대규모 분산 가상환경 상에서 관심영역의 부하 적응적 관리

(Load-Adaptive Management of Interest Area on a Large-scaled Distributed Virtual Environment)

김 상 욱 † 이 태 종 †† 김 성 조 †††
(SangWook Kim) (TaeJong Lee) (SungJo Kim)

요 약 대규모 가상환경의 핵심은 사용자 PC의 성능에 영향을 받는 확장성에 있다. 기존의 접근 방식은 대규모 환경을 지원하기 위해 멀티캐스트를 주로 사용하였다. 그러나 멀티캐스트는 현재 멀티캐스트 하드웨어가 지원할 수 있는 그룹의 수가 제한된다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 PC 클라이언트와 인터넷과 같은 대규모 네트워크 기반의 확장성 높은 가상환경 모델을 제시한다. 멀티캐스트 네트워크와 PC 클라이언트 사이에 위치하는 관심영역 관리자(AOIM)는 멀티캐스트 그룹과 함께 다중 필터링을 수행하여 정보의 흐름을 최적화한다. 또한, 관심영역 관리자는 사용자의 관심 패턴에 따라 관심영역(AOI)으로부터 PC 클라이언트로의 데이타 전송량을 조절한다. 관심영역은 정보의 정확도에 따라 세 단계로 구분되며, 각 단계의 구분은 네트워크 현황에 따라 적응적으로 수축 또는 확장될 수 있어 PC 클라이언트는 최적화된 가상환경 상태정보를 제공받는다. 결론적으로, 제안된 모델은 다양한 컴퓨팅 환경의 PC 클라이언트에게 정확한 최우선 관심영역 정보를 제공한다.

Abstract A key issue in a large-scaled Virtual Environment is the scalability which inherently depends on the capability of an end-user's PC. Several approaches mainly utilize multicast network groups. However, the applicability of multicast is limited by the number of groups that the current multicast hardware can support.

In this paper, a highly scalable Virtual Environment model based on a PC client system and a large-scaled network such as the Internet is proposed. The AOIM (Area-of-Interest Manager) is located between a multicast network and a PC client system to optimize the flow of interested information utilizing multi-tiered filtering effect together with the multicast group. After filtering process, the AOIM manages data flow from the AOI according to a client's pattern of interest. The pattern is a description of participant's interest covering the whole AOI. The AOI is divided into three different sub-area providing multi-level of consistency. Because each sub-area in a pattern can be adaptively shrunk or expanded for maximized utilization of available network bandwidth, a client can receive the world data optimized for its network bandwidth. Eventually, the proposed model guarantees consistency of the most interested information for the participants located in a variety of computing environments.

1. 서 론

현대인의 일상 생활에서 컴퓨터와 네트워크가 차지하는 비중은 이미 문명의 도구이상으로 그 이용 범위가 확장되고 있다. 다양한 응용 분야 중에서도 컴퓨터를 이용하여 가상 세계를 구축하려는 가상현실(Virtual Reality) 기술은 최근에 들어 더욱 급속도로 발전하고 있다. 분산 가상 환경(Distributed Virtual Environment)은 가상 현실과 분산 시뮬레이션(Distributed Simulation)의 특성을 동시에 지니는 연구 분야로서, 네트워크를 통해 전달받은

† 정 회 원 : (주)클루닉스 부설연구소 연구원
swkim@clunix.com
†† 비 회 원 : 대우전자 종합연구소 연구원
leetj@web.dwe.co.kr
††† 종신회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수
sjkim@cau.ac.kr
논문접수 : 2000년 8월 16일
심사완료 : 2001년 5월 10일

참여자들의 정보를 타 참여자들에게 실시간으로 전송하고 이를 그래픽으로 표현하여 참여자간의 원격 상호 작용을 가능하게 한다. 가상환경은 원격 교육, 가상 전쟁터(virtual battle field), 컴퓨터 보조 협동 작업(Computer Supported Cooperative Work) 및 각종 엔터테인먼트 등에서 활용되고 있으며, 앞으로 더 많은 분야에서 이용이 가능할 것으로 보인다. 현재 가상환경 연구분야에서 가장 중요한 이슈는 인터넷을 기반으로 하는 대규모 가상환경(Large-scaled Virtual Environment)의 구현이다. 일반적 개념의 대규모 가상환경 시스템은 인터넷을 통해 접속한 수 백 또는 수 천명의 사용자를 지원할 수 있도록 설계되어야 하며, 본 연구는 상용성을 지니는 대규모 가상환경 시스템의 설계에 목표를 두고 있다. 이는 급속도로 확산되고 있는 인터넷 및 가상현실에 대한 일반 사용자들의 관심과 이를 뒷받침해주는 고성능 PC의 보급 및 네트워크의 고속화에 따른 필연적인 과제이다.

그 동안 가상 환경을 위한 확장성 지원 방안으로서 실세계에서 발생하는 참여자간 격리현상을 응용한 가상환경 모델[1,2,4,5,6,7,8,9,10]과 참여자 행동 정보의 정확성을 희생하여 정보의 대역폭을 줄이는 통신모델[2,3] 등이 제안되었다. 그러나 이들 모델에서는 참여자의 집중 포화상태와 인터넷의 가변적인 대역폭 등이 고려되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 인터넷 클라이언트에게 부하 적응적이고 최적화된 정보를 제공함으로써 대규모 확장성을 지원하는 새로운 모델을 제안하고, 이 모델의 주요 부분인 관심영역(Area of Interest) 관리를 구현하였다.

본 연구에서는 우선 2장에서 확장성 향상을 위한 기존의 연구결과를 살펴보고, 이를 바탕으로 3장에서 클라이언트 부하에 적응적인 관심영역의 관리 방안과 이를 위한 가상환경 시스템을 제안한다. 4장에서는 본 연구에서 제안한 가상환경 시스템을 구체적으로 구현한 시험 시스템을 설명하고, 5장에서 시험 시스템의 수행 결과를 분석한다. 마지막으로 6장에서는 기존 연구와 본 연구의 차이점을 살펴본 후 향후 연구 과제에 대하여 기술한다.

2. 관련 연구

가상환경의 모든 참여자는 시시각각 변화하는 가상환경의 상태 정보(world data)를 공유한다. 상태 정보란 가상 공간의 현재 상태를 나타내는 각종 정보를 의미하며, 지형이나 구조물을 표현하는 정적 정보와 참여자 아바타(avatar)나 객체의 위치변화 등을 나타내는 동적 정보로 구성된다. 분산 가상환경의 확장성을 제한하는 가장 큰 요인은 이와 같은 상태 정보에 소요되는 네트워크 대역폭의 한계라 할 수 있다. 본 절에서는 가상환경 시스템의 전체 네트워크 대역폭과 개별 클라이언트의 네트워크 대역폭을 효율적으로 사용하여 확장성을 증대시키고자 하였던 기존의 연구 결과를 추측 항법(dead reckoning)[2]과 필터링[1,2,5], 그리고 집단 요약(group summarization)[2]의 세 가지 항목으로 구분하여 기술한다. 상기 방안들은 공통적으로 개별 클라이언트에게 전달되는 정보량을 줄이고자 하는데 목적이 있다. 추측 항법은 클라이언트에서 발생하는 정보량을 줄이기 위한 기법이며, 필터링과 집단 요약은 발생된 정보를 필요한 클라이언트에게 효과적으로 분배해 주기 위한 방안이다.

2.1 추측 항법

이 방안은 객체의 운동 상태에 따라 추가적인 갱신이 필요한 경우에만 상태 정보를 송출함으로써 네트워크 트래픽을 감소시키는 방안이다. 이 방안은 가상환경의 객체가 언제나 활발하게 활동하지 않으며, 경우에 따라 오랫동안 정지해 있거나 등방향, 등속도로 이동하기도 한다는 사실을 이용하였다. 이 방안을 사용하는 가상환경 시스템은 객체의 운동 상태를 정의한 추측 항법 모델과 비정기적으로 전달되는 운동 상태 정보에 의해 각 객체의 위치를 추정하여 가상 환경의 일관성을 유지한다. 추측 항법 모델에 의해 표현되는 객체의 상태 정보는 객체의 위치 정보뿐만 아니라 운동 방향 및 속도 등의 정보도 포함한다. 다른 클라이언트로부터 전달된 상태 정보에 의해 복사본 객체(replica object)의 운동 상태와 위치를 예측하고 객체의 상태를 새로이 예측된 상태로 자연스럽게 수렴(convergence)시킨다. 이 방안은 공유 저장소(shared repository)[2] 방안이나 프레임율 갱신(frame-rate updates) 방안보다 일관성을 유지하기 어려우며, 구현이 복잡하다. 그러나 추측 항법을 이용한 가상환경 시스템은 네트워크 대역폭을 효율적으로 사용하고 클라이언트간 성능의 차이에 크게 구애받지 않는다. 따라서 추측 항법은 엄격한 일관성을 요구하는 응용분야에는 적합하지 않지만, 낮은 일관성을 허용하는 대규모 가상환경의 경우 상당히 유용하다.

