

다채널 입체음향 시스템의 스피커 구동 기법

*김선민, **박영진

*삼성전자(주), **한국과학기술원

Driving method of multiple loudspeakers for virtual sound localization system

*Sunmin Kim, **Youngjin Park

*SAMSUNG ELECTRONICS CO.LTD, sunmin21.kim@samsung.com,

** KAIST, yjpark@mail.kaist.ac.kr

요약

다채널 입체음향 시스템은 다수의 스피커를 사용하여 입체음향을 재현하므로 바이너럴 사운드 시스템에 비해 정확한 정위감과 넓은 sweet spot를 얻을 수 있다. 다채널 입체음향 시스템의 스피커 구동 기법은 각 스피커들 사이의 크기를 조절하는 amplitude panning 방법이 주로 사용된다. 그러나 이 방법은 각 스피커들 사이의 거리가 다르게 배치될 경우 성능이 저하되므로 본 논문에서는 각 스피커들의 위치가 다를 경우에도 손쉽게 설계가 가능한 스피커 구동방법을 제안한다.

1. 서론

바이너럴 사운드 시스템은 기존의 스테레오 오디오 시스템을 이용하여 입체음향을 재현할 수 있으므로 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 바이너럴 사운드 시스템의 성능은 머리전달함수에 대단히 의존하므로 많은 사람들이 머리전달함수에 대한 연구를 진행하고 있다. 위에서 언급한 바와 같이 머리전달함수에 가장 영향을 많이 미치는 것은 사람의 귓바퀴인데 모든 사람들이 다른 귓바퀴를 가지고 있으므로 정확한 정위감을 얻기 위해서는 개개인 마다 다른 머리 전달 함수가 필요하다는 데에 바이너럴 사운드의 한계가 있다.[1]

바이너럴 사운드 시스템에 비해 정확한 정위감을 얻을 수 있는 다채널 입체음향 시스템에 대한 연구는 바이너럴 사운드 시스템에 비해서 많이 이루어지지 않고 있고 그 시스템이 표준화되지 않은 실정이다. 최근 들어 오디오 시스템 하드웨어의 급속한 발전과 좀

더 높은 수준의 음향에 대한 사회적인 요구가 높아지면서 일반 사용자들의 소리에 대한 관심이 증대되고 있으며 비행기 시뮬레이터와 같이 수평면 뿐만 아니라 위와 아래에서의 정위감이 중요한 응용 사례들이 늘어나고 있고 정확한 정위감을 요구하고 있는 추세이다. 다채널 입체음향 시스템의 스피커 구동 기법은 각 스피커들 사이의 크기를 조절하는 amplitude panning 방법이 주로 사용된다. 그러나 이 방법은 각 스피커와 청취자의 머리중심과의 거리를 정규화하여 유도하므로 스피커들 사이의 거리가 다를 경우 성능이 저하된다. 따라서, 본 논문에서는 각 스피커들의 위치에 제약이 없을 때 amplitude panning 방법에 기반한 스피커 구동방법을 제안한다.

2. 다채널 스피커 구동 기법

2.1. VBAP 기법

1997년에 Pulkki는 다채널에 두 귀간의 레벨차를 응용한 VBAP(vector base amplitude panning) 알고리즘을 제안하였다.[2] 이 방식은 청취자 주위의 3차원 공간상에 다수의 스피커를 배치하여 각 스피커의 출력 신호의 크기를 제어함으로써 가상의 정위감을 구현하는 것이다. VBAP 알고리즘은 머리전달함수를 사용하지 않고 간단한 행렬 계산만 하므로 시간 지연이 거의 없다. 물리적으로 스피커를 3차원 공간 상에 배치하므로 복잡한 하드웨어를 요구하는 반면, 바이너럴 사운드에 비해 정확한 정위감을 얻을 수 있다. 그림 1은 VBAP 방법의 개념도를 나타낸다.

