
VRSMS: 가상현실 기반 센서 관리 시스템

VRSMS: VR-based Sensor Management System

김한수, Hansoo Kim*, 김형석, Hyungseok Kim**

요약 본 논문에서는 미세 규모 대기 환경 모니터링 시스템 Airscope[3]의 가상현실 기반 시각화 시스템인 VRSMS(VR-based Sensor Management System)을 소개 한다. 가상현실 기반 시각화 방법을 이용해 대기 환경 정보를 시각화함으로써 시민 등의 비전문가들이 직관적으로 대기 환경 정보를 인지할 수 있고 사용자가 원하는 정보를 보다 쉽게 취득할 수 있도록 가상공간 내부에 설치된 센서를 직접 조작할 수도 있다. 사용자 요구에 맞춘 동적 시각화를 위해 대기 환경 데이터와 조작 및 시각화 기법을 분리하였고 이는 시스템 내부 데이터에 대한 일관된 접근 방법을 제공하여 새로운 시각화 기법의 추가가 용이하다. 동적 시각화 기법 중의 하나로 복수의 소형 디스플레이를 연결하여 대형 디스플레이 시스템을 구축하였으며 이는 단일 대형 디스플레이 시스템에 비해 저렴한 비용으로 공공장소 등에서 다수의 사용자가 보다 쉽게 대기 환경 정보를 취득할 수 있게 한다.

Abstract We introduce VRSMS(VR-based sensor management system) which is the visualization system of micro-scale air quality monitoring system Airscope[3]. By adopting VR-based visualization method, casual users can get insight of air quality data intuitively. Users can also manipulate sensors in VR space to get specific data they needed. For adaptive visualization, we separated visualization and interaction methods from air quality data. By separation, we can get consistent way for data access so new visualization and interaction methods are easily attached. As one of the adaptive visualization method, we constructed large display system which consists of several small displays. This system can provide accessibility for air quality data to people one public space.

핵심어: *virtual reality, scientific visualization, sensor data visualization, sensor manipulation, tiled display*

본 논문은 서울특별시 R&BD 프로그램(GS070167)의 지원을 받았다.

*주저자 : 건국대학교 컴퓨터 정보통신공학 석사과정; e-mail: lunahife@gmail.com

**교신저자 : 건국대학교 인터넷 미디어 공학부 교수; e-mail: hyuskim@konkuk.ac.kr

1. 서론

대도시의 대기 오염은 큰 환경 문제 중의 하나다. 건물, 자동차, 공장 등 많은 곳에서 다양한 오염 물질을 생산해 내며, 이는 도시 주민의 건강과 삶의 질에 직접적인 영향을 끼친다.

서울시에서는 이러한 대기 오염 문제가 시민들에게 끼치는 영향을 파악하고 시민들에게 대기 환경에 대한 정보를 제공하기 위하여 시내 27개 지역대기 측정소, 7개의 도로변 측정소를 설치하여 인터넷상에서 정보를 공개하고 있다. 또한 대기오염에 대한 정보를 예보하기 위하여 측정 자료와 경험적 모델을 활용하여 수 시간에서 하루 뒤의 먼지와 오존 등에 대한 농도를 예측하고 있으며 이러한 결과를 시민에 대한 행동 지침과 함께 이메일, 문자 메시지, 방송 등을 통하여 공개하고 있다. 이러한 서비스는 주로 지역적 규모의 대기오염에 대한 정보에 한정되어 있기 때문에 실제 시민이 위치하고 있는 상세한 장소에 관한 정보까지 제공할 수 없다는 한계를 가지고 있다[3].

대도시는 고층 빌딩의 밀집으로 인해 단시간 내에 급격하고 불규칙적으로 대기 환경이 변화하며 국지적으로 발생하는 열원, 교통량의 증대, 사고에 의해 발생하는 오염 물질 등이 짧게는 몇 분에서 길게는 몇 시간까지 수 킬로미터 범위에 걸쳐 지속되는 대기 오염을 일으키기 때문에 이는 미세 규모의 대기 환경 정보를 원하는 공공 서비스상의 수요와 맞물려 광역 기반 측정 방법론을 이용한 종래의 대기 환경 측정 기법과 장비만으로는 부족한 상황을 낳고 있다.

