

가상 점 음원에 의해 형성되는 제어 영역의 음장 재생 기법

Reproduction technique of sound field produced by virtual point source

노지인† · 박영진*
Jeein Noh and Youngjin Park

1. 서 론

최근 멀티미디어 시스템의 발달로 3 차원 입체 텔레비전이 이미 상품화되어 시장에 나오고 있으며, 곧이어 홀로그램 영상매체 또한 새롭게 등장할 것이라고 예상된다. 이에 따라 홀로그램용 음향 기술의 개발이 필요하다. 홀로그램용 음향 기술을 구현 시, 홀로그램의 영상이 위치한 곳에 실제 스피커를 설치하지 못함으로 인해 영상과 음향 간의 불일치가 발생할 수 밖에 없다. 이를 위해 홀로그램 영상 외부에 설치된 다채널 서라운드 스피커 시스템을 활용하여 홀로그램 영상 중앙에 점 음원을 위치시키는 기술이 개발되어야 한다.

이러한 홀로그램용 음향 기술의 한 예를 시뮬레이션으로 구현해본 결과, 이상적인 상황과 다채널 서라운드 스피커 시스템을 이용하여 점 음원을 재생해주는 실제 상황 간의 오차로 inward sound wave 와 outward sound wave 가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 만약 이러한 두 개의 wave 에 의해 발생하는 신호를 시간 영역에서 구분하여 가중치를 주어 문제를 접근한다면 보다 나은 결과가 나올 것이라고 예상하였다. 하지만 음장 재생 기법에 관한 연구들을 대부분 주파수 영역에서 이루어져 있고 이러한 시간 영역에서 가중치를 주는 문제를 해결하기 위해서는 시간 영역에서의 접근이 보다 용이할 것이라고 판단하였다. 따라서, 본 연구에서는 음원의 재생을 시간 영역에서 접근하여 기존의 연구에서 수행하였던 일반적인 경우들에 대한 음원 재생 기술을 개발하고 더 나아가 시간 영역에서 가중치를 주어 기존의 연구를 보완하는 것을 목표로 한다.

2. 문제 및 목적 함수 정의

2.1 문제 정의

본 연구의 목표는 시간 영역에서의 음장 재생이다. 하지만 기본적으로 발생할 수 있는 모든 음장을 재생하기보다는 하나의 고정된 가상 점 음원(monopole)으로부터 발생하는 제어 영역에서의 음장 재생을 목표로 하고 있다. 하나의 입력 신호를 이용하여 스피커 시스템으로부터 가상 점 음원에 의한 음장을 구현해줄 경우, 이러한 입력 신호와 독립적으로 필터가 결정될 것이라고 예상된다. (이러한 계산 결과는 제 3장의 목적 함수 계산 결과를 통해 확인할 수 있다.) 연구에 사용되는 스피커 시스템 같은 경우, 멀티 채널의 라인 어레이 스피커를 기본으로 하며, 스피커 시스템의 개폐 여부는 상관없다. 제어 공간의 경우, 유한 공간이어야 하며, 가상의 점 음원과 겹쳐지는 경우에는 계산할 수 없다.

2.2 시간 영역에서의 목적 함수 정의

2.1 장에서 이루어진 문제 정의에 의거하여, 시간 영역에서의 음장 재생을 구현하고 가중치를 주기 위해서는 시간 영역에서 새로운 목적 함수를 정의해야 한다. 시간 영역에서 새롭게 정의한 목적 함수는 아래의 식과 같다.

$$J = \int \int_{-\infty}^{\infty} W(t) \cdot (p_{desired}(r,t) - p_{real}(r,t))^2 dt dV$$

$s_0(t)$ 가 스피커의 입력 신호, $h(r|r_s)$ 가 음원의 신호와 제어 위치 간의 전달함수이고 k_i 가 각 스피커 별 필터일 때, 각각의 파라미터들은 다음과 같이 정의된다.

