

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 245457 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438558**

(22) Data zgłoszenia: **2021.07.21**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.01.23 BUP 04/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.08.05 WUP 32/2024**

(51) MKP:

G01S 15/58 (2006.01)

G10K 15/08 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

WOJDYŁŁO PIOTR, Warszawa, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

PIOTR WOJDYŁŁO, Warszawa, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Wiesław Bieniak, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Sposób przetwarzania dźwięku symulujący akustykę teatru antycznego

PL 245457 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób przetwarzania dźwięku symulujący akustykę teatru antycznego, mający na celu zaprezentowanie walorów estetycznych akustyki teatru antycznego.

Stan techniki

Znane z publikacji Nico F. Declercq and Cindy S. A. Dekeyser, "Acoustic diffraction effects at the Hellenistic amphitheater of Epidaurus: Seat rows responsible for the marvelous acoustics" The Journal of the Acoustical Society of America 121, 2011 (2007) rozwiązanie analizuje jedynie wpływ teatru antycznego na poszczególne częstotliwości – nie uwzględnia wpływu opóźnień. Ponadto odnosi się do zachowanych części teatru, a nie bierze pod uwagę tych, które były zaprojektowane i używane, ale nie zachowały się do naszych czasów. Znane z publikacji Constant Hak, Niels Hoekstra, Bareld Nicolai, Remy Wenmaekers, „Project Ancient Acoustics part 1 of 4: A method for accurate impulse response measurements in large open air theatres.” 23rd International Congress on Sound and Vibration, Athens, Greece (2016) rozwiązanie opiera się na pomiarach odpowiedzi impulsowych, które są jednak obarczone dużym błędem związanym z szumem i niedokładnością pomiaru. Znane rozwiązanie z patentu PL 223995 dotyczy śledzenia torów promieni akustycznych, które pozwala na wyznaczenie odpowiedzi impulsowej wnętrza. Za pomocą odpowiedzi impulsowej filtruje się sygnał wejściowy.

Znane rozwiązania poza PL 223995 nie uwzględniają efektów kwantowych w symulacji akustyki teatru antycznego. Patent PL 223995 stosuje wyznaczanie trajektorii losowych również w powietrzu, co daje niepożądany efekt przy symulowaniu umiarkowanie licznych trajektorii.

Przez „składnik” należy rozumieć substancję jednorodną pod względem gęstości i prędkości rozchodzenia się dźwięku. Przez „ściany” należy rozumieć obiekty akustyczne zbudowane z jednego lub więcej składników składające się na budynek teatru.

Istota rozwiązania

Sposób przetwarzania dźwięku symulujący akustykę teatru antycznego, według wynalazku, polegający na cyfrowym filtrowaniu dźwięku za pomocą skończonej odpowiedzi impulsowej otrzymanej z par sygnałów opóźnienie-tłumienie obliczonych dla trajektorii wychodzących ze źródła dźwięku składających się z odcinków trajektorii w powietrzu i w materiale ścian teatru, charakteryzuje się tym, że pierwsze kierunki odcinków trajektorii dźwięku w powietrzu są losowane, a następne są wyznaczane za pomocą zasady, że kąt odbicia od ściany teatru jest równy kątowi padania na nią odcinka trajektorii aż do momentu, gdy trajektoria osiągnie położenie odbiorcy, natomiast wszystkie kierunki odcinków trajektorii w materiale ścian teatru są losowane.

W korzystnych realizacjach wynalazku materiałem, z którego wykonane są ściany teatru, jest drewno o gęstości 400 kg/m^3 i o prędkości rozchodzenia się w nim dźwięku 4000 m/s , budynek teatru wyposażony jest w scenę i ścianę za sceną, źródłem rozchodzenia się dźwięku są usta aktora, który znajduje się na scenie lub w środku orkiestry, zaś odbiorca siedzi na środku pierwszego rzędu.