이러한 요구를 충족시키고 보다 나은 공공 정보 서비스 제공을 위해 Airscope[3]와 같은 미세 규모 대기 환경 모니터링 시스템이 제안되었다. 이 시스템은 건물 단위 이하의 미세 규모 공간을 대상으로 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 이용하여 대기 환경 정보를 수집하고 그것을 사용자에게 시각화 하여 보여준다.

이러한 미세 규모 환경에서는 기존의 지도, 그래프, 표 등을 이용한 시각화 방법만으로는 사용자에게 직관적으로 정보를 전달하기 힘들다. 이는 정보 수집과 표현 대상이 사용자가 실제 눈으로 보는 공간이고 공간상에 분포한 대기 환경 정보가 시간에 따라 계속 변화하기 때문에 지도 위에 나타난 수치와 도식만으로는 직관적인 환경 정보 인지가 불가능하기 때문이다. 이 때, 가상현실 기반의 시각화 시스템이 도움이 될 수 있다. 가상현실 공간은 사용자가 속한 실제 환경과 유사하게 구축되어 지도로 표기할 수 없는 3차원 공간에 시간에 따라 변화하는 대기 환경 정보를 표현한다. 또한 사용자가 필요로 하는 대기 환경 정보의 종류가 다를 수 있기 때문에 시각화 시스템은 사용자의 요구에 맞춰 정보를 제공하는 기능을 가져야 한다. 이 때 가상공간 내부의 센서를 직접 조작하는 것으로 사용자가 필요한 정보를 직관

적으로 취사선택 하는 데 도움을 줄 수 있다. 따라서 본 논문에서는 가상현실 기반의 센서 데이터 시각화 및 관리 시스템을 제안한다. 시스템을 통하여 사용자는 현실 세계와 유사하게 구축된 가상 공간을 이동하며 센서의 정보를 실시간으로 확인할 수 있고 필요에 따라 센서를 조작할 수도 있다. 제공되는 센서의 정보는 필요와 상황에 따라 서로 다른 시각화 기법을 이용하여 표현되며 이는 시스템을 이용하는 다양한 사용자층의 수요를 충족시킬 수 있다.



2. 관련 연구

여기서는 다수의 원격 센서를 통한 시각화 기법에 대하여 정리한다.

Airkorea[1]는 환경관리공단에서 구축한 서비스로, 전국에 설치된 측정소에서 대기 환경 자료를 수집하여 웹 사이트를 통해 공개한다. 이 때 사용되는 대기 환경 정보의 시각화 방식에는 표, 그래프, 지도 등이 있으며 이는 넓은 영역의 대기 환경 정보를 파악하는 데 용이하다. 하지만 미세 규모 대기 환경 측정은 이루어지지 않고 있으며 따라서 이를 시각화 하는 기법도 구비되어 있지 않다.

CitySense[2]는 미국의 하버드 대학과 BBN Technologies사의 협동 연구로 개발된 도시 규모 센서 네트워크 테스트베드이다. 100여개의 무선 센서를 도시 내부에 설치하여 대기 환경 상태를 실시간으로 보고받으며 이를 웹 사이트를 통해 공개한다. 시각화에는 Google Earth를 이용하였고 사용자는 지도상의 특정 표시 지점을 클릭하여 설치된 센서의 현재 값을 알아볼 수 있다. Airkorea보다 상세한

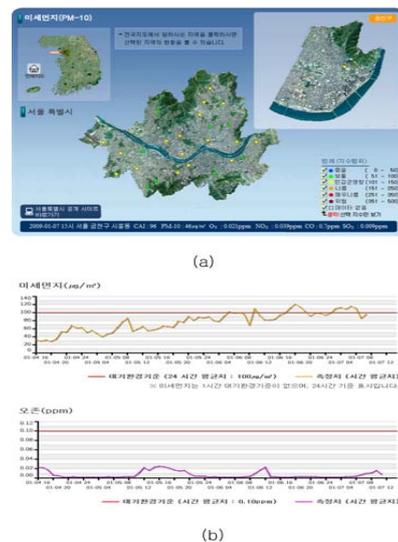
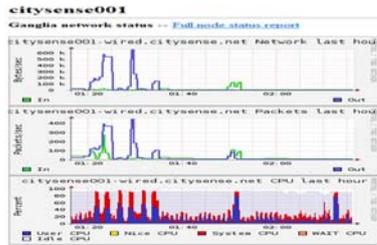


