

실시간 입체 음상 제어 시스템의 구현

Implementation of Real-Time Sound Image Control System

이 동 우*, 김 영 오*, 고 대 식*, 강 성 훈**

(Dong Woo Lee*, Young Oh Kim*, Dea Sik Ko*, Seong Hoon Kang**)

요 약

본 논문에서는 입체 음상 제어 알고리즘을 실시간 처리에 적합하도록 재구성하였으며, 범용 DSP 칩인 TI사의 TMS320C40 기반의 디지털 신호처리 보드를 이용하여 실시간 구현하였다. 구현된 실시간 입체 음상 제어 시스템의 성능은 청취 실험을 통하여 평가되었다. 청취실험 결과, 정위된 허음상은 헤드폰과 스피커를 통하여 지각이 가능하였으며, 헤드폰을 통해 재생된 음상이 스피커를 통해 재생된 음상보다 지각이 잘되는 것으로 나타났다. 고도각 지각 실험에서는 전후방향보다 좌우방향의 지각이 우수하게 나타났으며, 정지음보다 이동음의 지각이 우수하게 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, we reconstruct an algorithm of sound image control for real-time processing and implement a real-time system using digital signal processing board based on TMS320C40. The performance of real-time sound image control system was evaluated by a listening test. The results of the test showed that localized sound image can be perceived by headphone and speaker, and result of test by headphone was better than that of speaker. In the results of test of elevation perception, result of perception between left and right were better than those for differentiating between front and back, and the moving sound image was better than the fixed sound image.

I. 서 론

인간은 시각의 도움 없이 소리를 듣는 것만으로도 어느 방향에서 소리가 돌리며, 음원까지의 거리가 어느 정도가 되는지, 그리고 청취공간의 크기는 얼마나 되는지를 지각할 수 있다. 이와 같이 소리를 듣는 것만으로 음원의 위치 등과 같은 3차원 정보를 지각할 수 있는 이유는 음원으로부터 발생한 소리가 두 귀에 도달하는데 걸리는 시간의 차이(Interaural Time Difference : ITD)와 두 귀에 도달한 소리의 레벨차이(Interaural Level Difference : ILD), 그리고 소리가 공기 중을 진행할 때의 전파 특성 등에 의한 것이다[1].

입체 음향 제어 알고리즘은 제어 대상을 기준으로 방향성, 거리감 그리고 공간감 제어 알고리즘으로 나눌 수 있고, 입체 음향 제어 시스템은 제어 수단을 기준으로 하여 음원으로부터 두 귀에 도달한 소리의 차이 즉 머리전달함수(Head-Related Transfer Function : HRTF)를 이용한 방

향감 제어부와 인공 잔향을 이용한 거리감과 공간감 제어부, 그리고 스테레오 스피커를 통해 입체 음향을 재생할 때 발생하는 크로스 토크(cross-talk)를 제거하는 트랜스오럴(transaural) 필터부로 구성된다.

임의의 한 방향에 위치한 음원에서 발생한 소리는 음원의 방향에 따라 일정한 시간차이(약 0~0.7ms)와 레벨차이를 가지고 청취자의 두 귀에 도달한다. 그리고 소리는 머리, 몸통, 외이 등에 의해서 회절, 반사, 굴절되어 두 귀에 다르게 도달한다. 이와 같이 두 귀에 도달한 소리의 차이는 머리전달함수라고 하며, 인간이 시각의 도움 없이 음원의 방향을 지각할 수 있는 중요한 단서가 된다. 그리고 컨벌루션 처리를 통하여 머리전달함수가 포함되어 있는 방향 정보를 모노 음향에 합성할 수 있다[2].

거리감은 직접음과 잔향음의 비율, 음압 레벨, 그리고 잔향 성분 등의 여러 가지 요인의 종합적인 결과이다. 실 내에서 측정된 임펄스 응답을 분석해보면, 음원까지의 거리가 멀어져도 잔향시간과 반사음 레벨은 거의 일정하지만 직접음 레벨과 D-값 그리고 R-값은 직선적으로 감소한다. 그 중 음압 레벨은 청취자가 거리를 지각하는데 있어 가장 기본적인 단서가 된다[3-5]. 그러므로 음원까지의 거

*목원대학교

**대전보건대학

접수일자: 1999년 1월 21일

리와 공간을 인위적으로 표현하기 위해서는 인공 잔향이 필요하며, 콤(comb)필터와 전대역 통과 필터(all pass filter)를 이용하여 합성이 가능하다.

스테레오 스피커를 이용하여 입체 음향을 청취하면, 좌·우 스피커간에 간섭으로 인하여 3차원 정보가 손상되므로 입체감을 느낄 수가 없게 된다. 이와 같은 간섭을 크로스토크라고 하여 트랜스오럴 필터를 이용하여 제거할 수 있다[6].

이러한 조건을 실시간으로 조작할 수 있다면 실제의 청취환경에 제한을 받지 않고 원하는 음향공간을 만들고 원하는 위치에서 소리가 들려오게 함으로써 영상이 제공하지 못하는 3차원 정보를 제공할 수 있을 것이다. 이와 같은 이유로 국내의 많은 연구기관에서 입체 음향에 대한 연구가 활발히 이루어졌고, 많은 연구결과가 발표되고 있으나 대부분의 연구가 낮은 품질의 음향에 대한 것이거나 시뮬레이션만을 하는데 머무르고 있다. 그러나 가상현실이나 방송음향과 같은 분야에 입체 음향이 적용되기 위해서는 고품질의 음향을 실시간으로 처리할 수 있어야 할 것이다[7-9].