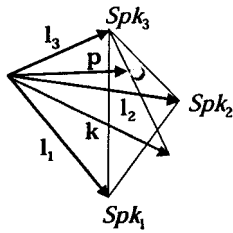


그림 1. VBAP 방법의 개념도

여기서, 가상음원의 위치 벡터 \mathbf{p} 는 사용자의 머리 중심과 재생하고자 하는 가상음원의 위치를 연결하는 3차원 벡터를 그 크기가 1이 되도록 정규화한(normalized) 단위 벡터이다. 우선, 공간 상에 배치된 여러 개의 스피커 중 가상음원을 둘러싸고 있는 세 개의 스피커를 선택한다. 가상음원의 위치가 바뀔 때마다 이 세 개의 스피커 세트는 바뀌게 된다. 사용자의 머리 중심과 선택된 세 개의 스피커를 연결하는 3차원 벡터를 그 크기가 1이 되도록 정규화한(normalized) 단위 벡터를 각각 \mathbf{l}_1 , \mathbf{l}_2 , \mathbf{l}_3 라 정의한다. 이 세 벡터를 기본 벡터(base vector)로 하여 가상음원의 위치 벡터 \mathbf{p} 를 표현하면 다음 식과 같다.

$$\mathbf{p} = g_1\mathbf{l}_1 + g_2\mathbf{l}_2 + g_3\mathbf{l}_3 \quad (1)$$

여기서, $\mathbf{p} = [p_1 \ p_2 \ p_3]^T$, $\mathbf{l}_1 = [l_{11} \ l_{12} \ l_{13}]^T$, $\mathbf{l}_2 = [l_{21} \ l_{22} \ l_{23}]^T$, $\mathbf{l}_3 = [l_{31} \ l_{32} \ l_{33}]^T$ 이고 위 첨자 T는 행렬의 transpose를 나타낸다.

가상 음원의 위치 벡터 \mathbf{p} 와 가장 가까운 3개의 스피커에 상응하는 벡터들을 이용해 식 (2)와 같이 계산된 계인(g_1, g_2, g_3) 값으로 해당 채널의 출력신호를 조절한다. 즉, 가상 음원에서 가까운 스피커 3개를 선택하여 음원에서 가장 가까운 위치에 있는 스피커에서 가장 큰소리를 내고 조금 더 떨어진 위치에 있는 스피커에서는 그만큼 작은 소리를 내는 방법이라 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

위의 계인 값은 모두 거리에 대해서 정규화한 벡터를 사용하여 구한 값이기 때문에 가상음원의 거리와 상관없이 세 스피커의 출력 값의 비율만이 정해진다. 최종 스피커의 출력 값은 가상음원의 거리로 나눈 값을 사용하여 결정한다. 즉, 가상음원의 거리가 멀수록 스피커의 출력 값은 작아지게 된다.

가상음원의 위치 벡터와 스피커의 위치 벡터를 정규화하여 사용하는 이유를 살펴보자. 만약에 정규화한 단위 벡터를 사용하지 않고 위치 벡터 그대로 사용한다고 가정하면 음원의 거리와 음압에 대한 역 관계가 성립되지 않고 비례 관계가 성립되게 된다. 가상음원의 거리가 멀어지게 되면 스피커의 출력 값은 작아져야 하는데 식

(2)에서 p_i ($i = 1, 2, 3$) 값이 커지게 되어 스피커 출력 값은 커지게 된다. 또한, 같은 거리의 가상음원에 대해서 스피커의 거리가 멀어지게 되면 스피커의 출력 값은 커져야 하는데 식 (2)에서 l_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) 값이 커지게 되고 역 행렬의 값이 작아지게 되어 스피커의 출력 값이 작아지게 된다. 이와 같이 위치 벡터를 그대로 사용하게 되면 거리와 음압에 대해서 반대의 영향이 나타나므로 단위 벡터를 사용하여 세 개의 스피커 출력 값에 대한 비율을 계산한 후에 가상음원의 거리에 대한 효과를 고려하여 최종적으로 스피커의 출력 값을 결정해야 한다.

