

분산 가상 음악 환경의 구현 및 분석

포항공과대학교 황재인

포디움네트 정병대

포항공과대학교 김정현*

1. 서 론

음악의 연주나 감상을 접할 때에는 혼자서 연주를 하거나 감상을 하는 경우도 있지만 여러 명이 같이 모여서 연주를 한다던가 그룹 사운드가 모여서 연주를 하는 것을 많은 수의 청중이 감상하는 광경을 떠올릴 수도 있다. 가상 음악 환경에서 이러한 부분을 실현하기 위해서 가상 음악 환경이 분산 환경으로 확장되는 과정은 필수적인 요소이다.

가상 환경에서의 음악이 분산 환경으로 확장될 경우 다음과 같은 장점을 가질 수 있다. 첫 번째로 원거리의 참여자를 하나의 환경으로 모이게 함으로써 시간과 비용을 절약시킬 수 있다. 이것은 실제로 공연을 하는 경우가 아니어도 그룹 연주의 리허설이나 연습 과정을 원거리에서 시행할 수 있으므로 시간과 비용이 절약될 수 있게 된다. 두 번째로 가상 환경의 장점인 몰입감과 실재감이 참여자끼리의 보다 자세한 상호 작용을 하게 함으로써 좀 더 나은 음악 연주 및 감상이 가능하게 한다. 연주자는 서로 다른 연주자나 지휘자를 실제처럼 보면서 연주하는 느낌을 가지게 되므로 그룹 합주에 도움이 될 수 있고, 감상의 측면에서도 가상 음악 환경에 몰입할 수 있고 다른 참여자와 상호 작용을 할 수 있으므로 보다 나은 경험을 할 수 있게 된다.

본 논문에서는 분산 가상 음악 환경의 모델을 정립, 제안하고 실제로 분산 가상 음악 연주 및 감상 시스템인 PODIUM(POstech DIstributed virtUal Music system)을 구현하는데 있어서 구체적으로

네트워크 성능과 콘텐츠 제작에 대한 가이드 라인을 제시하고자 한다.

1.1 관련 연구

◆ 가상 음악 환경

가상 음악 환경에 대한 모델을 제시하는 연구는 기존의 음악 환경을 정의한 연구에서 좀 더 나아가 가상 환경 내에서의 음악적인 행위를 정의하고 있다[1,2]. 이 논문에 따르면 가상 음악 환경은 크게 세 부분으로 나뉘어지는데 음악을 연주해주는 부분과 음악을 가시화 해주는 부분, 그리고 사용자의 동작을 감지하고 시스템에 명령을 전달해 주는 상호 작용 부분으로 나뉜다고 하였다. 그리고 이러한 피드백(feedback) 시스템에 의해서 연주자는 음악을 계속적으로 연주할 수 있게 된다고 하였다.

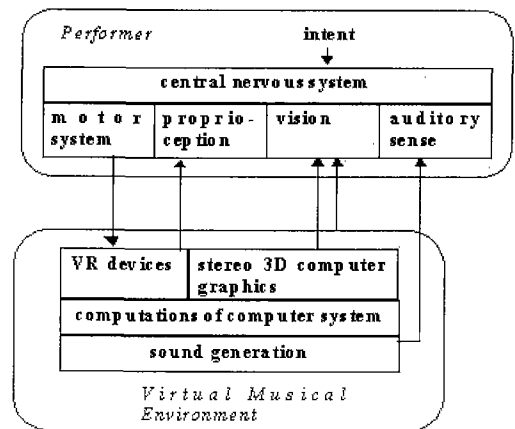


그림 1 가상 음악 환경 모델[2]

* 정회원

음악의 가상화에 대한 연구는 가상 음악 환경을 어떻게 가상화 할 것인지에 대한 연구를 말하는 것이다. 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데 하나는 실세계 기반의 가상화이고 또 하나는 음악 내용 기반의 가상화이다. 실세계 기반의 가상화는 실세계의 물체들을 모방하여 가상화에 반영하는 것이다. 이러한 연구의 대표적인 것으로 DIVA 시스템을 들 수 있다[3]. DIVA 시스템에서는 실제로 무대에서 사람 형태를 한 모델이 피아노, 기타, 플롯 등의 악기를 연주하는 듯한 모습을 보여 준다. 음악 내용 기반의 가상화는 음의 높이나 곡의 빠르기, 화음 등의 음악적 내용을 기반으로 추상적으로 가상화하는 방법을 말한다. Musical Galaxy가 대표적으로 음악 내용 기반의 가상화 방법을 사용하고 있다[4].

세 번째로 음악의 제어의 관한 연구이다. 음의 요소는 박자, 높이, 음색의 3가지로 정의할 수 있는데, 음악을 제어한다는 것은 이러한 세 요소를 변화시키는 것을 말한다. 이것은 하나의 음에 대해서 적용될 수도 있고 곡의 전체에 걸쳐서 적용될 수도 있다. 기존의 음악 환경에서는 음을 생성하는 수단으로 기존의 악기가 사용되었고, 기존의 오디오 시스템 등을 통해 곡 전체를 제어할 수도 있다. 그러나, 기존의 악기나 기타 시스템 이외에 좀 더 쉽고 직관적인 방법으로 다양한 음악적인 내용을 제어할 수 있는 인터페이스가 계속 연구되고 있다. 대표적인 것으로 Miburi 시스템[5], Radio drum[6], Morita의 가상 오케스트라[7] 등이 이러한 연구에 속한다.

◆ 분산 음악 환경

서로 떨어진 곳에서 같이 음악을 연주하고자 하는 연구는 이전부터 있어 왔다. 그러나 대부분의 경우 화상 회의 시스템이나 2차원 환경의 GUI를 사용한 연구가 대부분이다. 화상 회의 시스템을 응용한 것으로는 'Distributed Musical Rehearsal'이 있다[8]. 이 시스템은 ATM을 이용한 네트워크로 화상 데이터를 전송함으로써 협연이 가능하도록 하고 있다. 그러나 이러한 시스템은 한 화면에 볼 수 있는 참여자의 수가 제한되거나 보여지는 화면이 작아질 수밖에 없는 치명적인 단점을 가지고 있다.