본 연구에서는 가상현실과 같이 입체 음향이 필요한 분야에 적용이 가능한 고품질의 실시간 음상 제어 시스템을 구현하였다. 고품질의 음향을 실시간으로 처리하기 위하여 범용 DSP 칩인 TI사의 TMS320C40 기반의 DSP 보드를 사용하였으며, 기존의 입체 음향 알고리즘을 실시간 처리에 적합하도록 재구성하였다. 끝으로 재구성된 알고리즘은 DSP의 성능을 충분히 활용할 수 있도록 최적화 과정을 거쳐 DSP 보드에 이식되었으며, 구현된 시스템의 성능은 청취 실험을 통하여 평가되었다.

II. 실시간 입체 음상 제어 시스템 구현

2.1 입체 음상 제어 시스템의 설계

실시간 입체 음상 제어 시스템은 크게 두 개의 입체 음향 알고리즘 즉, 공간감과 거리감을 제어하기 위한 잔향 알고리즘과 크로스토크를 제거하기 위한 트랜스오럴 필터 알고리즘을 사용하여 설계되었다. 먼저 잔향 알고리즘을 살펴보면 그림 1과 같다. 콤 필터 4개와 전역 통과 필터 3개 그리고 전체 케환에 저역 통과 필터 1개를 사용하였다. 병렬로 연결된 4개의 콤 필터는 실내의 벽과 천장 등에 의하여 발생하는 반사음을 표현하고, 3개의 전역 통과 필터는 콤 필터에 의하여 만들어진 펄스 열을 조절하게 만들어 잔향의 음량을 풍부하게 만든다. 그리고 저역 통과 필터는 소리가 공기 중을 진행할 때 고역의 소리가 저역의 소리보다 빠르게 감쇠하는 특성을 표현한다. 이와 같이 설계된 잔향기는 착색(coloration)현상이 없이 자연스러운 인공 잔향을 생성할 수 있었다. [10].

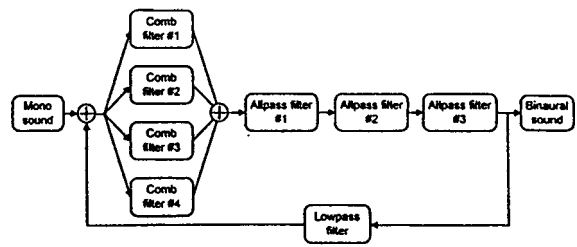


그림 1. 잔향기의 블록선도
Fig. 1. Block diagram of reverberator.

트랜스오럴 필터의 기본적인 개념은 음원의 방향 정보를 가지고 있는 바이노럴(binaural) 신호를 스테레오 스피커를 통해 청취자의 귀까지 전송하는 것으로서, 그림 2은 청취자가 스테레오 스피커를 통해 음향을 청취할 때의 상황을 나타내고 있다.

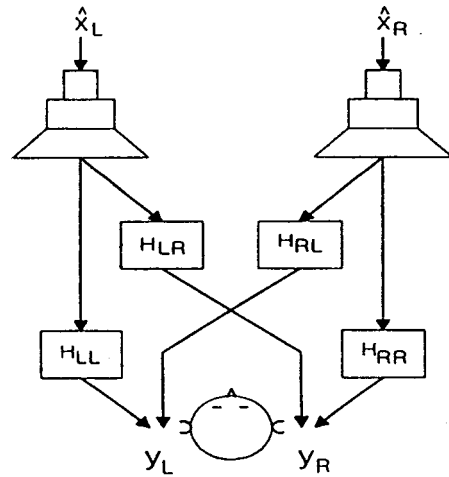


그림 2. 스테레오 스피커로부터 귀까지의 전달함수
Fig. 2. Transfer function from speaker to ears.

\hat{x}_L 과 \hat{x}_R 은 스피커로 보내지는 바이노럴 신호이고, y_L 과 y_R 은 청취자의 양 귀에 도달하는 신호이다. H_{LL} , H_{RR} , H_{LR} , H_{RL} 은 각각 왼쪽 스피커에서 왼쪽 귀까지의 전달함수, 오른쪽 스피커에서 오른쪽 귀까지의 공간 전달함수, 왼쪽 스피커에서 오른쪽 귀까지의 공간 전달함수, 오른쪽 스피커에서 왼쪽 귀까지의 공간 전달함수를 나타낸다. 이와 같은 상태를 벡터 식으로 표현하면 (1)식과 같다.}}

$$y = \begin{bmatrix} y_L \\ y_R \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} H_{LL} & H_{RL} \\ H_{LR} & H_{RR} \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_L \\ x_R \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$y = Hx$$

스피커 X에서 양쪽 귀 Y로의 전달 함수는 H_{xy} 이다. 그러므로, 스피커 X에서 바이노럴 신호 x가 방출되면 공간

전달함수 H 를 통과해 양쪽 귀 Y 에 신호 y 가 도달하는데, 귀에 도달하는 신호 y 는 스피커 X 에서 방출된 신호 x 와 같지 않다. 즉, 오른쪽 귀에는 오른쪽 스피커에서 방출된 신호와 왼쪽 스피커에서 방출된 신호가 함께 도달하며, 왼쪽 귀에 도달하는 신호 역시 마찬가지이다. 그리고 양쪽 귀 Y 에 도달한 신호 y 는 전달 함수 H 의 특성을 가지고 있다. 이와 같은 현상을 크로스토크라고 하며 트랜스오럴 필터를 사용하여 제거할 수 있다.

