

제7권 제1호, 1998년 6월

한국시물레이션학회 논문지

JOURNAL OF THE KOREA SOCIETY FOR SIMULATION

VOL. 7, NO. 1, June 1998

사단
법인 한국시물레이션학회

다중 참여자 네트워크 가상현실 시스템을 위한 복수 멀티캐스트 통신구조

A heterogeneous multicast communication for the network
virtual reality system

성운재*, 심재한*, 원광연*

Sung UnJae, Sim JaeHan, Wohn KwangYun

Abstract

In this paper, we propose an efficient network communication scheme tailored to the network virtual reality(NVR) system. We first present the architecture and implementation of CVRAT (collaborative virtual reality authoring tool). The design goal of CVRAT is to provide consistent and scalable shared virtual environments. To achieve this goal, we classify the network messages according to their reliability and latency requirements. These conflicting requirements lead us to conceive a heterogeneous communication scheme which provides the unicast and three different multicast transport services; unreliable multicast, receiver-driven reliable multicast, fast reliable multicast. Each protocol has trade-offs in reliability, latency and bandwidth usage. The characteristics are analyzed by several experiments. Finally, applying this communication method to multi-participant battle-field tank simulation, we show the efficacy of proposed heterogeneous transport protocol mechanism.

1. 서론

가상 현실 기술은 인간의 시각, 청각, 촉각, 지각 등을 컴퓨터가 생성한 인공의 정보로 대체하려는 일련의 기술이다. 이를 이용한 응용으로는 3차원 HCI에 기반한 새로운 도구들, 3차원 시뮬레이션에 의한 인간 경험의 확장, 기존의 통신 매체를 대체하는 새로운 실감통신 등이 있다. 가상환경에서 현실감을 제공하는 요소로서는 자율성, 상호작용, 존재감을 들 수 있다[11]. 네트워크 기반 가상환경은 다수의 참여자들이 가상환경을 공유한다는 점에서 현실감을 느끼게 하는 요소들 가운데 참여자간의 상호작용이 중요하다. 네트워크로 연결된 참여자간의 상호 작용은 이들 사이에 정보의 교환으로 이루어지며, 다중 참여자 가상환경에서의 정보 교환은 대상이 한정되어 있지 않고 가상세계의 모든 참여자가 대상이 되는 다자간 통신이라는 점을 고려 할 때, 네트워크를 통한 다수 참여자간의 정보교환을 위한 그룹 통신방법은 무엇보다도 중요하다.

한번의 메시지 전송으로 다수의 참여자에게 자료를 전달 할 수 있는 multicast는 다수의 참여자간 통신의 효율적인 방법으로 폭 넓은 지지를 받고 있다. 또한 Mbone[3]의 등장으로 multicast를 적용할 수 있는 네트워크의 범위가 인터넷으로 확장되었다. 그러나 UDP에 기반을 둔 IP-multicast는 TCP와 달리 메시지의 손실, 중복 등이 발생해서 통신의 신뢰성을 보장하지 못한다. 이를 보완하여 오류의 검출과 복구기능을 추가한 multicast를 reliable multicast라 한다. 그러나 실시간성과 확장성(scalability)이 중요한 네트워크 가상현실 시스템에서 reliable multicast는 단순 multicast에 비하여 메시지 전송시간과 전송량에서 단점을 가진다. 계속적으로 발생하는 참여자의 동작에 대한 메시지와 같이 메시지의 신뢰성이 요구되지 않는 경우에는 reliable multicast가 단순 multicast에 비하여 비효율적이다. 본 연구에서는 다중 참여자 네트워크 가상현실 시스템의 정보교환 방법으로 메시지의 종류에 따라 적합한 전송(transport) 프로토콜을 선택적으로 채용하는 통신구조를 설계한다. 이를 위하여 다중 참여자 네트워크 가상환경 시스템의 구조를 설계하고 각 모듈의 역할을 정의하

고, 각 모듈간에 교환되어야 할 정보의 종류와 요구 사항을 정의하였다. 마지막으로 다수 참여자 실시간 전투게임 응용을 통하여 제안된 통신방법의 유용성을 실험하였다.

2. 관련 연구

2.1. 네트워크 가상 현실 시스템

본 논문에서는 네트워크 가상현실 시스템의 통신 방법을 비교하는 기준으로 다음 세 가지 요소를 사용하였다.

지연 시간(latency)의 최소화

지연 시간이란 어떠한 사건(event)이 발생하는 시점부터 참여자가 그 내용을 인지하게 되기까지 소요되는 시간을 말한다. 참여자에게 높은 수준의 현실감을 제공하기 위해서는 사건의 발생과 인지가 연속적으로 일어나는 자연현상과 최대한 유사하게 가상환경을 묘사하여야 한다. 네트워크 가상환경에서는 참여자간 사건과 결과가 공유되므로 이를 전달하는 수단인 통신에서의 지연은 중요하다.

가상환경 내용의 일관성(consistency) 유지

참여자에 대한 시각화 된 정보의 제공을 위해서 가상환경에서 인지 가능한 영역의 데이터는 계속적인 접근(access)이 요구된다. 이들 정보는 가용성(availability)의 제공을 위해 참여자의 host에 복제되는 것이 일반적이다. 이것의 일관성을 위해서는 갱신 내용이 공유되어야 한다.

참여자 증가에 대한 확장성(scalability)

다중 참여자 공유 가상 환경에서 참여자수의 증가는 통신량의 증가를 의미한다. 네트워크 가상 환경의 경우는 참여자의 수가 증가함에 따라서 정보의 공유를 위한 통신의 양 또한 증가한다. 따라서 네트워크 가상환경을 위한 통신구조는 제한된 네트워크환경에서 최대한 다수 참여자에 대한 확장성이 있어야 한다.

<표 1> 시스템간의 비교

	DIVE	AVIARY	NPSNET
자료 관리	복제 관리	서버 사용	완전 복제 관리
통신 방법	Reliable multicast	Point-to-point	Unreliable multicast
동시접근 제어	Locking	서버의 선형화	없음
병목현상	Lock의 확보	서버로의 연결	없음
지연시간	▲	X	●
일관성	▲	●	X
확장성	▲	▲	●

표 1은 대표적인 네트워크 가상 환경 시스템의 특징적인 구조와 중요 요소에 대한 평가를 기술한 것이다. DIVE[2]는 lock을 사용하여 가상환경에 대한 동시접근을 제어하므로 다수의 참여자가 lock을 요구할 경우 병목현상이 발생하며, 참여자수의 증가에 따라 조작 지연시간이 증가된다.

