

몰입형 가상현실 환경에서의 로터 동역학 데이터 가시화를 제어하는 가상현실 프레임워크

허영주, 김민아, 이종연
한국과학기술정보연구원

popea@kisti.re.kr, petimina@kisti.re.kr, jylee@kisti.re.kr

A Study on the Development of Virtual Reality Framework for Visualizing Rotor Dynamics Data on Immersive VR Environments

Youngju Hur, Minah Kim, Joongyoun Lee
Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

컴퓨터에서 생성된 시뮬레이션의 결과는 일련의 가시화(Visualization)라는 과정을 거치면서 컴퓨터 그래픽스 기술이 적용됨으로써 인간이 해석하기 쉬운 형태로 변형되게 된다. 연구자가 직관적으로 이해하기 어려운 수치의 나열로 구성돼 있던 시뮬레이션 데이터가 보다 쉽게 이해하고 분석할 수 있게 되는 것이다. 그런데, 최근에는 고성능 컴퓨터(HPC)의 발달로 인해 시뮬레이션 데이터의 크기가 점점 더 증가하는 추세에 있으며, 데이터의 크기가 기가바이트를 넘어 테라바이트에 이르는 경우도 흔해지고 있다. 기존의 가시화 시스템에서 복잡해진 가시화 데이터를 면밀하게 해석하기에는 많은 제약이 따르며, 그로 인해 고해상도 디스플레이 장치나 몰입형 가상현실 장치의 도입은 필연적일 수밖에 없다. 특히 현 시점에서 클러스터 시스템을 이용한 고해상도의 디스플레이 장치에서 사용자와 상호작용할 수 있는 인터페이스를 제공하는 방법은 가상현실 환경을 적절히 활용하는 것이 거의 유일하다 할 수 있겠다.

본 논문에서는 시뮬레이션 데이터, 특히 로터 동역학 분야의 시뮬레이션 데이터를 가상현실 환경에서 가시화하고 제어하는데 필요한 프레임워크와 인터페이스를 소개할 것이다. 이 프레임워크는 가상현실 환경에서 로터 동역학 분야의 시뮬레이션 데이터와의 실시간 상호작용을 통한 해석을 수행하는데 필요한 기반 환경을 제공할 것이다.

고성능 컴퓨터(HPC, High Performance Computer)의 급격한 성능 향상은 분자화학, 고에너지물리(High Energy Physics), 천체물리, 기계공학, 항공우주공학 등의 다양한 응용 분야에 많은 변화를 가져왔다. 이런 계산 기술의 빠른 발전은 기존에 해결하기 어려웠던 문제를 빠른시간에 해결하는 것을 가능케 함으로써 여러 응용 분야에서 보다 정밀하고 규모가 큰 시뮬레이션 실험을 가능케 했으며, 이로 인해 시뮬레이션의 결과로 만들어지는 데이터의 크기도 기하급수적으로 증가하고 있다.

이런 시뮬레이션 데이터에 컴퓨터 그래픽스 기술을 적용하여 해석을 용이하게 하는 과정이 바로 과학 데이터 가시화 과정(Scientific Visualization)이다. 그러나 가시화 기술의 발전 속도는 시뮬레이션 계산 기술의 빠른 발전 속도에 미치지 못하고 있으며, 이런 복잡한 데이터를 가시화하더라도 기존의 해상도가 낮은 모니터에서 2차원적으로 해석하고 이해하는 것은 매우 어려운 일이다. 이에 따라 데이터의 용량과 복잡도에 상응하는 수준이 가시화 기술과 고해상도 디스플레이 장치의 필요성이 대두되고 있으며, 한발 더 나아가 가상현실(VR, Virtual Reality) 기술을 적용함으로써 데이터를 3차원 가상현실 공간에서 보다 다각적으로 분석하는 기술이 요구되고 있다.