트랜스오럴 필터의 원리는 다음과 같다. x 가 청취자의 귀에 도달하기 원하는 바이노럴 신호이면, 즉 스피커 X 에서 방출된 신호 x 를 원래의 신호 그대로 듣기 위해서는 전달함수행렬 H 는 $x = H^{-1}x$ 와 같이 역함수를 취해야 한다. 즉 스피커 X 로부터 출력되는 신호 x 와 귀 Y 에 도착하는 신호 y 와 같게 만들려면, 전달함수 H 의 역함수를 구해야 한다. 전달함수 H 의 역행렬은 (2)식과 같다.

$$H^{-1} = \frac{1}{(H_{LL}H_{RR} - H_{LR}H_{RL})} \begin{bmatrix} H_{RR} & -H_{RL} \\ -H_{LR} & H_{LL} \end{bmatrix} \quad (2)$$

이 필터는 채널간 크로스토크를 제거하는 역할을 하기 때문에 크로스토크 제거 필터라고도 불린다. 대형형 스피커로 청취하는 상황에서는 동축상의 향($H_L=H_{LL}=H_{RR}$)끼리와 반대 축상의 향($H_L=H_{LL}=H_{RR}$)끼리 같다고 볼 수가 있다. 그러므로 (2)식은 (3)식과 같이 쓸 수 있다[11].

$$H^{-1} = \frac{1}{(H_i^2 - H_c^2)} \begin{bmatrix} H_i & -H_c \\ -H_c & H_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.2 시스템의 구성

실시간 입체 음상 제어 시스템의 구조는 DSP 보드와 아날로그 인터페이스로 구성되는 하드웨어와 DSP를 이용하여 실시간으로 입체 음상 제어 알고리즘을 처리하기 위한 소프트웨어로 이루어진다. 본 연구에서는 짧은 시간 내에 많은 양의 부동소수점 연산을 실시간으로 처리하기 위하여 범용 DSP 칩인 TI사의 TMS320C40을 기반으로 하는 디지털 신호처리 보드(Ariel사의 PCHYDRA)를 사용하고, CD 음질(16bit, 44.1kHz)의 아날로그 신호를 입·출력하기 위하여 Propert656이라는 아날로그 인터페이스 모듈을 사용하였다. 그림 3은 PCHYDRA의 블럭선도이다. PCHYDRA는 PC의 ISA 슬롯에 장착하여 사용하는 형태의 디지털 신호처리 보드로서 네 개의 DSP 모듈에는 각각 하나의 DSP와 프로그램과 데이터 저장에 사용되는 2Mbytes의 SRAM이 있다. 네 개의 DSP는 서로 다른 프로그램을 독립적으로 실행할 수 있으며, Comm-Port라고 하는 8비트 직렬통신 포트로 상호 연결되어 있기 때문에 데이터를 송·수신할 수 있다. 글로벌 버스(global bus)는 모

든 DSP에 공통으로 연결되어 있기 때문에 각 DSP에서 읽고 쓰기가 가능하며, DSP-port와 DT-Connector는 여러 가지 형태의 입·출력을 처리할 수 있다. Dual-port RAM은 호스트(host)인 PC와 DSP간의 데이터 전송을 위하여 사용할 수 있으며, JTAG Debug ASIC은 PC에서 DSP 소프트웨어를 개발할 때 추가 장비 없이 디버깅할 수 있는 환경을 제공한다. 그리고 각각의 ROM은 DSP 모듈의 식별 코드를 저장하고 있거나, 소프트웨어 개발 완료시 프로그램과 데이터의 저장용으로 사용할 수 있다[12].

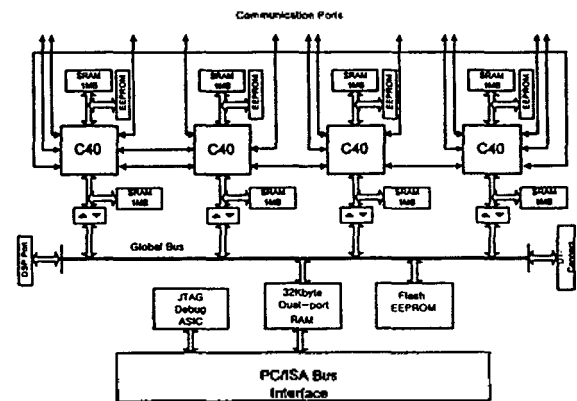


그림 3. PCHYDRA의 블럭선도
Fig. 3. Block diagram of PCHYDRA.

Propert656은 DSP-port를 통해서 PCHYDRA에 연결되며, 네 개의 DSP에서 아날로그 데이터의 입·출력이 가능하다. Propert656의 아날로그 입·출력은 16bit stereo ADC와 20비트 스테레오 DAC를 통하여 48kHz의 샘플링이 가능하다[13].

실시간 입체 음상 제어 소프트웨어의 구조는 크게 세 개의 알고리즘 처리부로 나눌 수가 있다. 첫째 방향감 제어 위한 컨벌루션 처리부, 공간감과 거리감 제어를 위해 인공 잔향을 만드는 잔향 처리부, 그리고 스피커 재생 시 필요한 트랜스오럴 필터부로 나누어진다. 그림 4는 실시간 입체 음상 제어 소프트웨어의 구조를 나타내고 있다. 우선 컨벌루션 처리부는 MIT대학의 머리전달함수 데이터 베이스에 저장하고 있으며, 모노 음향 데이터가 입력되고 정위시키고자 하는 방향이 정해지면, 이에 해당하는 머리전달함수와 입력 데이터를 컨벌루션 처리하여 청취시 음원의 방향을 지각할 수 있는 바이노럴 음향으로 만든다. 컨벌루션 처리부에서 만들어진 바이노럴 음향 데이터는 Comm-port를 통하여 트랜스오럴 필터부로 전송된다. 이와 동시에 잔향 처리부는 컨벌루션 처리부에 입력된 것과 같은 모노 음향을 입력받아 반사음(잔향)을 합성하여 Comm-port를 통하여 트랜스오럴 필터부로 전송한다. 마지막으로 트랜스오럴 필터부는 컨벌루션 처리부와 잔향 처리부에서 입력된 데이터를 표현하고자 하는 거

리에 따라 적당한 비율로 합성한다. 그리고 합성된 입체 음향 데이터를 헤드폰으로 청취하고자 할 때는 트랜스오럴 필터를 거치지 않고 바로 Proport656으로 출력하고, 스테레오 스피커를 통하여 청취하고자 할 때는 스피커에서 청취자의 두 귀까지의 역 전달함수와 입체 음향 데이터를 컨벌루션 처리하여 출력한다.