2차원 환경의 GUI를 사용한 방법으로는 'Pazellian'과 'Jammin' On the Web'이 있다[9,10]. 'Pazellian'은 TCP를 사용한 네트워크를

통해 서버에 접속하여 지휘자와 연주자가 협주를 할 수 있는 시스템이며 'Jammin' On the Web' 이 시스템은 Java applet으로 구현되어 있어서 웹 브라우저(web browser)를 통해서 여러 사람이 접속하여 그룹을 만들어 연주할 수 있는 환경을 제공하는 시스템이다.

◆ 공존감(Co-presence)

공존감에 대한 연구는 최근 들어서 분산 가상 환경에 대한 연구가 활기를 띠면서 나타나기 시작한 부분이다. 이 개념은 실제감(presence)와 비교되어서 이야기 될 수 있는데 실제감이 자신이 가상 환경에 실제로 존재하는 듯한 느낌을 나타내는 것이라면, 공존감은 가상 공간 안에서 다른 참여자가 나와 같은 공간 안에 존재하고 이 사람이 스스로 작동하는 에이전트(agent)가 아닌 진짜 사람이라는 느낌을 나타내는 것이다. 또한 자신이 가상 공간 내의 어느 그룹에 소속되어 있다는 느낌을 나타내기도 한다[11,12].

위의 연구에서는 공존감을 증가시키기 위한 요소로 두 가지를 가리키고 있다. 첫 번째는 다른 참여자의 정보의 사실성인데 이는 다른 참여자의 가상 공간 내에서의 신원(identity), 다른 참여자와의 상호 작용이 가능한지에 대한 상태(availability), 다른 참여자의 행동(action)의 세 가지로 나누어진다. 두 번째는 그룹의 공동 작업(collaboration)과 상호 작용(interaction)의 정도이다[11].

이러한 공존감은 가상 현실 기술이 발달되기 전에도 MUD(Multi-User Dungeon), 통신을 통한 채팅(chatting) 등의 발달로 언급된 적이 있다[13]. 그러나 정보의 사실적인 전달과 자연스러운 상호 작용이 되지 않는다는 점에서 분산 가상 환경에 비해 공존감이 적을 수밖에 없다.

2. 분산 가상 음악 환경

2.1 분산 가상 음악 환경의 정의

이 논문에서는 분산 가상 음악 환경을 원거리에 있는 참여자들이 공동의 가상 환경 안에서 음악을 지휘, 연주, 또는 감상할 수 있는 환경으로 정의한다. 이것은 기존의 가상 음악 환경을 원거리에서도 다자가 참여할 수 있는 환경으로 확장한 개념이다.

2.2 분산 가상 음악 환경의 모델

아래의 그림과 같이 하나의 참여자에 대해서는 위에서 제시된 가상 음악 환경의 모델과 동일하다. 그러나 가상 음악 환경의 모델과의 차이점은 그림 2의 1), 2)과 같이 motor system에 의해서 생성된 정보가 자신의 컴퓨터에서는 그래픽과 음향의 생성으로 이어짐과 동시에 네트워크를 통해 다른 컴퓨터에 전달된다는 점이다. 전달된 정보는 전달된 컴퓨터에서 그래픽과 음향의 생성으로 이어지는 것이다. 여기에서 주의해야 할 점은 여러 곳에서 전달된 정보들이 같은 부분의 그래픽을 제어하지 않도록 주의할 필요가 있다.

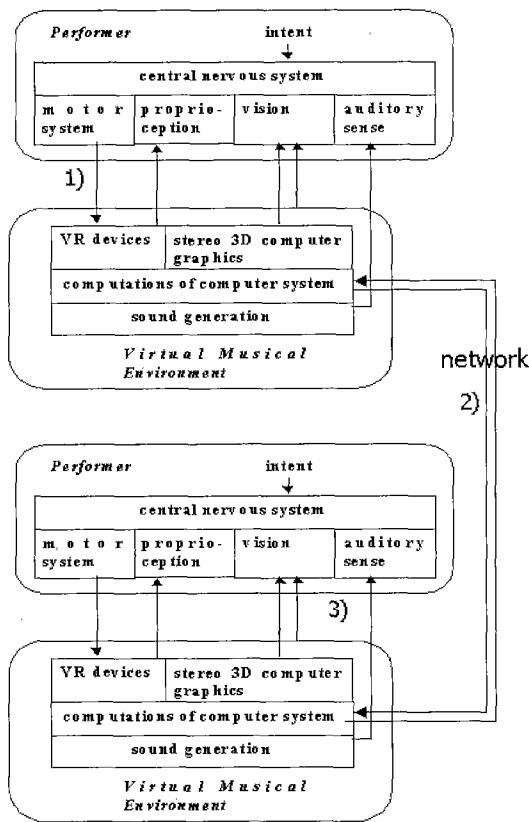


그림 2 분산 가상 음악 환경의 모델

2.3 분산 가상 음악 환경의 요소

분산 가상 환경에서의 음악의 연주와 감상이 원활하게 진행되기 위해서는 기존의 가상 음악 환경에서의 요소들 이외에 다음 두 가지 요소가 추가되

어야 할 필요가 있다.

◆ 공존감(Co-presence)

공존감을 언급할 때의 중요한 두 가지 요소에 대한 것이 바로 다른 참여자의 정보와 그룹의 공동작업과 참여자 사이의 상호작용이다.

다른 참여자를 가상 세계에 나타낼 때 가장 일반적으로 쓰이는 방법은 인간 형태의 아바타(avatar)를 사용하는 것이다. 이것은 실세계를 반영한 가시화 방법의 일부분으로써 실제의 사람 모양의 아바타를 사용함으로써 참여자가 다른 참여자를 자연스럽게 받아들이는 효과를 주게 된다. 이 효과는 아바타의 모델의 사실적인 모습과 움직임의 자연스러움에 의해 증폭되게 된다.

