

네트워크 가상환경과 실감미디어 네트워킹

김종원¹⁾

목 차

1. NVE에 대한 전반적인 소개
2. NVE 응용 분야 및 발전과정
3. NVE 시스템 구성 및 주요 기술
4. NVE 시스템 사례와 실감미디어 네트워킹
5. NVE 발전방향에 대한 전망

1. NVE에 대한 전반적인 소개

다수의 사용자들이 네트워크를 통하여 가상공간(virtual space)에 동시에 몰입하여 가상공간을 공유하도록 하는 환경을 NVE(networked virtual environment)라고 한다¹⁾. VR시스템에서 입력 부분은 사용자의 명령과 의도를 파악하고 인간과 컴퓨터 간의 직접적인 상호작용 뿐만 아니라 인간과 가상공간, 인간과 가상 중개인 간의 상호작용도 담당한다. 이어서 연산 모듈에서는 상호작용에 따라 가상공간이 모의실험되고, 마지막으로 그 결과가 영상, 음향, 그리고 촉감 등을 이용하여 사용자에게 표현되는 것이다. 네트워킹의 지원이 없는 경우, 현실세계에서 사람들 간에 다양한 형태로 일어나는 상호작용을 효과적으로 반영하기 힘들다. 따라서 다차원의 그래픽/영상/음향을 이용하여 실감성을 부여하고, 각종 인터페이스

를 이용하여 자연스러운 상호작용을 제공하여 구성된 가상공간을 네트워크를 통하여 시공간의 제약을 벗어나 확장하는 것이 NVE의 역할이다. NVE는 인지과학, 컴퓨터 그래픽, 네트워킹 등을 포함하는 종합공학적인 성격이 강하며, 인간과 상호작용을 포함하고 있다는 점에서 사회학과 심리학적 연구 대상도 되고 있다. 부연하면 기술적인 측면에서 네트워크 프로토콜, 분산/병렬 시스템, 데이터베이스 개발 등과 같은 다양한 전문지식이 NVE 개발에 활용될 수 있다.

NVE 시스템들은 공통적으로 공간(space), 실재(presence), 시간(time), 가상 환경과 통신(communication)하고, 상호작용(interaction)하는 방법에서 다섯가지 특징을 가진다[1]. 첫째로 각 지역에 편재된 다수의 사용자들에게 동일 공간안에 있으며 서로 상호작용할 수 있다는 공유 공간에 대한 감각을 주어야 한다. 둘째로 공간을 공유하는 다른 사용자들에 대한 실재감을 위해서 각종 avatar를 제공하고 이를 제어해야 한다. 셋째로 다른 사용자의 행동을 동시에 전달하여 이에 실시간으로 상호작용이 되어야 한다. 넷째로 음성 전달, 제스처, 텍스트 메시징 등의 통신방법을 제공하여 다수의 사용자들의 의사소통을 원활히 하

1) 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수

NVE는 강조하고 싶은 주제에 따라서 NVR (networked virtual reality), CVE (collaborative virtual environment), DVE (distributed virtual environment), ACE (advanced collaboration environment) 등으로 불리기도 한다.

도록 해야 한다. 마지막으로 다른 사용자들과 현장감있는 상호작용을 하는 것 뿐만 아니라 가상환경 자체(즉, 가상환경에 존재하는 물체 등)와도 상호작용할 수 있는 공유 수단을 제공해야 한다.