따라서, VBAP 방법은 스피커 간의 거리를 정규화하여 스피커의 출력 값을 결정하게 된다. 즉, VBAP 방법으로 다채널 입체음향 시스템을 구현하기 위해서는 모든 스피커 간의 거리가 같도록 스피커를 배치하여야 가장 좋은 성능이 나온다. 그러나, 현실적으로 다채널 스피커를 배치하는데 있어 공간의 크기와 모양에 따라 스피커를 배치할 수 있는 위치가 제한되므로 모든 스피커 간의 거리가 같도록 스피커를 배치하기에는 많은 어려움이 따른다. 일례로 4장에서 언급할 헬기 시뮬레이터를 위한 5채널 입체음향 시스템이나[3] 자전거 시뮬레이터를 위한 8채널 입체음향시스템[4] 같은 경우, 수평면 뿐만 아니라 사용자의 머리 위에도 스피커를 배치해야 했기 때문에 공간 상의 제약을 많이 받아 스피커 간의 거리를 똑같이 하는 것은 불가능하였다.

스피커 간의 거리가 다른 경우에 VBAP방법을 사용하여 입체음향 시스템을 구현하였을 경우 입체음향 시스템의 성능이 저하된다. 수평면 상에서 두 개의 스피커를 사용하여 두 스피커의 정 중앙에 음상(sound image)를 형성하기 위해서는 두 개의 스피커에서 똑 같은 크기의 소리를 출력하면 된다. 그러나 두 개의 스피커 간의 거리가 다를 경우 사용자에게 가까이 위치한 스피커의 소리가 먼저 들리게 되어 음상은 정 중앙에 형성되지 않고 그 스피커 쪽으로 치우쳐서 형성되게 된다.[5] 이러한 현상을 선착 효과(precedence effect or haas effect)라고 한다. 또한, 두 스피커의 소리의 시간 지연이 없다고 하더라도 두 스피커의 소리의 세기가 차이가 나면 소리의 세기가 큰 쪽의 스피커 쪽으로 음상이 이동하게 된다.[6] 이를 다음절에서도 언급될 스테레오 사인 법칙(stereophonic law of sines)이라 한다. 따라서, 두 스피커 간의 거리가 다를 경우, 두 스피커에서 똑 같은 크기의 소리가 나더라도 가까이 있는 스피커의 소리는 먼저 도착할 뿐만 아니라 그 세기가 크기 때문에 음상은 정 중앙에서 형성되지 않고 가까운 스피커 쪽으로 멎히게 된다.

그리므로 기본적으로 크기 패닝(amplitude panning)의 원리를 이용하는 VBAP 방법은 스피커 간의 거리가 다르게 배치된 경우, 스피커 간의 거리를 똑 같이 배치한 경우에 비해 입체음향 성능이 떨어지게 된다. 다음절에서는

배치된 스피커 간의 거리가 다르더라도 스피커 간의 거리가 똑 같은 경우와 같은 성능을 갖도록 스피커 간의 거리를 고려함으로써 시간 지연과 세기를 조절하여 스피커의 출력 값을 결정하는 방법을 제안한다.

2.2. Generalized VBAP 기법 (GVBAP)

3차원 공간 상에서의 일반화된 VBAP 기법을 설명하기 이전에 기본적인 아이디어의 이해를 돕기 위해 그림 2에 수평면 상에서 거리가 달리 배치된 두 개의 스피커를 사용하는 시스템을 제시한다.

3차원 공간 상에서의 GVBAP 기법을 다음과 같이 제안한다. 앞으로 사용될 3차원 공간에 대한 변수는 그림 2에서 사용된 변수들을 3차원 공간으로 확장하여 생각하면 된다. 3차원 공간은 복잡하므로 2차원에서 먼저 이해를 하는 것이 궁극적으로 3차원 공간에 대한 이해를 도울 것이다.

3차원 공간 상에 위치한 가상음원의 머리 중심 M에 대한 3차원 위치 벡터를 \mathbf{r}_s 로 정의하고 가상음원을 둘러싸고 있는 거리가 다르게 배치된 세 개의 스피커들의 위치 벡터를 \mathbf{r}_i ($i = 1, 2, 3$)로 정의한다. 머리 중심에서 가상음원까지의 거리를 r_s , 스피커까지의 거리를 r_i 라고 하자.