그러나, 이런 고해상도 디스플레이 장치를 이용해서

복잡한 시뮬레이션과 가시화 과정을 제어하기 위해서는 해당 응용분야에 대한 전문성뿐만 아니라 고성능 컴퓨터 및 고해상도 디스플레이 장치에 대한 전반적인 이해도와 지식이 요구된다. 이렇게 기기 자체에 대한 기반지식이 요구되는 이유는 일반적으로 고해상도 디스플레이 장치를 목적으로 개발된 사용자 친화적인 인터페이스가 거의 존재하지 않기 때문이며, 더구나 이런 고해상도 디스플레이 장치에서는 평면 모니터에서 수행하던 형태의 인터페이스보다는 한단계 더 발전된 형태의 인터페이스가 요구된다. 이런 사용자 요구에 부합하는 해결 방법으로 가상현실 기술이 적용되고 있다.([1,2])

본 논문에서는 몰입형 가상현실 환경에서 시뮬레이션 데이터를 가시화하고 제어하는 프레임워크인 GLOVE와 그의 통합 가시화 인터페이스인 GIVI(GLOVE Integrated Visualization Interface)에 대해 소개한다. GLOVE는 가상현실을 기반으로 하는 가시화 프레임워크로, 가상현실 기반 통합 환경 내에서 데이터를 정성적, 정량적으로 분석할 수 있게 해주며, 단일 모니터에서 단일형 디스플레이 장치, 혹은 CAVE같은 가상현실 환경에 이르기까지 다양한 형태의 가시화 장비를 지원한다. 또, 기본 프레임 위에 각 응용분야에 특화시킨 인터페이스를 제공함으로써 다양한 응용분야로의 확장이 가능하다.

본 연구에서는 특히 로터 동역학 분야의 시뮬레이션 데이터 해석을 위한 가시화 프레임워크와 인터페이스를

소개한다. 이 프레임워크는 고해상도 디스플레이 장치를 이용한 가상현실 환경에서 데이터를 실시간으로 상호작용을 통해 분석하는 데 필요한 기반환경을 제공한다.

2. 관련 연구

시물레이션의 결과를 가시화하는 방법은 매우 다양하며, 다양한 응용 분야의 데이터를 지원하기 위해 여러 방향으로 발전해 왔다.

과학 데이터를 가시화하는 방법 중 가장 손쉽고 간편한 방식은 데이터 가시화를 지원하는 응용 프로그램을 사용하는 것으로, 대표적으로 ParaView([3])나 COVISE([4])같은 것을 들 수 있다. ParaView의 경우에는 범용성과 병렬처리 능력을 가장 큰 특성으로 들 수 있다. 하지만 데이터에 대한 정량적인 분석이 불가능하며 가상현실 환경을 지원하지 않기 때문에 구조가 복잡한 데이터의 경우에는 분석에 어려움이 따른다는 단점이 있다. COVISE는 현존하는 가시화 관련 애플리케이션 중 가장 우수한 프로그램 중 하나로 꼽히고 있으며 병렬처리, 가상현실뿐만 아니라 협업 환경까지 지원한다. 그러나 다양한 응용들을 수용할 목적으로 설계됐기 때문에 일반적으로 특정 응용 연구자들이 직관적으로 사용하기에는 어려움이 따른다.

또 다른 방법은 가시화 알고리즘을 지원하는 소프트웨어를 이용해서 다양한 형태의 데이터를 가시화하는 프로그램을 응용 용도에 맞춤형으로 만드는 것이다. VTK는 과학 데이터 가시화에 많이 사용되는 공개 소프트웨어 라이브러리로, 다양한 자료구조와 복잡다단한 가시화 관련 알고리즘을 지원할 뿐만 아니라 실제적으로 CFD, 의료, 화학, 구조 역학 등 다양한 분야의 데이터를 가시화하는데 널리 사용되고 있다. 그러나 VTK는 고해상도 디스플레이 장치나 가상현실 환경은 지원하지 않는다. 만약 VTK가 이런 환경을 지원할 수 있다면 VTK의 다양한 알고리즘을 이용해서 복잡한 대용량 데이터를 고해상도 디스플레이 장치에서 가시화하면서, 응용 분야에 적합한 사용자 인터페이스를 제공하는 것이 가능할 것이다.