그림 1. Airkorea가 제공하는 대기 환경 정보 서비스. 지도(a)와 그래프(b) 등의 방법을 이용함



(a)



(b)

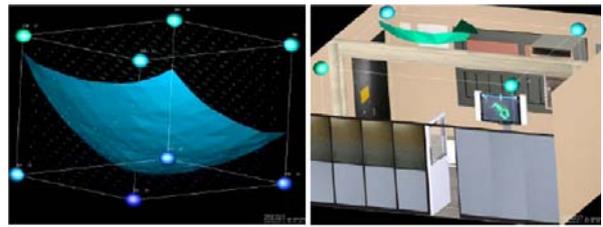
그림 2. CitySense가 제공하는 대기 환경 정보 서비스. 역시 실제 지도(a)에 위치를 표시한 후 측정 데이터를 그래프 등(b)의 방법으로 표시하고 있다

규모의 대기 환경을 다루고 있지만 대학, 도시의 지도상에 그래프와 수치 정보를 표시하는 시각화 기법만을 제공하고 있다.

Norihisa등[4]은 교토 대학에서 개발한 KVS(Kyoto Visualization System)을 이용하여 센서 네트워크를 시각화 하였다. 이 프레임워크는 센서 데이터 수집, 보간(interpolation), 시각화의 3단계로 구성되며 건물 내부의 센서 데이터를 수집하고 센서 사이의 빈 공간에 해당하는 데이터를 보간법을 이용하여 생성한 후, 시각화 모듈을 이용해서 보여준다. 이 때 시각화 기법은 건물 내부를 표현하는 삼차원 볼륨 데이터 상에 isosurface extraction기법을 사용하여 사용자가 원하는 특정 값이 위치하는 공간을 추출하여 보여준다.

앞서 소개한 대기 환경 정보 서비스 및 센서 데이터 시각화 시스템은 각자 사용자에게 효과적으로 정보를 전달하기 위한 시각화 시스템을 가지고 있다. Airkorea, CitySense 등의 서비스는 도시 규모 이상의 넓은 지역을 대상으로 하기 때문에 지도와 그래프, 표 등의 시각화 기법을 사용했고 Norihisa등의 연구는 건물 내부의 센서를 시각화 대상으로 하기 때문에 가상현실 기반의 시각화 기법을 사용 하였다. 대부분의 연구에서 사용한 실시간 isosurface extraction 기법은 특정 센서 값의 분포를 나타낼 때 유용하지만 시간에 따라 변화하는 다차원 다중 자료의 표현에는 적합하지 않다. 또한 사용자 인터페이스에 대한 고려가 배제되어 있기 때문에 가상공간 내부의 탐색 혹은 센서 조작에 관련된 기능을 가지고 있지 않다.

본 연구에서는 USN기반 미세 규모 대기 환경 센서의 정



(a)

(b)

그림 3. Norihisa등은 특정 값을 기준으로 그것에 해당하는 면을 검출해 내는 isosurface extraction기법(a)을 이용하여 실제 센서가 수집한 데이터를 바탕으로 시각화 시스템을 구현하였다(b)

보를 가상현실 기법을 이용하여 시각화하고 사용자 인터페이스를 통해 가상 공간 탐색과 센서 조작 기능을 제공하는 센서 관리 시스템을 제안한다.

3. VR-based Sensor Management System

3.1 Airscope Framework[3]

본 연구는 미세규모 대기 환경 모니터링 시스템인 Airscope의 시각화 시스템으로서 개발되었으며, Airscope 시스템은 그림 4와 같이 3가지의 세부 시스템으로 구성되어 있다. 대기 환경 측정 시스템(USN)에서는 유·무선으로 연결된 환경 센서들의 정보를 수집하여 데이터 관리 시스템으로 전송한다. 실시간으로 입력되는 센서 데이터는 분당 수백 MB ~ 수 GB에 이르기 때문에 시각화 시스템이 모든 데이터를 제어하기에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 센서 데이터 저장소(sensor data repository)에서 이것을 관리하여 외부에서 요청한 센서 데이터를 전송해 준다. 시각화 시스템(visualization system)은 전송 받은 센서 데이터를 기반으로, 가상현실 기법을 통해 사용자가 직관적으로 대기 환경 상태를 인지할 수 있도록 한다. 또한 사용자 인터페이스를 제공하여 가상 공간에서의 센서 조작을 통해 실제 센서를 제어할 수 있다.