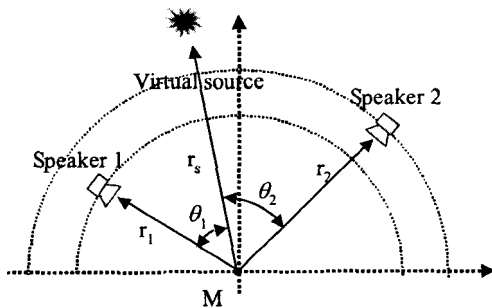


그림 2. 스피커 간의 거리가 다른 배치

가상음원의 음압을 p_s 라고 하면 가상음원에서 나온 소리가 머리 중심 M에 도착했을 때의 음압 p_{sM} 은 자유음장에서 다음과 같이 표현된다.

$$p_{sM} = \frac{1}{r_s} e^{-jkr_s} p_s \quad (3)$$

여기서, k 는 파수(wave number)이다. 스피커의 출력 음압을 p_i 라고 하면 스피커에서 나온 소리가 머리 중심 M에 도착했을 때의 음압 p_{iM} 은 자유음장에서 다음과 같이 표현된다.

$$p_{iM} = \frac{1}{r_i} e^{-jkr_i} p_i, \quad i=1,2,3. \quad (4)$$

식 (5)와 같이 머리 중심에서 가상음원에 의한

음압과 스피커에 의한 음압의 합이 같아지도록 한다.

$$p_{sM} = p_{1M} + p_{2M} + p_{3M} \quad (5)$$

가상음원과 스피커의 거리에 대한 영향은 식 (3)과 (4)에서 이미 고려가 되었으므로 머리 중심에서의 세 개의 스피커에 의한 음압은 VBAP방법의 계인을 사용하여 다음 식과 같이 계산한다.

$$p_{iM} = g_{si} p_{sM}, \quad i=1,2,3. \quad (6)$$

여기서, g_{si} 는 식 (5)를 만족시키기 위해 식 (2)의 VBAP방법의 계인 g_i 을 다음과 같이 정규화한 값이다.

$$g_{si} = \frac{g_i}{g_1 + g_2 + g_3}, \quad i=1,2,3 \quad (7)$$

식 (3), (4), (6)을 만족하는 세 개의 스피커에서의 음압 p_i 는 다음식과 같이 음원의 거리에 반비례하고 스피커의 거리에 비례하고 스피커의 거리에 따른 시간 지연 항과 세 개의 스피커의 출력 값의 비율과 관련된 계인으로 표현된다.

$$p_i = g_{si} \frac{r_i}{r_s} e^{-jk(r_s-r_i)} p_s, \quad i=1,2,3. \quad (8)$$

여기서, $e^{-jk(r_s-r_i)} = e^{-j\omega\Delta_i}$, $|\omega| < \pi$ 일 때 시간 지연 항 $\Delta_i = (r_s - r_i)F_s / c$ 이며 F_s 는 샘플링(sampling) 주파수, c 는 소리의 전파속도를 나타낸다. 이산시간(discrete-time) 영역에서의 세 개의 스피커의 출력 값은 다음과 같이 음원 p_s 의 값에 특정 크기와 특정 시간 지연이 곱해진 형태로 나타난다.

$$p_i(n) = g_{si} \frac{r_i}{r_s} p_s(n - \Delta_i), \quad i=1,2,3 \quad (9)$$

이 때, Δ_i 는 일반적으로 정수가 아니므로 Δ_i 를 반올림하여 사용할 수도 있고, $H(e^{j\omega}) = e^{-j\omega\Delta_i}$ 라 하면 다음 식과 같은 sinc 함수를 사용하여 비정수 지연 (noninteger delay) 항을 계산할 수도 있다.

(Oppenheim and Schaffer, 1989)

$$h(n) = \frac{\sin(\pi(n-k-\Delta_i))}{\pi(n-k-\Delta_i)}, \quad -\infty < k < \infty, \quad (10)$$

즉, 스피커의 출력 값은 이산시간(discrete-time) 영역에서 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$p_i(n) = g_{si} \frac{r_i}{r_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(\pi(n-k-\Delta_i))}{\pi(n-k-\Delta_i)} p_s(k), \quad i=1,2,3 \quad (11)$$

위 식에서 알 수 있듯이 각 스피커간의 거리가 다르므로써 각 스피커간의 출력 세기가 달라지는 것과 시간 지연의 차이가 생기는 것에 대한 효과가 고려되어 스피커의 출력 값이 결정된다.