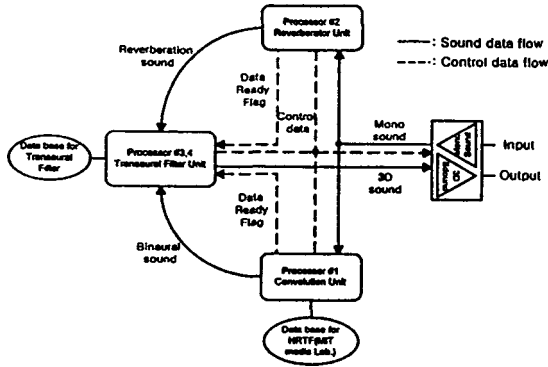


그림 4. 입체 음향 제어 소프트웨어의 구조
Fig. 4. Block diagram of software to control sound image.

2.3 시스템의 최적화

범용 DSP를 이용한 실시간 입체 음향 제어 시스템은 크게 2단계의 최적화 과정을 거쳐 구현되었다. 우선 실시간 처리에 적합하도록 기존의 알고리즘을 재구성하고, 재구성된 알고리즘은 프로그래밍 최적화 과정을 거쳐 DSP에 이식되었다.

실시간 처리를 위한 알고리즘의 재구성은 짧은 시간 내에 많은 양의 연산을 수행하기 위하여 DSP의 구조를 충분히 활용할 수 있는 형태로 재구성되었다. 우선 방향감 제어 과정과 트랜스오럴 필터에 사용되는 컨벌루션 함수를 살펴보면, 연속적으로 입력되는 음향 데이터를 실시간으로 처리할 수 있도록 되어 있다. 그림 5는 재구성된 컨벌루션 함수의 블럭선도로서 한 쌍의 머리 전달함수를 이용하여 방향감을 제어하는 방법을 나타내고 있다. 우선 입력 데이터를 저장하기 위한 일정량의 버퍼를 지정하고, 정위시키고자 하는 방향의 머리 전달함수를 버퍼에 저장한다. 하나의 데이터가 입력될 때마다 한번의 연산과정이 진행되며, 한번의 연산결과로서 2 채널의 데이터가 출력된다. 연산 과정을 살펴보면, 하나의 데이터가 입력되면 입력 데이터는 가장 상위의 입력 버퍼에 저장되며, 저장된 입력 데이터는 머리 전달함수와 곱셈연산이 이루어진다. 곱셈이 끝나면 모든 곱셈의 결과는 누적되어 출력되고, 입력 버퍼는 한 스텝 이동한다. 그리고 다음 데이터가 입력되면 같은 연산 과정을 반복한다.

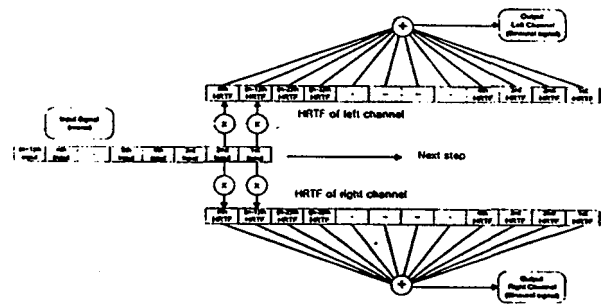


그림 5. 컨벌루션 함수의 구조
Fig. 5. Block diagram of convolution function.

크로스토크를 제거하기 위한 일반적인 트랜스오럴 필터는 최소 6번 이상의 컨벌루션 연산을 필요로 한다. 그러므로 실시간 입체 음향 제어 시스템을 구현하기 위해서는 트랜스오럴 필터의 연산량을 줄이는 것이 필수적이다. 그림 6은 재구성된 트랜스오럴 필터의 블럭선도이다. 연산량을 줄이기 위하여 독립적으로 컨벌루션 처리하던 역함수 G 를 H_{LL} , H_{LR} , H_{RL} , 그리고 H_{RR} 과 미리 연산하여 역함수가 포함된 머리 전달함수를 만들고, 역함수가 포함된 머리 전달함수 GH_{LL} , GH_{LR} , GH_{RL} , GH_{RR} 를 이용하여 컨벌루션 처리과정의 수를 감소시켰다.

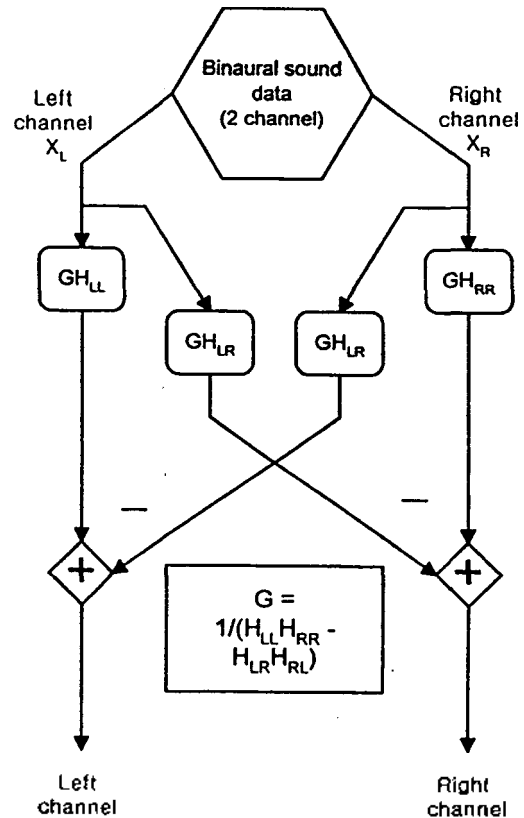


그림 6. 재구성된 트랜스오럴 필터의 구조
Fig. 6. Block diagram of reconstructed transaural filter.