NVE 시스템들이 원활하게 상호작용하기 위해서는 가상공간에서 발생하는 각종 상태 변화(또는 이벤트)를 네트워크의 제약(대역폭, 손실, 지연)에 무관하게 실시간으로 견실하게 전송하는 네트워킹이 지원되어야 한다. 또한 실감나게 가상공간을 구성하거나 변경할 수 있도록 다차원 실감형 미디어(immersive media, 시각/청각/촉각 등을 함께 다루어 몰입감을 줄 수 있는) 정보를 다수의 사용자들에게 동시에 분배할 수 있어야 한다. 현재까지 주류의 NVE 시스템들은 3차원 그래픽을 중심으로 인공적인 느낌을 주는 가상공간을 제공하는 데 그치고 있는 실정이다. 하지만 근래에 와서는 그래픽스 및 네트워킹 기술의 발전에 따라, 보다 세밀한 기하 모델과 자연영상(natural video)의 추가, 그리고 발전된 음향 지원 등에 의해서 실감성을 한층 증대하는 방향으로 발전되는 양상을 보이고 있다.

2. NVE 응용 분야 및 발전과정

NVE의 응용 분야에는 가상 쇼핑몰, 가상회의 시스템, 가상 사회 시스템, 가상 문화재 공유 시스템, 국방 분야에서의 교육 및 훈련 시스템, 네트워크 게임, 분산 협력 디자인 시스템 등이 있다.

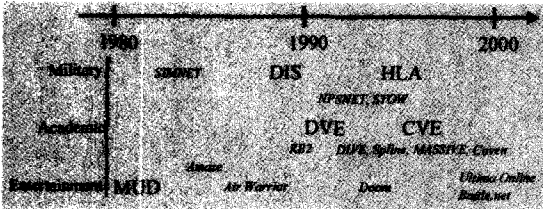
NVE 시스템의 개발 초기 단계에는 국방 분야를 중심으로 한 발전이 이루어졌으며, 이는 국방 관련 실시간 분산/병렬 모의실험 - 가상적인 전투 훈련을 위한 - 을 위한 시스템의 개발로 대변된다. SIMNET(simulator networking)은 1983년부터 시작되어 1990년에 완성된 초창기 NVE 시스템이다. 이는 DIS(distributed interactive simulation) 라는 이름의 표준화된 프로토콜

(IEEE 1278)의 개발로 연결되었다[1]. 근래에는 HLA(high-level architecture)라는 미국방부 산하 기관의 주도하에 개발된 국방관련 분산/병렬 시뮬레이션을 위한 표준 개발 프레임워크로 발전되어 응용 프로그램 간에 상호 운용성, 재사용성 제고를 꾀하는 단계로 진행되었다.

이와 같은 국방분야의 NVE는 학교 및 연구소를 중심으로 한 별도의 개발로 연결되었으며, 대표적인 일례로 NPS(naval postgraduate school)의 NPSNET 시스템이 90년대 초의 NPSNET-I부터 시작하여 최근의 NPSNET-V로 연차적으로 발전되었다[2]. 이는 DIVE(Distributed Interactive Virtual Environment), SPLINE(Scalable Platform for Large Interactive Networked Environment), MASSIVE(Model, Architecture and System for Spatial Interaction in Virtual Environments) 등의 시스템과 시대를 같이 한다[3-5].

초고속 인터넷의 발전과 함께 각광 받는 네트워크 게임 분야 또한 1984/5년에 개발된 SGI사의 Flight/Dogfight 프로그램으로부터 시작되어 Doom, Amaze, MiMaze 등으로 발전되어 왔다[1]. 특히 3차원 다중참여자 네트워크 게임은 공유된 가상공간에서 참여자들 간의 빈번한 상호작용이 요구되는 대표적인 분야이다. 마지막으로 현재 인터넷의 대표적인 웹과의 결합에 의해 익스플로어 또는 네스케이프와 같은 인터넷 웹 브라우저 안에서 실시간으로 3차원 가상공간을 렌더링하고 더 나아가서는 공유하고자 하는 웹기반 NVE 시스템들이 있다. 텍스트 위주의 VRML(virtual reality modeling language)로 시작되어 Web3D 콘소시엄에 의해 발전되고 있는 X3D로 수렴하고 있는 웹기반 시스템들은 기존의 텍스트와 단조로운 2차원 이미지들로만 이뤄진 인터넷 환경을 가상현실 기반의 3차원 환경으로 전환하고자 노력하고 있다[6].