$$p_{desired} = h(r|r_d) * s_0(t)$$

$$p_{real} = \sum_{i=1}^N h(r|r_{s_i}) * k_i(t) * s_0(t)$$

$W(t)$ 는 시간 축의 가중치로 시간 축에서 가중치가 필요없는 일반적인 경우에는 1로 가정할 수

† 교신저자; KAIST 기계공학과
 E-mail : vjvlfjq@kaist.ac.kr
 Tel : (042) 350-3076, Fax : (042) 350-8220
 * KAIST 기계공학과

있다. 목적 함수는 재생하고자 하는 가상 점 음원에 의한 음장과 스피커 시스템에 의해 재생된 음장 간의 오차를 시간 영역과 공간 영역에서 적분한 값이며 아래 식과 같이 이러한 목적함수를 최소화하는 스피커 별 필터 값이 그 해가 된다.

$$F = \arg \min_F J$$

이와 같이 정의한 목적 함수를 제어 가능한 범위 내에서 가상 점 음원과 제어 영역의 위치를 정의하여 계산하게 되면 그 해를 얻을 수 있다.

3. 주파수 영역에서의 해석

3.1 주파수 영역에서의 목적 함수 계산

시간 영역에서 구한 목적 함수는 convolution 부분에 의해 계산에 어려움이 있다. 따라서 이를 먼저 주파수 영역에서 계산하였다. Parseval's theorem에 의해 시간 영역에서의 목적 함수는 다음과 같이 표현될 수 있다. 일반적인 경우에 적용하기 위해 기존의 식에서 가중치는 1로 두고 계산과정을 진행하였다.

$$J = \iint_V |p_{desired}(r, t) - p_{real}(r, t)|^2 dt dV$$

$$= \iint_V |p_{desired}(r, f) - p_{real}(r, f)|^2 df dV$$

본 식을 주파수 영역에서 계산하여 최적의 필터를 구하면 아래의 식과 같다.

$$k(f) = \left(\int_V H_s^H \cdot H_s dV \right)^{-1} \left(\int_V H_s^H h_d dV \right)$$

최종적으로 계산된 필터 값은 가상 점 음원과 스피커의 입력 신호와는 무관하다는 계산 결과가 나온다. 이는 본 목적 함수가 스피커에 입력되는 입력 신호와 상관없이 스피커와 제어 영역까지의 전달함수만을 이용하여 최적의 필터 값을 계산할 수 있게 해준다는 결론이 된다. 이와 같이, 주파수 영역에서 계산된 필터 값은 다음과 같은 계산 과정으로 시간 영역에서 구한 필터 값과 일치할 것이며, 그 내용은 차후에 계산될 것이다.

3.2 주파수 영역에서의 모의 실험

주파수 영역에서 계산된 목적 함수를 토대로 모의 실험을 수행하였다. 하지만, 무한한 음장을 유한한 스피커 어레이 시스템으로 구현하는 데에는 제약이 발생한다. 스피커의 개수가 적으면 공간 상의 에일리어싱이 발생하기 때문에 현실적으로 가능한 스피커 배치 범위 내에서 스피커의 개수에 제약을 두었

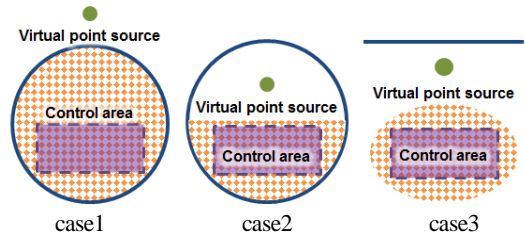


Figure 1 가상 점음원과 제어영역의 위치가 다른 세가지 경우. 파란 선은 스피커 어레이, 주황색은 제어영역, 초록 점은 가상 점 음원의 위치를 의미한다.

다. 모의 실험은 Figure 1과 같이 크게 세 가지 경우에 대해 진행되었다. 그러한 시뮬레이션 결과는 Figure 2와 같다.