AVIARY[10]는 참여자들의 가상세계에 대한 객신내용이 가상환경 서버로 집중되므로 일관성의 유지 측면에서는 우수하나, 가상환경 서버에서 병목현상이 발생하여 렌더링 등을 위한 자료 접근 지연시간이 길어진다.

NPSNET[8]의 경우, 참여자들은 각자의 상태를 주기적으로 반복 송신하여 정보의 일관성을 꾀한다. 그 결과 지연시간과 확장성 측면에서는 나은 결과를 보이지만, 참여자간의 동기적 상호작용이나 공유 객체에 대한 동시 조작 등을 제한하여 상호작용의 지원과 일관성 유지측면에서 단점을 보인다.

여기서 주목해야 할 점은 어떠한 시스템도 위의 세 가지 요구조건을 동시에 만족시키기는 어렵다는 점이다. 단순 multicast를 통신 방법에 사용할 경우 지연시간과 확장성의 측면에서는 좋은 결과를 보이지만 일관성 유지측면에서 문제가 발생한다는 점에서 reliable multicast에 기반한 통신 방법 또한 필요하다.

2.2. Reliable multicast protocol

Multicast는 단일 메시지를 다수의 수신자에게 단일 '전송' 명령으로 보내는 것이다. Multicast에 비하여 broadcast는 모든 수신자를 대상으로 한다. Broadcast는 제공하는 신뢰성에 따라 reliable broadcast, FIFO broadcast, causal broadcast, atomic broadcast, FIFO atomic broadcast, causal atomic broadcast 등으로 나누기도 한다. IP-multicast에서는 같은 multicast 주소를 수신하는 모든 노드를 수신자로 한다. 따라서 그룹 상태를 관리하는 것이 어렵다. 본 논문에서 reliable multicast는 메시지의 오류에 대한 신뢰성 보장으로 제한한다. 현재 소개된 reliable multicast방법들은[9] 오류의 검출과 복구 방법에 따라 다음과 같이 구분된다.

발신자 기반 reliable multicast

오류의 검출 및 재전송에 의한 복구를 발신자가 책임지는 방법이다. 수신자는 메시지가 수신될 경우 확인(acknowledge)을 반송한다. 발신자는 이를 통해 모든 수신자가 메시지를 수신하였는가를 확인한다. 이 방법은 수신자의 수가 증가하고 전송되는 정보의 양이 증가함에 따라 메시지가 집중되어 병목현상이 발생한다. 이것을 acknowledge implosion이라 한다. 또한 발신자는 오류가 발생하여 응답이 없는 수신자에게 재발송을 하기 위하여 현재의 모든 수신자를 알고 있어야만 하는 부담이 있다.

수신자 기반 reliable multicast

Acknowledge implosion을 피하기 위하여 수신자가 오류의 검출을 담당하고 재전송을 요구하는 방법이다. 발신자는 메시지에 고유한 일련 번호를 부여하고 수신자는 이를 관찰하여 메시지의 손실을 검출한다. 이때 각각의 수신자가 독자적으로 오류를 검출하므로 동일한 오류에 대한 복구 메시지가 여러 번 시도될 수 있어 negative acknowledge implosion이 발생한다. 이를 피하기 위한 방법으로 feedback suppression과 local group concept[4] 등이 있으며, 발신자의 재전송 부담을 줄이기 위하여 로그서버를 사용하기도 한다[7]. 이 방법은 메시지의 오류가 다음 메시지에 의하여 발견되므로 전송 지연이 생기는 단점이 있다. 그러나 모든 노드가 현재의 그룹구성에 대하여 정확한 상태를 알지 않아도 되므로 light weight session방식이 가능하다.

Forward error correction (FEC)

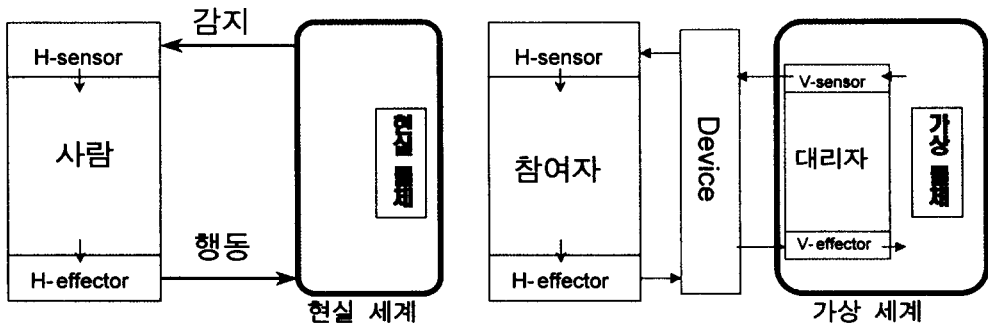
앞의 두 방법은 오류의 복구방법으로 재전송을 사용하였다. FEC는 재전송에 필요한 부담을 줄이기 위하여 정보의 전달 시 오류를 복구할 수 있는 정보를 추가하여 전송한다. 이 경우 전송되는 정보의 양은 증가 하나 재전송의 빈도가 대폭 줄어들어 경우에 따라 전체 지연 시간의 감소를 가져온다.

3. 시스템 설계

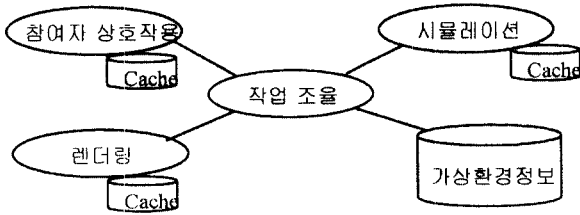
3.1. 일반적인 가상 현실 시스템

가상현실 시스템의 기본 구조를 설계하기 위해서 먼저 인간 참여자와 가상현실 시스템과의 전반적인 상호관계를 살펴보기로 한다. 가상세계에서 참여자의 인지 및 행동 과정을 현실세계의 것과 비교한 것이 그림 1이다. 왼편 그림은 현실세계에서의 인지 및 행동 과정이며 오른편 그림은 가상세계에서의 것이다. 현실 세계에서 사람은 감각기관을 통해 정보를 받아들이고 이를 인지하여 행동으로 표현한다. 가상세계에서는 대리자(avatar)가 참여자를 대신하여 인지 및 행동을 하며 대리자와 실제 참여자 간에 입출력 장치가 존재한다. 입출력 장치는 참여자에게 현실감을 제공하고 참여자의 가상물체에 대한 상호작용을 가능케 한다.