가시화 결과를 다양한 기기로 출력할 수 있게 해주는 미들웨어로는 VRJuggler[5,6]나 CaveLib[7] 같은 것을 들 수 있다. CFD 분야를 지원하는 ViSTA FlowLib[8]이나 지구과학 분야를 지원하는 ADVISER[9]는 모두 이런 유형의 미들웨어를 이용, 가상현실을 지원하도록 한 가시화 소프트웨어의 한 예다.

GLOVE에서는 개발상의 자유도가 높으며 다양한 형태의 기기를 지원하는 VRJuggler를 가상현실 지원을 위한 미들웨어로 선택했으며, vjVTK[10, 11]를 이용해서 VTK와 VRJuggler를 접목시켰다. 이런 방식을 통해 VTK의 다양한 알고리즘을 이용해서 복잡한 대용량 데이터를 고해상도 디스플레이에서 가시화하면서 적절한 사용자 인터페이스를 제공하는 것이 가능해졌다.

3. GLOVE (GLOBAL Virtual Environment for research)

GLOVE는 크게 GIVI(GLOVE Integrated Visualization Interface)와 GLORE(GLOVE Rendering Engine)의 두 부분으로 나눌 수 있다. GIVI는 사용자 인터페이스를 총괄하는 부분으로 가상현실 입/출력 장치를 총괄하며, 사용자

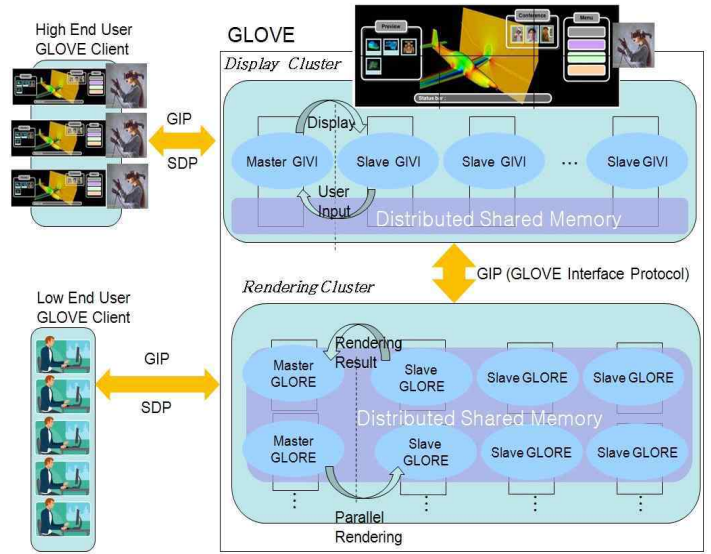


그림 1 GLOVE의 구조

로부터 입력을 받아서 GLORE에 전달함으로써 GLORE가 사용자가 원하는 형태로 렌더링 결과를 생성하도록 할뿐만 아니라 GLORE의 실행결과를 전달받아서 화면에 출력하는 역할을 담당한다. GLORE는 대용량 데이터를 가공하고 렌더링하는 시스템으로, GIVI의 요청을 받아서 데이터 매니저로부터 가져온 데이터를 가공, 렌더링 결과를 GIVI로 전송한다.

(그림 1)에서 볼 수 있듯이 GLOVE는 인터페이스 부분과 렌더링을 수행하는 부분이 분리되어 구성돼 있기 때문에, GLORE와 GIVI를 물리적으로 분리해서 서로 다른 시스템에서 독립적으로 실행하는 것도 가능하다. 즉, GIVI만 실행되는 시스템에서 사용자가 원격지의 고성능 컴퓨터에서 GLORE를 실행시켜서 대용량 데이터를 렌더링하고 원하는 결과를 추출하는 것이 가능하다는 것이다. 이 때, GLORE와 GIVI간의 데이터 통신은 GIP(GLOVE Interface Protocol)이라는 프로토콜을 통해 수행한다.