이상과 같은 NVE 시스템의 발전과정을 (그림 1)에 연도별로 정리해 보았다.



(그림 1) NVE 시스템의 발전 과정

3. NVE 시스템 구성 및 주요 기술

3.1 NVE 시스템 구성

일반적으로 NVE 시스템은 그래픽 엔진 및 디스플레이, 통신 및 제어 장치, 처리 시스템, 데이터 네트워크 등의 구성요소로 이루어진다[1]. 먼저 그래픽 엔진 및 디스플레이 부분은 PC 및 게임 콘솔 분야에서 확인할 수 있듯이 최근에 급격한 발전을 이루고 있는 구성요소로서 NVE에서 매우 중요한 시각적인 사용자 인터페이스를 제공한다. 이어서 통신 및 제어 장치는 가상공간의 다양한 객체(object)들과의 상호작용을 지원하기 위한 다양한 통신용 장치들 - 텍스트 입력 장치, 마이크 등 - 과 제어용 장치들 - 키보드, 마우스, 조이스틱, 데이터 글로브(dataglove), HMD(head mount display), 움직임 감지 장치(motion detectors)등 - 로 나누어진다. 처리 시스템에서는 입력 장치 또는 네트워크로부터 획득한 이벤트에 따라 필요한 계산을 수행하고 계산 결과에 대한 처리를 위해서 통신 및 제어장치, 그래픽 부분, 네트워크 장치를 제어하는 중추적인 역할을 수행한다. 마지막으로 데이터 네트워크는 정보의 공유를 위한 실제적인 수단을 제공하며 NVE 개발 초기의 특수한 네트워크에서 인터넷으로 확대되고 있는 상태이다. NVE를 위해서는 이러한 데이터 네트워크 상에 약속된 데이터 교환

프로토콜을 이용하여 가상공간의 공유를 위해 필요한 각종 제어 정보 및 실감 미디어 정보(또는 콘텐츠)가 실시간으로 전송되어야 한다.

〈표 1〉 NVE 설계시 주의할 고려사항

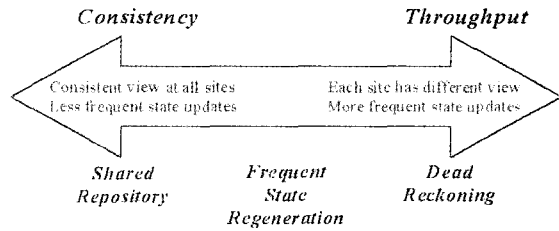
이슈	주의사항
네트워크 대역폭 (network bandwidth)	정보의 세밀성 및 사용자 수에 따른 트래픽 증가 → 효과적으로 정보량을 제한할 수 있어야 함
네트워크 및 시스템 성능 이질성 (heterogeneity)	이질적인 환경의 사용자간의 네트워크 및 시스템 성능 차이 → 적응적인 네트워킹과 시스템 환경에 대한 적응화에 의해 완화함과 동시에 합리적인 형평성(fairness) 기준을 설정하여 조정할 수 있어야 함
분산된 상호작용 (distributed interaction)	분산환경에서의 공유 효율성을 극대화하기 위한 상호작용 지원 → 참가자간의 상호작용이 즉각적으로 NVE에 영향을 주도록 노력해야 하며, 네트워크 지연에 무관하게 공유 공간의 일관성(consistency)를 유지할 수 있도록 해야 함
실시간 시스템 설계 및 자원 관리 (real-time system design & resource management)	저지연 상호작용을 지원하기 위한 실시간 입출력 제어, 이벤트에 따른 즉각적인 가상공간 변화를 계산하고 그래픽화가 다수의 작업간의 경쟁속에서 이루어져야 → 효과적인 다중 threading 방식의 실시간 시스템 및 이를 위한 자원 관리 방식의 구현이 이루어져야 함
장애관리 (fault management)	시스템 stop, closure, hindrance, 그리고 continuance 등으로 나누어지는 다양한 레벨의 장애 → 해당 장애가 전체 NVE 시스템에 주는 영향을 평가하여 이에 대한 대책을 강구해야 함
계층성 (scalability)	동시에 참가하는 사용자의 수를 증가시키기 위해서는 디스플레이, 프로세싱, 네트워킹 등 NVE 시스템 전반에 걸친 확장이 필요 → 다양한 관련 이슈들에 존재하는 계층적인 속성을 활용할 수 있도록 시스템의 유연성이 증가시켜야 함
배포 및 구성 (deployment and configuration)	NVE 시스템을 구축하고 관련 소프트웨어를 설치하는 과정은 복잡함 → 시스템 구성과 플러그인이 가능한 소프트웨어 등으로 모듈화하고 쉽게 구성할 수 있도록 해야 함