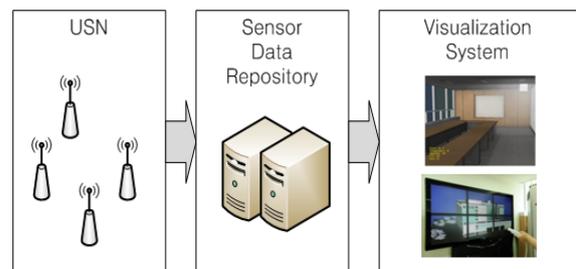


그림 4. Airscope 시스템의 동작 구조[3]

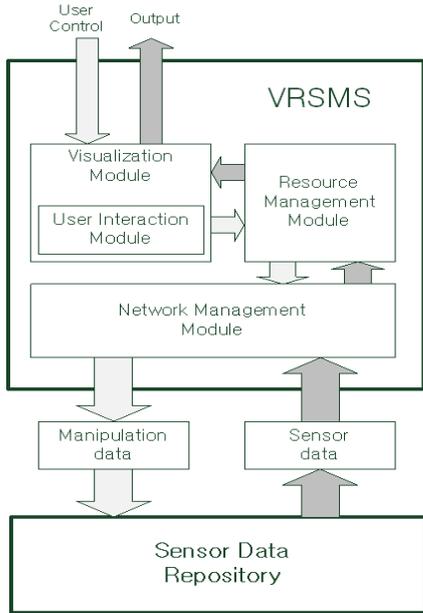


그림 5. VRSMS 구조도[3]: 센서 데이터 저장소와의 통신을 담당하는 network management module, 시스템 내부의 모든 데이터를 관리하는 resource management module, 센서 정보의 시각화와 사용자 상호작용을 관리하는 visualization module로 구성되어 있다.

본 연구에서는 이 중, 시각화 시스템인 VRSMS (VR-based Sensor Management System)를 다룬다.

3.2 VRSMS 시스템 구성

시각화 시스템인 VRSMS의 구조는 그림 5와 같이 네트워크 관리 모듈, 리소스 관리 모듈, 시각화 모듈로 구성되어 있다.

네트워크 관리 모듈은 센서 데이터 저장소와의 모든 통신을 관리한다. 사전 정의된 통신 규약에 맞춰 전송되는 센서 데이터를 해독하여 시스템 내부에서 사용할 수 있도록 변환하고 사용자가 센서를 조작했을 때 발생하는 제어 신호를 전송한다.

리소스 관리 모듈은 VRSMS 내부에서 사용되는 모든 데이터를 관리한다. 네트워크 관리 모듈이 받아 온 센서 정보를 가상 센서 구축을 통해 내부에 저장하며 시각화 모듈은 이 정보를 직접적으로 참조한다. 또한 사용자 입력에 의해 센서 상태가 변경될 경우(예: 센서의 전원을 끄) 일차적으로 리소스 관리 모듈 내부의 가상 센서에 적용되며 이후 이 정보는 네트워크 관리 모듈을 통해 실제 센서에 전달된다.

시각화 모듈은 시스템 내부에 저장된 센서 정보를 VR 기법을 이용하여 사용자에게 보여준다. 사용자는 3D 가상공간을 이동하며 센서 정보를 취득할 수 있으며 그것을 조작할