GIVI가 이렇게 단순한 형태의 출력 장치뿐만 아니라 타일형 디스플레이나 IS-900같은 가상현실 장비까지 지원하는 것은, 앞서 언급했듯이 GLOVE가 VRJuggler를 출력을 위한 미들웨어로 이용하기 때문이다. GLOVE는 다양한 형태의 기기를 지원하기 때문에 간단한 데이터의 가시화에서부터 해석이 어려울 정도로 복잡하고 용량이 큰 데이터의 가시화에 이르기까지, 다양한 범위의 사용자를 지원할 수 있다.

로터 동역학 분야의 데이터는 크게 블레이드 데이터와 필드 데이터로 나눌 수 있으며, 현재 GLOVE에서는 블레이드 데이터에 대해서 Pressure distribution, Pitch angle variation, Sectional force, Sectional moment같은 정보를, 필드 데이터에 대해서 Vorticity iso-surface, Q-Criteria, Velocity streamline, Velocity iso-surface와 같은 정보를 가시화할 수 있다.

4. GIVI (GLOVE Integrated Visualization Interface)

GIVI의 기능은 크게 3가지로 나뉘볼 수 있다.

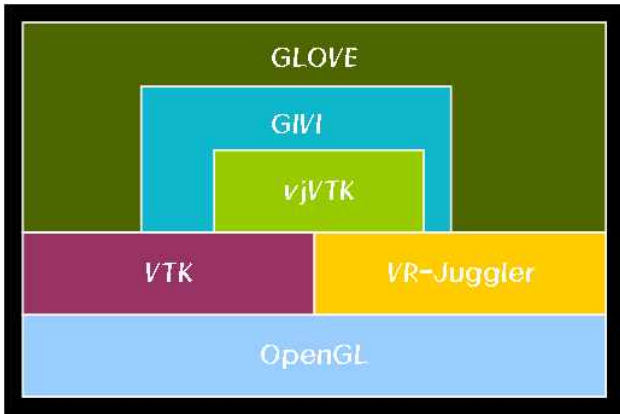


그림 2 GIVI 프레임워크

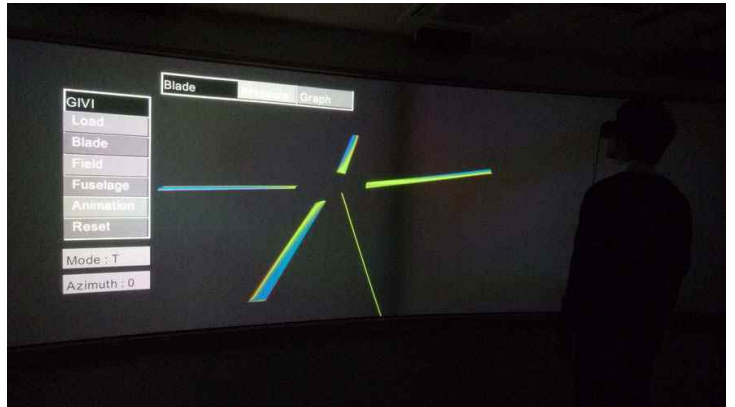


그림 3 GLOVE 실행환경 (블레이드 데이터)

우선 가장 중요한 기능은 GLOVE의 렌더링 엔진인 GLORE에 데이터를 요청하고, GLORE에서 가공되고 렌더링된 데이터를 전송받아서 출력하는 기능이다. 이는 GIVI의 핵심 기능이라 할 수 있겠다.