다수의 공학적인 요소들을 종합하는 시스템 공학의 성격에서부터 짐작할 수 있듯이 NVE 시스템의 구현은 매우 어렵다고 알려져 있다. 즉, 아래와 같은 다양한 측면을 지원할 수 있는 요소 프로그램들을 함께 모아 연결하고 조정하여 하나의 통합된 프로그램으로 만들어야 하는 과제이기 때문이다. 먼저 분산 시스템 측면에서 보면 네트워크

자원 관리, 데이터 손실 및 네트워크 장애를 감안한 동시성 지원이 되어야 한다. 또한 그래픽스 측면에서는 실시간에 가까운 고속의 프레임 레이트로 부드럽게 디스플레이 해야 하며, 아울러 렌더링과 다른 계산 작업 사이의 CPU 할당 문제도 해결해야 한다. 한편 상호작용 측면에서는 실시간으로 사용자들의 데이터 입력을 처리하여 참가자가 분산되어 있어도 마치 같이 있는 것처럼 보여야 한다. 참고로 <표 1>에 NVE 설계시 고려사항들을 네트워크, 시스템 성능, 분산 상호작용, 실시간 자원 관리 등의 측면에서 비교해 보았다[1].

3.2 NVE 주요기술 요소

NVE 시스템들은 주요 기술적인 측면에서 가상공간을 공유하는 방법과 정도, 네트워크 구성에 연결된 통신 구조 및 방식, 사용자간의 상호작용 방식 등에 따라 다양하게 구성된다. 다수의 NVE 사용자들에게 효율적으로 협업환경을 제공하려면 가상공간 내 객체들의 정확한 상태를 제공해야 한다. 이를 위한 가상공간 공유에 있어서는 공유상태(shared state)를 서버상의 메모리 공유와 같은 강결합(tightly-coupled) 형태나 변경된 상태정보를 메시지 교환을 통하여 전달하고 반영하는 약결합(loosely-coupled) 형태를 볼 수 있다. 여기에 dead reckoning으로 대변되는 상태 예측 및 수렴 기법이 연결되는 것이다. 그런데 (그림 2)에 제시한 바와 같이 가상공간 상태를 공유할 때 변경을 용이하도록 하면 일관성을 유지하기 힘들게 되는 상충(trade-off)의 원리가 작용한다는 사실에 주목해야 한다. 또한 가상공간의 공유정도는 참여하는 개개의 프로세서가 모두 전체 가상환경 정보를 차별없이 유지하는 경우, 객체들이 분산되어 각각 별도로 존재하고 관리되면서 다른 프로세서가 요구를 통해서 정보를 입수하고 조작하는 경우, 혹은 이를 절충하는 경우 등이 있다[1].