실시간 입체 음상 제어 시스템의 소프트웨어는 C-언어와 어셈블리어를 이용하여 작성하였다. 전체적인 데이터의 흐름과 입·출력 처리는 개발의 편리함을 위하여 C-언어를 이용하였으며, 고속처리가 필요한 컨벌루션 처리부는 어셈블리어를 이용하여 작성하였다. 그리고 TMS320C40의 내부 메모리와 외부 메모리를 알고리즘에 따라 최적 배치하였다.

표 1은 어셈블리어를 이용하여 작성된 컨벌루션 함수로서, 입력 데이터의 주소(address)와 머리전달함수의 주소 그리고 포인트 수를 입력받아 연산을 하고, 부동소수점 연산 결과를 메인(main) 함수로 반송한다. 표 1의 개별적 처리 과정을 살펴보면, ②는 함수의 이름을 정의하고, ③은 메인 함수로부터 연산에 필요한 인자(argument)를 받을 보조 레지스터(auxiliary register)를 정의한다. ④는 프로그램 실행 코드의 시작을 표시한다. ⑤는 함수 시작 위치를 표시하며, ⑥은 메인 함수로부터 인자를 받을 때 사용할 보조 레지스터의 기존 데이터를 대피시킨다. ⑦은 ⑥에서 정의된 보조 레지스터를 메인 함수에서 전송 받을 인자가 있는 위치를 인덱싱(indexing) 한다. ⑧은 보조 레지스터 AR0에 첫 번째 인자를 저장한다. 트랜스오럴 필터에서는 컨벌루션 처리할 입력 데이터의 위치를 저장한다. ⑨와 ⑩는 각각 머리전달함수의 위치 또는 역할수가 포함된 머리전달함수의 위치와 컨벌루션 포인트 수를 AR0과 BK에 각각 저장한다. ⑪과 ⑫는 반복 연산을 위해 RC(repeat counter)를 설정한다. ⑬은 R2 레지스터를 초기화 한다. ⑭은 첫 번째 입력 데이터와 첫 번째 HRTF값을 곱해서 R0에 저장하고, ⑮은 RC를 동작시킨다. ⑯는 입력 데이터의 주소와 머리전달함수의 주소를 증가/감소시키면서 ⑭과 같은 연산을 RC에 저장된 횟수만큼 수행하여 결과를 R0에 저장한다. ⑰의 "I" 연산자는 파이프 라

인 연산자로서 앞줄의 연산과 동시에 현재 연산을 처리하도록 하는 연산자로 ⑱의 연산이 이루어지는 것과 동시에 연산이 이루어져 결과가 R2에 저장된다. ⑲는 마지막으로 R2에 저장된 최종 결과를 R0에 저장한다. ⑳, ㉑, ㉒는 처리 결과인 R0의 데이터를 부동소수점 데이터로서 메인 함수에 전송되고 함수를 끝낸다[14].

표 2는 방향감 제어부에 사용된 메모리 관리 예이다. ㉓는 컨벌루션 연산 시 입력버퍼를 원형 어드레싱(circular addressing)하기 위하여 내부 메모리의 특정 번지를 입력 버퍼로 예약한 것이다. ㉔는 하드웨어적으로 장착되어 있는 메모리를 규정하기 위한 명칭이고, ㉕ ~ ㉙는 장착되어 있는 메모리의 명칭을 지정하고, 각 메모리의 시작 주소와 메모리의 양을 설정한다. 예를 들면 ㉕는 0x002ff800 번지부터 0x780 개의 메모리를 "IRAM"이라는 이름으로 지정한 것이다. ㉚은 컴파일 과정에서 생성된 목적 코드를 분류하고 분류된 목적 코드를 ㉛ ~ ㉞까지에서 정의된 메모리에 배치하기 위한 이름이다. ㉛ ~ ㉞까지 각각의 이름으로 설정된 메모리에 컴파일 과정에서 생성된 목적 코드를 종류별로 위치시킨다. 예를 들면 ㉛은 인터럽트 벡터 테이블의 이름을 'vect' 라는 이름으로 ㉕에서 정의된 글로벌 메모리에 위치시킨다. ㉜의 'text'는 실행 코드를 말하며 실행 속도를 증가시키기 위하여 내부 메모리에 위치시켰다. ㉝의 'data'는 데이터를 말하며 실행 코드와 마찬가지로 실행속도 향상을 위하여 내부 메모리에 위치시켰다. ㉞의 'cinit'는 C-언어를 이용하여 프로그램을 작성할 때 프로그램 안에서 이미 초기화된 변수를 나타내며, 글로벌 메모리에 위치시켰다. ㉟의 'const'는 라이브러리(library)나 헤더파일 등을 불러서 사용할 때 추가되는

표 1. 최적 설계된 컨벌루션 함수
Table 1. Optimized convolution function.

②	global	._convf
③	.set	AR3
④	.text	
⑤	._convf	
⑥	PUSH	FP
⑦	LDI	SP,FP
⑧	LDI	--FP(2), AR0
⑨	LDI	--FP(3), AR1
⑩	LDI	--FP(4), BK
⑪	LDI	BK, RC
⑫	SUBI	2,RC
⑬	LDF	0.0,R2
⑭	MPYF3	*AR0--(1)%,*AR1--(1),R0
⑮	RPTS	1C
⑯	MPYF3	*AR0--(1)%,*AR1--(1),R0
⑰	ADDF3	R0,R2,R2
⑱	ADDF3	R0,R2,R0
㉑	IOP	FP
㉒	RETS	
㉓	end	

표 2. 최적화를 위한 메모리 배치
Table 2. Memory allocation for optimization.