Dźwięk przetworzony sposobem według wynalazku jest czystszy, głębszy i mocniejszy od oryginału. Także stwarza wrażenie otaczającej słuchacza dookoła przestrzeni. Szczególnie dotyczy to głosu solisty i brzmienia instrumentu towarzyszącego, jeśli w nagraniu ich dźwięk był przekazywany do blisko usytuowanego mikrofonu.

Sposób przetwarzania dźwięku uwzględnia efekt kwantowy rozchodzenia się dźwięku w materiale, z którego wykonane są ściany teatru, co pozwala zrekonstruować barwę dźwięku przetworzonego. Rozchodzenie się dźwięku w powietrzu podlega zasadom akustyki geometrycznej. Jest to korzystna odmiana w porównaniu z rozwiązaniem zaproponowanym w patencie PL 223995, bo jeśli generujemy odcinki trajektorii w powietrzu przez losowanie kierunków, dźwięk przetworzony staje się ciemniejszy i przytłumiony.

Przykład realizacji wynalazku

Przykładem realizacji wynalazku jest zastosowanie sposobu według wynalazku do nagranego śpiewu artysty do mikrofonu, który jest próbkowany cyfrowo z częstotliwością 44100 Hz z rozdzielczością 16 bitów mono. W tym śpiewie wprowadzamy zmiany za pomocą filtrowania cyfrowego. Dla uzyskania skończonej odpowiedzi impulsowej, przy użyciu której będziemy filtrować sygnał, generujemy trajektorie od punktu początkowego do punktu końcowego przebiegające przez powietrze i przez ściany teatru. Kierunki odcinków, które wychodzą ze źródła i biegną przez powietrze, są losowane. Kierunki odcinków, które biegną przez ściany teatru, są losowane. Następne poza pierwszymi kierunki odcinków,

które biegną przez powietrze, są wyznaczane za pomocą zasady, że kąt odbicia jest równy kątowi padania.

Dla każdego odcinka trajektorii wyznaczamy parę sygnałów cząstkowych opóźnienie-tłumienie. Cząstkowe opóźnienie i tłumienie wyznacza się na podstawie gęstości i prędkości rozchodzenia się dźwięku w składnikach ściany lub w powietrzu: opóźnienie jako iloraz drogi pokonanej w składniku przez prędkość w tym składniku, tłumienie F w składniku jest określone wzorem:

$$F = 1 + \frac{S \times N}{V \times D^{1/3}} \quad (1)$$

gdzie:

N – ilość próbek na sekundę w dźwięku, który ma być przetwarzany,

V – prędkość w składniku,

S – odległość pokonana przez cząstkę w składniku,

D – gęstość składnika.

W omawianym przykładzie $N=44100$.

Proporcje teatru są wyznaczone zgodnie z opisem z Witruwiusza "O architekturze ksiąg dziesięć" Prószyński i Spółka, Warszawa 2004, s.136, a rozmiary wzięte z danych teatru w Epidauros. Należy uwzględnić fakt, że w Epidauros wyższa część siedzeń została uzupełniona dopiero w czasach rzymskich. Przedtem była w tym miejscu kolumnada. Dla symulacji uwzględniono, że materiałem, z którego zbudowany jest teatr, jest drewno o gęstości 400 kg/m^3 i o prędkości rozchodzenia się w nim dźwięku 4000 m/s .

Drewno lekkie (sosna, jodła, świerk) ma gęstość $400\text{--}500 \text{ kg/m}^3$, a charakteryzująca je prędkość dźwięku to $4000\text{--}5000 \text{ m/s}$. Wybór parametrów gęstość 400 kg/m^3 i prędkości dźwięku 4000 m/s daje dobrą reprezentację rzeczywistego materiału.

Budynek teatru należy uzupełnić o scenę i ścianę za sceną, których w Epidauros brakuje.