이러한 개념을 효과적으로 지원하는 단일 사용자 가상 현실감 시스템의 구조는 그림 2와 같다. 렌더링 모듈은 가상환경 정보로부터 시각, 청각, 촉각 등의 정보를 생성하여 계속적으로 참여자에게 제공한다. 참여자 상호작용 모듈은 참여자의 상태를 각종 센서로 검출하여 참여자의 대리자를 통하여 가상환경 정보를 변화시킨다. 시뮬레이션 모듈은 가상환경의 정보를 모니터 하여 반응하거나, 프로그램에 의하여 자율적으로 가상환경의 정보를 변화시킨다.



<그림 1> 가상환경의 개념적 구조



<그림 2> 단일 참여자 가상현실 시스템의 구조

작업 조율 모듈은 가상환경의 시간적 진행과 모듈간의 통신을 관장하며, 병렬적 접근에 의한 충돌을 조정하여 가상환경 정보의 일관성을 유지한다. 각 모듈이 병렬 프로그램, 혹은 분산 시스템으로 구현될 경우 각 모듈은 가상환경 정보의 일부를 캐쉬로 가지게 된다. 이 경우, 작업 조율 모듈은 이들에 대한 일관성 유지의 기능을 수행한다.

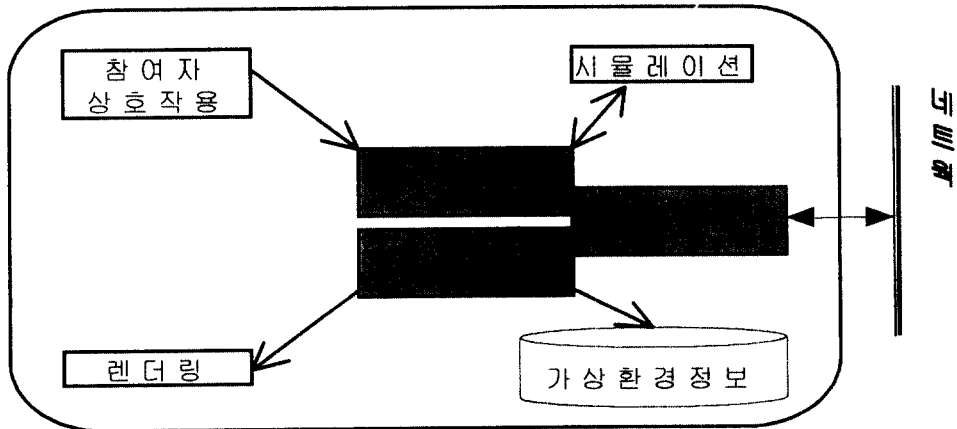
3.2. 다중 참여자 가상현실 시스템

다중 참여자 가상현실 시스템은 참여자들이 가상환경의 전부, 혹은 일부를 공유하고 이를 통하여 상호작용을 교환할 수 있는 시스템이다. 물리적으로 떨어진 위치에 있는 다수의 참여자들 사이에 공유된 가상환경을 제공하기 위해서는 네트워크가 필수적이다. 네트워크 가상 현실감 시스템에서 공유된 가상환

경은 실시간 렌더링 등을 위하여 각 참여자의 노드에 복제된다. 일반적으로 네트워크 가상 현실감 시스템은 비동기 통신 네트워크 상에서 복제된 가상 환경에 대하여 동시성 관리와 복제 관리를 하여야 한다. 즉, 시스템은 복제에 대한 동시조작 등에 대하여 일관성을 유지하여야 하며, 또한 참여자의 조작에 의한 변화를 다른 참여자 노드에 알려 실시간 상호작용이 가능하게 하여야 한다. 네트워크 가상 현실감 시스템은 이를 위한 네트워크 구조에 따라 client-server 구조와 peer-to-peer 구조로 나뉜다[6].

Client-server 구조는 세션에 관한 정보는 모두 서버에서 관리하고 참여자는 서버와의 통신을 통해 공유 가상환경에 접근하고 서버의 관리하에 공유 가상환경에 조작을 가하는 모델이다[5]. 이 모델은 설계 및 구현이 쉽고, 한곳에서 가상환경의 조작을 관리하므로 일관성 유지에 유리하다. 그러나 참여자의 증가에 따라 서버에 집중된 통신은 병목현상을 발생시킨다. 따라서 대규모 참여자를 수용하기 위해서는 적합하지 않은 구조이다.

Peer-to-peer 구조는 각 참여자 노드가 다른 참여자에 관한 정보를 개별적으로 관리하며 갱신 내용은 네트워크를 통하여 다른 참여자들에게 직접 전달되는 모델이다. 정보의 교환이 특정 노드에 집중되지 않아 병목현상이 발생하지 않으나 참여자가 복제하고 있는 다수의 가상세계 정보간의 일관성 유지와 전체



<그림 3> Peer-to-peer 구조에서 참여자 노드의 구조

적 상황을 고려한 결정 등이 어렵다. 그러나 100,000 명 정도의 대규모 참여자에 대한 확장성을 기대할 수 있다.

Peer-to-peer모델에서는 참여자 노드들이 직접 가상환경을 구축하고 관리한다는 점에서 그림 2의 단일 참여자 가상현실 시스템과 유사한 구조를 가진다. 그러나 Peer-to-peer모델은 참여자에게 공유된 가상환경을 제공하고, 참여자의 작업에 독립성을 보장하고 협동작업을 지원하여야 한다. 이를 위해 각 참여자 노드의 작업 조율 모듈은 네트워크를 통하여 정보를 교환하여야 한다. 이를 고려한 peer-to-peer 구조에서의 참여자 노드의 구조를 제시하면 그림 3과 같다. 단일 사용자 시스템과 비교했을 때 큰 차이점은 작업 조율 모듈의 기능이 세 가지로 세분된 것이다.