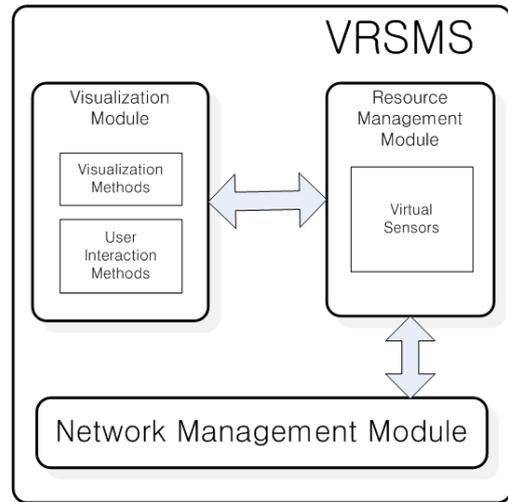


그림 6. 정보와 그것의 처리 기법을 분리하기 위하여 가상 센서(virtual sensors)를 구축하고 표현 방법(visualization methods)과 사용자와의 상호작용 방법(user interaction methods)을 제공

수도 있다. 보다 직관적인 대기 환경 정보 제공을 위해 전통적인 수치 형태에 더하여 파티클 시스템[5] 기반 시각화 기법을 제공한다. 이는 상세한 수치 자료가 필요 없고 개략적인 대기 환경 상태의 빠른 인식을 요구하는 일반 사용자를 위한 것으로, 기존의 대기 환경 정보 시스템에서는 제공하지 않는 기능이다.

사용자 인터페이스 모듈은 시각화 모듈의 한 부분으로서 포함되어 있다. VR 공간상의 이동과 센서 조작을 위해 기본적인 키보드, 마우스 등의 입력 장치를 지원하며 현재 대형 디스플레이 등의 특수 환경을 위해 wand-type 인터페이스 등을 개발 중이다.

3.3 VR-based sensor data visualization

3.3.1 센서 데이터와 시각화 기법의 분리

VRSMS는 가상현실 세계 내부에서 대기 환경 센서가 실시간으로 전달해 오는 정보를 시각화 하고 사용자의 센서 조작 정보를 처리한다. 이 때 사용자가 시스템과 상호 작용하는 수단 및 요구하는 시각화 방법이 여러 가지 존재할 수 있으며 각 모듈이 실시간 전송되는 대용량 센서 데이터의 사본을 가지고 있다면 처리 효율과 저장용량 면에서 비효율적이다. 따라서 VRSMS는 시스템 내부에 별도의 데이터 관리 시스템을 구축하여 시각화 대상인 데이터와 시각화 및 상호작용 기법을 분리하였다. 이로써 추가 혹은 삭제되는 기법과 독립적으로 일관적인 데이터 관리가 가능하며 각 기법은 데이터 처리에 대한 부하를 줄일 수 있다.

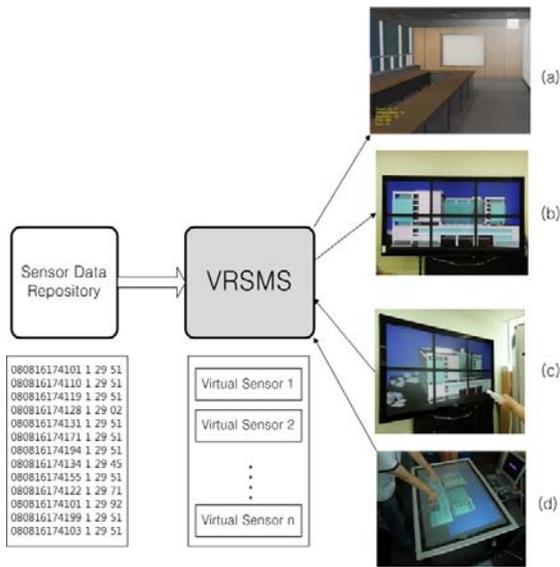


그림 7. 처리되는 데이터의 흐름과 데이터와 기법의 분리를 통한
유동적인 시각화 및 사용자 상호작용

전송된 데이터의 관리를 위해 가상 센서(virtual sensor)를 구축하였다. 가상 센서는 센서 데이터 저장소에 등록된 센서와 동일한 정보를 가지는 시스템 내부의 자료 구조이다. 시각화 모듈이 서로 다른 기법을 이용하여 센서 정보를 시각화 하고자 할 때 일관된 방식으로 가상 센서의 정보만을 참고하여 표현할 수 있고 사용자가 어떤 형태로 센서를 조작하더라도 가상 센서에 조작 내용만을 규정된 형식에 맞추어 적용할 수 있기 때문에 새로운 시각화 기법과 상호작용 기법의 적용이 용이하다.