본 절에서 제안한 방법에 의한 세 개의 스피커의

출력 값은 다음과 같은 순서로 구해진다. 먼저, 3차원 공간에서 음원의 위치가 정해지면 식 (2)의 VBAP방법에 의해 모든 스피커 조합에 대해 각 조합에 해당되는 세 개의 스피커 출력 계수를 계산한 후 세 개의 계인 값이 모두 양수인 스피커 조합에 대해서 식 (7)과 식 (9) 혹은 식 (11)을 이용하여 세 개의 스피커 출력 값을 계산한다. 식 (11)에서 무한대 만큼 더할 수는 없으므로 5스텝 정도 더한 값을 사용하여 구현할 수 있다. 다음 절에서는 스피커의 계인 값을 VBAP방법으로 구하지 않고 간단한 내분(internal division)을 이용하여 구하는 방법을 소개한다.

2.3. Generalized Amplitude Panning; 기법 (GAP)

본 절에서는 4.1.2절에서 VBAP방법에 의해서 스피커의 계인 g_{si} 을 구하지 않고 내분(internal division)을 통해서 스피커의 계인을 구함으로써 계산이 간단한, 자유롭게 배치된 다채널 스피커의 출력 값을 구하는 방법을 제안한다. 앞으로 사용될 3차원 공간에 대한 변수는 그림 4-2에서 사용된 변수들을 3차원 공간으로 확장하여 생각하면 된다. 다음 식과 같이 음원의 위치와 N 개의 스피커들의 위치를 나타내는 3차원 위치 벡터 r_s 와 r_i 가

$$r_s = [l_{s1} \ l_{s2} \ l_{s3}]^T \quad (12)$$

$$r_i = [l_{i1} \ l_{i2} \ l_{i3}]^T, \quad i=1,2,\dots,N \quad (13)$$

추여졌을 때 음원과 각 스피커간의 배치각 θ_i 을 다음과 같이 구한다.

$$\theta_i = \cos^{-1} \left(\frac{r_i^T r_s}{\|r_i\| \|r_s\|} \right), \quad i=1,2,\dots,N \quad (14)$$

여기서, 가장 작은 세 개의 배치각에 해당하는 스피커 세 개를 선택하고 식 (6)의 계인 값 g_{si} 은 식 (5)를 만족하기 위해 다음과 같이 내분에 의해 결정한다.

$$g_{si} = \frac{\theta_j + \theta_k}{2(\theta_i + \theta_j + \theta_k)}, \quad i \neq j \neq k, \quad i \neq k, \quad i, j, k=1,2,3 \quad (15)$$

위 값은 세 개의 스피커의 위치 벡터의 기본벡터에 의해 형성되는 표면에서 호의 길이에 대한 내분값을 의미하며 식 (9) 혹은 식 (11)에 대입하여 세 개의 스피커의 출력 값을 계산할 수 있다.

기존의 수평면에서의 음상의 이동에 대한 스테레오 사인 법칙(stereophonic law of sines)과 제안한 방법을 비교한다. 스테레오 사인 법칙은 그림 3과 같이 두 개의 스피커가 수평면에서 대칭적으로 배치되어 있을 때 두 스피커 세기의 비율에 의해서 음상이 맺히는 각도가 정해진다는 법칙이다.

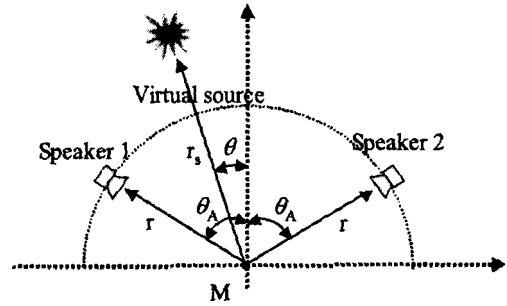


그림 3. 수평면에서의 대칭적인 스피커 배치

그림에서 보는 것과 같이 수평면에서 머리 중심과 두 개의 스피커와의 거리가 같고 두 개의 스피커가 θ_A 각으로 대칭적으로 배치된 경우, 스피커의 세기를 각각 g_1 과 g_2 라고 하면 다음과 같이 두 개의 스피커의 세기에 따라서 음상이 맺히는 각도 θ 가 다음식에 의해서 결정된다는 것이 스테레오 사인 법칙이다.[6]