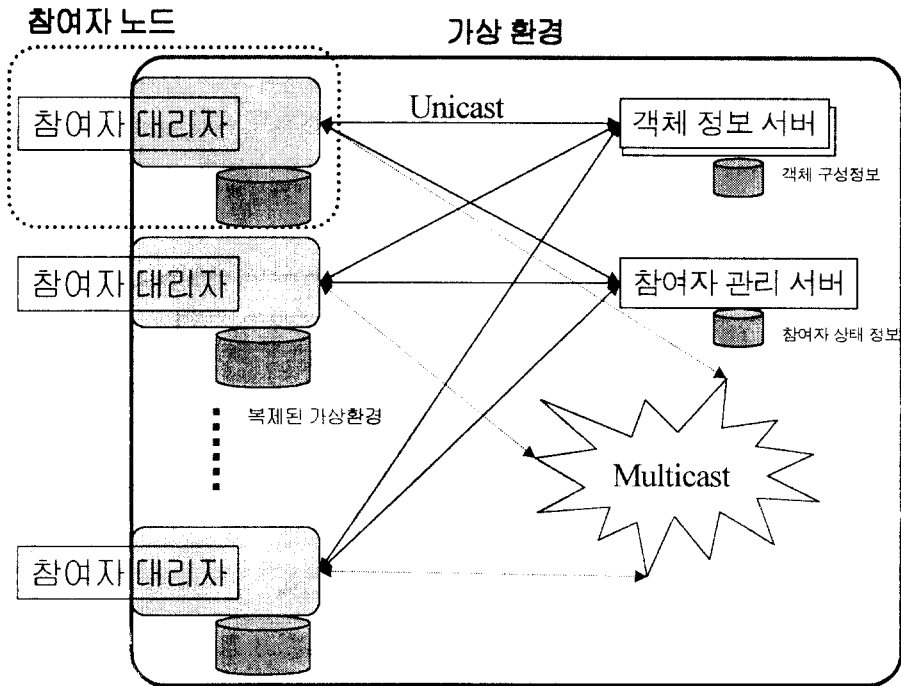
첫째, 참여자간 작업 조율 모듈은 참여자의 동시 조작에 대하여 배타조작이나 협동 조작을 지원한다.

둘째, 공유 가상환경 관리 모듈은 네트워크를 통하여 복제된 가상환경 정보의 일관성을 유지한다. 셋째, 네트워크 정보 송수신 모듈은 세션 관리와, 다양한 전송 서비스를 제공한다. 전송 서비스는 크게 unicast와 multicast로 나눈다.

3.3. CVRAT의 구조

본 절에서는 peer-to-peer구조에 기반한 다중 참여자 네트워크 가상환경 시스템으로, 개발중인 CVRAT (Collaborative Virtual Reality Authoring Tool)의 구조를 설명한다. CVRAT 시스템의 구조는 그림 4와 같다.

전체 시스템은 참여자 노드와 객체 정보서버, 그리고 참여자 관리서버로 이루어진다. 통신 구조는 크게 참여자 노드와 서버간의 통신과 참여자 노드간의 통신으로 나뉘어진다. 서버와의 통신은 unicast를 통한 일대일 통신이며 참여자 노드간 통신에는



<그림 4> CVRAT의 구조

multicast를 사용한다. 참여자 노드는 새로운 객체에 대하여 객체정보 서버로부터 객체를 복제하고, 객체에 대한 연속성 있는 수정의 경우 서버에 기록한다. 참여자 관리 서버는 가상세계 접속 시 관문 역할로서 새로운 참여자는 먼저 참여자 관리 서버에 접속하여 자신을 등록하고 필요한 정보를 얻어 가상세계에 접속한다. 예를 들어 편을 갈라서 진행중인 게임에 참여하려면, 우선 참여자 관리서버를 통하여 다른 새로운 참여자와 짝을 맞춘 후, 진행중인 가상환경에 참여하게 된다. 또한 참여자의 인적 사항에 따라, 단순 방청자와 공유 가상물체에 대한 조작권한을 가진 참여자로 나누는 경우도 있다. 이러한 경우, 참여자 관리서버는 복수 참여자의 동시 참여를 막기 위하여 모든 참여 시도를 선형화하며 참여조건이 충족될 경우만 참여를 허락한다.

3.3.1. 참여자 노드의 구조

CVRAT은 peer-to-peer구조에 기반하여 설계되어 대부분의 기능은 참여자 노드가 담당한다. 참여자 노드는 그림 5와 같은 구조를 가진다. ①, ②, ③, ④의 부분은 각각 그림 3의 참여자 상호작용 모듈, 참여자 작업조율 모듈, 공유 가상환경 관리 모듈, 네트워크 정보 송수신 모듈에 해당한다.

작업 관리자 모듈은 대리자의 작업 내용을 실제 가상세계에 적용시킨다. 세션 관리자 모듈은 참여자의 가입/탈퇴를 관리한다. Avatar 관리자 모듈은 참

여자의 의도에 따라 대리자의 가시적 움직임을 제어한다. 또한 전송된 정보로부터 자신의 가상환경에 복제된 다른 대리자의 형태와 움직임을 제어한다. 인간모습의 대리자일 경우 걷기, 뛰기, 앉기 등의 몸동작 제어와 웃기, 주목하기 등의 표정생성을 제공한다.

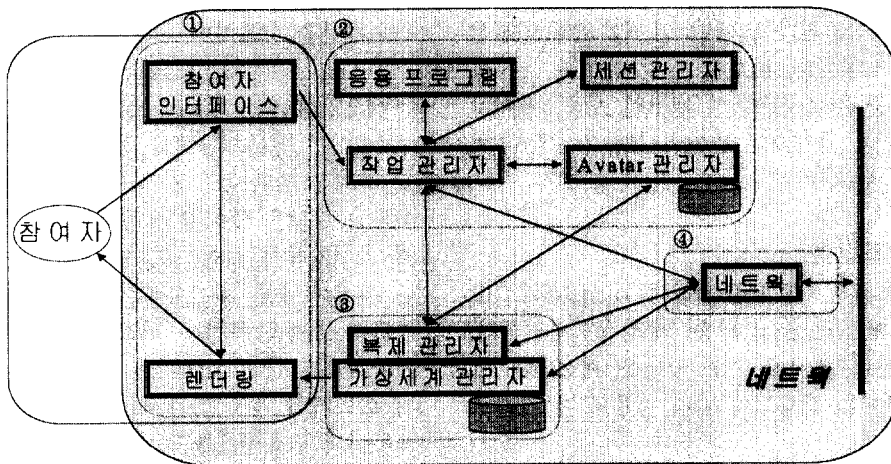
가상세계 관리자 모듈은 복제된 가상세계정보를 관리한다. 이는 객체 정보 서버에서 새로운 객체의 구성정보를 전달받고 렌더링 모듈에 구성정보를 제공하는 역할을 포함한다. 복제 관리자 모듈은 복제된 가상세계정보간의 일관성을 유지한다. 이는 다른 노드의 동일한 모듈과 가상세계에 대한 갱신 내용을 공유하여 이루어진다.