데이터와 기법이 분리된 환경에서 센서 데이터와 사용자 조작 정보는 각 기법의 필요에 따라 적절한 형태로 변환되어 대상 모듈로 전송(publish)된다. 그림 4과 같이 가상 센서 내부에 구축된 센서 정보는 일반적인 단일 디스플레이 혹은 다중 패널을 이용한 대형 디스플레이 환경을 위하여 서로 다른 출력 모듈로 전송되며((a), (b)) 서로 다른 입력 모듈을 통해 입력된 사용자 조작 정보가 VRSMS 내부로 전송된다((c), (d)).

3.3.1 가상현실 기반 시각화 기법

VRSMS는 가상현실 환경을 기초로 대기 환경 정보를 시각화 한다. 가상현실을 통해 사용자는 자신이 위치한 건물 혹은 거리를 직접 탐색할 수 있기 때문에 지도나 항공사진에 기반 한 시각화 기법 보다 우수한 현장감을 체험할 수 있다.

가상현실 환경 상에서 사용자의 직관적인 대기 환경 정보 인지를 위하여 VRSMS 는 파티클 시스템을 사용한다. 파티클 시스템은 화면에 표시되는 점 혹은 이미지의 집합을 컴



그림 8. 파티클 기반 시각화 기법. 그림 좌하단의 수치 데이터에
더하여 오염 물질의 농도 상태를 직관적으로 표현한다.

퓨터 내부 연산에 의해 움직여 주기 때문에 공간 분포와 확산, 농도 등의 속성을 가지는 대기 환경 구성 요소(예: 일반적 대기 원소, 미세 먼지, 공해 물질 등) 표현에 적합 하며 수치 형태에 비해 정확도는 다소 떨어지지만 직관적인 인지가 가능 하다는 것이 장점이다.

화면에 표시되는 파티클의 밀도 및 투명도는 센서로부터 취득된 대기원소의 농도와 연관되어 실시간으로 변화 하며 특정 방향으로의 흐름 정보를 표시해야 할 경우 파티클 생성 지점을 선형으로 배치하여 순차적으로 생성함으로써 표현 한다.

사용자가 높은 정확도의 센서 데이터를 요구할 경우를 대비 하기 위해 수치 정보를 함께 제공 한다. 수치 정보는 파티클 시스템과 독립적으로 화면에 표시 되며 VRSMS 내부 가상 센서 값이 변하게 되면 동시에 갱신 된다.

3.4 센서 조작

VRSMS는 대기환경 정보의 시각화 기능 외에 사용자가 센서를 통해 현실 공간을 확인하거나 센서 자체를 조작할 수 있는 기능을 제공 한다. 이 때 사용되는 센서는 웹캠 등을 이용한 화상 센서를 포함하며 사용자가 가상현실 공간 속의 시각화 정보로 부족함을 느낄 때 현실 공간을 확인할 수 있기 때문에 유용하다. 건물 주위의 대기 오염도가 높을 때 현실 공간을 확인하며 원인을 찾는 것 등의 작업이 그 예이다.

이러한 작업을 수행하는 화상 센서는 기본적으로 대기 환경 센서와 동일하게 취급 되지만 출력 되는 데이터의 형태가 화상 정보라는 점이 다르다. 센서 데이터 저장소에서는 수집된 화상 정보를 각 프레임 별로 VRSMS에 전송하며 네트워크 전송량을 줄이기 위하여 JPEG2000방법을 사용하여



그림 9. 가상 센서를 이용하여 가상 환경 내에서 실제 공간을 확인함

압축된 형태로 전송한다.

VRSMS의 네트워크 관리 모듈은 가상 정보의 수신을 감지하여 가상 센서를 갱신한다. 이 때 사용되는 가상 센서는 대기 환경 데이터 대신 복수의 이미지로 이루어진 가상 정보를 기록하고 시각화 모듈은 이 가상 정보를 화면에 그려준다. 사용자가 가상 센서를 조작 하는 경우, 이 조작 정보는 가상 센서로 전달되며 최종적으로 네트워크 관리 모듈을 통해 실제 가상 센서로 전달된다.