(그림 2) 가상공간 공유상태 관리시 상충 관계

통신 구조 측면에서 NVE 시스템은 가상공간을 서버를 중심으로 집중시킨 경우(server-client 방식)로부터 동등한 자격으로 완전히 분산된 경우(peer-to-peer 방식), 그리고 확장성을 염두에 두고 이를 절충한 경우(peer-server 방식)으로 구분된다[1]. 이 때 시스템의 성능을 효율화할 수 있도록 서버와 피어 사이의 최적화된 기능 분담 방법이 매우 중요하다. 통신 방식은 비동기/동기 방식에 따른 구분과, 일대일(point-to-point) / 다대다 방송(broadcast) 혹은 멀티캐스트(multicast) 방식에 따른 구분이 가능하다. 특히 멀티캐스트 전송은 네트워크 대역폭의 소모를 줄이고 지연시간을 짧게 할 수 있어서 확장된 다수 사용자들을 지원하는 장점을 보인다. 또한 세부적으로는 실시간 상호작용을 지원하기 위해서 non-blocking 형태의 처리가 선호되며, 인터넷의 응답지연에 무관하게 수시로 참여/이탈을 반복하는 사용자들을 고려한 처리가 요구된다[7].

사용자 간의 상호작용을 지원하는 문제에 있어서는 각종 상호작용을 모델링하여 체계적으로 다양한 상황을 반영하는 것이 매우 중요하다. 자연어에 의한 의사전달 수단 또한 필요하다.

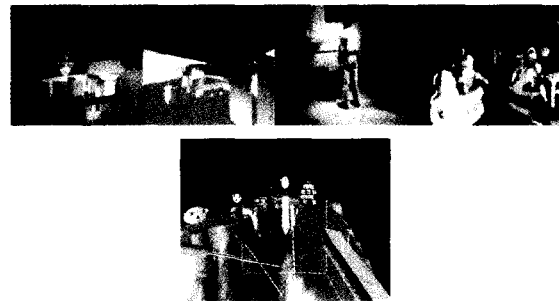
하지만 NVE의 효과적인 구현을 위해서는 이외에도 다양한 기술들이 요구됨에 주목하기 바란다. 마지막으로 NVE 시스템들은 전술한 바와 같이 종합적인 성격을 지니고 있으며, 응용 프로그램에게 다양한 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 하지만 다양한 NVE 시스템들에 독립적으로 개발된

상호 이질적인 서비스 제공 방식들은 상호운용성 (inter-operability)에 많은 문제점을 야기시키고 있다. 따라서 상호운용성을 개선할 수 있는 NVE 미들웨어 개발이 근래에 와서 집중적으로 연구되고 있다. 참고로 (그림 3)에 제시한 바와 같이 확장성있는 네트워킹 서비스를 기반으로 미들웨어를 구현하는 과제가 매우 중요하다[8,9].



(그림 3) NVE 시스템을 위한 미들웨어 서비스

와 ImmersaDesk를 갖춘 연구와 산업 기관의 연합체로 구성되어 있다. 이들은 컴퓨팅과 데이터 마이닝의 관점에서 비디오와 가상현실을 네트워크로 연결하는 형태의 NVE 측면에서 tele-immersion에 관심을 두었으며, CAVERN-Soft G1/G2, QUANTA(The QUality of Service Adaptive Networking Toolkit) 로 대변되는 툴킷을 구현하였다[11]. 근래에 와서는 open source 활동의 영향을 받은 각종 VR 및 NVE 툴킷들이 제공되고 있으며, 대표적으로는 VR Juggler, DIVERSE, FreeVR 등을 들 수 있다.