Symulacja polega na tym, że o nagrany głosie artysty zakładamy, że rozchodzi się z punktu początkowego, którym są usta aktora stojącego na środku krawędzi sceny, do punktu końcowego, jakim są uszy odbiorcy siedzącego na środku pierwszego rzędu. Z punktu początkowego, którym są usta aktora stojącego na środku krawędzi sceny, generujemy trajektorie złożone z elementów rozchodzenia się dźwięku w powietrzu i z elementów rozchodzenia się dźwięku w materiale ścian. Tłumienie obliczamy ze wzoru (1) powyżej. Następnie opóźnienia sumujemy, a tłumienia mnożymy i otrzymujemy parę sygnałów opóźnienie-tłumienie dla trajektorii. Trajektorii generujemy tyle, aby dodanie kolejnej nie zmieniało wartości odpowiedzi impulsowej dla tego samego opóźnienia o więcej niż 1%.

Źródło dźwięku znajduje się na poziomie ust aktora stojącego na krawędzi sceny na jej środku. Odbiornik dźwięku znajduje się na wysokości uszu słuchacza siedzącego w środku pierwszego rzędu.

Odbiór dźwięku przez słuchacza uwzględnia różnice związane z położeniem uszu (HRTF – Head Related Transfer Function).

Dla każdej trajektorii wyznaczane są pary sygnałów opóźnienie-tłumienie, które następnie są agregowane przy zgodnych opóźnieniach. Tak otrzymujemy odpowiedź impulsową, za pomocą której filtrujemy sygnał wejściowy, aby zasymulować akustykę teatru antycznego.

Znawca z łatwością wprowadzi zmiany dla innego położenia źródła dźwięku na scenie lub innego położenia odbiornika, na widowni. Korzystne jest również umieszczenie źródła dźwięku na orkestrze, skąd były wykonywane partie chóralne.

Dla lepszego zrozumienia wynalazku należy zaznaczyć, że zachowane do naszych czasów teatry kamienne wymagały użycia naczyń rezonansowych. Opisywane przez Witruwiusza naczynia rezonansowe były nastrojone stosownie do używanych w tamtym czasie skal muzycznych. Teatry drewniane, zgodnie z opisem Witruwiusza, nie wymagały ich użycia.

Dalej, Witruwiusz opisuje dwa rodzaje teatrów: tzw. grecki i tzw. rzymski. Teatr grecki jest przeznaczony do widowisk muzycznych i aktorzy występują na scenie i na orkestrze. Dlatego do wyznaczenia odpowiedzi impulsowej lepiej przyjąć teatr grecki.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób przetwarzania dźwięku symulujący akustykę teatru antycznego, który polega na cyfrowym filtrowaniu dźwięku za pomocą skończonej odpowiedzi impulsowej otrzymanej z par sygnałów opóźnienie-tłumienie obliczonych dla odcinków trajektorii w materiale ścian teatru, których kierunki są losowane, **znamienny tym**, że pierwsze kierunki odcinków trajektorii dźwięku w powietrzu są losowane, a następne są wyznaczone za pomocą zasady, że kąt odbicia od ściany teatru jest równy kątowi padania na nią odcinka trajektorii, aż do momentu, gdy trajektoria osiągnie położenie odbiorcy.
2. Sposób przetwarzania dźwięku według zastrz. 1, **znamienny tym**, że materiałem, z którego wykonane są ściany teatru, jest drewno.
3. Sposób przetwarzania dźwięku według zastrz. 2, **znamienny tym**, że drewno ma gęstość 400–500 kg/m³, a prędkość rozchodzenia się w nim dźwięku 4000–5000 m/s.
4. Sposób przetwarzania dźwięku według zastrz. 1, **znamienny tym**, że budynek teatru wyposażony jest w scenę i ścianę za sceną.
5. Sposób przetwarzania dźwięku według zastrz. 1, **znamienny tym**, że źródłem rozchodzenia się dźwięku są usta aktora, który znajduje się na scenie lub w środku orchestry.
6. Sposób przetwarzania dźwięku według zastrz. 1, **znamienny tym**, że odbiorca siedzi na środku pierwszego rzędu.