그림 9는 이러한 접근 방법의 한 예이다. 흰색 육면체는 가상 센서를 나타내는 표식이며 이것을 통해 가상 센서에 비치되는 실제 공간을 확인할 수 있다. 또한 가상 센서를 조작하여 실제 가상 센서의 확대, 축소, 방향 전환 등의 기능을 이용할 수 있다.

3.5 대형 디스플레이 시스템

데이터와 기법의 분리로 인한 사용자 수요 적응형 시각화의 일환으로 대형 디스플레이 시스템을 구축했다. 이는 공공장소 등 다수의 대중이 모이는 곳에서 보다 쉽게 사용자가 대기 환경 정보를 취득할 수 있게 한다. 대형 디스플레이 시스템의 구조는 그림 11과 같다.

대형 단일 디스플레이 시스템의 경우 크기 증가에 따라 비용이 급격히 증가하기 때문에 복수의 디스플레이를 연결하여(tiled display) 대형 디스플레이 시스템을 구축했다. 이 때 한 대의 컴퓨터로 모든 디스플레이를 제어하는 것은 대형 디스플레이 시스템의 규모 증가에 따라 불가능 할 수 있기 때문에 중앙 제어용 마스터 머신 및 각 디스플레이 제어를 담당하는 디스플레이 컨트롤 머신(DCM)으로 역할을 분담하여 동작 한다(그림 10).

각 머신은 모두 동일한 VRSMS를 탑재하고 있지만 역할에 따라 구동 방식이 달라 진다. 마스터 머신은 센서 데이터

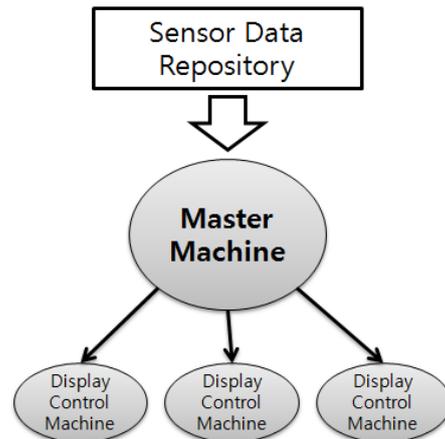


그림 10. 대형 디스플레이 시스템에서의 데이터 전달 구조

저장소와 직접 통신하여 시각화에 필요한 데이터를 수집한다. 수집된 데이터는 각 DCM으로 전송되고 DCM은 자신이 담당하는 대형 디스플레이 시스템 상의 위치를 고려하여 필요한 부분만을 화면에 출력한다. 모든 DCM이 이 과정을 수행하여 결과적으로 대형 디스플레이 시스템은 한 대의 디스플레이를 이용한 것과 동일한 화면을 출력한다.

마스터 머신과 DCM은 이더넷을 통해 연결되어 있고 신속한 제어 신호 전달을 위하여 UDP broadcast 를 채택 했다. UDP 프로토콜은 확실한 패킷 전달을 보장하지 않기 때문에 통신 에러를 방지하기 위해 마스터 머신에서 DCM으로 전달 되는 제어 신호는 항상 2회 전송 된다. 이로 인해 99%의 전달 정확도를 얻게 되어[7] 속도와 안정성 모두를 확보 하였다.

4. 구현

Airscope 실내 테스트베드에 설치된 대기환경 및 화학 센서를 이용하여 센서 관리 시스템을 구축하였다. 시각화 출력 장치로 2560 x 1600 해상도를 가지는 총 6대의 32인치 LCD 패널을 연결한 대형 디스플레이와 화면 출력 및 제어를 담당하는 4대의 렌더링 머신을 사용하였다. 상세 사양은 표1과 같다.

