

# 주성분 분석을 이용한 3 차원 공간의 머리전달함수 데이터 축소 Data reduction of three-dimensional Head-Related Impulse Responses based on Principal Components Analysis

손대혁† · 박영진\* · 박윤식\*\* · 장세진\*\*\*

Daehyuk Son, Youngjin Park, Youn-sik Park and Sei-jin Jang

## 1. 서 론

3차원 입체 음향을 구현하거나 그에 대한 연구를 하기 위해서는 머리전달함수(Head-Related Transfer Function) 데이터베이스의 구축이 필요하다. 따라서 KAIST SDAC 연구실에서는 데이터베이스를 구축하였고, 피실험자의 수를 늘려 데이터베이스를 확장할 것이다. 하지만 다양한 연구에의 활용성을 높이기 위해 데이터베이스를 공개할 경우 측정 대상의 수가 많고, 측정 데이터 포인트 수(1764개)가 많기 때문에 데이터 크기의 축소가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 주성분 분석법을 이용해 데이터의 크기를 줄일 수 있는 방법을 소개한다. 측정된 3차원 공간 상의 머리전달함수 데이터 전체를 주성분 분석법을 이용하여 모든 측정점의 머리전달함수를 시간 지연, 주성분, 주성분 가중치로 표현하여 전체 데이터의 크기를 축소할 수 있다.

## 2. 3 차원 공간의 머리전달함수 해석

### 2.1 시간 영역에서의 머리전달함수 정렬

다음 절에서 설명할 주성분 분석법을 머리전달함수 데이터 축소에 활용하기 위해 먼저 시간 영역에서 각 측정점들 간의 시간 지연을 보상해 주기 위한 정렬 과정이 필요하다. 이는 초기 시간 지연을 제거하는 것인데, 이 때 초기 시간 지연은 음원에서 방사된 소리가 청자의 고막에 도달하는 데 걸리는

시간을 의미한다. 이러한 과정을 통해, 주성분 분석 후에 시간 지연에 의해 발생하는 무의미한 주성분의 개수를 줄일 수 있고, 주성분 분석에 사용될 시간영역에서의 머리전달함수 크기를 의미 있는 정보의 손실 없이 효과적으로 줄일 수 있다.

### 2.2 주성분 분석을 이용한 머리전달함수 데이터 축소

#### (1) 주성분 분석법 (Principal Components Analysis)

주성분 분석법은 서로 연관되어 있는 데이터들을 표현하는데 매우 효율적인 통계적인 방법으로 알려져 있다. 기본적인 아이디어는 다차원의 데이터셋을 원래의 데이터의 다양함을 최대한 유지하면서 저차원으로 줄이는 것이다. 그 과정을 간단하게 설명하면, 데이터셋 행렬 전체( $X$ )에서 평균 벡터( $u$ )를 추출한 행렬( $B$ )의 공분산 행렬( $C$ )의 고유 벡터( $v_i$ )를 구한다. 이때 구한 고유 벡터를 고유치의 크기에 따라 정렬한 것을 주성분( $v_i$ )이라고 한다. 또한 주성분 가중치( $W$ )는 각각의 주성분들이 머리전달함수 데이터에 얼마나 많은 기여를 하는 지를 의미한다. 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$B = X - u \cdot h \quad (1)$$

$$C = E[B \otimes B] = (1/(M-1))B \cdot B^* \quad (2)$$

$$W = V^* \cdot B \quad (3)$$

#### (2) 머리전달함수 모델링을 통한 사용할 주성분 개수 선정

주성분 분석을 이용하여 머리전달함수의 데이터 축소가 얼마나 가능한지 확인하기 위하여 머리전달함수를 모델링하였다. 이 때 수치적으로 비교하기 위해 모델링 오차라는 개념을 정의하여 주성분과 주성분 가중치를 이용하여 머리전달함수를 모델링 할 때 발생하는 오차가 얼마나 되는지를 분석하

† 교신저자; KAIST 기계공학과

E-mail : infinitude@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-3060, Fax : (042) 350-8220

\* KAIST 기계공학과

\*\* KAIST 기계공학과

\*\*\* KETI 디지털미디어센터

였다. 모델링 오차를 구하기 위한 식은 다음과 같다. 이때 아래 첨자  $F$ 는 Frobenius norm을 의미한다.

$$\%error(k) = \frac{\|X - \tilde{X}_k\|_F}{\|X\|_F} \times 100 (\%) \quad (4)$$

모델링에 사용한 주성분 개수에 따른 오차를 표로 나타내면 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Modeling error

PC#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Error	42	24	20	17	13	11	9	8	7	6	5	4

결과를 보면 주성분 12개를 이용하여 모델링 오차 5% 이내의 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 실제로 한 측정점에서 모델링된 머리전달함수와 원래 머리전달함수를 그려서 비교해보면 Fig 1과 같다.