$$\frac{g_1 - g_2}{g_1 + g_2} = \frac{\sin \theta}{\sin \theta_A} \quad (16)$$

또한, 다음 식과 같이 탄젠트(tangent) 함수를 만족하여 음상이 맺힌다는 법칙이 스테레오 탄젠트 법칙(stereophonic law of tangent)이다.[7]

$$\frac{g_1 - g_2}{g_1 + g_2} = \frac{\tan \theta}{\tan \theta_A} \quad (17)$$

본 절에서 제안한 방법의 경우, 그림 4-3과 같이 수평면에서 두 개의 스피커의 거리가 같고 대칭적으로 배치되어 있다고 가정하면 두 개의 스피커의 출력 값은 내분에 의해서 다음과 같이 표현되고

$$g_1 = \frac{\theta_2}{\theta_1 + \theta_2}, \quad g_2 = \frac{\theta_1}{\theta_1 + \theta_2}, \quad (18)$$

$\theta_1 = \theta_A - \theta$ 와 $\theta_2 = \theta_A + \theta$ 이므로 두 개의 스피커의 세기의 비율은 다음과 같은 식을 만족한다.

$$\frac{g_1 - g_2}{g_1 + g_2} = \frac{\theta}{\theta_A} \quad (19)$$

여기서, 스피커의 배치각과 음원의 각도가 작을 경우, 위 식은 스테레오 사인 법칙과 탄젠트 법칙과 같아진다.

3. 주관적 평가를 위한 실험

3.1. 실험장치 구성 및 실험 방법

2장에서 제안한 다채널 스피커 구동 기법의 성능을 검증하기 위해 무향실(5m×5m×3m)에서 주관적인 실험을 수행하였다. 실험의 용이성을 위해 수평면에서 2개의 스피커를 사용하였고 본 실험의 결과를 3차원 공간으로도 적용가능하다. 그림 4는 실험장치의 구성을

보여준다.

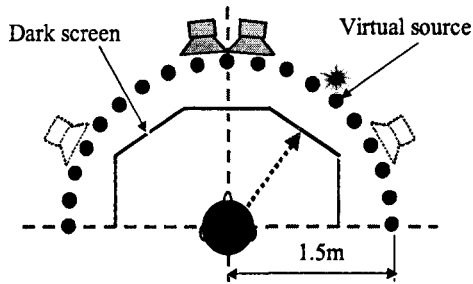


그림 4. 실험장치 구성

2장에서 다채널 입체음향 시스템의 효과적인 스피커 구동 기법을 평가하기 위해서는 각도는 대칭이지만 거리를 다르게 하였다. 실험 도중 피실험자가 스피커를 눈으로 확인함으로써 가상 음원의 위치를 판단하는데 혼돈을 느끼는 것을 방지하기 위해서 스피커와 피실험자 사이에 스크린을 설치하였다.

9명의 피실험자를 대상으로 실험을 수행하였고 피실험자가 가상 음원의 위치를 모호하게 느꼈을 때는 한번 더 입체음향을 재생시켜 주었고 피실험자는 항상 정면만을 주시하도록 했다. 바닥에 10도 간격으로 각도기와 같이 선을 표시하여 피실험자가 레이저 포인터를 이용해 가리킨 가상 음원의 위치를 측정하였다. 노트북과 일반 PC용 2 way 스피커 (Eastern Ceron F3000)를 사용하여 가상 음원의 각도를 무작위로 재생하였다.

3.2. 주관적 실험 결과

두 스피커 간의 거리가 같을 때와 다를 때에 대해서 각각 VBAP 방법, GVBAP 방법, GAP 방법에 대해서 실험을 수행하였다. 위의 세 방법은 모두 amplitude panning 방법에 기반하므로 가상 음원은 두 스피커 사이에만 위치시켰고 (-30도, 0도, 30도) 음원은 남성의 음성을 사용하였다.