표 1. 시각화 시스템 렌더링 머신 사양

항목	사양
CPU	Intel Core2Duo E6750
RAM	2GB
VGA	Nvidia GeForce 8600GT

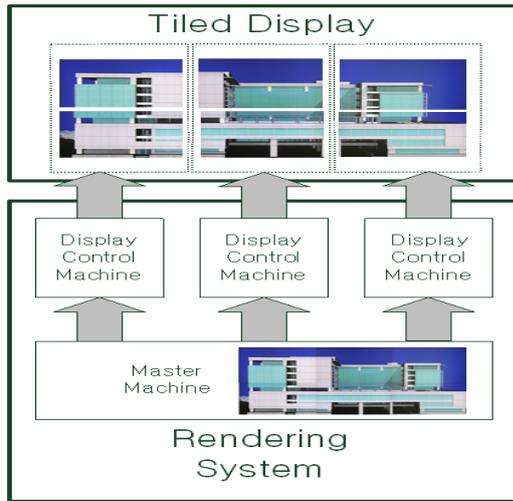


그림 11. 대형 디스플레이 구동을 위한 렌더링 시스템 구성



그림 12. LCD 패널 6대로 구성된 대형 디스플레이 시스템

대형 디스플레이 시스템을 구동하기 위한 렌더링 머신은 1대의 마스터 머신과 3대의 디스플레이 컨트롤 머신(DCM)으로 이루어져 있으며 OpenSceneGraph[6]를 이용하여 3D 화면을 출력한다. 한 대의 DCM은 그림 9와 같이 각 2대의 LCD패널을 담당하여 화면을 출력하고, 이 구성을 통해 총 7680 x 3200의 고해상도 화면을 출력할 수 있다. 이는 단일 디스플레이, 단일 시스템을 사용하여 구현할 경우 보다 시스템 자원을 적게 필요로 하며 이로 인해 비용 절감 효과를 얻을 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 USN 기반 미세규모 대기 환경 관리 시스템 Airscope의 시각화 시스템인 VRSMS를 제안하였다. VRSMS는 가상현실 기반의 탐색을 제공하며 사용자는 기존 대기 환경 정보 시스템에서 제공하지 못했던 가상현실 기반 방법에 의한 직관적인 대기 환경 정보를 취득할 수 있다. 또한 가상공간 속의 센서를 조작함으로써 실제 환경을 직접

확인 하거나 설치된 센서를 조작할 수 있는 기능을 제시하였다.

처리될 데이터와 그것의 표현 및 조작 기법을 분리하여 새로운 기법의 적용을 용이하게 하였고 특수한 출력 환경의 한 예로서 다중 LCD패널을 사용한 대형 디스플레이를 구축하였다. 이는 앞으로 Airscope시스템이 설치 될 주민 센터 등의 공공 장소에서 시민들이 쉽게 대기 환경 정보 서비스에 접근하는 데 도움을 줄 수 있다.

향후 과제는 현재 대형 디스플레이 시스템에서 필요한 wand-type 인터페이스, 테이블탑 인터페이스 등의 추가를 통한 다중 모드의 구현과 보다 상세한 정보를 요구하는 전문가를 위한 isosurface extraction 기법의 추가, 마지막으로 보다 높은 접근성을 위한 모바일 장치로의 이식 등이 있다.

참고문헌

- [1] AirKorea, <http://www.airkorea.org>
- [2] CitySense, <http://www.citysense.net>
- [3] Woo J, et al. Airscope: A Micro-Scale Urban Air Quality Management System, IEEE eScience, 2008.
- [4] A real-time sensor network visualization system using KVS - Kyoto Visualization System
- [5] Mcreeynolds, T. and Blythe, D. Advanced Graphics Programming Using OpenGL, Morgan Kaufmann, pp. 467-484, 2005.
- [6] OpenSceneGraph, <http://www.openscenegraph.org>
- [7] Sung, U., Sim, J. and Wohn, K. A heterogeneous multicast communication for network virtual reality system, Korea Simulation Conference, vol 7, No. 1, pp. 1-14, 1998.



김 한 수

2001년 3월 ~ 2008년 8월 건국 대학교 인터넷 미디어 학부 졸업(멀티미디어 공학사). 2008년 9월 ~ 2010년 8월 건국 대학교 대학원 졸업(컴퓨터공학 석사). 관심분야는 가상현실, 인간-컴퓨터 상호

작용임



김 형 석

1994년 KAIST 전산학과 졸업(공학사). 1996년 KAIST 전산학과 졸업(공학석사). 2003년 KAIST 전산학과 졸업(공학박사). 2003년 KAIST ATEC 연구소 Post Doc. 2003년~ 2006년 MIRALab, Geneva

University Senior Researcher. 2006년 3월 ~ 현재 건국 대학교 인터넷 미디어 공학부 교수. 관심분야는 가상현실, 인간-컴퓨터 상호작용임