2.2 필터링

실세계에서 관찰자에게 전달되는 시각 정보와 음향 정보 등은 전파되는 거리에 따라 약해지거나 장해물에 의하여 차단(culling)되므로, 관찰자는 각자의 상황에 따라 특정한 인식 가능의 영역을 가지게 된다. 이와 같은 참여자 간 인식의 격리 현상은 가상 환경의 구현에 응용될 수 있다. 가상환경의 연구에서는 일반적으로 참여자별 인식 영역을 관심 영역(Area Of Interest)이라고

하고 참여자의 관심 영역에 포함되는 정보를 선별하여 제공하는 기법을 필터링이라고 한다[2].

기존 연구의 필터링 방안은 필터링 기준에 따라 공간 관계적 필터링(spatial relevant filtering)[5,6]과 공간 구조 필터링(spatial structure filtering)[10,9]으로 구분할 수 있다. 공간 관계적 필터링은 가상환경에서 활동중인 객체간의 거리차만을 고려하여 정보를 클라이언트에게 배분하는 방안이며, 공간 구조 필터링은 가상 환경내의 내용물에 의해 발생하는 인식 차단 현상을 응용한 방안이다.

표 1 내부 필터링과 외부 필터링의 비교

내부 필터링	외부 필터링
정보의 내용에 대한 필터링	멀티캐스트 그룹, 프로토콜, 라우팅에 의한 필터링
세밀한 (fine-grained) 필터링	세밀하지 못한 (coarse-grained) 필터링
1 대 1 비교	다수 대 다수 비교

필터링은 위와 같이 필터링 기준에 의해 분류될 수 있지만 필터링 기법에 의해 구별될 수도 있다. Katherine [11]은 대규모 분산 가상 환경에서의 필터링 방안을 표 1과 같이 내부 필터링(intrinsic filtering)과 외부 필터링(extrinsic filtering)으로 구분하였다.

내부 필터링은 시스템 네트워크의 중간에 위치한 필터링 관리자 프로세스를 필요로 하며, 필터링 관리자 프로세스는 모든 클라이언트의 패킷을 검사하여 세밀한 필터링을 수행한다. 반면 외부 필터링은 일정한 규칙에 따라 정보와 멀티캐스트 그룹을 연관짓고, 멀티캐스트 그룹에 등록된 클라이언트에게 정보를 전달함으로써 필터링을 수행한다. 그러나 가상환경의 확장성은 개별 클라이언트에게 주어지는 대역폭에 의해서도 제약되므로, 클라이언트에게 전달되는 정보에 대한 필터링의 효율성은 간과될 수 없다. 멀티캐스트 그룹은 주소에 따라 구분되므로 필연적으로 제한된 네트워크 자원에 속한다. 또한, 현재의 멀티캐스트 기술은 하드웨어의 제약으로 인하여 대규모 가상 환경 시스템의 구현에 충분한 다수의 멀티캐스트 그룹을 제공하지 못한다[5]. 따라서, 제한된 수의 멀티캐스트 그룹을 이용하는 대규모 가상 환경 시스템은 가상 공간을 확장하기 위하여 개별 멀티캐스트 그룹에 연관된 공간을 넓히거나 연관된 구역의 수를 증가시켜야 한다. 이 경우, 클라이언트는 불필요한 정보를 전달받게 되며, 이로 인한 필터링 효율의 저하는 제한된 네트워크 대역폭을 가지는 클라이언트의 수행 성능을 떨어뜨릴 수 있다.

2.3 집단 요약

참여자들이 밀집하는 경우, 가상공간의 특정 지역에서 발생하는 정보의 양은 일반적인 필터링 방안을 이용한 가상환경 시스템에게조차 과부하를 줄 수 있다. 이는 가상환경의 참여자는 시야가 차단되지 않는 한 절대 인식 영역을 가져야하고, 이 영역에서의 정보는 더 이상 분할되거나 격리되지 못하기 때문이다. 이러한 현상은 백화점, 경기장과 같은 대규모 가상 환경에서 일어날 가능성이 있으며, 이를 일컬어 혼잡 가상환경(Crowded Virtual Environment)이라고 한다[10]. 이와 같이 특정지역에 밀집된 정보의 과부하 문제를 해결하기 위하여 가상환경 시스템은 참여자가 느끼는 원격 객체별 인식 수준의 차이를 클라이언트의 네트워크 트래픽에 반영해야 하며, 이를 위한 네트워크 트래픽의 대역폭 조절은 원격 객체의 상태 정보가 클라이언트에 도착하기 이전에 수행되어야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 네트워크의 중간 계층에서의 작업을 정보 재가공(data restructuring)이라고 하겠다. 앞서 설명된 필터링은 클라이언트의 관심 영역에 속하지 않는 정보를 제거함으로써 네트워크 트래픽을 줄이는 방안이지만, 정보 재가공은 관심 영역에 속하는 정보를 중요도에 따라 요약하거나 송출 빈도를 줄임으로써 네트워크 대역폭을 절약하는 방안이다.

정보 재가공을 이용하는 기존의 연구 방안으로는 집단 요약(group summarization)이 있다. 본 절에서는 이러한 정보 재가공을 집단 요약을 중심으로 설명하겠다. 집단 요약이란 가상환경의 특정 지역이나 논리적 집단에 속하는 참여자들로부터 생성된 정보를 중간 계층에서 재가공하여 요약하는 방안을 말하며, 상대적으로 미약한 중요도를 지니는 개체들에게 적용된다. MASSIVE-2 [10] 시스템은 혼잡 가상환경에 대한 대응방안으로 제삼자 객체(third-party object)라는 개념을 제시하여 구역내의 참여자 정보를 요약한다. PARADISE[12] 시스템은 관심 객체의 집단 요약 정보를 생성하는 투사 집성화(projection aggregation) 방안을 이용하였다. 위의 경우와 같이 요약된 정보는 일반 상태 정보와 비교하여 볼 때 상대적으로 낮은 대역폭을 사용하고 클라이언트의 연산 능력을 적게 소비하므로 클라이언트의 부하 조절을 위한 정보 재가공 방안으로서 이용될 수 있다. 그러나 이 방안은 요약된 정보에 대하여 추가적인 멀티캐스트 그룹을 요구하므로, 2.2절에서 설명된 멀티캐스트의 제약으로 인하여 충분한 수의 멀티캐스트 그룹을 확보하지 못할 경우, 다단계 정확도(multi-level fidelity)의 요약

정보를 제공하기 어렵다. 다단계의 요약이 불가능할 경우, 집단 요약 정보가 개별 개체 정보로 확장될 때 생기는 정보 정확성의 확연한 차이는 참여자에게 혼란을 줄 수 있다. 또한, 이 방안은 지역 및 집단에 종속적인 요약 단위로 인하여 유연하고 세밀한 부하 조절이 어려우며, 집단으로 분류되지 못한 소수 개체들의 급격한 정보량 증가에 대처할 수 없다.

3. 참여자 관심 패턴을 이용한 가상환경 시스템

3.1 가상환경 시스템의 설계

본 논문에서 제안하는 가상환경 시스템은 인터넷 환경에서 일반적인 클라이언트를 대상으로 대규모 확장성을 지원하기 위하여 고안되었다. 그러므로 인터넷 환경의 일반적인 클라이언트를 위한 가상 환경 시스템에서는 클라이언트 성능의 다양성이 우선 고려되어야 한다. 또한, 클라이언트는 여러 가지 인터넷 접속 방법을 이용하므로 다양한 네트워크 대역폭을 가진다는 점과 일반 사용자에게 제공되는 인터넷 서비스의 라우터들은 대부분 멀티캐스트를 지원하지 않는다는 사실이 고려되어야 한다.

일반적으로 가상 환경의 확장성은 개별 클라이언트의 수행 성능에 의하여 좌우되고, 특히 인터넷 클라이언트는 상기된 바와 같이 다양한 환경에서 동작하므로, 본 연구는 시스템 전체의 네트워크 효율성보다는 개별 클라이언트의 네트워크 효율성을 중요시하였다.

3.1.1 가상환경 시스템의 구조

본 연구에서 제안하는 가상환경 시스템의 구조는 그림 1과 같으며 본 가상환경 시스템의 구성요소는 다음과 같다.

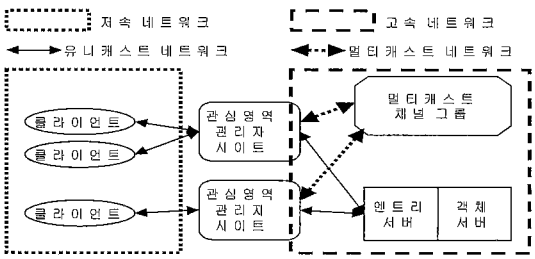


그림 1 가상 환경 시스템의 구조

- AOIM(Area of Interest Manager) 프로세스 : 클라이언트 별로 존재하는 관심 영역 관리자
- AOIM 서버 : 일정 개수의 AOIM 프로세스가 모여 있는 서버
- AOIM 사이트(site) : 일정 개수의 AOIM 서버가 모여있는 서버 군집
- 멀티캐스트 채널 그룹(multicast channel group) : AOIM간 대량 정보 교환을 위한 고속 멀티캐스팅 네트워크
- 엔트리 서버(entry server) : 참여자의 인증과 참여자의 상태 관리를 위한 서버
- 객체 서버(object server) : 가상환경 객체의 소유권 및 상태의 일관성을 관리하는 서버

본 논문에서 서술할 관심영역 관리의 주체는 모두 AOIM 프로세스이므로, 앞으로 AOIM 프로세스를 AOIM으로 약칭하여 서술하겠다. AOIM은 관심영역 관리의 효율성 증대를 위하여 클라이언트가 위치한 로컬 네트워크와 고속 멀티캐스트 네트워크의 사이에 위치한다. 따라서, 클라이언트간의 모든 정보 교환은 각 클라이언트의 AOIM과 멀티캐스트 네트워크를 통하여 이루어진다. 엔트리 서버는 초기 접속을 시도한 클라이언트의 인증을 수행한 후, 클라이언트에게 사용자 ID와 AOIM을 배정한다. 이 때, AOIM은 참여자 클라이언트의 네트워크 경로와 AOIM 서버의 부하에 따라 분산되어 할당된다.