②	._input_buff =	0x002ff80;
③	MEMORY	
④	{	
⑤	IRAM :	org = 0x002ff800 len = 0x780
⑥	LOCAL:	org = 0x00300000 len = 0x40000
⑦	GLOBAL:	org = 0x80000000 len = 0x40000
⑧	DPRAM:	org = 0xC0000000 len = 0x2000
⑨	FLASH:	org = 0xC8000000 len = 0x20000
⑩	SEMA4:	org = 0xD0000000 len = 0x8
⑪	GSR:	org = 0xD8000000 len = 1
⑫	}	
⑬	SECTIONS	
⑭	{	
⑮	.vect:	> GLOBAL
⑯	.text:	> IRAM
⑰	.data:	> IRAM
⑱	.cinit:	> GLOBAL
㉑	.const:	> GLOBAL
㉒	.stack:	> IRAM
㉓	.bss:	> GLOBAL
㉔	}	

상수 데이터를 말하며 글로벌 메모리에 위치시켰다. ③의 'stack' 은 스택(stack)으로 사용할 메모리를 뜻하며 내부 메모리에 할당하였다. ④의 'bss'는 초기화되지 않은 변수로 글로벌 메모리에 할당하였다. 접근이 가장 많은 프로그램 실행 코드와 데이터 코드 그리고 스택(stack)은 프로그램의 실행 속도에 많은 영향을 끼치므로 TMS320C40의 내부 메모리에 위치시켰다[15].

III. 주관 평가 실험 및 고찰

실시간 음성 제어 시스템의 성능 실험은 주관 평가를 통하여 이루어졌다. 주관 평가를 위한 음원은 청취실에서 녹음된 남성의 음성(약 3초)과 메트로놈 소리(약 2초)를 사용하였다. 음성 제어 시스템은 실시간 처리가 가능하지만 실험의 용이함을 위하여 녹음된 음원을 실시간 처리하여 실험에 필요한 순서대로 MD(mini disk)에 녹음하였다. 녹음은 음성-메트로놈을 각각 다음과 같은 순서로 이루어졌다.

- 헤드폰-정지음-수평각
- 헤드폰-정지음-수직각(전후방향)
- 헤드폰-정지음-수직각(좌우방향)
- 헤드폰-이동음-수평각
- 헤드폰-이동음-수직각(전후방향)
- 헤드폰-이동음-수직각(좌우방향)
- 스피커-정지음-수평각
- 스피커-정지음-수직각(전후방향)
- 스피커-정지음-수직각(좌우방향)
- 스피커-이동음-수평각
- 스피커-이동음-수직각(전후방향)
- 스피커-이동음-수직각(좌우방향)

주관 평가 실험은 전자통신연구원의 방음실(잔향시간 : 0.1초, 압소음 : 25dBA)에서 실시하였으며, 음의 재생은 헤드폰과 스피커를 이용하였다. 각각의 방향 지각 실험은 하나의 머리전달함수를 이용한 정지음 지각 실험과 이웃한 12개의 머리전달함수를 0.25초마다 변경하여 음원의 방향을 변화시킨 이동음 지각 실험으로 나누어 이루어졌다. 수직각은 전후방향(0°~180°)과 좌우방향(90°~270°)으로 나누어 실험하였다. 주관 평가 실험에는 음성 정위에 대한 사전 지식이 없는 20대 초반의 남·여 9명이 참가하였으며, 실험 전에 설문지 작성 요령만을 설명하고 실험에 임하였다.

그림 7~12는 음성 정위 평가에 대한 결과이다. 각각의 결과는 참가자의 설문지를 모아 통계를 낸 것으로써 가로 방향은 음성 정위 시스템이 표현하고자 하는 방향을 표시하며, 세로방향은 참가자가 입체 음향을 청취하고 지각한 음원의 방향을 나타낸다. 그리고 각각의 표식(□, ○ 등)

은 참가자 개인의 응답을 나타낸다. 음성 정위 시스템이 표현하고자 하는 방향과 참가자가 지각한 방향이 일치하면 그림의 각 표식은 모두 대각선상에 놓이게 될 것이다. 그러므로 각 표식이 대각선을 중심으로 얼마나 분산되어 있는가는 시스템 성능의 척도가 된다. 예를 들면, 그림 7은 녹음된 음성을 음원으로 사용하고, 하나의 머리전달함수를 사용하여 0°~360°의 수평각을 표현한 입체 음향을 헤드폰으로 청취할 때의 지각결과이다. 각 표식들이 대각선상에서 정렬되어있지 않고 전체적으로 분산되어 있다. 그러므로 음성 정위 시스템을 이용하여 0°~360°의 수평

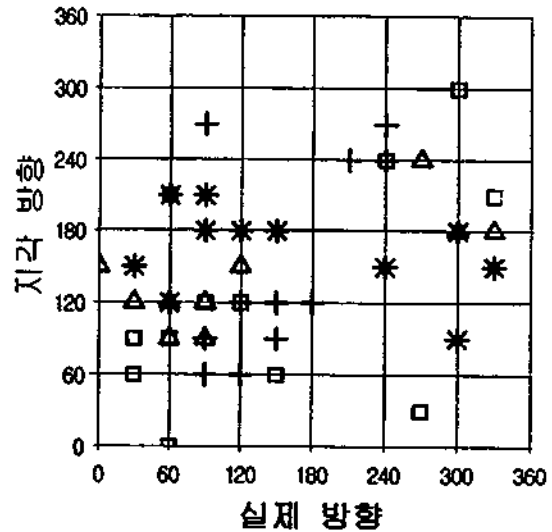


그림 7. 청취실험 결과(음성 - 헤드폰 - 정지음 - 수평각)
Fig. 7. Result of listening test(voice - headphone - fixed - azimuth).