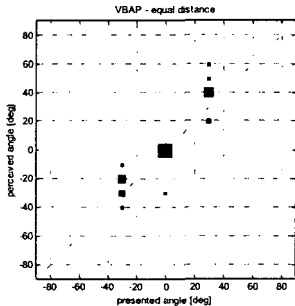


그림 5. VBAP 방법 (두 스피커 간의 거리가 같을 때)

그림 5은 피실험자와 두 스피커 간의 거리가 같을 때 (좌/우 중앙에서 60도, 1m 배치) 기존의 VBAP 방법에 의한 결과를 나타낸다. 위의 그림과 같이 x축은 가상

음원의 각도를 나타내고 y축은 피실험자가 인지한 각도를 나타낸다. 그림에서 보는 것과 같이 좌/우 방향을 인지할 수 있었으며 비교적 정확한 각도를 인지하였다. GVBAP 방법과 GAP 방법은 두 스피커 간의 거리가 같을 때 VBAP 방법과 거의 비슷한 결과를 보이므로 본 논문에서는 생략한다.

그러나, 현실적으로는 청취자와 각 스피커들 간의 거리를 다르게 배치해야 하는 경우가 많으므로 두 스피커의 각도는 60도로 그대로 고정하고 거리를 다르게 배치하여 (좌: 1m, 우: 1.5m) VBAP 방법에 대한 주관적인 실험을 수행한 결과를 그림 6에 제시한다. 그림에서 보는 것과 같이 음상이 모두 피실험자에서 가까이 위치한 왼쪽 스피커 쪽에 맺히는 것을 알 수 있다. 선착 효과와 스테레오 사인 법칙에 의해 설명된다. 따라서, 다채널 입체음향 시스템에서 VBAP 방법을 이용해 스피커를 구동할 때에는 청취자가 들었을 때 각 채널 당 크기를 보정해줘야 한다. 이는 trial and error로 보정해줘야 하므로 많은 시간과 노력이 필요하다.

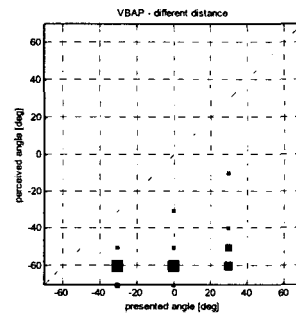


그림 6. VBAP 방법 (두 스피커 간의 거리가 다를 때)

이러한 문제를 해결하기 위해 2.2절과 2.3절에서 각각 제시한 GVBAP 기법과 GAP 기법에 의해 스피커를 구동하였을 때의 결과를 그림 7과 그림 8에 각각 제시한다. 그림에서 보는 것과 같이 두 스피커 간의 거리가 다르더라도 두 스피커 간의 거리가 같은 경우인 그림 5과 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

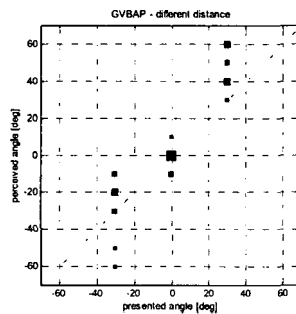


그림 7. GVBAP 방법 (두 스피커 간의 거리가 다를 때)

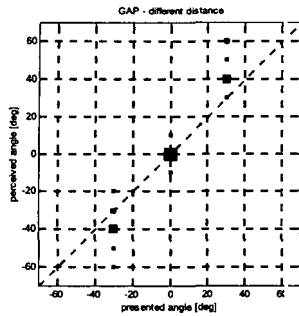


그림 8. GAP 방법 (두 스피커 간의 거리가 다를 때)

4. 시뮬레이터 용 입체음향 시스템 구현

헬기 시뮬레이터에 의해 형성된 가상공간에서 사용자는 자기 자신의 헬리콥터 소리와 비행기가 날아다니는 소리, 지상에 있는 자동차 소리 등이 구현된 입체음향 효과와 헬기의 상태에 따른 다양한 음향 효과를 통해 실제로 헬리콥터를 타고 날아다니는 것과 같은 느낌을 받게 된다.