또한 실세계를 반영하는 가상 공간 내에서의 참여자는 일정한 위치를 차지하고 있으며 이것이 참여자를 인식할 수 있는 또 하나의 정보가 된다. 이를 공간화(spatialization)라고 하는데 실세계를 반영하는 가시화 부분에서는 3차원 그래픽을 통해서 쉽게 이루어지는 부분이다. 그러나 여기에 음향의 공간화가 추가되면 참여자들은 시각적인 요소에 청각적인 요소까지 추가되어 시각적으로 보이지 않는 부분을 포함하여 다른 사용자의 위치 정보를 파악할 수 있게 되어 공존감이 증가하게 된다. 특히 분산 가상 음악 환경에서는 청각적인 자극이 참여자에게 큰 비중으로 받아들여지기 때문에 음향의 공간화는 분산 가상 음악 환경에서 필수적인 요소라고 할 수 있다.

공존감을 향상시키는 또 하나의 요소는 그룹의 공동작업과 참여자간의 상호 작용이다. 다자가 참여하는 음악 환경에서는 음악과 직접적으로 관련된 청각적 정보의 전달(MIDI 데이터 또는 wave 등의 음향 데이터)은 필수적이며 이것만으로도 참여자에게 공존감을 가져다 줄 수 있다. 그러나 이러한 요소 이외에 음악의 부수적인 정보를 제어하는 지휘자의 움직임이나 가상 공간 내에서 악기를 연주하는 연주자의 움직임 등도 부가적인 상호 작용이 될 수 있으며, 청중의 박수나 환호성, 추임새 등도 음악의 내용과 직접적인 연관은 없지만 공존감을 향상시킬 수 있는 상호 작용이 될 수 있다. 이러한 상호 작용에 의해서 음악을 지휘, 연주, 감상하는 것이 하나의 공동 작업으로 이루어 지게 된다.

◆ 음악 데이터의 실시간 전송 및 그래픽과 음향의 동기화

분산 가상 음악 환경에서는 음악 데이터 처리 및 생성과 네트워크를 이용한 전송으로 인해 필연적으로 시간차(delay)가 발생하게 된다. 이러한 시간차는 적용되는 응용 프로그램에 따라서 성능에 크게 혹은 적게 영향을 주게 된다. 그러나, 분산 가상 음악 환경은 온라인 게임 등과 같은 다른 응용 프로그램과 비교했을 때 좀 더 적은 수준의 시간차가 보장되어야 하는데 그 이유는 우선 이 프로그램이 음악 관련 프로그램이기 때문이다. 음악 프로그램에서는 약간의 시간차만으로도 사용자가 혼란을 느끼거나 음악적인 내용을 잘못해서 받아들일 수 있기 때문이다.

사람이 음의 간격을 분간할 수 있는 시간은 사람마다 차이가 있다고 한다. 이와 관련해서 수행된 한 실험에서는 일반적인 곡에서의 사람이 음의 간격의 이상을 분간할 수 있는 시간을 적어도 50msec로 언급하고 있다[14,15]. 만약 많은 사람의 접속으로 인한 네트워크의 지연으로 인해 이러한 상한선이 지켜지지 않는다면 분산 가상 음악 환경의 효용성이 급격히 저하되므로 이 상한선을 염두에 두어야 할 필요가 있다. 예를 들어 같은 시간에 두 참여자가 음을 연주했다 하더라도 위의 상한선을 초과하게 될 경우 두 음이 다른 시간에 발생된 것으로 인식되어 참여자에게 혼란을 줄 수 있다.

그래픽과 음향의 동기화도 염두에 두어야 할 사항이다. 만약 음악 정보가 처리되는 속도가 그래픽 엔진이 화면을 바꾸는 속도보다 빠르게 되면 참여자는 가시화된 그래픽과 음향 사이의 이질감을 느끼게 된다. 이와 관련된 한 실험에서는 그래픽과 음향 사이의 차이가 100ms를 넘지 않아야 한다고 말하고 있다[16]. 이 수치에 근거해서 위의 조건을 만족하는 시간차의 상한선을 다음의 식 (1)과 같이 계산해 낼 수 있다.

$$| \text{One MIDI Event delay} * p * s - (\frac{1}{\text{frame rate}}) | < 0.1(\text{sec}) \quad (1)$$

(p: 참여자의 수, s: 한 참여자의 동시 발음 가능한 음의 수)

예를 들어 하나의 MIDI event를 처리하는데 걸리는 시간이 0.0001초라고 하고 15FPS의 그래픽 처리를 한다고 하면 $p * s < 1600$ 이라는 결과도 출되는 것이다. 이것은 16명의 참여자가 각각 동시에 100개의 음을 처리할 수 있는 정도의 처리를

할 수 있는 것이다.

그러나 실제로 네트워크를 통한 전송 중에는 전송 속도에 의한 시간차 이외에 패킷(packet)의 증가에 따른 불규칙적인 시간 지연(latency)이 생기게 되므로 실제 시스템이 수용할 수 있는 상한선은 상당히 낮아지게 된다. 그러므로, 실제로 시스템이 수용할 수 있는 상한선을 성능 테스트를 통해서 알아볼 필요가 있는데 이는 차후에 기술하기로 한다.

3. PODIUM: 시스템 구조 및 구현

본 장에서는 위에서 제시된 분산 가상 음악 환경을 실제로 구현한 분산 가상 음악 연주 및 감상 시스템인 PODIUM(POstech DIstributed virtUal Music system)을 소개하고 시스템의 구조 및 구현 내용을 다룬다.