(그림 4) CAVE를 이용한 VR 및 NVE 시스템

4. NVE 시스템 사례와 실감미디어 네트워킹

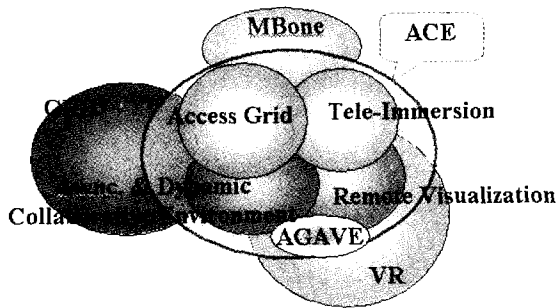
4.1 CAVE 기반 NVE 개발 사례

UIC(Univ. of Illinois Chicago) EVL (Electronic Visualization Lab.)에서는 1992년부터 프로젝션 기반 VR 시스템인 CAVE를 중심으로 한 실감성 있는 VR 시스템에 관한 연구를 진행해 왔다[10]. 1998년 경부터 EVL은 고속의 네트워크로 연결된 영구적인 가상공간 안에서 슈퍼컴퓨팅 데이터나 리소스를 서로 공유하면서 협업하는 원격 실감형 가상환경을 만드는 프로젝트를 추진하여 CAVERN(CAVE Research Network)를 구성하였다(그림 4). CAVERN은 가상현실을 사용하여 계산과학, 과학적 영상, 교육, 디자인 등의 분야에서 공동 협력을 지원하는 초고속 네트워크에 의해 연결되어 있으며, CAVE

4.2 그리드 ACE 활동에서의 NVE

인터넷으로 서로 연결된 컴퓨터들로 만들어진 "그리드(Grid)" 네트워크는 과학자들이나 비즈니스맨에서부터 일반인에 이르기까지 서로 정보를 교환하고, 데이터를 분석하고, 물리적인 시스템이나 과학적인 현상 등을 모의 실험 할 수 있게끔 하는 기술이다. 그 중 "액세스 그리드(Access Grid: AG)"는 소프트웨어와 하드웨어가 집결된 장비로 그리드를 통해 우리가 상호 작용할 수 있도록 도와주는 역할을 한다[12]. 결국 액세스 그리드의 최종적인 목표는 "매일 한 곳에서 얼굴을 마주보며 회의를 하는 것처럼 자연스러운 상호작용을 가능케 하는 것"이다. 이러한 AG는 동시에 ACE(advanced collaboration environment)의 4대 연구 분야 중 하나이기도 하다. ACE의 4

대 연구 분야는 1)Access Grid, 2)Tele immersion, 3)비 동기 동적 협업 환경 (asynchronous & dynamic collaboration environments), 4)원격 가시화 (remote visualization)로 나눌 수 있으며, 각 분야는 (그림 5)와 같이 서로 밀접한 관계를 가지고 있다. 또한 AG를 위한 몰입형 환경을 제공한다는 목적으로 만들어진 AGAVE (Access Grid Augmented Virtual Environment) 프로젝트는, AG와 함께 연동함으로써 협업 환경의 실감성이나 몰입성을 한층 높이는 효과를 가져다 준다 [13].

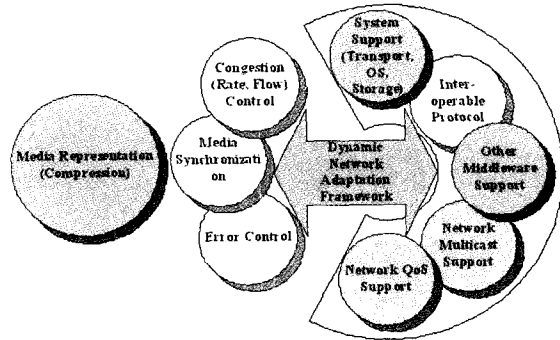


ACE : Advanced Collaborative Environment
 AGAVE : Access Grid Augmented Virtual Environment