채널이란 상호 구분되는 멀티캐스트 네트워크 트래픽을 의미하며, 네트워크 상에서 멀티캐스트 주소로서 구분된다. AOIM은 멀티캐스트 채널 그룹에 가입하거나 탈퇴하여 정보를 송수신하므로, 가입 채널이 일치하는 AOIM들은 고속 멀티캐스트 네트워크를 통해 정보를 교환하게 된다. 클라이언트는 유니캐스트를 이용하여 하나의 AOIM에 연결되며 추측 항법에 의해 상태 정보를 송출하고 AOIM이 전해주는 타 클라이언트들의 정보를 수신한다.

3.1.2 가상환경 시스템의 특징

본 가상환경 시스템은 외부 필터링과 내부 필터링의 두 가지 방안을 모두 사용한다. 이 시스템은 필터링 주체별로 공간 관계적 필터링과 공간 구조 필터링을 모두 수행하므로, 엄밀히 말해서 네 단계의 필터링을 수행한다. 외부필터링의 필터링 효율의 저하와 내부 필터링 방안의 병목 현상과 같은 특성들을 고려하여, 본 연구는 멀티캐스트 채널에 의한 외부 필터링으로 AOIM에게 가해지는 부하를 줄인 후, AOIM에 의하여 정확한 내부 필터링을 수행하는 다단계 필터링을 통해 두 가지 필터링 방안의 단점을 보완하고자 하였다. 또한, 이와 같은 시스템 구조는 멀티캐스트를 이용한 완전 분산 구조 시스템에서 구현되기 어려운 과금 및 보안 기능을 제공하므로 시스템의 상용화를 가능하게 한다.

앞서 열거한 장점들 외에도 본 시스템의 내부 필터링 방안은 상태 정보 트래픽을 네트워크 중간 계층에서 검사하여 조절할 수 있는 정보 재가공의 기회를 제공한다. 이와 같은 정보 재가공은 AOIM과 연결된 클라이언트의 요구를 반영하여 각 AOIM별로 수행된다. 따라서, 본 시스템의 정보 재가공 방안은 인터넷 클라이언트의 가변적인 컴퓨팅 환경에 대한 효과적인 대응 방안이라고 할 수 있다.

멀티캐스트만을 이용한 기존의 외부 필터링 방안은 많은 수의 멀티캐스트 그룹을 필요로 하며 다른 멀티캐스트 응용 분야와 달리 정보 트래픽의 생성지가 분산되어 있으므로, 가상환경에 최적화된 RMP(Reliable Multicasting Protocol)를 필요로 한다. 또한 외부 필터링만을 사용하는 시스템에서는 상태 정보가 멀티캐스트 트리의 말단에 위치한 클라이언트까지 전송되어야 한다. 따라서, 본 시스템과 비교하여 상대적으로 많은 네트워크 오류가 발생할 수 있으며, 자료 복구에 많은 비용이 소모된다. 반면, 본 시스템은 멀티캐스트 네트워크를 AOIM 사이트 간에 한정적으로 사용하므로 RMP의 구현이 용이하다.

3.2 AOIM과 멀티캐스트를 이용한 다단계 필터링

3.1절에서 설명한 바와 같이 본 연구에서 제안한 가상환경 시스템은 다단계 필터링 방안을 사용한다. 각 필터링 과정은 표 2와 같으며, 본 절에서는 시스템에서 사용되는 필터링 방안에 대하여 구체적으로 설명하겠다.

표 2 다단계 필터링 방안의 수행 순서와 구분

순서	공간 관계적/구조 필터링	내외부 필터링
1	공간 구조 필터링	외부 필터링
2	공간 관계적 필터링	외부 필터링
3	공간 구조 필터링	내부 필터링
4	공간 관계적 필터링	내부 필터링

3.2.1 공간 구조 필터링

공간 구조 필터링 방안은 가상 공간의 구조물로 인한 참여자의 시야차단 현상을 필터링 방안에 적용한 것이며 이를 이상적으로 구현할 경우, 대량의 계산 과정이 필요하다. 따라서 연산 능력을 가진 필터링 주체가 필요하며, 이는 내부 필터링 방안으로 구현되어야 한다. 그러나 내부 필터링은 원천적인 병목 현상으로 인하여 확장성에 한계가 있으며, 필터링 과정에서 과도한 연산을 수행할 경우, 이와 같은 확장성의 문제는 더욱 확대될 수 밖에 없다. 이에 반하여 가상 공간의 구역 분할을 이용한 공간 구조 필터링은 이상적인 공간 구조 필터링에 비하여 상대적으로 저하된 필터링 효율성을 지니지만 내 외부 필터링 방안에 모두 적용될 수 있다. 또한, 내부 필터링 방안에 의하여 수행되어도 과도한 계산 과정을 필요로 하지 않는다.

결과적으로, 참여자는 언제나 하나의 구역에 소속되며, 시스템은 구역간의 가시성에 따라 참여자 정보를 필터링하게 된다. 구역 분할에 의한 필터링 방안은 공간 구조에 따라 작성된 정적 구역 정보를 필요로 한다. 본 논문에서는 이와 같은 구역 정보를 구역 지도(locale map)라고 하겠다. 구역 지도는 참여자의 위치와 구역의 가시 관계에 따른 필터링 규칙을 설명하는 자료로서, 구역 지도를 이용한 실제 필터링 과정은 필터링 주체에 따라 다르다. 외부 필터링의 경우, 각 구역과 특정 채널 그룹을 연관짓고 멀티캐스트 채널 그룹의 트래픽 격리 현상을 이용하여 필터링한다. 내부 필터링의 경우, 수신된 정보 패킷의 구역 ID와 현재의 가시 구역의 ID를 비교함으로써 필터링을 수행한다.

본 시스템의 구역은 그림 2와 같이 전체 가상 공간을 정육면체로 균등하게 분할한 격자 구역(grid locale)과 격자 구역에게 종속된 세부 구역(minute locale)들로서 구성된다. 모든 세부 구역은 육면체의 형태로 구성되며 격자 구역의 경계선을 넘어서 위치할 수 있다. 가상 공간을 격자 구역으로 분할한 첫째 이유는 우선 구조물이 존재하지 않는 넓은 공간에 대하여 기존 연구의 격자 셀(grid cell)과 유사한 공간 관계적 필터링 기준을 제공하기 위해서이며, 다음은 격자 구역별 독립 좌표계를 사용하기 위해서이다.

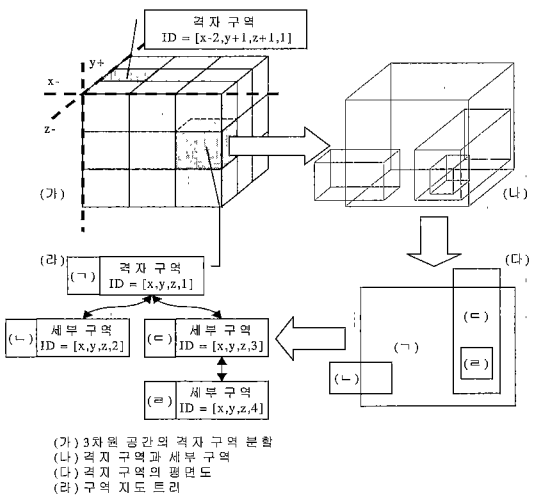


그림 2 구역의 구성과 구역 지도의 자료 구조

구역별 독립 좌표계 방안은 격자 구역의 중심점을 클라이언트에 표현되는 모든 객체의 좌표 원점으로 삼는 방법으로서, 가상 공간의 확장성과 좌표의 정확성을 지원한다. 일반적으로, 가상 공간에서 객체의 위치는 32비트 실수로 구성된 벡터로서 표현된다. 그러나, 이와 같이 실수로 표현된 정보의 정확도는 객체의 위치가 원점에서 멀어질수록 점진적으로 감소한다[8]. 따라서 대규모 가상환경에서 모든 영역의 위치 정보를 동일 좌표계로 표현할 경우 가상 공간의 크기가 제한될 수 밖에 없다. 이에 대한 해결 방법으로 본 시스템은 격자 구역별 독립 좌표계를 사용하였다. 독립 좌표계는 해당 격자 구역과 이에 종속된 세부 구역의 모든 객체에게 적용된다.