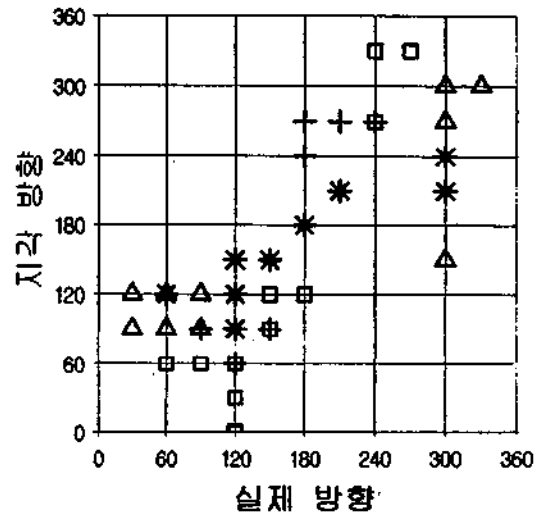


그림 8. 청취실험 결과(메트로놈 - 헤드폰 - 정지음 - 수평각)
Fig. 8. Result of listening test(metronome - headphone - fixed - azimuth).

각에 음성을 정위시켜 헤드폰으로 청취할 때의 음성 정위 성능은 우수하지 못하다는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 8은 그림 7과 같은 조건에서 음원을 메트로놈으로 바꾸어 실험한 결과로써, 음성을 음원으로 한 결과보다 우수하게 나타났다.

수평각 정위 성능은 헤드폰이 우수하게 나타났지만 거리감을 동시에 제어하지 않으면 음상이 머리 안에 정위되는 현상이 일어났으며, 고도각 정위는 전·후 방향보다는 좌·우 방향이 우수하게 나타났다. 그리고 수평각과 고도각 모두 정지음보다 이동음이 우수하게 나타났다.

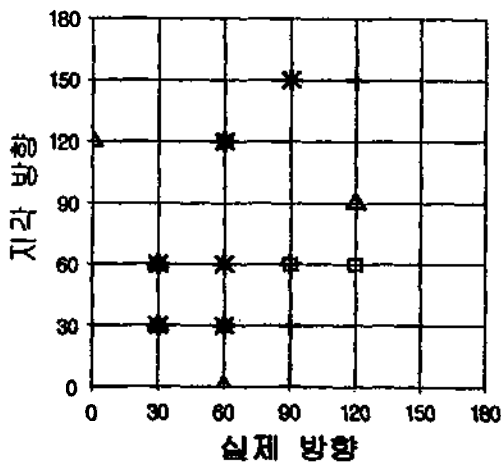


그림 9. 청취실험 결과(메트로놈 - 헤드폰 - 정지음 - 고도각 (전후))

Fig. 9. Result of listening test(metronome - headphone - fixed - elevation(front-back)).

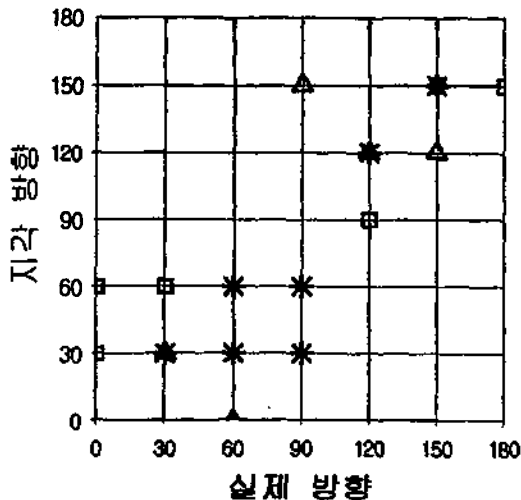


그림 10. 청취실험 결과(메트로놈 - 헤드폰 - 정지음 - 고도각 (좌우))

Fig. 10. Result of listening test(metronome - headphone - fixed - elevation(left-right)).

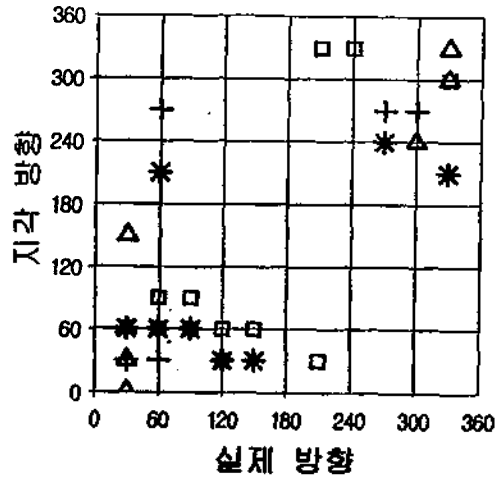


그림 11. 청취실험 결과(메트로놈 - 스피커 - 정지음 - 수평각)

Fig. 11. Result of listening test(metronome - speaker - fixed - azimuth).

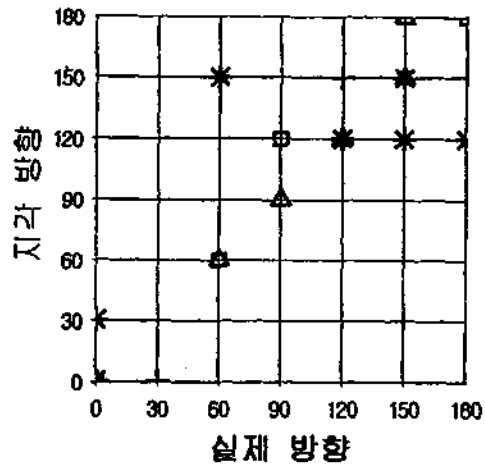


그림 12. 청취실험 결과(메트로놈 - 스피커 - 정지음 - 고도각 (좌우))

Fig. 12. Result of listening test(metronome - speaker - fixed - elevation(left-right)).