3.1 시스템 개요

제안된 분산 가상 음악 연주 및 감상 시스템 PODIUM은 원거리 상에서 여러 연주자 및 청중이 동시에 같은 가상 공간을 공유하며 그 환경 안에서 음악을 같이 연주하고 감상할 수 있는 시스템이다. 이 시스템은 네트워크를 통해서 연결된 참여자들을 가상 공간에 몰입할 수 있도록 실재감(presence)의 요소들을 추가함과 동시에 앞에서 제시한 공존감(co-presence)의 요소들을 적용하였다. 이를 통해 참여자는 원거리에서도 동일한 가상 환경에 참여하여 음악 연주 및 감상을 효율적으로 할 수 있다.

3.2 시스템 디자인

시스템에서의 하나의 그룹은 한 명의 지휘자와 다수의 연주자, 그리고 다수의 청중으로 이루어진다. 각각의 참여자들은 하나의 컴퓨터를 제어할 수 있으며 이를 통해서 분산 가상 음악 환경에 참여한다. 각각의 컴퓨터에서 참여자는 음악을 제어할 수 있는 인터페이스를 통해 음악 데이터를 생성하게 되고 이 데이터는 네트워크를 통해서 다른 사용자에게 전달되게 된다. 전달된 음악 데이터는 데이터의 내용에 따라서 아바타의 움직임과 같은 그래픽의 처리와 MIDI나 wave 포맷과 같은 음원을 통한 소리의 발생이 같이 이루어지게 된다. 처리된 그래

픽과 음향은 대형 모니터나 HMD와 같은 디스플레이 장치에 의해 사용자에게 보여지게 되고 발생된 소리는 헤드폰이나 스피커를 통해 사용자에게 들려지게 된다.

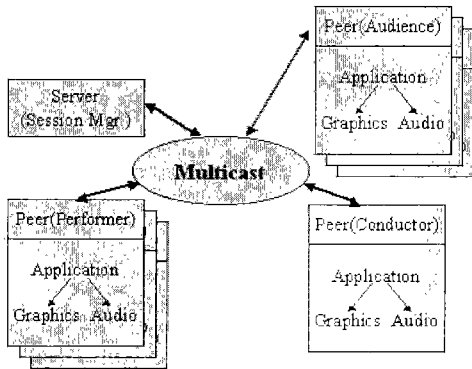


그림 3 PODIUM의 시스템 디자인

또한 시스템 내에는 참여자들이 사용하는 컴퓨터 이외에 하나의 그룹을 관리하는 서버가 존재한다. 이 서버는 사용자가 하나의 그룹에 접속할 때에 자신이 속해 있는 그룹의 참여자들의 IP 목록을 전달하고 관리하는 역할을 한다. 그러므로 사용자는 네트워크를 통해 데이터가 전달될 곳의 IP를 직접 찾을 필요가 없이 곧바로 그룹에 참여할 수 있게 된다.

3.3 시스템 구현 상의 특징

본 시스템에서는 원거리에 있는 참여자들 간에도 서로 실제감과 공존감을 느낄 수 있도록 하여 음악 연주 및 감상을 원활하게 할 수 있도록 하는 기능을 제공하고 있다. 이러한 기능은 크게 세 부분으로 나누어 구현이 되어 있다.

◆ 공존감의 증가를 위한 부분

이 시스템에서는 두 가지 특징을 통해서 참여자들 간의 공존감을 높이고자 하였다. 첫 번째는 실세계를 기반으로 하는 가시화이고 두 번째는 음향의 공간화이다.

실세계를 기반으로 하는 가시화에서는 실제 사람 형태의 아바타를 채택하여 사용하고 음악의 지휘나 연주에 맞추어 실제로 지휘를 하거나 음악을 연주하는 애니메이션을 보여 줌으로써 참여자들은 더 많은 공존감을 느낄 수 있게 된다. 또한 청중으

로 참여한 참여자 또한 간단한 박수나 환호성을 보낼 수 있으며 이 또한 소리와 함께 동작 애니메이션으로 보여지기 때문에 직접적으로 연주에 참여하지 않더라도 음악을 좀 더 실감 있게 감상할 수 있다.

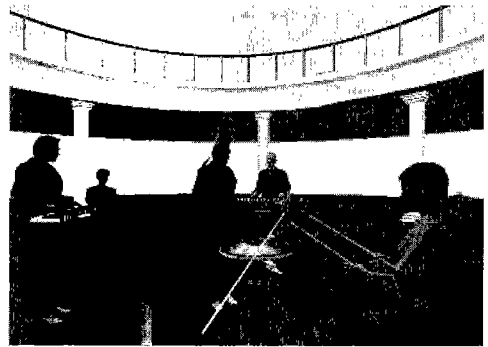


그림 4 PODIUM 내에서 3인칭 시점에서 본 화면



그림 5 PODIUM 내에서 1인칭 시점에서 본 화면

두 번째로 다른 참여자의 위치를 감지하도록 하는 방법으로 참여자의 아바타를 정해진 곳에 위치시키는 방법과 함께 소리의 공간화를 적용하였다. 이를 통해 참여자는 실제감과 함께 상대방의 위치를 소리로도 감지할 수 있게 되어 공존감이 증가하게 된다.

소리의 공간화의 방법으로는 패닝(panning) 기법이 사용되었다. 이것은 자신의 위치와 다른 참여자의 위치를 바탕으로 좌/우 간의 상대적 음의 크기를 재계산하는 방법이다. 참여자는 자신 이외의 참여자의 음원에 대해서 각각 패닝 기법을 사용함으로써 자신 이외의 다른 참여자들의 위치를 모두 파악할 수 있다. 좌/우 음량을 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 RightVolume &= \frac{Volume}{2} + (\cos \theta * \frac{Volume}{2}) \\
 LeftVolume &= \frac{Volume}{2} - (\cos \theta * \frac{Volume}{2})
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

(θ 는 자기의 시선에 오른쪽으로 수직인 방향을 0도로 하며 반시계방향을 양의 방향으로 계산한 값)

◆ UDP를 이용한 IP-Multicasting

네트워크를 통한 데이터의 전달 방법은 UDP를 이용한 IP-Multicasting 방법을 사용하였다. 분산 가상 음악 환경에서는 시간차의 영향을 무시할 수 없으므로 TCP에 비하여 네트워크의 트래픽을 덜 유발하는 UDP를 선택하게 되었다. IP-Multicasting은 송신자 측에서 보낼 상대들의 IP 목록을 가지고 있으면 한 번의 메시지 전송만으로 모든 상대들에게 데이터를 전송할 수 있는 이점을 가지고 있다는 이유로 이 시스템에서 사용되었다. 그룹의 IP 목록은 위에서 언급된 별도의 서버에서 관리한다. 서버는 새로운 참여자가 들어오면 들어온 참여자의 IP를 목록에 추가하고 가지고 있던 IP 목록을 새로운 참여자에게 전달한다. 참여자가 나갈 시에는 서버에 있는 자신의 IP 목록을 제거해 달라고 요청하면 서버 측에서는 IP 목록을 갱신한다.