한편 공간 구조 필터링은 참여자의 소속 구역 판별 및 가시 구역 선택 과정을 필요로 한다. 이를 위해 모든 클라이언트는 구역 지도를 보관하며, 참여자의 소속 구역과 가시 구역의 검색 작업은 클라이언트에 의하여 수행된다. 이는 참여자의 소속 구역을 판별하거나 가시 구역을 선택하기 위한 작업이 참여자의 고정확도 위치 정보를 필요로 하기 때문이다. 클라이언트는 참여자의 위치 변화에 의하여 가시 구역의 목록이 변경될 경우, 이를 AOIM에게 알려주고, AOIM은 가시 구역의 목록을 참고하여 멀티캐스트 채널 그룹을 변경한다.

본 시스템은 표 2에 설명된 바와 같이 구역 분할을 이용한 공간 구조 필터링 과정에서 멀티캐스트 채널에 의한 외부 필터링과 AOIM에 의한 내부 필터링을 모두 수행한다. AOIM이 다시 한번 공간 구조 필터링을 수행하는 이유는 채널 그룹에 의한 외부 필터링이 완전한 공간 구조 필터링을 수행하지 못하기 때문이며, 이는 구역과 멀티캐스트 채널 그룹 간의 맵핑이 완전한 1 대 1의 관계를 이루지 못하는 제약에서 비롯된 것이다. 그러므로 AOIM은 정보 패킷에 포함된 구역 ID를 검사하여 현재의 가시 구역으로부터 발생된 패킷만을 통과시켜야 한다. 반대로, 내부 필터링 과정에 앞서 채널 그룹에 의한 외부 필터링이 수행되지 않는다면, AOIM에 의한 내부 필터링 과정에서 과도한 부하가 발생할 것이다.

이론적으로 구역과 멀티캐스트 채널 그룹 간의 맵핑은 1 대 1의 관계를 이루는 것이 바람직하지만, 다음과 같은 세 가지의 이유로 인하여 완전한 1 대 1 맵핑은 이용될 수 없다. 첫째 이유는 2.2.4절에서 설명된 멀티캐스트 그룹 수의 제한이다. 둘째 이유는 가상환경의 참여자가 모든 개별 구역을 균일하게 방문하거나 참조하지 않기 때문이다. 마지막으로, 세부 구역과 채널 그룹의 완전한 맵핑은 채널 그룹의 빈번한 가입과 탈퇴를 유도하며, 멀티캐스트 네트워크의 관리 자원을 과도하게 소비하고 그룹 변경 시간의 지연을 초래한다. 이와 같은 세 가지의 제약을 해결하기 위한 방안으로는 구역과 채널 그룹간 다 대 1의 맵핑 방안과 비균등한 부피를 가지는 구역의 1 대 1 맵핑 방안이 있다. 후자의 방안은 추가적인 공간 구조 내부 필터링을 필요로 하지 않지만, 구역의 초기 설계부터 각 구역의 참여자 밀집도를 예측해야 하므로, 전자의 경우에 비하여 융통성이 떨어진다. 따라서, 본 시스템은 구역과 채널 그룹간 다 대 1의 맵핑을 사용하였으며, 이를 위한 맵핑 정보는 유동적으로 변경될 수 있도록 구역 지도 정보와 분리되어 AOIM에 위치한다.

3.2.2 공간 관계적 필터링

본 시스템의 공간 관계적 필터링은 참여자별 인식 영역을 필터링의 경계로 삼아서 수행된다. 필터링 경계로 사용되는 참여자의 인식 영역은 참여자의 위치를 중심으로 하는 구의 형태를 가지며, 인식 영역의 반경은 구역의 고유 특성이나 참여자의 요구에 따라 변화될 수 있다.

참여자의 시야 범위는 공간 구조물에 의하여 완전 차단되기도 하지만, 작은 구조물의 밀집 환경이나 혼탁한 매질(medium)의 환경에서 점진적으로 줄어들기도 한다. 이와 같은 환경의 예로서 초원과 대나무 숲 환경 또는 우주와 수중 환경을 들 수 있다. 초원이나 우주에서의 인식 영역은 참여자에게 일반적인 인식 범위를 제공해 주지만, 대나무 숲과 수중의 경우는 다르다. 따라서, 이와 같은 환경에서의 상태 정보는 공간 구조적 필터링을 통해 처리될 수 없으며, 구역의 고유 특성에 따른 공간 관계적 필터링에 의하여 처리되어야 한다.

본 시스템의 공간 관계적 필터링은 표 2와 같이 묵시적인 외부 필터링과 명시적인 내부 필터링의 순서로 수행된다. 구역 분할에 의한 공간 구조 필터링은 3.2.1절에서 설명된 바와 같이 참여자 위치에 의한 가시 구역의 선택으로 시작된다. 각 구역의 가시 구역 목록은 구역 지도에 명시되어 있으므로, AOIM은 이 목록을 참고하여 해당 채널 그룹들을 선택할 수 있다. 클라이언트는 가시 구역의 목록을 AOIM에게 전달하기 이전에, 가시 구역별로 현재 인식 영역에 대한 접촉 및 포함 여부를 검사하여 가시 구역의 목록을 최적화해야 한다. 결과적으로, 인식 영역에 의한 공간 관계적 필터링은 구역에 의한 공간 구조 필터링을 묵시적으로 보조하게 된다.

공간 구조 필터링이 끝난 후, 클라이언트로의 상태 정보 패킷은 최종적으로 명시적인 공간 관계적 필터링의 과정을 거친다. AOIM은 자신이 유지하고 있는 로컬 참여자의 위치, 속도, 인식 범위 정보에 의하여 인식 영역

의 중심과 경계를 결정하고, 정보 패킷에 포함된 타 참여자의 위치를 검사하여 인식 영역에 포함되지 않은 참여자의 정보 패킷을 제거한다. 이때, 타 격자 구역에 소속된 참여자의 위치는 정보 패킷에 포함된 구역 ID에 의하여 계산된다.

3.2.3 필터링 결과

앞의 두 절에서 살펴본 바와 같이 본 시스템의 전체 필터링 과정은 그림 3과 같다. 그림 3의 상단 부분은 가상 공간의 구성 및 상황에 대한 예이다. 실선으로 표현된 사각형은 가상 공간 내에서의 구역을 의미하며, 각 구역은 개별 멀티캐스트 채널 그룹에 대하여 불균등하게 연관된다. 관찰자는 구역 L에 존재하며 어둡게 표현된 구역들은 구역 L에 대한 가시 구역이라고 가정한다. 그림 3의 각 필터링 단계는 다음과 같은 의미를 지닌다.

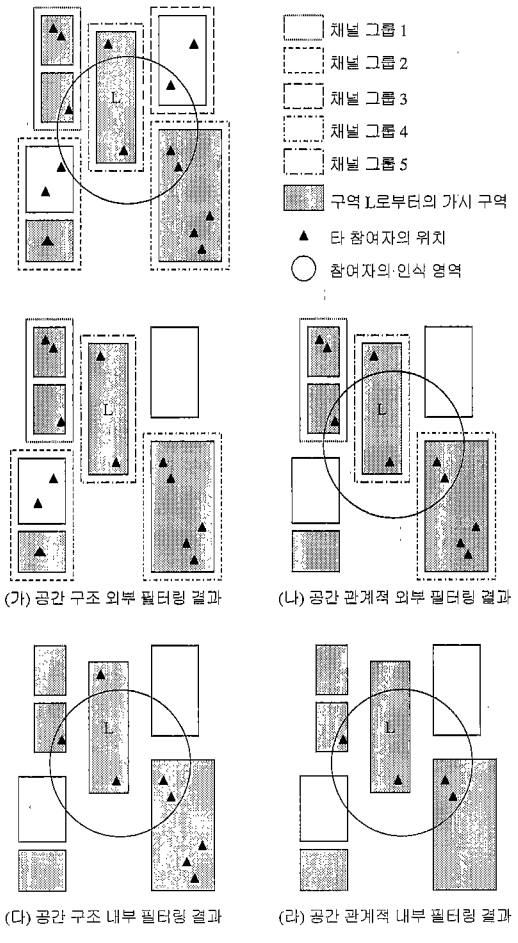


그림 3 전체 필터링 과정의 예

(가) 가시 구역을 포함하지 않는 채널 그룹을 제거
(나) 인식 영역에 접촉한 가시 구역을 포함하는 채널 그룹을 선택
(다) 불필요한 구역의 정보를 채널 그룹으로부터 제거
(라) 인식 영역에 포함된 상태 정보만을 선택하여 클라이언트에게 제공

멀티캐스팅을 이용한 완전 분산 가상 환경 시스템은 그림 3의 (가)와 (나)의 과정만을 수행 할 수 있으므로, 본 시스템에 비하여 필터링 효율이 떨어진다.

3.3 관심 패턴을 이용한 정보 재가공

클라이언트에게 제공되는 상태 정보는 AOIM의 다단계 필터링 과정을 통해 클라이언트에게 필요한 정보만으로 최적화되며, 클라이언트는 이와 같이 필터링된 정보를 그대로 수용하여 사용할 수 있다. 그러나, 본 시스템은 클라이언트 네트워크 대역폭을 효율적으로 이용하기 위해 필터링된 정보에 대하여 참여자 관심 패턴(interest pattern)에 의한 재가공을 수행한다. 본 절에서는 AOIM과 클라이언트의 상호 작용에 의한 정보 재가공 방안에 대하여 설명한다.