스포츠 헬리콥터 시뮬레이터의 입체음향 시스템은 높은 정위감을 주기 위해 총 5개의 라우드스피커 (loudspeaker)를 이용하여 구현되었다. 시뮬레이터 위에 한 개의 스피커를 바닥에는 4개의 스피커를 배치하였으며 5개의 스피커를 PC에서 구동하기 위해 4채널 사운드 카드와 2채널 사운드카드를 사용하였다. 공간 상의 제약에 의해 각 스피커 간의 거리가 다르게 배치되므로 2.2절에서 제안한 GVBA² 방법에 의해 스피커를 구동하여 가상 음향을 재현하였다.

다채널 음향 시스템을 실시간으로 제어하기 위한 윈도우 프로그램은 Microsoft Visual C++과 DirectSound API를 이용하여 개발하였다.

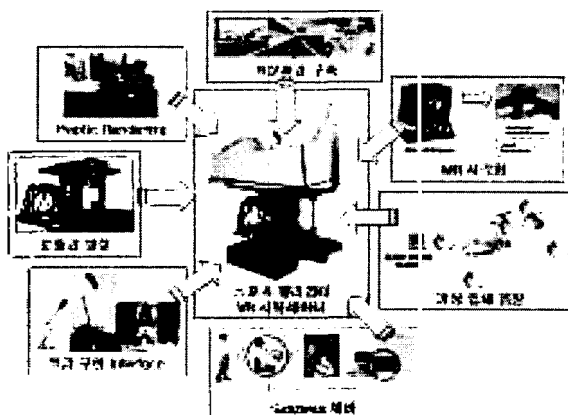


그림 9. 한국과학기술원 헬기 시뮬레이터

5. 결론

본 논문에서는 다채널 입체음향 시스템의 스피커 구동

기법을 제안하였다. 기존의 amplitude panning 방법은 각 스피커와 머리중심과의 거리를 정규화하여 각 스피커의 출력 값을 결정하기 때문에 현실적으로 각 스피커와 머리중심과의 거리가 다를 경우에는 성능이 저하된다. 따라서, amplitude panning 방법의 대표적인 방법인 3차원 공간상에 배치된 다채널 스피커의 구동 기법인 VBAP 방법을 스피커간의 거리가 다를 때에도 사용할 수 있도록 각 스피커 간의 거리에 대한 효과를 자유음장에서 고려하여 스피커를 구동하는 방법 (GVBAP)을 제안하였다. 또한, 계산을 간단히 하기 위해 내분을 통하여 각 스피커 간의 거리가 다르게 배치된 시스템에 대한 스피커의 구동 기법(GAP)을 제안하였다. 주관적인 실험을 통하여 제안한 방법의 성능을 검증하였고 가상 시뮬레이터를 위한 다채널 입체음향 시스템을 구현하였다.

참고문헌

- [1] Begault, D. R., 1994, *3-D sound for virtual reality and multimedia*, Academic press.
- [2] Pulkki, V., 1997, Virtual sound source positioning using vector base amplitude panning, *Journal of audio engineering of society*, 45(6), pp456-466
- [3] 유병현, 한순홍, 안진웅, 권동수, 송준걸, 이종원, 김선민, 박영진, 이경노, 이두용, 스포츠 헬기 VR 시뮬레이터, HCI 2003, 피닉스파크, Korea, Feb 10-13, 2003,
- [4] 이경노, 이두용, 권동수, 양기훈, 박영진, 김선민, 이종원, 신재철, 한순홍, 이종환, 양재현, 최윤목, 원광연, 김세훈, 네트워크 기반한 자전거 경주 시뮬레이터, HCI2002, 피닉스파크, Korea, Feb 2002.
- [5] Wallach, H., Newman, E. B., and Rosenzweig, M. R., 1973, The precedence effect in sound localization, *Journal of audio engineering of society*, 21, pp817-826
- [6] Bauer, B. B., 1961, Phasor analysis of some stereophonic phenomena, *Journal of acoustical society of America*, 33, pp1536-1539.
- [7] Bennet, J. C., Barker, K., and Edeko, F. O., 1985, A new approach to the assessment of stereophonic sound system performance, *Journal of audio engineering society*, 33, pp314-321