◆ 다양한 메시지와 인터페이스 제공

이 시스템에서는 사용자의 음악의 원활한 연주와 감상을 위해 다양한 메시지와 인터페이스를 사용자에게 제공하고 있다. 입력 장치 중에서는 음악 연주에 초보적인 사람을 위하여 키보드와 마우스 등으로 음악을 연주할 수 있도록 되어 있으며, 기존의 악기에 능숙한 사람을 위해서 MIDI가 지원되는 건반이나 드럼 등을 인터페이스로 사용할 수 있게 되어 있어서 쉽게 분산 가상 음악 환경에 접할 수 있다. 디스플레이 장치로는 기존의 모니터뿐만이 아니라 실제감의 증가를 위해서 대형 디스플레이 장비와 HMD(Head-Mounted Display)도 같이 사용할 수 있다. 특히 HMD를 착용하는 경우는 head-tracking이 가능하도록 되어 있어 사용자의 실제감을 향상시켜 주게 된다. 또한 head tracking의 경우 머리의 방향에 맞추어 패닝이 적용되게 되어 있다. 다시 말하면 머리를 움직이는 동안에 실시간으로 소리의 공간화 작업이 이루어지게 되는 것이다. 이를 통해 참여자는 공존감이 증가하는 효과를 가져오게 된다. 네트워크를 통해서 전달되는 메시지는 음악적인 정보가 들어 있는 메시지 이외에 지휘자의 지휘나 청중의 박수와 환호성 등의 여

러 종류의 메시지를 포함시키고 이를 가시화 하였다. 표 1은 이 시스템에서 사용된 단위 메시지의 종류를 나타낸 것이다.

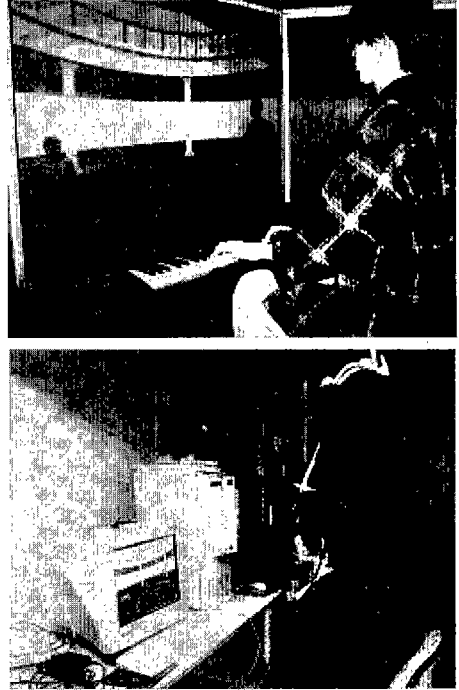


그림 6 PODIUM에서의 연주자와 관객

표 1 PODIUM에서의 패킷의 내용

Name	Synopsis	Main Content
Note on/off	Performer plays a MIDI note.	ID, octave, note, velocity
Enter/Exit	Participant enters/exits.	ID, IP address
Change	Performer changes musical instrument.	ID, Patchi
Clap	Audience claps his hands.	ID
Applause	Audience applaud	ID
Motion	Conductor's beating event	ID, height
Movement	Participant moves his head	ID, location, head orientation
Loud	Conductor's signal for louder volume	ID
Quiet	Conductor's signal for smaller volume	ID
Start	Conductor's signal to start a joint performance session	ID
Stop	Conductor's signal for a stop	ID

4. 분산 가상 음악 환경에서의 네트워크 성능 이슈

4.1 개요

네트워크의 성능 이슈와 관련해서 2장에서는 분산 가상 음악 환경에서 발생하게 되는 시간차에 대한 상한선에 대해서 기술한 바 있다. 그러나 실제로 네트워크를 통한 전송 중에는 전송 속도에 의한 시간차 이외에 패킷(packet)의 증가에 따른 불규칙적인 시간 지연(latency)이 생기게 되므로 실제 시스템이 수용할 수 있는 상한선은 상당히 낮아지게 된다고 하였다. 이 장에서는 현재의 기술 수준으로 구성된 분산 가상 음악 연주 및 감상 시스템에 실제로 몇 명의 참여자가 원활하게 참여할 수 있는 지에 대한 테스트를 수행하였다. 실제로 2장에서는 시간차의 두 가지 상한선인 음악 데이터의 실시간 전송과 그래픽과 음향의 동기화에서의 상한선이 언급되었다. 첫 번째는 사람이 구별할 수 있는 음의 간격인 50ms보다는 빨라야 한다는 것이었고, 두 번째는 그래픽 처리의 속도와 음의 처리 속도의 차이가 100ms를 넘지 않아야 한다는 것이었다.