3.3.1 참여자 관심 패턴

클라이언트에게 전달되는 타 참여자의 정보는 AOIM의 필터링에 의하여 선택된다. 이 경우, 필터링을 통과한 정보는 클라이언트에게 정확하게 인식되며, 필터링에서 제거된 정보는 클라이언트에 의해 완전히 무시된다. 결과적으로 가상환경의 참여자는 모든 객체에 대하여 존재와 비 존재의 두 가지 의미만을 전달받게 된다. 그러나, 실세계에서 인간에게 인식되는 정보는 존재성의 의미만을 가지지는 않으며 더욱 다양한 의미와 중요도를 지닌다[4]. 환경 정보에 대한 이와 같은 인간의 차등적 인식은 주로 환경적인 요인에 의해 영향을 받으며 관찰자의 관심 의도에 의하여 영향을 받을 수도 있다.

그러한 요인들 가운데 첫째 요인의 경우, 컴퓨터의 화상처리 능력은 인간의 섬세한 인식 수준을 표현하지 못하므로, 화상처리의 한계에 의한 임의적 인식 한계의 개념을 필요로 한다. 따라서, 가상환경에서 표현되는 객체는 관찰자의 1미터 전방에서는 정상적인 모습으로 보이지만, 관찰자 인식영역의 최외곽에서는 하나의 점으로 표현된다. 그러나 문제는 정상적인 모습의 객체와 하나의 점으로 표현되는 객체는 모두 똑같은 양의 정보 트래픽을 클라이언트의 네트워크를 통해 보내오고 있다는 점이다. 이는 다른 중요도를 지니는 객체에 대하여 동일 정확도의 상태 정보를 필요로 하지는 않는다는 뜻이다. 그러므로 가상환경의 상태 정보는 참여자의 관심 특성에 따라 다단계 정확도로 구분되어 참여자에게 제공되

어야 한다.

일반적으로 차등적 인식 수준에 대한 처리 및 표현은 클라이언트에 의한 세밀도(level of detail) 조절에 의해 이루어지며[2], 이로 인하여 클라이언트의 연산력을 절감할 수 있다. 그러나 이와 같은 처리 방법은 인식 범위 내의 모든 상태 정보가 이미 클라이언트에게 도달한 뒤에 이루어지므로 클라이언트의 네트워크 대역폭을 효율적으로 이용하지 못한다. 따라서, 차등적 인식에 대한 처리는 클라이언트의 정보 수집 이전에 수행되어야 한다. 본 시스템에서의 인식 수준별 상태 정보는 각 클라이언트로부터 제공되어 분산된 AOIM에서 가공되며, 생성된 다단계의 상태 정보는 유니캐스트를 통해 클라이언트에게 전달된다.

가상환경 참여자의 차등적 인식 현상은 인식 영역의 범위 내에서 일반화될 수 있다. 본 논문에서는 이와 같이 참여자 관심도에 따른 인식 수준의 분포를 설명하는 정보를 관심 패턴이라고 한다. 관심 패턴은 참여자의 의도에 따라 선택적으로 사용되거나 혼용될 수 있으나, 본 시스템은 가장 일반적인 패턴인 거리에 따라 인식 수준의 분포를 나타내는 방법을 사용하였다.

본 시스템의 관심 패턴은 관찰자로부터의 상대거리에 따라 3가지 영역으로 구분된다. 클라이언트에게 전달되는 상태 정보는 관심 패턴의 영역 구분에 따라 다단계의 정확도를 가지며 차등적인 네트워크 대역폭을 사용한다. 각 수준 영역에 해당되는 상태 정보의 의미와 생성 방법에 대하여 설명하면 다음과 같다.

- ▶ 관심 수준 1 영역 : 이 영역을 통과하는 타 참여자의 상태 정보는 가장 일관성이 높고 갱신 빈도도 높다. 클라이언트는 추측 항법에 의하여 두 가지 수준의 정확도를 지니는 상태 정보를 송출하며, 관심 수준 1 영역을 통과하는 정보는 고정확도의 상태 정보이다.
- ▶ 관심 수준 2 영역 : 클라이언트로부터 생성되는 두 가지 정확도의 상태 정보 가운데 저정확도의 상태 정보만이 관심 수준 2 영역을 통과할 수 있다. 따라서, 이 영역에 속하는 참여자로부터 생성되는 상태 정보는 관심 수준 1 영역의 상태 정보에 비하여 낮은 일관성을 제공하며 낮은 갱신 빈도에 의하여 송출된다.
- ▶ 관심 수준 3 영역 : 상기된 두 가지 영역의 상태 정보는 모두 클라이언트에 의해서 생성된 정보임에 반해 관심 수준 3 영역의 상태 정보는 AOIM에 의하여 생성된다. AOIM은 관심 수준 3 영역에 속하는 참여자로부터 가장 최근의 정보 패킷을 참여자 ID별로 버퍼에 보관한다. AOIM은 버퍼에 보관된 상태 정보에서 위치 정보만을 추출하여 하나의 패킷으로 작성하고 클라이언트에게 전송한다. 이와 같은 요약 정보의 생성 및 전송 과정은 관심 수준 3 영역으로부터의 정보가 존재할 경우, 수 초간격으로 반복된다. 결과적으로, 관심 수준 3 영역의 정보는 해당 참여자의 위치만으로 구성되며, 매우 낮은 갱신 빈도에 의하여 전송되므로 가장 저수준의 일관성을 제공한다. 이 정보는 전달 지연 시간에 크게 제약받지 않으며, 다수의 참여자 정보를 포함하므로 실시간으로 압축되어 전송될 수도 있다.

각 관심 수준 영역의 정보는 낮은 일관성을 제공하는 정보일수록 송출 빈도가 낮으므로 네트워크 대역폭을 적게 사용할 뿐만 아니라 클라이언트의 연산력을 적게 소비한다. 또한, 각 관심 수준의 정보는 클라이언트와 AOIM에 의하여 분담되어 생성되므로, 필요할 경우 더 많은 단계로 구분되어 제공될 수 있다.

3.3.2 관심 패턴의 확장과 축소

인터넷 클라이언트 컴퓨팅 환경에서 네트워크 트래픽은 클라이언트의 환경에 따라 적응적으로 변경될 수 있어야 한다. 가상환경 시스템이 클라이언트의 능력이나 환경에 알맞은 수준의 정보를 제공하지 못할 경우, 참여자에게 전달되는 정보는 참여자의 관심 수준과 상관없이 무작위로 지연되거나 유실될 수 있다.

관심 패턴은 참여자의 관심 의도를 관심 영역에 적용시켜 일반화한 정보이며, 각 상태 정보의 중요도를 결정해주는 판단 기준이기도 하다. 따라서, 클라이언트의 네트워크 대역폭에 변화가 생기거나 참여자가 집중될 경우, 관심 패턴의 각 관심 수준 영역은 참여자의 관심 의도를 반영하는 한도 내에서 확장되거나 축소될 수 있다. 이와 같은 관심 패턴의 변화는 결과적으로 AOIM에게 클라이언트 부하의 조절 기능을 제공한다.

본 시스템에서 상태 정보의 전달 지연 시간은 클라이언트 부하의 간접 척도로서 이용되었다. 이 지연 시간은 관심 수준 1 영역으로부터 전달되는 정보 패킷의 타임스탬프를 검사하여 측정된다. 클라이언트는 특정 패킷의 전달 지연 시간이 허용치를 초과할 경우, 그 패킷이 시간을 초과한 것으로 간주하고, 일정 시간 동안 측정된 시간 초과 패킷의 비율을 상태 정보의 지연율로서 관리한다. 클라이언트는 상태 정보의 지연율이 높아질 경우, 그림 4와 같이 AOIM에게 관심 패턴의 축소를 요구하여 관심 수준 1 영역의 정보 일관성을 회복한다. 반대로 일정 시간동안 지연율이 낮을 경우, 관심 패턴을 점차적으로 확장시킨다.

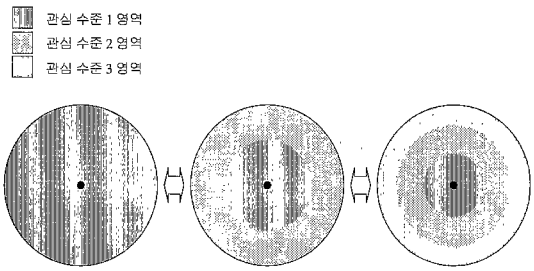


그림 4 참여자 관심 패턴의 확장과 축소

본 시스템의 정보 재가공 방안은 개별 클라이언트 별로 최적화된 네트워크 트래픽을 제공하므로, 인터넷 클라이언트의 다양한 환경에 직접적으로 대응할 수 있다. 구역 분할과 멀티캐스트 그룹을 이용하는 MASSIVE-2 시스템[10]은 참여자들의 위치에 따라 정보 요약 영역을 이동시킬 수 있으나, 요약된 정보는 추가적인 멀티캐스트 채널 그룹을 요구하므로 모든 클라이언트에게 제공되기는 어렵다. 또한, 공간 관계적 필터링 방안을 이용하는 가상환경 시스템의 클라이언트는 부하 조절을 위하여 관심 영역 자체를 축소하거나 확장하는 방안을 사용하지만, 이 방안은 중요도가 낮은 정보를 완전히 제거해 버리는 단점이 있다.