(그림 5) 그리드 ACE 활동에서의 NVE의 위치

4.3 NVE를 위한 실감미디어 네트워크

전술한 바와 같이 기존의 NVE 시스템을 위한 네트워크 기술은 이벤트를 중심으로 한 제어형 데이터의 전송에서부터 고용량의 실감미디어 콘텐츠를 다수의 사용자에게 실시간으로 견실하게 전송하는 방향으로 진보하고 있다. 광 네트워크 기술의 급격한 발전에 의해 네트워크가 제공하는 대역폭은 급속히 증대했지만 현재의 프로토콜 스택과 응용 프로그램을 가지고서는 미처 채우지 못하고 있다. 하지만 중단간에서는 여전히 최선형 (best effort) 인터넷에서 제공하는 대역폭의 한계, 예측할 수 없는 손실과 지연이 발생하고 있다. 따라서 NVE를 효과적으로 지원할 수 있는 적응



(그림 6) 실감미디어 적응형 네트워킹을 위한 프레임워크

형 네트워킹 기술의 필요성이 날로 증대되고 있다.

특히 실감형 미디어를 위한 적응형 네트워킹 기술은 (그림 6)과 같은 구도에서 접근해야 한다 [14]. 고용량 실감미디어의 실시간 전송에 수반되는 네트워크 적응화를 전송을 제어, 손실 제어, 동기 제어 기법들의 효과적인 연계를 통해서 해결해야 한다. 또한 NVE 시스템의 요구사항을 적절한 프로토콜이나, 지원 시스템의 성능 문제, 네트워크 QoS 서비스 (DiffServ나 MPLS 등), 그리고 native 또는 overlay 멀티캐스트 서비스와 유연하게 연결할 수 있어야 한다. 이 때 동적인 네트워크 적응화 프레임워크에 의해서 응용 프로그램과 네트워크 서비스를 조정해야 한다. 4.1절의 QUANTA에서는 위와 같은 네트워킹을 ANC (adaptive network controller), 자원 모니터 (resource monitor), QoS 제공자, 전송 방식 등으로 구성된 적응형 네트워킹에 의해 접근하고 있다[11]. 적응적 네트워킹에서는 먼저 응용 프로그램에서 결정되는 전송에 관한 요구 사항들 - 대역폭, 지연 및 이의 변동, 허용 손실 등 - 을 받아들여, 이 요구 사항들을 네트워크 및 계산 자원에 대한 요구로 변환해야 한다. 이를 위해서 현재 네트워크의 상태를 모니터하고, 최적의 전송 프로토콜을 선정하고, 가능하다면 QoS 요구까지 해결해야 하고 적응적으로 조정하는 것이다.

5. NVE 발전방향에 대한 전망

체험을 중요시하는 최근의 가상현실 연구에서는 컴퓨터나 네트워크 상에 존재하는 가상공간을 다차원의 실감미디어 감각(3차원 시각, 3차원 음향, 촉각)으로 재현해내기 위해 노력하고 있다. 하지만 실감나는 가상협업 환경의 구축이라는 과제에서 볼 때 현재의 NVE 시스템들은 아직도 실용적인 협업의 측면, 원격지의 사용자간의 자연스러운 의사소통(소리를 통하지 않아도 되는)의 측면, 인간과 객체간의 자연스러운 상호작용 측면, 그리고 갖가지 시스템의 차이를 극복한 다중적인(multi-modal) 디스플레이와 상호작용의 지원이라는 측면에서는 많은 발전이 있어야 한다. 또한 인터넷과 가상현실의 접목을 통해서 새로운 형태의 응용 서비스를 제공하는 기술의 일환으로 NVE에 대한 요구가 증대하고 있음을 확인할 수 있다. 즉 세계 최고 수준으로 구축된 초고속 인터넷 네트워크를 위한 응용에 대한 관심으로 네트워크 게임, 전자상거래 시장에서의 NVE 도입은 필연적일 것으로 예상된다. 기타 분야에서는 교육/연구 기관들을 중심으로 가상환경을 통한 협업 기술의 구현, 네트워크를 통한 3차원 실시간 전송/구현기술에 의한 원격교육의 효율 증대 등의 방향에 대한 기술연구가 진행되고 있다. 이를 통해 다중 사용자가 참여하여 공동으로 작업을 할 수 있는 대규모 분산 가상 협동환경 구축을 위한 기술 개발이 계속적으로 진행될 것이다. 이러한 다양한 노력들이 효과적으로 결합되면 장기적으로는 고성능/고가격 VR 시스템을 중심으로 군사, 테마파크, 건설 등 특수한 분야를 대상으로 하던 NVE 시스템 및 기술이 인터넷 상의 적응적인 네트워킹을 통하여 대중적인 NVE 시스템으로 확대 발전될 것으로 전망된다.