2번째 기능은 개발자가 응용 분야에 맞는 인터페이스를 손쉽게 개발하는데 필요한 기반 환경을 제공하는 것이다. 따라서 GIVI 인터페이스의 변경만으로 GLOVE가 다양한 응용 분야를 지원할 수 있게 된다. 특히 특정 분야에 특화된 인터페이스를 구성함으로써 GLOVE 환경에 대한 사용자 편의성을 높이는 것은 중요하다. 이를 위해 GIVI는 사용자가 변경할 수 있는 정보를 배치해서 보여주는 GUI, 즉 위젯(widget)을 제공한다.

마지막으로 GIVI는 VRJuggler에서 받아들이는 트래킹 및 이벤트 정보를 GLORE로 전달함으로써 가상현실 환경에서 사용자가 상호작용을 통해 가시화, 혹은 시뮬레이션 과정을 제어할 수 있게 하면서 이와 관련된 콜백(Callback) 메커니즘을 제공하는 기능을 수행한다. 즉, GIVI 인터페이스 환경을 통해 GLOVE의 전체 동작을 제어하는 것이 가능하며, 각 이벤트에 대한 기능을 구현하는 것도 가능하다.

그림 2에서는 GIVI의 소프트웨어 프레임워크를 볼 수 있다. 앞서 언급했듯이 GIVI는 가상현실 환경을 지원하는 미들웨어로 개발상 자유도가 높은 VRJuggler를 선택해서 다양한 형태의 디바이스를 지원케 했다. 다양한 가시화 알고리즘을 제공하는 VTK와의 연동을 위해서는 vjVTK를 사용했다. vjVTK는 주로 렌더링과 관련된 부분에 관계되어 있으며, VTK의 렌더러 관련 기능을 VRJuggler의 가상현실 환경으로 돌려서 출력하는 기능을 수행하는 미들웨어이다.

GIVI는 VRJuggler 애플리케이션의 동작 매커니즘에 따라 마스터 프로세스와, 마스터와 동일하게 동작하는 슬레이브 프로세스로 구성된다(그림 1 참조). 여러대의 컴퓨터와 디스플레이로 구성된 대형 가시화시스템에서 동작할 경우에는 서로 다른 GIVI 슬레이브 프로세스가 각 디스플레이의 렌더링을 담당한다.

GIVI 인터페이스를 사용해서 구성한 GLOVE 실행 환경은 그림 3, 4에서 볼 수 있다. 그림 3과 그림 4는 GLOVE에서 로터 데이터를 가시화한 사례로 왼편과 상단 메뉴를 이용해서 블레이드 데이터를 가시화할지, 혹은 필드 데이터를 가시화할지를 선택할 수 있다. 그림 3은 블레이드 데이

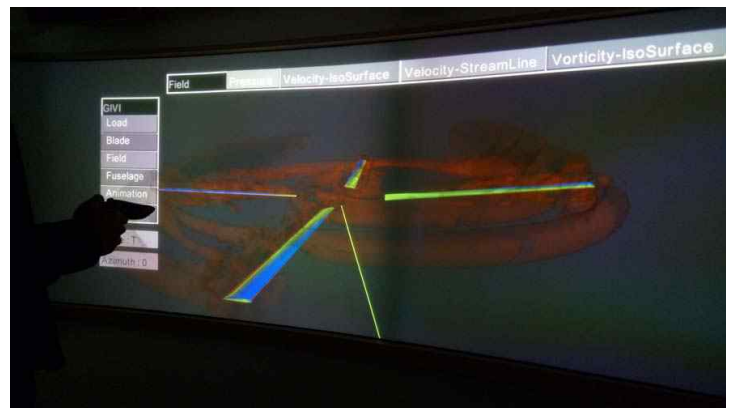


그림 4 GLOVE 실행환경 (필드 데이터)



그림 5 GLOVE 실행환경 (그래프 등)

터를 가시화한 것으로, 블레이드 데이터에서는 그래프를 생성하는 것이 가능하다. 그림 4는 필드 데이터를 가시화한 것으로, 필드 데이터에서는 각종 파라미터를 조절해서 가시화 수위를 조절할 수 있다. 또, 사용자는 각종 가상현실 디바이스를 이용해서 오브젝트에 대해 transformation, rotation, zoom 등의 동작을 수행함으로써 원하는 위치와 각도에서 오브젝트를 해석할 수 있다.