4. 시스템 구현

본 논문에서 제안한 시스템은 클라이언트의 부하 조절과 시스템 확장성을 위한 관심 영역 관리에 초점을 맞추었으므로, 시험 시스템은 클라이언트와 AOIM을 위주로 구현되었다. 따라서, 그림 1의 구성 요소 가운데 멀티캐스트 채널 그룹의 기능은 채널 반향 서버(channel echo server)에 의한 유니캐스트 반향으로 대치되었으며, 객체 서버와 엔트리 서버의 구현은 제외되었다. 또한, 엔트리 서버의 참여자 ID 인증 기능은 클라이언트에서의 ID 입력으로 대신하였다. 시험 시스템의 구현 설비와 환경은 표 3과 같다.

표 3 시험 시스템의 구현 설비와 환경

	서버	클라이언트
O/S	LINUX Slackware	Windows NT, Windows 98
CPU	펜티엄 II	펜티엄 II
동작 프로세스	AOIM, 채널 반향 서버	클라이언트

본 시험 시스템에서는 서버와 클라이언트 간의 시간 동기화를 위하여 ntp (network time protocol) 클라이언트와 서버[13]를 사용하였다. 본 장에서는 시험 시스템을 구성하는 클라이언트와 AOIM, 그리고 채널 반향 서버의 구조와 기능에 대하여 구체적으로 설명한다.

4.1 클라이언트의 구성 및 동작

클라이언트는 Windows 기반의 MFC 라이브러리를 이용하여 제작되었으며, 클라이언트의 그래픽 엔진은 Microsoft사의 Direct3D 라이브러리를 이용하여 구현하였다. 본 절에서는 클라이언트의 모듈 구성과 각 모듈의 동작에 대하여 설명하겠다.

그림 5는 클라이언트의 모듈 구성도이며, 각 구성 모듈의 기능을 설명하면 다음과 같다.

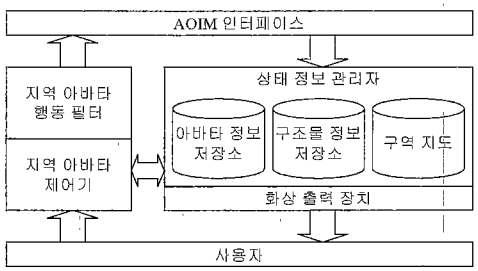


그림 5 클라이언트의 모듈 구성도

- ▶ 지역 아바타 제어기(local avatar controller) : 사용자로부터 아바타의 움직임을 입력받아 지역 클라이언트의 아바타에 반영한다.
- ▶ 지역 아바타 행동 필터(local avatar motion filter) : 지역 아바타의 움직임과 마지막으로 송출된 추측 항법 모델을 비교하여 상태 정보의 송출 여부를 결정하고 AOIM 인터페이스를 통해 상태 정보를 송출한다.
- ▶ 아바타 정보 저장소(avatar information storage) : AOIM 인터페이스를 통해 얻은 원격 아바타의 상태 정보를 관리하며, 저장된 정보에 따라 원격 아바타의 행동을 보정하고 수렴한다.
- ▶ 구역 지도(locale map) : 지역 아바타의 위치에 따라 소속 구역을 판별하기 위한 구역 정보를 관리한다.
- ▶ 구조물 정보 저장소(structure information storage) : 가상 공간에 표현되는 모든 구조물의 정보를 포함하고 있으며, 지역 아바타의 현재 소속 구역과 가시 구역에 따라 가상 공간 구조물을 출력 장치에 표시하거나 소거한다.
- ▶ AOIM 인터페이스(AOIM interface) : 클라이언트와 AOIM간의 인터페이스를 담당한다.

참여자의 아바타는 구현의 용이성을 위하여 단순한 구체의 형태를 하고 있다. 아바타는 사용자의 입력에 따라 좌우로 360도 회전하거나 수평선을 기준으로 상하 85도

까지 방향을 바꿀 수 있고, 다단계의 가속과 감속을 통해 가상 공간을 이동한다. 이와 같은 아바타의 자유로운 행동은 행동 필터에 의하여 비주기적으로 송출된다. 지역 아바타 행동 필터는 고정확도의 추측 항법 모델과 저정확도의 모델을 유지하고 있으며, 아바타의 움직임과 모델의 예측값의 차가 임계치를 넘을 경우 정보를 송출하고 해당 모델의 상태 정보를 갱신한다. 저정확도의 상태 정보의 경우, 아바타의 위치만을 비교하여 임계치를 느슨하게 적용하지만, 고정확도의 정보에 대해서는 아바타의 방향과 위치를 모두 비교하고 임계치를 엄격하게 적용시키므로, 양 모델에 의한 정보의 송출 빈도는 그림 6과 같이 매우 큰 차이를 보인다.

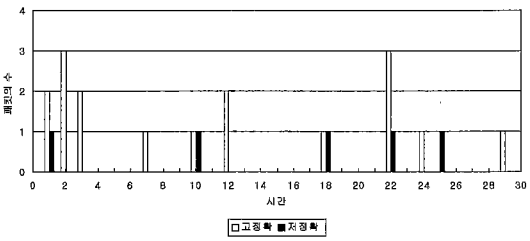


그림 6 시간에 따른 추측 항법 모델의 정보 송출 빈도

클라이언트는 AOIM으로부터 전달된 타 참여자 아바타의 상태 정보를 아바타 정보 저장소에 저장하고 추측 항법에 의한 예측과 수렴에 의하여 아바타를 이동시킨다. 본 시스템의 추측 항법 모델은 속도에 의한 유도식으로서, 가속도의 변화가 적은 객체의 운동을 표현하는 데 적합하다[2]. 시간 t_0에 위치 P_0으로부터 V_0의 속도로 이동한 아바타에 대하여 지역 클라이언트가 시간 t_1에 해당 아바타의 위치 P_1을 추측할 경우, 다음과 같은 추측 항법 공식이 사용된다.

$$P_1 = P_0 + V_0(t_1 - t_0)$$

아바타의 운동 상태는 새로운 상태 정보에 따라 변경되어야 하며, 클라이언트는 자연스러운 수렴을 표현하기 위하여 아바타의 방향과 속도를 계속 보정해 주어야 한다. 본 시스템의 클라이언트는 점진적인 수평 회전에 의한 수렴 과정(표 4 참조)을 통해 복사본 아바타의 움직임을 제어한다.

클라이언트는 참여자의 소속 구역을 판별하기 위하여 구역 지도를 정기적으로 검색한다. 이 때, 검색되는 구역 지도의 범위는 참여자가 마지막으로 소속되었던 격자 구역과 해당 격자 구역의 주위에 위치하는 3×3×3-1=26개의 격자 구역이다. 아바타는 3차원 공간을 자유롭게 이동할 수 있으며, 각 격자 구역의 세부 구역들은 타 격자 구역에 걸쳐있을 수 있으므로, 클라이언트는 상기된 바와 같이 27개의 격자 구역을 검색해야한다. 클라이언트는 소속 구역을 판별한 후 참여자의 인식 범위에 따라 가시 구역을 결정한다. 이와 같은 구역 지도 검색의 결과와 그 의미는 다음과 같이 두 경우로 구분하여 설명될 수 있다.

표 4 추측 항법에 의한 타 참여자 아바타의 수렴 과정

```
수렴완료 = FALSE;
while( !수렴완료 ) {
  새로운 정보를 기반으로 예측위치를 계산;
  예측위치와 현재 아바타 위치의 차벡터(difference of vector)를 구함;
  새로운 정보의 속도벡터와 차벡터를 더하여 수렴 벡터 결정;
  if(예측 모델과 아바타의 방향차가 10도 이상) {
                    아바타를 5도 회전시켜 방향차를 줄임;
                    수렴 벡터의 1.5배 속도를 아바타에게 적용;
  } else
                    수렴 벡터를 현재 아바타에게 적용;
  if(아바타가 예측 모델에 근접)
                    수렴완료 = TRUE;
}
```

- ▶ 소속 구역이나 가시 구역이 변경된 경우 : 이는 참여자 아바타의 위치 변경에 의하여 참여자의 관심 영역이 변경되었음을 의미한다. 클라이언트는 변경된 가시 구역의 목록을 AOIM과 구조물 정보 저장소에 전달하여 채널 그룹의 변경을 요구하고 가시 구역에 존재하는 구조물을 화면에 표시한다.
- ▶ 소속 격자 구역이 변경된 경우 : 이는 참여자 아바타가 새로운 독립 좌표계에 진입했음을 의미한다. 클라이언트는 새로 진입한 격자 구역의 ID를 지역 아바타 제어기와 아바타 정보 저장소, 그리고 구조물 정보 저장소에 전달하여 모든 객체의 좌표를 변환시킨다.

가상환경의 구조물 정보는 가상환경의 상태 정보 중에서 비교적 정적인 정보이다. 본 시스템에서의 구조물은 참여자 아바타의 시야와 이동을 제약하는 기준이 된다. 모든 구조물은 구현의 용이성을 위하여 육방면체의 형태를 지니고 있으며, 가시 구역의 변경에 따라 클라이언트의 출력 장치에 표시되거나 소거된다. 또한, 클라이언트는 상태 정보를 출력하기에 앞서 지역 아바타와 구조물 간의 충돌을 감지하여 아바타의 이동을 제약한다.