네트워크 모듈은 각 참여자 노드간의 정보 교환을 담당한다. CVRAT은 peer-to-peer구조를 사용하고 있어서 참여자 노드간의 긴밀한 정보의 교환이 중요하여 다자간 통신에 적합한 IP-multicast를 참여자간 정보교환에 사용하고 있다.

4. 구현 및 실험

4.1. 실시간 전투게임

본 연구에서는 다중 참여자 네트워크 가상현실 시스템의 응용 분야로 실시간 전투게임을 선택하였다. 가상환경에서의 참여자 사이에 교환되는 상호작용



<그림 5> CVRAT의 참여자 노드 구조

의 측면에서 실시간 전투게임은 명확하게 정의된 상호작용과 높은 수준의 실시간 처리 요구로 특징지어진다.

4.1.1. 게임의 정의

다중 참여자 실시간 전투게임의 형태는 차량으로 표현되는 참여자간의 포격 전투이다. 각 참여자는 차량을 조작하여 전투지대(battle field)로 표현된 가상환경을 탐사하며 다른 참여자의 차량을 인지한다. 그리고는 포탄을 조작하여 원하는 방향으로 포탄을 발사, 다른 참여자의 차량을 파괴하는 것이 목적이다.

포탄을 사용하여 다른 참여자의 차량을 파괴하기 위해서는 차량을 조종하여 전투지대를 탐색하며 다른 참여자의 차량을 발견해야 하며 한편으로는 포탄을 조작, 원하는 위치로 포탄을 발사하여야 한다. 본 게임에서는 이러한 참여자의 조작상의 부담을 줄이는 한편, 전체 그룹 내에서 긴밀한 상호작용을 하는 소규모의 협업 그룹에 대한 예로 두 명의 참여자가 소그룹을 이루어 1대의 차량을 제어한다.

4.2. 다중 참여자 네트워크 가상현실 시스템의 확장 및 개선

본 절에서는 앞에서 정의한 형태의 실시간 전투 게임을 위하여 각 모듈이 가져야 할 기능을 열거하고 이에 따른 구현에 관하여 기술한다. CVRAT은 단일 참여자 가상환경 시스템인 VRAT[1]의 연장선상에 있는 시스템이다. 따라서 단일 참여자 가상환경 시스템과 중복되는 모듈인 렌더링 모듈, 참여자 인터페이스 모듈, 가상세계 관리자 모듈은 VRAT의 해당모듈을 사용하고 있다.

4.2.1. 네트워크 모듈

네트워크 모듈은 TCP/IP기반의 unicast와 IP multicast기반의 multicast전송 방식을 지원한다. Multicast를 통한 메시지 전송 방법은 메시지의 실시간성과 요구되는 신뢰도에 따라 다음의 세 가지로 구분된다.

1) MP(multicast protocol) : 신뢰도가 요구되지

않는 메시지는 단순 IP multicast protocol로 전송한다. 예를 들어 차량의 이동, 포탄의 회전등과 같이 연속적인 데이터의 메시지들이다. 이 경우 congestion control 방법으로서 congestion상황, 즉 수신측 오류율이 증가할 경우나 전송버퍼의 크기가 증가할 경우 메시지 전송량을 줄인다.

2) RMP(reliable multicast protocol) : 신뢰도가 요구되는 메시지에 대해서는 수신자 기반의 RMP로 전송한다. 오류의 검출을 위하여 전송자는 발신 메시지에 대해서 고유의 일련 번호를 부여한다. 그리고 수신자는 각 전송자로부터 도착하는 메시지의 일련번호를 관찰하여 손실된 메시지를 검출하고 이것에 대한 오류정정 요구를 발신한다. 이를 수신한 노드들에서는 요구된 메시지를 전송하여 오류의 복구가 일어나도록 한다. 재전송 요구 메시지와 재전송 메시지는 동시에 많은 노드에서 발생할 수 있으므로 네트워크 대역폭을 절약하기 위해 feedback suppression기법을 사용한다[4]. 예로써 새로 생성하는 객체 모델의 복제 등에 RMP를 적용한다.

3) FRMP(fast RMP) : 신뢰도와 빠른 전송이 동시에 요구되는 메시지는 FRMP방법으로 전송한다. FRMP는 동일한 메시지를 반복 전송하여 전체적인 지연시간의 단축을 꾀한다. 반복 전송에도 불구하고 발생하는 오류는 RMP에서의 방법으로 복구한다. Congestion control방법으로 congestion상황으로 판단되면 반복 전송회수를 줄인다. 포탄의 발사 정보와 같이 정확도와 실시간성을 요구하는 경우에 이 전송방법을 사용한다.

4.2.2. Avatar 관리자 모듈

실시간 전투게임에서 참여자는 차량형 메타포어를 가지는 대리자로 표현된다. 차량제어의 복잡함에 따르는 부담을 줄이기 위하여 하나의 대리자는 다수의 참여자에 의하여 공동으로 제어된다. 각 참여자는 자신이 속한 대리자에 대하여 자신의 역할에 한정하여 조종을 가한다. 이러한 조종은 MP를 통하여 계속적으로 다른 참여자에게 전송된다. 다른 참여자의 대리자의 경우 각 대리자에 속한 다수의 참여자로부터의 조종정보를 모아 제약을 적용하여 최종 결과를 낸다.

4.2.3. 세션 관리자 모듈

정확한 발신자 목록의 작성과 복수의 참여자가 동시에 가입하는 데에 따르는 그룹결성 과정의 모호함을 피하기 위해서 참여자 관리 서버를 두었다. 한 대의 차량을 두 명의 참여자가 공동 조작하므로 두 명의 참여자가 하나의 소그룹을 이루고, 이러한 소그룹이 두 팀이 있어야 게임에 참가 할 수 있다. 따라서 세션 관리자 모듈은 일반적으로 세션 관리를 위하여 필요한 참여자의 가입, 탈퇴 처리와 현재 상태의 제공기능 뿐만 아니라 협동작업을 위한 그룹조직 및, 소그룹 관리 기능이 추가되었다.