참고문헌

- [1] S. Singhal and M. Zyda, "Networked virtual environments - Design and implementation," Addison Wesley, 1999.
- [2] M. R. Macedonia, M. J. Zyda, D. R. Pratt, P. T. Barham, and S. Zeswitz, "NPSNET: A network software architecture for large-scale virtual environments," Presence: Teleop. Virtual Environ., vol. 3, no. 4, 1994.
- [3] C. Carlsson and O. Hagsand, "DIVE - A platform for multi-user virtual environments," Computers & Graphics, vol. 17, no. 6, 1993.
- [4] C. M. Greenhalgh and S. D. Benford, "Supporting rich and dynamic communication in large-scale collaborative virtual environments," Presence: Teleop. Virtual Environ., vol. 8, no. 1, 1999.
- [5] D. B. Anderson, J. W. Barrus, J. H. Howard, C. Rich, C. Shen, and R. C. Waters, "Building multiuser interactive multimedia environments at MERL," IEEE Multimedia, vol. 2, no. 4, 1995.
- [6] Web 3D Consortium, Extensible 3D (X3D^(tm)) Graphics Task Force, <http://www.web3d.org/x3d.html>.
- [7] F. D. Tran, et.al., "An open middleware for large-scale networked virtual environments," in Proc. IEEE Virtual Reality, 2002.
- [8] C. Diot and L. Gautier, A distributed architecture for multiplayer interactive

applications on the internet, IEEE Networks magazine, vol. 13, no. 4, July/August 1999.

[9] M. Matijasevic, D. Gracanin, K. P. Valavanis, and I. Lovrek, "A framework for multiuser distributed virtual environments," IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Part B, vol. 32, no. 4, Aug. 2002.

[10] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon, and J. C. Hart, "The CAVE: Audio visual experience automatic virtual environment," Commun. of ACM, vol. 35, no. 6, June 1992.

[11] J. Leigh, O. Yu, D. Schonfeld, R. Ansari, et al., "Adaptive networking for tele-immersion," in Proc. Immersive Projection Technology / Eurographics Virtual Environments Workshop (IPT/EGVE), Stuttgart, Germany, May 2001.

[12] L. Childers, T. Disz, R. Olson, M. E. Papka, R. Stevens, and T. Udeshi, "Access grid: Immersive group-to-group collaborative visualization," Proceedings of the Fourth International Immersive Projection Technology Workshop, June 2000.

[13] J. Leigh et. al., "AGAVE: Access grid augmented virtual environment," in Proc. AccessGrid Retreat, Argonne, IL, Jan. 2001.

[14] J. Kim and J. Shin, "Dynamic network adaptation framework employing layered relative priority

index for adaptive video delivery," in Proc. IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM 2002), Hsinchu, Taiwan, Dec. 2002.

저자약력



김종원

1987/89/94년: 서울대학교 제어계측공학과 학사/석사/박사
 2001년-현재: 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수
 1998년-2001년: 미국 Univ. of Southern California, Los Angeles, CA, EE-Systems 연구조교수
 1994년-1999년: 공주대학교 전자공학과 조교수
 관심분야: Networked Media Systems and Protocols focusing on 'Reliable and Flexible Delivery for Integrated Media over Wired/Wireless Networks'
 연락처: <http://netmedia.kjist.ac.kr/jongwon@kjist.ac.kr>