클라이언트의 각 모듈과 AOIM 간의 정보 교환은 AOIM 인터페이스를 통하여 이루어지며 AOIM에 전달되는 정보는 지역 아바타의 상태 정보와 가시 구역의 목록, 그리고 관심 패턴의 변경 정보로 구분된다.

4.2 AOIM의 구성 및 동작

AOIM은 클라이언트 별로 생성되는 프로세스로서, 클라이언트와 채널 반향 서버를 연결해주며, 클라이언트에게 제공되는 상태 정보를 필터링하고 재가공한다.

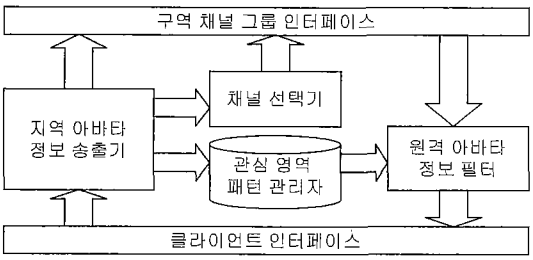


그림 7 AOIM의 모듈 구성도

그림 7은 AOIM의 모듈 구성도이며, 각 모듈의 기능은 다음과 같다.

- ▶ 지역 아바타 정보 송출기(local avatar information sender) : 클라이언트로부터 얻은 정보를 바탕으로 채널 그룹이나 관심 패턴을 변경하고, 해당 채널 그룹으로 상태 정보를 송출한다.
- ▶ 채널 선택기(channel selector) : 채널 그룹과 구역 간의 맵핑 정보를 가지고 있다, 클라이언트로부터 전달된 가시 구역의 목록에 따라 수신 채널과 송출 채널을 변경한다.
- ▶ 관심 영역 패턴 관리자(AOI pattern manager) : 지역 아바타의 위치와 관심 패턴, 가시 구역 등의 관심 영역 관련 정보를 유지하며 관심 패턴 조절 인자를 참조하여 관심 패턴을 확장/축소한다.
- ▶ 원격 아바타 정보 필터(remote avatar information filter) : 관심 영역 패턴 관리자와 함께 타 참여자의 상태 정보에 대하여 공간 구조 내부 필터링과 공간 관계적 내부 필터링 및 정보 재가공을 수행한다.
- ▶ 클라이언트 인터페이스(client interface) : AOIM과 클라이언트간 정보 교환을 담당한다.
- ▶ 구역 채널 그룹 인터페이스(locale channel group interface) : AOIM과 채널 반향 서버간의 정보 교환을 담당하며, 하나의 송출 채널과 복수 개의 수신 채널을 관리한다.

각 관심 수준 영역의 실제 범위는 관심 패턴 조절 인자에 의하여 상대적으로 결정된다. 또한, 각 관심 수준 영역의 범위는 관심 패턴 조절 인자가 증감함에 따라 기하급수적으로 축소되거나 확장되며, 절대 인식 영역의 한계에 의하여 제한되어 결과적으로 참여자의 관심 패턴은 인식 영역의 한도 내에서 각 인식 수준 영역의 다양한 조합으로 표현될 수 있다.

지역 클라이언트에서 타 참여자 아바타의 생성은 AOIM으로부터 새로운 참여자의 상태 정보가 전달되면서 이루어진다. 반면, 아바타의 소거는 AOIM으로부터의 명시적인 아바타 삭제 패킷을 통해 이루어진다. 이를 위하여 AOIM은 클라이언트에게 전송했던 타 참여자 아바타의 목록을 작성하고, 관심 영역의 외부로 나간 아바타와 10초 동안 상태 정보를 갱신하지 않은 아바타에 대하여 소거 여부를 결정한다.

시간 제한에 의한 아바타의 소거가 필요한 이유는 본 시스템이 추측 항법에 의한 정보 송출과 제한 시간에 의한 재송출 방안을 사용하기 때문이다. 아바타의 운동 상태에 변화가 없을 경우, 추측 항법을 사용한 클라이언트는 원칙적으로 상태 정보를 전혀 송출하지 않아야 한다. 이와 같은 상황에서의 AOIM은 타 아바타의 위치를 정확하게 파악하지 못하므로, 복사본 아바타의 생성 및 소거에 문제가 발생하게 된다. 이 문제를 해결함에 있어 높은 일관성이 필요할 경우, 아바타의 구역 출입을 알리는 추가적인 정보 패킷과 AOIM에 별도로 존재하는 아바타 정보 저장소 등의 구현이 필요할 것이다. 그러나, 본 시험 시스템에서는 이와 같은 문제를 제한 시간에 의한 재송출 방안으로 해결하였다. 클라이언트는 상태 정보의 송출이 5초 동안 발생하지 않을 경우, 마지막으로 송출된 정보를 재송출하여 타 AOIM에게 자신의 존재를 알린다. 이 때, 재송출된 상태 정보는 타 AOIM에게만 전달되고 타 참여자의 클라이언트로는 전송되지 않는다. 재송출을 위한 제한 시간이 너무 길 경우, 해당 아바타의 정보는 그 시간동안 타 AOIM에게 인식되지 않으므로, 내부 필터링의 정확성이 떨어진다, 반면, 제한 시간이 너무 짧을 경우, 시스템의 네트워크 대역폭은 재송출된 대량의 정보 패킷에 의하여 불필요하게 점유될 것이다. 본 시험 시스템에서 적용된 5초의 재송출 제한 시간은 아바타의 최고 속도를 고려하여 임의로 결정되었다. 아바타의 소거를 위한 제한 시간은 최소한 재송출 제한 시간과 정보 패킷의 평균 전달 지연 시간의 합보다 길어야 한다. 또한, 시험 시스템의 클라이언트는 아바타의 생성 및 소거를 위하여 상당한 연산력을 소모하므로, 동일 아바타의 반복적인 생성 및 소거를 방지하기 위해 아바타의 소거를 위한 제한 시간을 연장하여 10초로 설정하였다.

5. 시스템 수행

그림 8은 본 시스템 클라이언트의 실행 화면이다. 시

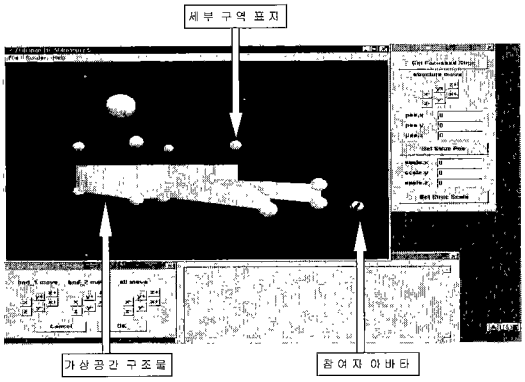


그림 8 클라이언트의 실행 화면

험 시스템의 클라이언트는 구역과 구조물의 생성 기능을 제공한다. 기존의 가상환경 시스템이 사용자에 의해 생성된 구역과 구조물 정보는 파일에 기록되어 클라이언트 수행 시 재사용된다.

본 연구에서는 더미(dummy) 클라이언트로부터 참여자에게 전달되는 정보량을 측정하기 위하여 십자형 구조물의 중심에 참여자의 아바타를 위치시키고 50개의 더미 클라이언트를 작동시켰다. 그림 9는 참여자 클라이언트에서 측정된 네트워크 트래픽의 평균값이다. 이 그림에서 표현된 그래프는 관심 패턴을 구성하는 관심 수준 영역들의 개별 대역폭과 클라이언트에 전달된 트래픽의 총 대역폭을 나타내며, 바이트 단위로 측정되었다. 그림 4에서 설명된 바와 같이 관심 패턴 조절 인자의 값이 커질수록 클라이언트의 관심 패턴은 축소되므로, 상태 정보 트래픽의 대역폭도 감소되어야 한다. 시험 결과, 각 관심 수준 영역의 트래픽은 관심 패턴 조절 인자의 증가에 따라 대역폭의 변화를 보였으며, 클라이언트에게 제공되는 상태 정보의 전체 대역폭은 점차로 감소되었다.