4.2.4. 작업 관리자 모듈

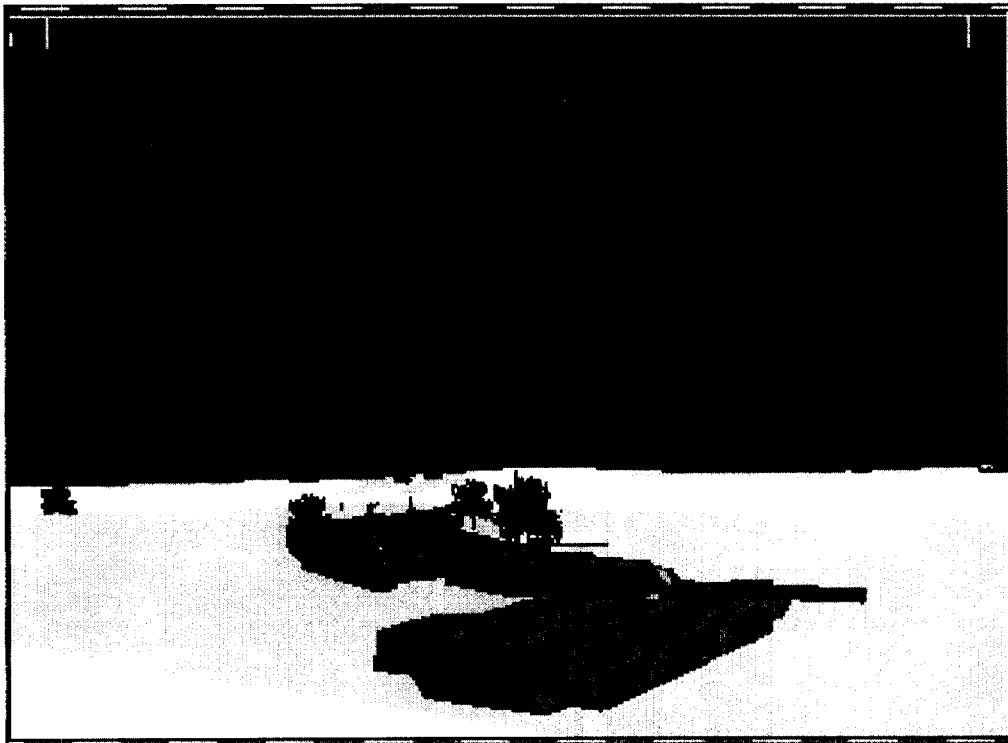
작업 관리자 모듈은 참여자의 작업 내용을 실제 가상세계에 적용시킨다. 실시간 전투게임에서 참여자의 작업 내용은 크게 차량의 조작과 포탄의 발사로 구분된다. 이 가운데 복수 참여자의 협동작업으

로 이루어지는 차량의 조작은 대리자 관리자 모듈에서 담당하고 작업 관리자 모듈은 포탄의 발사와 그 결과의 판단 및 해석을 담당한다.

포탄에 의한 상호작용의 결과는 차량의 파괴정도라는 결과로 보여지게 된다. 따라서 이 결과의 정확성을 유지하는 것이 작업관리자 모듈의 주된 역할이다. 이를 위하여 작업 관리자 모듈은 다음과 같은 방법을 사용한다.

첫째, 포탄의 명중 판정은 이를 발사한 참여자가 아닌 맞을 가능성이 있는 참여자가 내린다. 참여자 차량의 위치는 실제 이를 조종하는 참여자가 가진 자료와 다른 참여자가 복제하고 있는 자료간에 오차가 있다. 따라서 참여자간 복제된 포탄의 위치를 최대한 정확하게 유지하고 명중 판정의 역할은 차량을 기준으로 판단하도록 한다.

둘째, 포탄의 위치는 반복 송신을 통하여 지연시간을 최소화한다. 포탄은 중력가속도의 영향을 받아



<그림 6> 실행 화면

포물선을 그리면서 날아간다. 따라서 발사시점에서의 초기정보만으로 지면에 접촉하여 폭발하는 시점을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 포탄의 움직임을 묘사함에 있어서 두 번에 걸쳐서 확인한다. 포탄을 발사하는 참여자는 포탄 발사시점에서 초기정보를 전송하고 폭발 시점에 다시 메시지를 전송한다. 다른 참여자들은 발사시점에서의 초기정보를 통하여 폭발 시기와 위치를 예측할 수 있고, 여기서 결정된 정보는 폭발 시점에서 전송되는 정보로 다시 한번 확인된다. 또한 포탄의 발사 및 폭발 정보는 FRMP 메시지로 설정하여 전송되도록 하였다.

가상세계에 대한 갱신은 복제 관리자 모듈을 거쳐서 가상세계 관리자 모듈로 전달된다. 이 과정에서 복제 관리자 모듈은 네트워크를 통하여 다른 노드의 복제 관리자 모듈과 갱신 내용을 공유하여 동일한 갱신이 일어나도록 한다.

복제 관리자 모듈은 dead reckoning[8]을 사용한 물체의 움직임을 지원한다. Dead reckoning은 물체의 움직임이 일정한 속도와 방향으로 기술될 수 있는 경우 효율적인 방법이다. 그 결과 이러한 물체의 움직임이 부드럽게 표현된다.

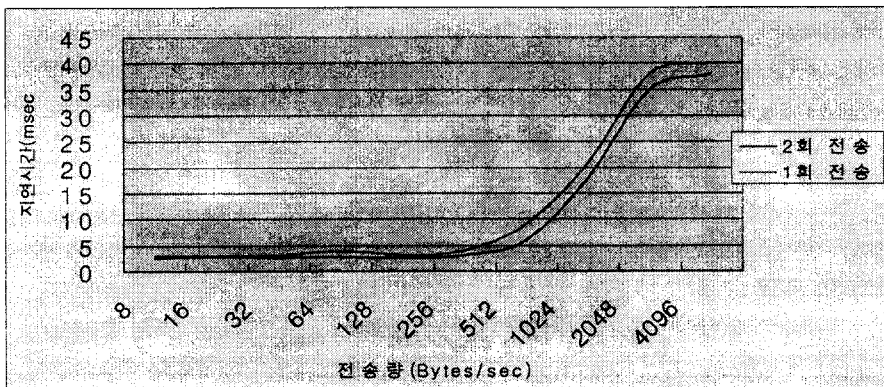
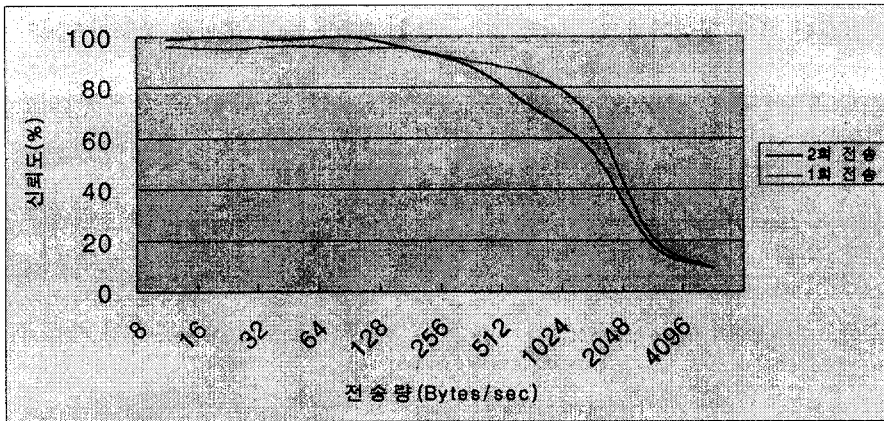
4.2.5. 복제 관리자 모듈