4.2 테스트 수행 및 결과

테스트는 15명의 참여자가 각각 10개의 트랙을 연주하는 과정으로 수행되었다. 테스트 환경은 연구실 내의 LAN(Local Area Network) 환경에서 이루어졌다. 참여자는 같은 시각에 일정한 간격으로 주어진 음을 연주하게 하고 여기에서 생긴 시간차를 측정하였다. 참고로 여기에서 측정된 값은 두 번째에 언급되었던 시간차에서 (One MIDI Event delay * p * s)에 해당되는 값이므로 이 값은 $0.1 + (1/fps)$ 보다 작은 값을 유지하면 된다. 테스트는 각각 2명, 5명, 10명, 15명이 참가했을 때로 나누어져서 측정되었으며, 각각의 조건에서 측정된 여러 값 중 최대값을 추출해 내었다. 테스트 결과는 아래의 표와 같다.

표 2 시간차의 최대값 테스트 결과

No. of participants (10 tracks)	Max. Latency
2	Under 1ms
5	24ms
10	28ms
15	26ms

이 결과에서 알 수 있듯이 2명일 경우를 제외하면 모두 30msec보다 약간 작은 정도의 시간차가 발생하였다.

4.3 결과 분석

예상대로 네트워크 전송에 걸리는 시간 이외의 시간차에 의해서 30msec에 가까운 결과를 나타내었는데 이는 여러 곳에서 한꺼번에 건너온 패킷을 네트워크 어댑터(Network Adapter) 상에서 모두 처리하지 못해서 적체 현상(congestion)이 일어나기 때문에 일부 패킷이 일정한 시간을 기다렸다가 처리되게 되는 현상 때문으로 분석할 수 있다. 실제로 2명일 때에는 불규칙적인 시간차가 전혀 일어나지 않다가 5명이 되면서 갑자기 시간차가 증가하였고 이것이 15명이 될 때까지 비슷한 값을 보였다는 것은 5명 이상이 참여한 환경에서 일부 패킷이 한 번 기다리게 되는 확률이 존재한다는 것이다. 그러나 그것이 15명까지는 한 번 기다리게 되는 패킷이 너무 많아 다시 또 한 번 기다리게 되는 경우는 생기지 않음을 알 수 있다. 만약 참여 인원이 더욱 늘어나게 된다면 두 번 기다리는 패킷이 생기게 될 경우를 배제할 수 없기 때문에 시간차가 갑자기 뛰는 선이 존재할 것으로 예상할 수 있다.

그러나 우선은 위에서 제시된 시간차의 두 상한선을 넘지 않는다는 점에서 이 시스템이 LAN 환경에서 15명의 10트랙 동시 연주가 가능한 시스템임을 말해 주고 있다. 차후에는 더 많은 사람에 의한 테스트가 필요할 것이다.

5. 실험을 통한 사용성 검증

5.1 음악 환경의 효율성

이 장에서는 이 논문에서 제시된 분산 가상 음악 연주 및 감상 시스템인 PODIUM과 기존의 분산 음악 연주 환경과의 비교를 통해서 가상 음악 환경의 효율성을 알아보려고 한다.

◆ 효율성의 분류

음악 환경에서의 효율성은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째는 실제 상황에서의 곡의 연주 및 감상이고(performance), 두 번째는 곡에 대한 습득 속도 및 충실도이다(learnability). 첫 번째의 경우는 또 다시 두 가지 부분으로 나누어 볼 수

있다. 첫 번째는 악보에 따른 음에 대한 정확도인데 이것은 악보에 따라 연주할 경우의 음의 높이나 박자, 크기, 화음 등의 정확도를 말하는 것이다. 두 번째는 즉흥적인 변화에 따른 적응도인데 이것은 지휘자의 지휘나 청중들의 반응, 연주자의 즉흥적인 연주의 변화에 따른 적응도를 말하는 것이다.

◆ 효율성의 측정 방법

본 실험에서는 실제 상황에서의 곡의 연주 및 감상에 대한 효율성의 측정에 중점을 맞추고, 그 중에서도 즉흥적인 변화에 따른 적응도를 측정하는데 중점을 둔다. 그 이유는 이 논문에서 제시된 시스템이 악보를 제시하고 그에 맞추어 치는 것을 요구하는 학습 시스템이 아닌 다자가 즉흥적으로 연주할 수 있는 환경을 제공하는 일종의 즉흥 연주 및 감상 시스템이기 때문이다.

본 실험에서는 연주자의 능력이 곡을 충분히 소화한다고 가정한다. 이를 위해서 어느 정도의 악기 연주 실력을 가지고 있는 사람을 피실험자로 선택하였으며, 실험에서 연주하는 곡 또한 난이도가 낮은 곡으로 선택하여 실험하였다.

즉흥적인 변화에 따른 적응도를 측정하는 방법은 지휘자의 즉흥적인 지휘의 변화에 따른 적응도를 측정하는 것으로 한다. 실험상에서 지휘자는 임의로 빠르기를 빠르거나 느리게 하거나 지휘를 크거나 작게 해서 연주자로 하여금 이에 맞추어 연주의 빠르거나 세기를 조절하도록 한다. 본 실험에서는 지휘자의 지휘의 변화 이후의 연주의 변화 사이의 시간차를 측정하여 이를 연주의 효율성의 평가 기준으로 삼는다.

◆ 설문 조사

음악 환경에 있어서 연주자나 청중의 음악의 이해 및 흥미도 또한 간과해서는 안 되는 부분이다. 본 실험에서는 크게 세 부분에 걸쳐서 설문 조사를 실시하였다.

- 실재감 및 공존감의 정도에 대한 설문
 - 음악의 이해와 흥미도에 대한 설문
 - 연주나 감상시의 시간차에 대한 설문
- 설문지는 다음과 같다.