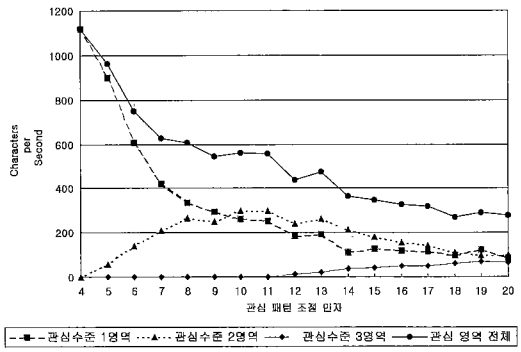


그림 9 관심 패턴의 변화에 따른 대역폭의 측정값

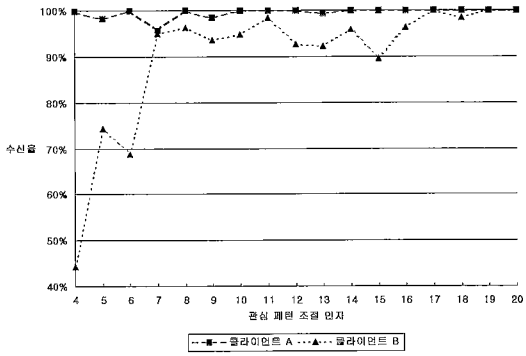


그림 10 관심 패턴의 변화에 따른 수신율의 비교

그림 10은 관심 수준 1 영역을 통과하여 클라이언트에 도달하는 정보 패킷의 지연 시간을 검사한 결과이다. 수신율은 더미 클라이언트로부터 생성된 정보 패킷이 2초 이내에 클라이언트에 도착하여 반영된 비율이다. 본 실험에서는 인터넷에서의 평균 전달 지연 시간을 감안하여 관심 정보의 전달이 2초 이상 지연될 경우, 참여자는 가상 환경에 대한 일관성을 잃어버리는 것으로 가정하였다. 클라이언트 A는 클라이언트 B에 비하여 상대적으로 우수한 성능을 가진 클라이언트로서, 실험 결과, 클라이언트 B보다 높은 수신율을 보여주었다. 클라이언트 B는 그림 10에서 보인 바와 같이 관심 패턴의 축소와 더불어 수신율이 향상됨을 보여주었다.

참여자에게 인식되는 상태 정보의 품질은 지역 클라이언트의 원본 개체와 타 클라이언트에 표현되는 복사본 개체의 운동 상태의 차이로서 설명될 수 있다. 이와 같은 차이는 상태 정보의 송출 빈도와 전달 지연 시간에 따른 일관성의 저하로 인해 발생한다. 시스템의 수행 성능이 저하되거나 정보량이 급증할 경우, 관심 정보를 재가공하지 않는 시스템의 상태 정보는 네트워크 버퍼와 라우터에서의 정체로 인하여 무작위로 지연되거나 유실될 수 있다. 그러나, 관심 패턴을 이용한 정보 재가공 방안은 위와 같은 상황에서 저중요도의 상태 정보를 선택하여 전달 지연과 유실로 인한 품질 저하 현상을 인위적으로 유발시킴으로써 참여자의 주관심 정보의 일관성을 유지한다. 결과적으로, 그림 10의 실험 결과는 관심 패턴을 이용한 정보 재가공 방안이 다양한 컴퓨팅 환경에 위치한 참여자에게 주관심 정보의 고유 품질을 최대한 보장해 줄 수 있다는 것을 의미한다.

6. 결 론

본 논문의 주목적은 인터넷상에서의 대규모 가상환경

을 지원하기 위해 클라이언트의 컴퓨팅 환경에 최적화된 정보 대역폭을 제공하여 확장성을 증진시키는데 있다. 이를 위해 본 연구에서는 멀티캐스트 채널 그룹과 AOIM을 이용한 다단계 필터링 방안 및 관심 패턴에 의한 정보 재가공 방안을 제안하였다. 또한 멀티캐스트 네트워크와 클라이언트의 사이에 AOIM을 위치시킴으로써 멀티캐스트만으로 구성된 가상환경 시스템의 단점을 보완하고 클라이언트 네트워크 대역폭의 조절 기능을 제공하고자 하였다.

본 시스템은 필터링 방안으로서 멀티캐스트에 의한 필터링과 AOIM에서의 필터링을 혼용하였으므로 효율적인 필터링 결과를 제공하며, 네트워크 중간계층에서 정체 현상의 발생 가능성을 줄일 수 있었다. 정보 재가공의 관점에서 기존의 연구와 본 연구의 근본적인 차이점은 재가공의 위치이다. 기존 연구의 경우, 집단 요약 정보는 참여자의 정보가 하부 네트워크를 통해 타 참여자에게 전달되기 전에 생성된다. 본 연구의 경우, 정보 재가공은 각 참여자의 AOIM이 하부 네트워크를 통해 필요한 정보를 수집한 후 이루어진다. 기존의 집단 요약 방안은 정보의 요구자가 다수일 경우, 전체 네트워크 대역폭의 측면에서 효율적이지만 개별 관찰자에 대해서는 최적화되지 못한다. 반면, 본 연구에서 정보 재가공은 클라이언트별로 이루어지므로 해당 클라이언트의 부하 한도 내에서 참여자의 관심 특성을 최대한 반영할 수 있다.

연산 능력을 지닌 AOIM 서버를 네트워크 중간계층에 위치시키는 방안은 완전 분산된 가상환경 시스템과 비교하여 네트워크의 병목현상을 초래할 수 있는 가능성을 잠재적으로 내포하고 있다. 그러나, 본 시스템의 필터링 주체인 AOIM 프로세스는 상호 독립적으로 분산될 수 있고, 멀티캐스트 네트워크를 이용한 필터링의 보조적 역할을 수행하므로 기존의 중앙 서버 구조에 비하여 부하가 줄어든다. 또한, 본 시스템에서 개별 클라이언트에 대한 네트워크 트래픽 관리 기능은 AOIM의 존재로 인한 잠재적 문제점을 충분히 상쇄한다고 본다.
본 가상환경 시스템을 실용화하기 위하여 다음과 같은 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 첫째, 사용자의 관심 변화를 더욱 지능적으로 반영하기 위한 관심패턴의 결정 방안과 클라이언트의 부하 변화에 효율적으로 대응할 수 있는 관심 패턴의 최적화 방안이 필요하다. 둘째, 본 시스템에 최적화된 멀티캐스트 프로토콜이 개발되어야 한다. 마지막으로, 엔트리 서버와 객체 서버의 완전한 구현과 AOIM 서버의 부하 조절을 위한 AOIM 프로세스 이동의 구현이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] James Purbrick and Chris Greenhalgh, "Extending Locales: Awareness Management in MASSIVE-3," *VR2000,* September 1999.

[2] Sandeep Singhal and Michael Zyda, *Networked Virtual Environment,* ACM Press Books, SIGGRAPH Series, 1999.

[3] Sandeep Kishan Singhal, "Effective Remote Modeling In Large-Scale Distributed Simulation and Visualization Environments," *doctoral dissertation,* 1996.

[4] Steve Benford, et al., "Managing Mutual Awareness in Collaborative Virtual Environment," *Proc. VRST94,* August 1994.

[5] Mostafa A. Bassiouni, et al, "Performance and Reliability Analysis of Relevance Filtering for Scalable Distributed Interactive Simulation," *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation,* Vol. 7, No. 3, July, 1997.

[6] Michael J. Zyda, et al., "Exploiting Reality with Multicast Groups : A Network Architecture for Large-scale Virtual Environments," *IEEE Computer Graphics & Applications,* pp. 38-45, September 1995,

[7] T.A. Funchouser, "Network Topologies for Scalable Multi-user Virtual Environments," *Proc. 1996 IEEE Virtual Reality Annual International Symposium,* April, 1996.

[8] J.W. Barrus, R.C. Waters and D.B. Anderson, "Locales and Beacons : Efficient and Precise Support for Large Multi-User Virtual Environments," *Proc. VRAIS96,* 1996.

[9] Wolfgan Broll, "Distributed Virtual Reality for Everyone - a Framework for Networked VR on the Internet," *Proc. VRAIS97,* 1997.

[10] Steve Benford, Chris Greenhalgh and David Lloyd, "Crowded Collaborative Virtual Environments," *ACM CHI'97,* 1997.

[11] Katherine L. Morse, "Interest Management in Large-Scale Distributed Simulations," http://www.ics.uci.edu/~kmorse/servey_paper.ps, 1996.

[12] Sandeep K. Singhal and David R. Cheriton, "Using Projection Aggregations to Support scalability in Distributed Simulation," *Proc. IEEE International Conference on Distributed Computing Systems,* 1996.

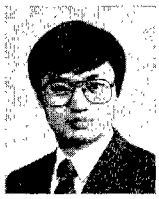
[13] Walt Kelly, "The Network Time Protocol (NTP) Distribution," http://www.eecis.udel.edu/~ntp/ntp_spool/ html/index.htm, 1998.

김 상 욱

1992년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학사. 1994년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학석사. 병렬처리 시스템 전공. 1994년 ~ 1996년 (주)한국컴퓨터통신 부설연구소 연구원. 2000년 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사과정 수료. 멀티미디어 컴퓨터 시스템 전공. 1996년 ~ 2001년 (주)아블렉스 부설 연구소 연구원. 현재 (주)클루닉스 부설연구소 책임연구원. 관심분야는 네트워크 가상현실, 멀티미디어, 병렬 및 다중처리

이 태 종

1997년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학사. 1999년 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학석사. 1999년 ~ 현재 대우전자 종합연구소 연구원. 관심분야는 네트워크 가상현실



김 성 조

1975년 서울대학교 응용수학과 공학사. 1977년 한국과학기술원 전산과 이학석사. 1977년 ~ 1980년 ADD(연구원). 1980년 ~ 현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수. 1984년 ~ 1987년 Univ. of Texas at Austin 이학박사. 1987년 ~ 1988년 Univ. of Texas at Austin(Research Fellow). 관심분야는 병렬 및 다중처리, 디버깅, 시스템 망 관리, 멀티미디어, 이동 컴퓨팅