub na wykresach. Druga grupa będzie korzystać z luźnych skojarzeń dźwięku z obrazem, używając na przykład abstrakcyjnych kształtów, zmieniających się kolorów; forma przedstawienia zależy tylko od pomysłu autora systemu, zaś jedynym kryterium oceny jest trafność w oddawaniu charakteru dźwięku.

*Zastosowanie wizualizacji* – cel, jaki spełniać ma dany system wizualizacji dźwięku. W rozdziale 1. zaprezentowano wybrane zastosowania systemów wizualizacji dźwięku.

### 2.2.2 Kryteria dotyczące strony technicznej komputerowego systemu wizualizacji dźwięku

*Postać dźwięku na wejściu systemu* – sposób zapisu danych wejściowych systemu wizualizacji dźwięku. W technice komputerowej najbardziej rozpowszechnionym formatem zapisu dźwięku jest jego próbkowanie (sampling – dźwięk „wave”). W przypadku muzyki często spotykane jest także przekazywanie jej w standardzie MIDI.

*Postać wyjścia z systemu* – reprezentacja danych graficznych będących rezultatem działania systemu wizualizacji dźwięku. Kryterium informuje o tym, czy wynik działania systemu wizualizacji jest statyczny, czy dynamiczny (generowany jest pojedynczy obraz, czy animacja), jak również czy wynik działania systemu można od razu przedstawić użytkownikowi, czy też

wymaga on dalszego przetworzenia (na przykład w przypadku systemu generującego na podstawie dźwięku opis sceny dla pakietu do tworzenia realistycznej grafiki 3D).

*Czas tworzenia wizualizacji* – informacja, czy system wizualizacji działa w czasie rzeczywistym (wizualizacja jest tworzona i prezentowana użytkownikowi na bieżąco, w miarę dostarczaniem systemowi danych dźwiękowych), czy też wymaga przetworzenia całości danych o dźwięku przed utworzeniem wyników. Mają tu wpływ następujące czynniki:

- złożoność działań wykonywanych przez system wizualizacji. Zbyt długi sumaryczny czas obliczeń, a co za tym idzie – rozbieżność pomiędzy dźwiękiem, a prezentowanym użytkownikowi obrazem jest poważną wadą systemu mającego działać w czasie rzeczywistym
- konieczność otrzymywania parametrów dźwięku z wyprzedzeniem. Niektóre systemy mogą potrzebować do celów wizualizacji informacji o sygnale dźwiękowym wcześniej, niż zdarzenia te rzeczywiście mają miejsce. Uniemożliwia to zaprojektowanie systemu jako działającego w czasie rzeczywistym

Tworzenie wizualizacji „na bieżąco” powoduje, że system wizualizacji staje się systemem czasu rzeczywistego, należy więc liczyć się z możliwością wystąpienia typowych problemów (zapewnienie odpowiedniej wydajności, synchronizacja ewentualnej współbieżności itp.)

*Sposób realizacji* – oprogramowanie oraz specjalizowany sprzęt (jeśli wymagany) użyte do zrealizowania oraz wykorzystywane przy działaniu systemu wizualizacji dźwięku.

### 3. SCHEMAT KOMPUTEROWEGO SYSTEMU WIZUALIZACJI DŹWIĘKU

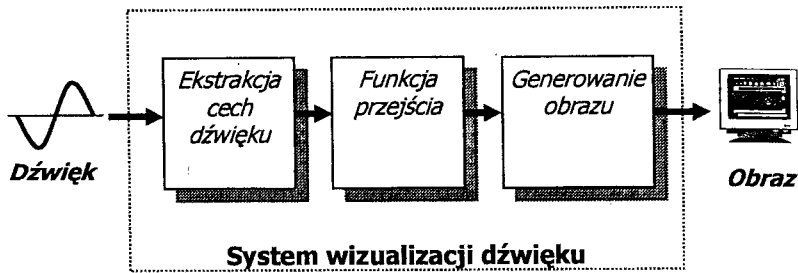
W działaniu komputerowego systemu wizualizacji dźwięku można wyróżnić następujące etapy:

- na wejście systemu wizualizującego podawany jest sygnał dźwiękowy, który ma podlegać wizualizacji,
- z sygnału wyznaczane są wartości tych parametrów dźwięku, które mają podlegać wizualizacji,
- uzyskane parametry dźwięku ulegają odwzorowaniu w zadane parametry obrazu,
- na podstawie otrzymanych parametrów obrazu następuje synteza obrazu wizualizującego dźwięk,
- obraz ten stanowi wyjście z systemu wizualizacji dźwięku.

Proponowany schemat komputerowego systemu wizualizacji dźwięku (rys. 1) przedstawia uniwersalną, wysokopoziomową strukturę takiego systemu. Struktura ta jest niezależna od wizualizowanych cech dźwięku, sposobu obrazowania, czy innych szczegółów działania systemu. Wprowadzono w niej podział na trzy oddzielne bloki funkcjonalne:

- blok ekstrakcji cech dźwięku,
- blok funkcji przejścia,
- blok generacji obrazu.

Opis zadań realizowanych przez poszczególne bloki znajduje się w podrozdziałach 3.1, 3.2 oraz 3.3.