복제 관리자 모듈은 참여자 노드간에 복제된 가상환경의 일관성을 유지시킨다. 이를 위해서 모든

4.3. 실험 결과

4.3.1. 실시간 전투게임

그림 6은 구현된 시스템을 사용하여 참여자들이



<그림 7> 네트워크 상태 실험 결과

실시간 전투 게임을 경험하는 모습을 보여주고 있다. 여기서 보이는 두 대의 vehicle은 각각 두 명의 참여자가 turret과 body를 나누어 제어하고 있다. 참여자 노드는 Silicon Graphics 워크스테이션과 Pentium(tm) PC상에서 구현되었다. PC는 Linux를 운영체제로 사용하고 Voodoo(tm) 3차원 그래픽 가속보드를 장착하였다.

4.3.2. 네트워크 모듈

제안된 방법의 성능비교를 위하여 다음의 두 가지 실험을 하였다. 실험에서는 지연시간과 신뢰도를 측정하였다.

반복 전송과 지연시간

참여자의 수가 증가됨에 따라, 전송량이 증가한다. 오류의 복원과 재전송 과정이 없는 상태에서 전송량의 증가에 따른 반복 전송 회수와 신뢰도, 지연시간 간의 관계에 대하여 다음의 실험을 하였다. 즉 전송량의 증가를 통하여 참여자의 수가 증가함에 따라 제안된 방법이 미치는 영향을 실험한다.

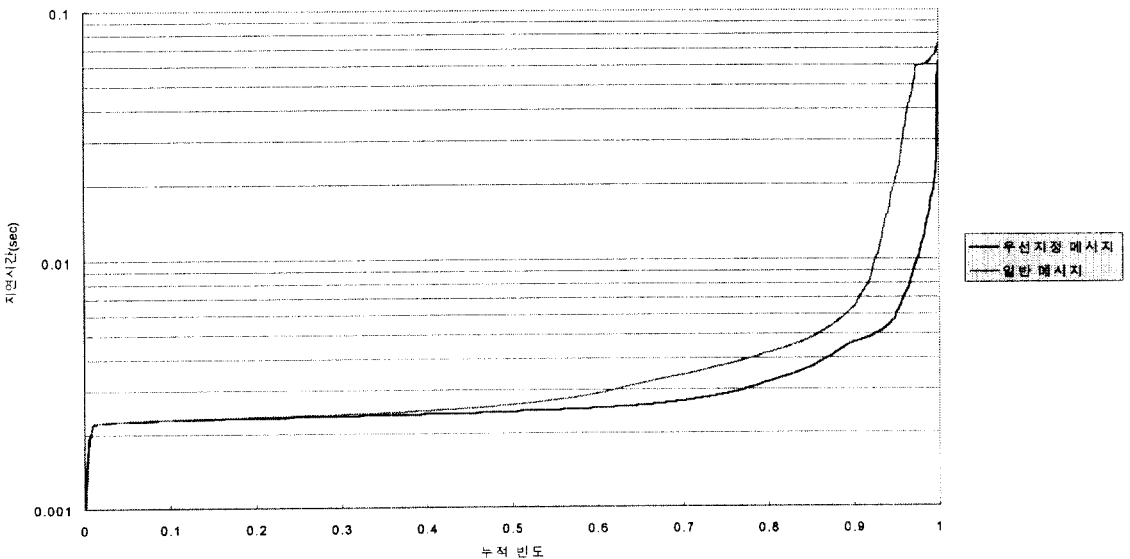
전송 방법은 메시지를 1회 전송하는 경우와 2회 전송하는 경우의 두 가지 방법을 비교하였다. 실험

은 다수의 이더넷과 라우터로 구성된 LAN상에서 행하였다. 그림 7은 두 가지 방법에 대해서 전송량에 대한 전송의 신뢰도와 지연시간을 반복 측정한 평균 결과이다. 지연시간의 경우 2회 전송방법이 짧은 지연시간을 기대할 수 있다. 신뢰도의 경우 congestion 상황이 발생하기 전에는 2회 전송의 경우가 신뢰도가 높으나 congestion상황에서는 1회 전송의 경우가 신뢰도가 높았다. 즉 congestion상황이 아닌 경우 메시지를 2번 전송하는 것은 오류와 지연시간을 줄일 수 있으나 네트워크의 대역폭을 2배 사용한다는 문제로 인하여 어느 정도 신뢰성 있게 전송할 수 있는 메시지의 양은 1회 전송할 경우와 비교하여 줄어든다.

실험을 통하여 관측한 결과 2회 이상의 반복 전송 회수에 대한 신뢰도의 증가와 지연시간의 감소는 미미하였다. 이는 단일메시지 오류가 일반적이고 메시지의 오류가 연속된 메시지 구간에 대하여 발생할 확률이 적기 때문이다.

RMP와 FRMP의 지연시간 비교

측정 대상이 되는 지연 시간은 발신노드가 메시지를 발신한 시간으로부터 수신노드가 성공적으로 메시지를 수신하는데 까지 소요되는 시간을 일컫는다.



<그림 8> 지연시간의 누적 빈도

<표 2> RMP와 FRMP의 지연시간 특성

	RMP 메시지	FRMP 메시지
평균 지연시간	6.95 msec	3.24 msec
최대 지연시간	680 msec	61.8 msec
지연된 메시지의 빈도	4%	0.18 %
지연된 메시지의 평균 지연시간	79.5 msec	65 msec
지연되지 않은 메시지의 평균 지연시간	4 msec	3.1 msec
95% 보장 지연시간	33 msec	6 msec

실험 환경은 각 참여노드는 초당 20 프레임의 속도로 렌더링을 하고 있으며 그와 동일한 횟수의 대리자갱신을 가정하여 메시지의 전송 사이에 20밀리초의 지연시간을 두었으며 본 시스템에서 전송되는 메시지의 크기가 대부분 265바이트를 넘지 않으므로 메시지의 크기는 256바이트로 설정하였다. 그리고 다수의 참여자 상황을 만들기 위하여 본 실험과는 별도의 다른 4노드에서 각각 동일한 양의 메시지를 전송하도록 하였다.