IV. 결론

본 연구에서는 실생활에 적용이 가능한 실시간 입체 음성 제어 시스템을 구현하고, 주관 평가를 통하여 시스템의 성능을 평가하였다. 방향감 제어를 위해서는 MIT대학의 머리전달함수를 이용한 FIR 필터를 설계하였으며, 거리감과 공간감을 제어하기 위해서는 콤팩트 필터와 전대역 통과 필터를 이용한 인공 잔향기를 설계하여 사용하였다. 스테레오 스피커를 통해 입체 음향을 청취할 때 발생하는 크로스토크는 트랜스오럴 필터를 이용하여 제거하였다. 각각의 알고리즘은 실시간 처리가 가능하도록 재구성하였으며, 재구성된 알고리즘은 최적화 과정을 통해

TMS320C40 기반의 DSP 보드에 이식하였다.

구현된 실시간 입체 음상 제어 시스템은 CD 음질 (16bits, 44.1kHz)의 입력과 출력을 유지하면서 모든 연산을 22.676 μ s안에 처리할 수 있으며, 헤드폰과 스피커를 통하여 입체의 위치(수평각, 고도각)에 음원을 정위시킬 수 있었다. 청취 실험을 통하여 시스템의 음상 정위 성능을 평가한 결과, 정위된 허용상은 헤드폰과 스피커를 통하여 방향 지각이 가능하였으며, 같은 조건에서는 스피커보다는 헤드폰을 통하여 청취할 때 정위가 잘 되는 것으로 나타났다. 음성보다는 필스성분의 메트로놈 소리가 정위가 잘 되는 것으로 나타났으며, 잔향음과 직접음의 비율을 조절함으로써 허용상까지의 거리가 제어됨을 알 수 있었다. 그러나 스피커를 통하여 재생된 음향의 경우, 수평면 180° 주위에서는 정위가 잘 이루어지지 않는 것으로 나타났으며, 헤드폰을 통하여 수평면 0°에 음상을 정위시킬 경우 잔향음과 직접음의 비율을 조절하여도 허용상이 머리 안에 정위되었다.

실시간 입체 음상 제어 시스템은 모든 방향에서의 정위 성능이 우수하게 나타나고, 가능한 간단한 형태로 개발하기 위해서는 머리전달함수와 잔향 효과 등에 관한 연구와 많은 양의 연산을 실시간으로 처리할 수 있는 실시간 음향처리 기법이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. D. Begault, 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia, Academic Press, Boston, MA, 1994
2. 강성훈, 강경욱, 입체음향, 기전연구소, 서울, 1997, 제 3장
3. Pavel Zahorik, "Auditory Distance Perception A Literature Review", University of Wisconsin, Wisconsin, 1996
4. 강성훈, 이동우, "2채널 입체 음향 제어 시스템의 알고리즘", Telecommunication Review 제 8권 3호, pp.410-425, 1998
5. William Grant Gardner, The Virtual Acoustic Room, Master thesis, Massachusetts, 1992, pp.11-15
6. William Grant Gardner, "Transaural 3-D audio", MIT Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report No. 342, 1995
7. 안철용, 성평모, "머리전달함수의 Block Convolution을 이용한 3차원 음향합성", 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제16권 1(S)호, pp.167-170, 1997.7
8. 손일상, 박주성 외 3, "ADPCM을 이용한 실시간 Reverberator의 구현", 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제16권 1(S)호, pp.183-186, 1997.7
9. 이원영, 이용화 외 2, "가상 음향 공간의 실시간 구현에 관한 연구", 한국음향학회 학술발표대회 논문집

제16권 1(S)호, pp.187-190, 1997.7

10. 이동우, 김영오 외 2, "디지털 신호처리를 이용한 자연스러운 실시간 잔향기의 구현", 한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회 논문집, pp.115-118, 1998
11. 이동우, 김영오 외 2, "입체 음향 재생을 위한 실시간 트랜스오릴 필터 구현", 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제17권 1(s)호, pp.269-272, 1998
12. Ariel, "User's Manual for the PC-Hydra", Ariel, Cranbury, 1995
13. Ariel, "User's Manual for the Proport Model 656", Ariel, Cranbury, 1996
14. Texas Instruments, "TMS320C4x User's Guide", Texas Instruments, 1993
15. Texas Instruments, "TMS320 Floating-Point DSP Assembly Language Tools User's Guide", Texas Instruments, 1995

▲이 동 우(Dong-woo Lee)



1970년 3월 17일생

1994년 2월: 목원대학교 전자공학과 (학사)

1998년 8월: 목원대학교 전자 및 컴퓨터공학과(공학석사)

관심분야: 디지털 신호처리, 실시간 DSP 시스템 설계, 전기음향

▲김 영 오(Young-oh Kim)

1972년 9월 26일생

1998년 2월: 목원대학교 전자공학과(학사)

1998년 3월 ~ 현재: 목원대학교 대학원 전자 및 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야: 신호처리, 인터넷 실시간 통신

▲고 대 식(Dae-sik Ko)

1982년: 경희대학교 전자공학과(학사)

1987년: 경희대학교 전자공학과(공학석사)

1991년: 경희대학교 전자공학과(공학박사)

1995년 ~ 1996년: UCSB Post Doc.

1989년 ~ 현재: 목원대학교 전자공학과 부교수

관심분야: 신호처리, 인터넷 실시간 통신, 입체음향

▲강 성 훈(Seong-hoon Kang)

1981년 : 광운대학교 전자공학과(학사)

1983년 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)

1987년 : 고베대학 전자공학과(공학박사)

1988년 ~ 1996년 : 한국전자통신연구원 음향통신연구실장

현재 : 대전보건대학 방송제작기술과 교수

한국음향학회 교육연구위원장

관심분야 : 오디오 신호처리, 입체음향, 전기음향