본 설문은 7단계 설문입니다. (1:전혀, 4:보통 7:매우)

1. 함께 연주하는 연주자가 존재감 있게 느껴졌습니까?
2. 지휘자가 존재감 있게 느껴졌습니까?
3. 청중이 존재감 있게 느껴졌습니까?(연주자만

해당)

4. 자신이 다른 사람들과 같은 환경 안에 있다고 느꼈습니까?
5. 자신이 다른 사람들과 같이 음악 연주 및 감상에 동참하고 있다고 느꼈습니까?
6. 소리의 공간화를 어느 정도 느꼈습니까?
7. 지휘자의 지휘의 가시화가 연주하는데 어느 정도 도움이 되었습니까?(연주자만 해당)
8. 연주자의 연주의 가시화가 연주하는데 어느 정도 도움이 되었습니까?(연주자만 해당)
9. 지휘자의 지휘의 가시화가 음악의 이해에 얼마나 도움이 되었습니까?
10. 연주자의 연주의 가시화가 음악의 이해에 얼마나 도움이 되었습니까?
11. 네트워크에 의한 끊김 현상이 어느 정도였다고 생각이 됩니까?
12. 만약 네트워크의 끊김 현상이 감지되었다면 그것이 연주에 얼마나 나쁜 영향을 주었습니까?
13. 어느 정도 재미있었습니까?
14. 연주하는 것이 어느 정도 어려웠습니까?(연주자만 해당)
15. 실험과 시스템에 대한 의견을 적어 주세요.

5.2 실험을 통한 사용성 검증

◆ 실험 소개와 목표

본 실험은 실재감과 공존감이 적용된 분산 가상 음악 환경이 위에서 언급된 음악 연주의 효율성을 향상시키는지 알아보기 위한 실험이다. 이 실험에서는 분산 가상 음악 환경을 통해서 협연하는 경우, 그리고 실재감과 공존감을 주는 요소들이 배제된 음악 환경을 비교해 봄으로써 분산 가상 음악 연주 및 감상 시스템의 효율성을 살펴보고자 한다.

◆ 실험 환경

실험에서의 하나의 협주를 위한 그룹은 정해진 한 명의 지휘자와 다섯 명의 피실험자로 구성된다. 다섯 명의 피실험자는 두 명의 피아노 연주자와 한 명의 드럼 연주자, 그리고 두 명의 청중으로 이루어진다. 피 실험자는 2가지 환경에서 간단한 곡인 ‘학교종이 땡땡’을 피아노 부분은 두 부분으로 나누어, 드럼 부분은 쉬운 범위 내에서 연주를 시행한다. 여기에서 말하는 2가지 환경은 다음과 같다.

PODIUM : 서로 떨어진 장소에서 PODIUM을 통해서 61인치 대형 화면을 보면서 협연

no PODIUM : 서로 떨어진 장소에서 지휘봉만 이 2차원으로 가시화 되어 보여지고 실재감과 공존감을 주는 요소들이 모두 배제됨

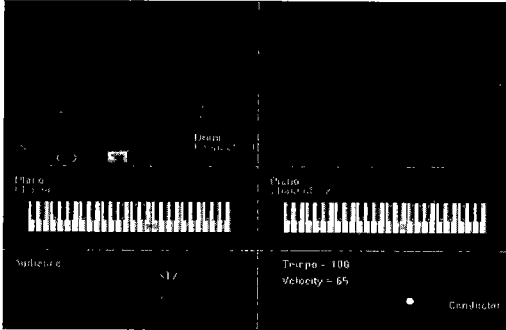


그림 7 no PODIUM 환경

PODIUM의 경우는 피아노의 연주나 드럼의 연주, 청중의 박수나 환호성 등이 실제 사람이 움직이는 것처럼 가시화 되는데 비해 no PODIUM의 경우는 상대방이 어떤 반응을 하였는지가 2차원으로 된 가시화 방법에 의해 보여지게 된다.

두 가지 환경 모두에서 연주자는 서로 떨어진 장소에서 대형 화면을 보면서 협연하게 된다. 청중의 경우는 PODIUM에서는 head tracking이 지원되는 HMD를 통해서 그룹에 참여하여 박수나 환호성을 보내는 데 비해 no PODIUM에서는 head tracking이 지원되지 않는 HMD를 통해서 그룹에 참여하게 된다. 이는 HMD의 해상도가 기존의 모니터에 비해 해상도가 현저히 낮기 때문에 조건을 같게 해주기 위한 조치이다.

2가지 환경 모두 공통적으로 소리의 정보는 헤드폰을 통해서 들을 수 있다. 단 PODIUM의 경우는 소리의 공간화가 처리되어 참여자의 위치에 따라서 좌/우의 소리의 크기가 조절되어 들리게 된다. 특히 청중의 경우는 고개를 돌림에 따라서 실시간으로 소리의 공간화가 처리되도록 하였다.

◆ 실험 내용

피실험자는 지휘자의 지휘 모션에 맞추어 곡을 연주한다. 이 과정은 피실험자가 곡과 지휘에 익숙해질 때까지 시행한다. 이는 본 실험에서 연주자의 능력이 곡을 충분히 소화한다고 하는 가정을 충족시키기 위한 과정이다. 이 과정이 지나면 피실험자들에게 지휘 모션이 커지거나 속도가 느려지는 경

우 그에 따라 되도록 빨리 연주를 크게 하거나 느리게 연주해 줄 것을 지시하고 본 실험을 실시하였다. 본 실험은 2가지 환경(PODIUM, no PODIUM)에 대해서 협연을 시행하였다. 각 환경에 대해서 지휘자의 모션이 변한 시각과 연주자의 연주가 변한 시각을 측정하여 기록하였다. 그리고 마지막으로 설문지를 통해서 설문을 실시하였다. 본 실험은 총 6 그룹의 30명이 피실험자로 참여하였다.

◆ 실험 결과

결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 데이터와 설문조사 항목 모두에 대해서 paired T-test를 통해 결과를 검증하였다. 이 방법을 채택하게 된 이유는 피실험자의 데이터나 설문에 대한 답에 대한 기준이 각자 다르기 때문이다. 또한 샘플의 크기가 크지 않기 때문에 T-test를 통해서 검증하게 된 것이다. 이 실험의 목적이 두 가지 환경의 비교가 목적이기 때문에 각 피실험자의 각각의 두 가지 환경에서 추출한 데이터의 차를 분석 데이터 자료로 사용하였다.