이와 같은 조건으로 RMP와 2회 반복전송 FRMP방식으로 메시지를 각각 5,000번 전송하여 성공적으로 전송될 때까지 소요되는 시간을 기록하여 누적 분포의 형태로 보인 것이 그림 8이다. 그리고 각 전송 방법을 사용하였을 때 특징이 되는 몇 가지 값을 나타낸 것이 표 2이다.

표 2에서 지연된 메시지란 순서적으로 다음 일련번호를 가진 메시지가 도착하는 시점까지 도착하지 않은 메시지를 일컫는다. 이 경우 네트워크 모뎀은 메시지가 손실된 것으로 판단하고 복구를 시도한다. 전반적인 수치상으로 FRMP가 지연된 메시지와 지연되지 않은 메시지 양측에서 짧은 응답시간을 보인다. 특히 FRMP에서는 95%가 6msec이내의 지연시간을 가지지만 RMP에서는 33 msec이었다.

FRMP에서는 반복 송신으로 인하여 초기전송 시 오류 발생률이 줄어들어 지연된 메시지의 빈도가

0.18%에 그치는 성공적인 결과를 보였다. 그리고 이 방법은 부수적인 효과로 지연되지 않은 경우의 평균 지연시간도 RMP의 4msec에 비하여 3.1msec로의 단축을 가져왔다.

FRMP는 오류 발생의 확률을 줄이면서도 빠른 전송시간을 제공하는 방법이다. 이는 반복 전송 회수에 따라 신뢰성이 증가하지만 RMP에 비하여 대역폭의 손실을 초래한다.

특정 응용에서 발생된 메시지의 수가 N일 때, 기존의 RMP기반 방법은 N개의 RMP 방법에 의한 송수신을 하는 것에 비하여, 제안된 방법은 M개의 RMP메시지가 M개의 MP메시지로, F개의 RMP메시지가 F개의 FRMP메시지로 바뀌었다고 하자. M개의 MP메시지는 신뢰도가 요구되지 않는 경우 M개의 RMP메시지 보다 전송량 측면에서 네트워크를 효율적으로 사용할 수 있다. 앞의 두 실험을 통하여 F개의 FRMP메시지가 RMP 메시지에 비하여 congestion이 발생하지 않는 경우 지연시간과 신뢰도 측면에서 우수함을 보였다. 즉 제안된 복수 전송 프로토콜을 사용함으로써 공유가상현실을 위한 효율적인 전송방법을 제공할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 네트워크 가상 현실감 시스템의 구조를 설계하고 이를 구현하였다. 또한 다중 참여자가상현실 시스템의 통신방법으로 복수의 전송 프로토콜을 메시지의 특성에 따라 선택 적용하는 방법을 제안하였다. 실제 응용의 예로 이를 실시간 전투게임에 적용하였다. 본 연구에서 제작한 multicast방식은 신뢰성과 낮은 지연시간의 두 요소를 선택적으로 지정하여 메시지를 전송한다. 이들은 신뢰성과 지연시간, 그리고 사용하는 네트워크 대역폭에 차이가 있으므로 응용프로그램에서 상호작용에 미치는 영향에 따라 정보를 분류하고 적합한 전송방법을 채택하여야 한다. 그 결과 제한된 네트워크 대역폭을 충분히 활용하여 상호작용을 묘사할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 성운재, 원광연, "가상현실 저작도구의 설계 및 구현 (The Design and Implementation of Virtual Reality Authoring Tool)," 한국시물레이션학회 논문지, 4권, 1호 (1995), pp37-44.
- [2] Carlsson, C., Olof Hagsand, "DIVE - a Multi-user Virtual Reality System," in Proceedings of VRIS '93, Seattle, September 1993
- [3] Erikson, H., "Mbone: The multicast backbone," Communications of ACM, Vol. 37, 1994
- [4] Floyd S., Van Jacobson, Ching-Gung Lin, Steven McCanne, and Lixia Zhang, "A Reliable multicast framework for Light-weight Session and Application Level Framing," 1995 ACM SIGCOMM conference, October 1995, pp.342-356
- [5] Gisi, M. A., Cristiano Sacchi, "Co-CAD: A Collaborative Mechanical CAD System," PRESENCE, Vol. 3, No. 4, Fall 1994, pp341-350
- [6] Gossweiler, R., Robert J. Laferriere, Michael L. Keller, and Randy Pausch, "An Introductory Tutorial for Developing Multiuser Virtual Environments," PRESENCE, Vol 3, No. 4, Fall 1994, pp255-264
- [7] Holbrook, H.W., S.K. Singhal, and D.R. Cheriton, "Log-based receiver-reliable multicast for distributed interactive simulation," 1995 ACM SIGCOMM conference, October 1995, pp. 328-341
- [8] Macedonia, M.R., M. J. Zyda, D. R. Pratt, T. Barham, and S. Zeswitz, "NPSNET: A Network Software Architecture for Large-scale Virtual Environments," PRESENCE, Vol.3, No.4, fall 1994
- [9] Obraczka, K., "Multicast Transport Protocols: A survey and Taxonomy," Online Document ; <http://www.isi.edu/people/katia>
- [10] Snowdon, D.N., Adrian J. West, "AVIARY : Design Issues for Future Large-Scale Virtual Environments," PRESENCE, Vol. 3, No. 4, 1994, pp. 288-308
- [11] Zeltzer, D., "Autonomy, Interaction, and Presence," PRESENCE, Vol.1, No.1, winter 1992

● 저자소개 ●



성운재

1989년

연세대학교 전산학과 학사

1991년

한국과학기술원 전산학과 석사

1991~현재

한국과학기술원 전산학과 박사과정

관심분야

가상현실감, 컴퓨터 그래픽스, 분산시스템, 인공지능



심재한

1995년

한국과학기술원 전산학과 학사

1998년

한국과학기술원 전산학과 석사

관심분야

가상현실감, 컴퓨터 네트워크, 분산시스템



원광연

1974년

서울대 공대 응용물리학 학사

1974~79년

국방과학연구소 연구원

1981년

Wisconsin 대 전산학 석사

1984년

Maryland 대 전산학 박사

1984~86년

Harvard대 응용과학부 강사

1986~90년

Pennsylvania대 전산학과 조교수

1990~현재

한국과학기술원 전산학과 부교수

관심분야

가상현실감, 인공지능, 컴퓨터 비전과 영상처리, 컴퓨터 예술과 컴퓨터 음악