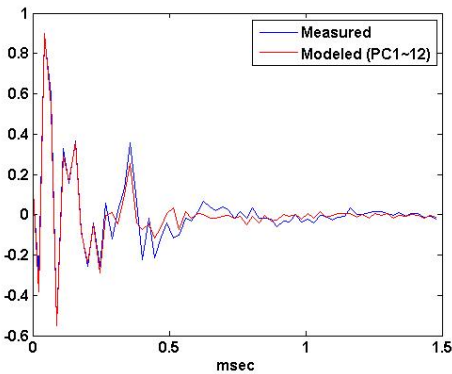


Fig 1. Comparison between original data and modeled data

그림을 보면 머리전달함수 모델링이 잘 이루어진 것을 확인할 수 있다. 문헌에 따르면 95%의 모델링 정확도를 바탕으로 모델링한 머리전달함수를 이용하여도 주관 평가를 했을 때는 피실험자가 느끼는 차이는 매우 미미하다.<sup>(1)</sup> 따라서 3차원 공간 전체에 대한 주성분 분석을 수행하여 12개의 주성분을 이용하여 머리전달함수를 모델링함으로써 데이터의 크기를 줄이는 방법이 가능하다고 할 수 있다.

(3) 주성분 분석을 이용한 머리전달함수 데이터 축소

머리전달함수 데이터 크기를 줄이기 위해 앞서 언급한 주성분 분석을 수행하였다. 이를 통해 기존의 시간 영역에서의 머리전달함수 데이터 전체를

각 측정점의 시간 지연, 주성분, 주성분 가중치, 전체 평균을 이용하여 나타낼 수 있다. 이전의 절에서 보였듯이 12개의 주성분을 이용하여 머리전달함수를 모델링하면 5% 오차 범위 이내로 정확한 모델링이 가능하다. 따라서 12개의 주성분과 주성분 가중치 그리고 전체 데이터의 평균과 각 측정점에서의 시간 지연을 이용하여 모든 측정점에서의 머리전달함수를 표현한다.

원래의 한 피실험자의 한 쪽 귀의 머리전달함수 데이터는 512\*1764 크기의 행렬로 데이터 크기는 약 2.88MB 이다. 물론 이 데이터는 시간 영역에서의 머리전달함수만을 의미하고 클렌징을 통한 잡음 제거 등의 과정이 모두 이뤄진 후에 저장한 데이터이다. 앞서 언급하였다시피 초기 시간지연은 머리전달함수 정렬 과정에서 모두 동일하게 제거하였고, 그 값은 정수의 샘플 지연으로 정의할 수 있다.

먼저 전체 데이터의 평균은 1\*67 크기의 행렬이다. 각 측정점의 시간 지연은 1\*1764 크기의 행렬이다. 주성분 12개 행렬은 67\*12 크기의 행렬이다. 주성분 가중치 12개 행렬은 12\*1764 크기의 행렬이다. 이 네 가지 데이터를 하나의 데이터 파일로 저장하면 그 크기는 약 165KB 가 된다. 따라서 주성분 분석을 이용하여 데이터 크기를 약 5.6%로 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 3차원 공간의 머리전달함수의 데이터 크기를 줄이기 위해 주성분 분석법을 이용하였다. 주성분과 주성분가중치를 이용하여 머리전달함수를 모델링하여 모델링 오차를 보았을 때 12개의 주성분을 이용하면 5% 오차 범위 이내의 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 따라서 12개의 주성분을 이용하여 원래 데이터를 모델링하면 데이터 크기를 약 5.6%이내로 줄일 수 있다. 향후 과제는 이를 바탕으로 여러 명의 피실험자의 3차원 공간상의 머리전달함수 데이터 크기를 더 현저하게 줄이고, 방법을 검증하는 것이다.

### 후 기

이 논문은 2010년도 정부(지식경제부)의 재원으로 산업융합기반구축사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 10037244).