Rys. 1. Schemat komputerowego systemu wizualizacji dźwięku

### 3.1 Blok ekstrakcji cech dźwięku

Sygnał dźwiękowy otrzymany na wejściu komputerowego systemu wizualizacji dźwięku zostaje przetworzony w celu ekstrakcji z niego wybranych, mierzalnych wielkości charakteryzujących go pod żądanymi względami – opisujących jego strukturę, charakter, przenoszone informacje w danym momencie jego trwania. Uzyskane parametry dźwięku używane będą dalej do sterowania procesem generacji obrazu wyjściowego. Wybór cech do ekstrakcji zależy od zastosowania systemu wizualizacji i jest decyzją twórcy systemu; prezentowana ogólna struktura nie narzuca konieczności użycia żadnych konkretnych cech wizualizowanego sygnału dźwiękowego.

### 3.2 Blok funkcji przejścia

Blok funkcji przejścia wykonuje przekształcenie wartości generowanych przez moduł ekstrakcji cech na parametry wejściowe modułu generującego obraz. Składają się na to następujące zadania:

- zapewnienie połączenia pomiędzy wyjściami modułu wydobywającego cechy dźwięku a żądanymi wejściami modułu generującego obraz,
- dopasowanie (konwersja) zakresów wartości wyjściowych modułu ekstrakcji cech (cech dźwięku) i wejściowych modułu generującego obraz (parametrów obrazu),
- ewentualne wykonanie na przekazywanych wartościach żądanych dodatkowych operacji matematycznych. Umożliwia to np. skalowanie, odwracanie, progowanie i inne przekształcenia dokonywane na danych wartościach przed przekazaniem ich do bloku obrazującego, co w konsekwencji wpłynie na rezultaty jego działania.

Wzajemne połączenia wejść i wyjść nie muszą być ze sobą w relacji 1:1. Na wyliczenie przez moduł funkcji przejścia wartości jednego parametru generowanego obrazu może mieć wpływ kilka parametrów dźwięku i analogicznie, jeden parametr dźwięku może być brany pod uwagę w obliczaniu kilku parametrów obrazu.

### 3.3 Blok generacji obrazu

Zadaniem ostatniego, trzeciego bloku komputerowego systemu wizualizacji dźwięku jest tworzenie obrazu – wyniku działania systemu. Jego generacja następuje na podstawie zdefiniowanego przez autora systemu obrazu, którego przynajmniej jedna cecha jest zależna od zewnętrznego parametru – skorelowanego z wizualizowanym dźwiękiem.

Wygląd otrzymywanej w danym momencie wizualizacji determinowany jest przez:

- sparametryzowany obraz utworzony przez autora systemu,
- wartości parametrów obrazu pochodzących z bloku funkcji przejścia, podanych na wejścia modułu w momencie rysowania,
- wartości parametrów obrazu niezależnych od dźwięku (parametrów losowych, stałych, zależnych od czasu lub innych wartości) w momencie rysowania.

Na zbiór potencjalnych parametrów obrazu mają wpływ:

- planowany wygląd wizualizacji,
- wybór rodzaju tworzonej grafiki (rastrowa / wektorowa, dynamiczna / statyczna),
- założony charakter wizualizacji.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wizualizacja sygnałów akustycznych łączy ze sobą dwa odmienne zmysły ludzkie – wzrok i słuch. W połączeniu tym z pewnością występuje efekt synergii; wizualizacja dźwięku jest więcej, niż tylko sumą oddziaływań na dwa różne zmysły. Zastosowanie komputerów w wizualizacji dźwięku udostępnia nowe możliwości jej zastosowania, jednak ze względu na fakt, że zagadnienie to jest dość młode, budowa komputerowego systemu wizualizacji dźwięku nie jest jeszcze trywialna.

Praca niniejsza miała na celu omówienie podstawowych zagadnień mających wpływ na budowę komputerowych systemów wizualizacji dźwięku. Wprowadzono klasyfikację systemów wizualizacji dźwięku, pozwalającą na podział systemów wizualizacyjnych według przejrzystych i wyczerpujących kryteriów. Dokonano przedstawienia uniwersalnego schematu struktury komputerowego systemu wizualizacji dźwięku. Zaprezentowane zostały podstawowe bloki funkcjonalne schematu wizualizacji, omówiono ich zadania wykonywane podczas procesu wizualizacji.

#### LITERATURA

- [1] Czesław Basztura: *Komputerowe systemy diagnostyki akustycznej*; Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996
- [2] Czesław Basztura: *Rozmawiać z komputerem*; Wydawnictwo Prac Naukowych „FORMAT”, Wrocław 1992
- [3] Kevin T. Dann: *Bright Colors Falsely Seen: Synaesthesia and the Search for Transcendental Knowledge*; Yale University Press 1998.
- [4] Keith D. Martin, Youngmo E. Kim: *Musical instrument identification: A pattern-recognition approach*; 136th meeting of the Acoustical Society of America, X.1998
- [5] *Merriam-Webster's Collegiate Dictionary*; <http://www.britannica.com/dictionary?book=Dictionary&va=visualization&query=visualization>
- [6] Aleksandra Mitrinowicz-Modrzejewska: *Akustyka psychofizjologiczna w medycynie*; Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1974
- [7] Praca zbiorowa pod red. Jerzego Ranachowskiego: *Problemy współczesnej akustyki*; Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 1991
- [8] *Winamp Sound Visualization Plugins*; <http://www.winamp.com/plugins>