세 가지 경우의 모의 실험 결과, 스피커 개수의 제약으로 발생하는 공간 상의 에일리어싱에 의해 예상했던 대로 6 kHz 이상의 10 kHz부터는 제어가 되지 않지만 5 kHz까지의 결과는 실제 점 음원이 가상 점 음원을 생성시키고자 하는 위치에 있을 때와 거의 차이가 없다는 것을 관찰하였다. 이로써, 한 가지 목적 함수를 가지고 다양하게 가상 점 음원과 제어영역을 위치시켰을 때 원하는 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

음향 재생에 관한 많은 연구가 이미 연구되었고 활발히 진행 중에 있지만, 대부분의 연구는 주파수 영역에서 이루어졌다. 하지만 이론적으로 불가능하다고 알려진 제어 영역 가운데 가상 점음원이 존재하는 경우를 모의 실험하여 신호를 분석한 결과, 시간 영역에서 이상적인 경우와 실제적인 경우의 차이가 관찰되었으며, 그 차이점이 되는 inward sound wave를 줄일 수 있는 방법으로 음장 재생의 시간 영역에서의 접근을 시도하게 되었다. 이에 따라 본 연구에서는 먼저 시간 영역에서 정의한 목적 함수를 계산이 용이한 주파수 영역에서 계산하여 해석하고 모의 실험을 수행하도록 하였다. 목적 함수를 계산하면 본 목적 함수가 스피커에 입력되는 입력 신호와 상관없이 스피커와 제어 영역까지의 전달함수만을 이용하여 최적의 필터 값을 계산할 수 있게 해준다는 결론이 나왔다. 이를 통해 모의 실험을 수행한 결과, 스피커 시스템 내부에 제어 영역을 배치하고 가상 음원을 스피커 시스템 내, 외부에 위치시킬 경우에

대해 이상적인 경우와 큰 오차가 없는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서, 제어 영역과 스피커 시스템 사이의 배치 및 가상 음원의 위치가 달라져도 하나의 목적 함수만을 이용하여 해를 구할 수 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2011-0018240)

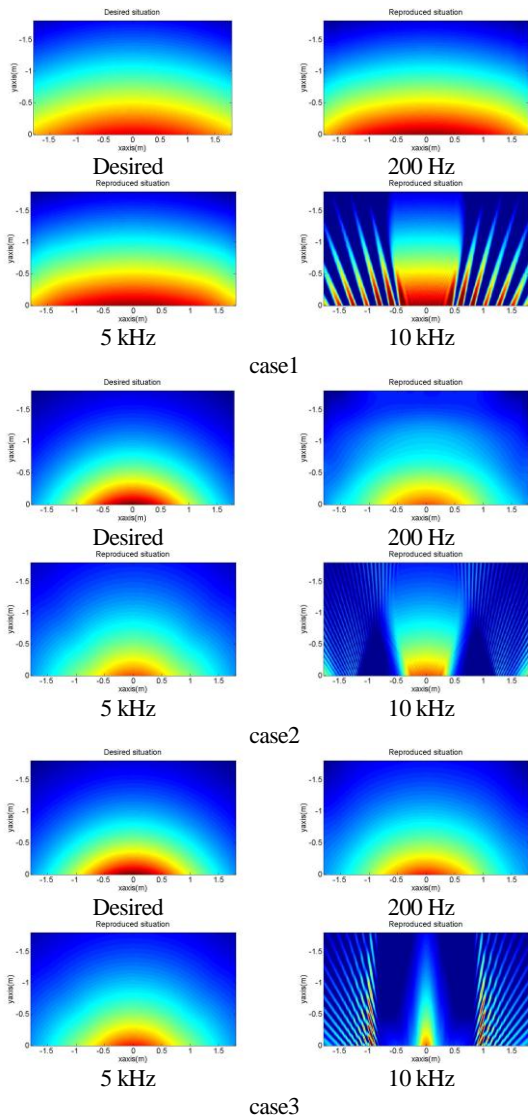


Figure 2 각 case 별 모의 실험 결과.