실험 결과는 우선 측정 데이터에 대해서는 신뢰도 95%에서 두 환경 사이의 시간차가 다르지 않았다. 그러나 설문 결과에 있어서는 14번 문항을 제외하고는 모두 no PODIUM보다 PODIUM이 더 나은 결과를 보이고 있었다. 특히 연주자보다 청중의 t-value가 대부분 높게 나타남으로써 청중이 연주자에 비해서 실재감과 공존감, 음악의 이해에 있어서 좀 더 좋은 영향을 주는 것으로 나타났다. 시간차에 대한 질문에 대해서는 시간차를 거의 발견되지 못했음을 보여 주고 있으며 소리의 공간화에 대해서는 연주자의 경우는 보통 정도로 인식하고 있다는 결과를, 관객의 경우는 상당히 높게 인식한다는 결과를 나타내었다.

6. 결론

본 논문에서는 분산 가상 현실 기술과 가상 음악 환경이 접목된 분산 가상 음악 환경을 제안하였다. 이 환경은 다자가 참여하여 음악을 지휘, 연주, 감상할 수 있는 환경이며 참여자에게 실재감과 공존감을 제공한다.

또한 본 논문에서는 분산 환경으로 확장되는 과정에서 고려해야 할 사항으로 공존감과 정보 전달 및 그래픽과 음향 정보의 동기화에 필요한 시간차의 상한선을 알아봄으로써 분산 가상 음악 환경이

수용 가능한 용량에 대한 가이드라인을 제시하였다. 또한 분산 가상 음악 연주 및 감상 시스템인 PODIUM을 구현하고 이를 사용하여 네트워크 관련 테스트를 실시하였다. 거기에 더해 본 시스템의 음악 연주 및 감상의 효율성을 알아보기 위하여 실험을 통한 사용성 검증을 실시하였다. 이 실험을 통해서 분산 가상 음악 환경에서는 연주 시에는 정보의 명확한 제공이 중요하며 감상 시에는 실재감과 공존감의 제공이 중요하다는 사실을 알 수 있었다.

참고문헌

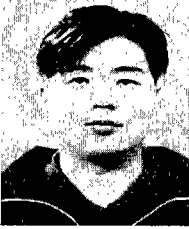
- [1] Pressing. Cybernetic Issues in Interactive Performance Systems; Computer & Graphics, 18(5), 1994.
- [2] Kim, G. and Hwang, J. Design and Analysis of Virtual Music Environment; Proc. Of Intl. Computer Music Conference 2000, Berlin, 2000.
- [3] Takala, T. Virtual Orchestra Performance at Electric Garden; SIGGRAPH 1997.
- [4] Kim, G. and Hwang, J. A Medium for Uniting Visualization and Control of Music in the Virtual Environment; VSMM 99, 1999.
- [5] Yamaha Corp. Miburi System; Documentation available on the web <http://www.yamaha.co.jp/news/96041001.html>, 1996.
- [6] Matthews, M. and Andrew, W. The radiodrum as a synthesis controller; Proc. Of Intl. Computer Music Conference '89, 1989.
- [7] Morita, H., Hashimoto, S., Ohteru, S. A computer music system that follows a human conductor; Computer, 24(7):44-53, July 1991.
- [8] Dimitri, K. et al. Distributed Musical Rehearsal; Proc. Of Intl. Computer Music Conference '97, 1997.
- [9] Donald P. et al. A Distributed Interactive Music Application using Harmonic Constraint; Proc. Of Intl. Computer Music Conference 2000, 2000.
- [10] Philip B. Jammin' on the Web - a new Client/Server Architecture for Multi-User Musical Performance; Proc. Of Intl. Computer Music Conference 2000, 2000.
- [11] Casaneuva, J. and Blake, E. The Effects of Group Collaboration on Presence in a Collaborative Virtual Environment; Proc. Of Intl. Computer Music Conference 2000, 2000.
- [12] Steur, J. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence; Journal of Communication, Vol 42, No. 4, 1992.
- [13] Towell, J. and Towell, E. Presence in Text Based Networked VE or "MUDs"; Presence, Vol 6, No. 5, 1997.
- [14] Clarke, F. The Perception of Expressive timing in music; Psychological Research, 51, 2-9, 1989.
- [15] Clarke, F. Rhythm and Timing in Music; the Psychology of Music, 2nd edition, 489-494 1999, 9, 1971-1973.
- [16] Miner, N. and Caudel, T. Computational Requirements and Synchronization Issues for Virtual Acoustic Displays; Presence, Vol 7, No. 4, 1998.
- [17] Jung, B., Hwang, J., Kim, G. Incorporating Co-presence in Distributed Virtual Music Environment; VRST 2000, 2000.
- [18] Ronald, E. et al. Probability and Statistics for Engineers and Scientists; 5th edition, 319-322, 1993.

황재인



1998 포항공과대학교 전자계산학(학사)
 2000 포항공과대학교 컴퓨터공학(석사)
 2000~현재 포항공과대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 관심분야: 가상현실, 몰입감, 멀티미디어, 3차원 인터랙션
 E-mail: jane@postech.ac.kr

정 병 대



1999 포항공과대학교 전자계산학(학사)
2001 포항공과대학교 컴퓨터공학(석사)
2001~현재 포디홈네트(주) 연구원
관심분야: 가상현실, 데이터베이스, 홈네트워킹
E-mail: nicolas@4dhome.net

김 정 현



1987 Carnegie Mellon University
전자컴퓨터공학(학사)
1994 University of Southern
California 전산학과(박사)
1994~1996 NIST 연구원
1996~현재 포항공과대학교 컴퓨터
공학과 조교수
E-mail: gjkim@postech.ac.kr

• 한국 데이터베이스 학술대회 2001 •

- 일 자 : 2001년 6월 1~2일
- 장 소 : 한국과학기술회관
- 주 최 : 데이터베이스연구회
- 문 의 처 : 전남대학교 컴퓨터정보학과 이도현 교수
Tel. 062-530-3427/0110
E-mail : dhlee@dbcc.chonnam.ac.kr