그림 5에서는 GLOVE 환경에서 로터 블레이드 가시화와 함께 그래프 출력을 수행하는 인터페이스를 볼 수 있다. GIVI에서는 이런 인터페이스 외에도 직접 3차원 오브젝트 위에 동작해서 오브젝트의 값을 바로 해석하는 데 필요한 슬라이스 평면, 포인트 등 다양한 형태의 인터페이스를 제

공하며, 사용자의 데이터에 대한 인지도를 높여주는 인터페이스도 제공한다.

5. 결론

GLOVE는 가상현실 환경 내에서 복잡한 대용량 데이터를 실시간으로 가시화하고 해석하는 데 필요한 통합 환경을 제공한다. 이와 유사한 목적으로 개발된 여러 가시화 도구들이 범용으로 사용자 환경을 제공하는 것과는 달리, 응용 분야에 따라 맞춤형 사용자 환경을 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 GLOVE는 다양한 데이터 처리가 가능하도록 계층적 데이터 관리 구조를 가지며, 대용량 데이터를 효율적으로 처리하는 구조를 가진다. 또, 고해상도의 타일형 디스플레이와 가상현실 환경을 제공함으로써 응용 데이터의 해석을 용이하게 할 수 있게 한다.

본 논문에서는 이를 위해 로터 동역학 분야를 첫 타겟으로 잡아 프레임워크를 설계하고 구현한 사례를 소개했다. 현재 GLOVE는 블레이드와 필드 데이터를 가시화하고 해석할 수 있는 기본적인 인터페이스를 제공하고 있다. 향후에는 고성능 컴퓨팅 환경에서 데이터를 렌더링해서 고해상도 이미지를 생성하고 가상현실 환경을 기반으로 하는 통합 인터페이스 환경을 통해 사용자가 가시화 과정, 더 나아가서는 슈퍼컴퓨터를 기반으로 하는 시뮬레이션 과정을 실시간으로 직접 제어할 수 있는 비주얼 슈퍼컴퓨팅(visual supercomputing) 환경을 위한 프레임워크를 구축해나갈 계획이다.

참고문헌

- [1] S.Byron, "Virtual Reality in Scientific Visualization", Communications of the ACM, 39(5):62-71, 1996.
- [2] A.van Dam, A.S.Forsberg, D.H.Laidlaw, J.J.Laviola, R.M.Simpson, "Immersive VR for Scientific Visualization: A Progress Report", IEEE Computer Graphics and Applications, 2000.
- [3] ParaView, <http://paraview.org/New/index.html>
- [4] COVISE, <http://www.hlrs.de/organization/av/vis/covise>
- [5] A.Bierbaum, C.Just, P.Hartling, K.Meinert, A.Baker, C.Cruz-Neira, "VRJuggler: A Virtual Platform for Virtual Reality Application Development", Proceedings of IEEE Virtual Reality, 2001.
- [6] VRJuggler, <http://www.vrjuggler.org>
- [7] CaveLib, <http://www.mechdyne.com/integrated/Solutions/software/products/CAVELib/CAVELib.html>
- [8] M.Schirki, A.Germdt, T.van Reimersdahl, T.Kuhlen, P.Adornait, O.Lang, S.Pischinger, C.Bischof, "Vista FlowLib - A Framework for Interactive Visualization and Exploration of Unsteady Flows in

Virtual Environments", Eurographics Workshop on Virtual Environments, 2003.

[9] Andrew Forsberg, Prabhat, Graff Haley, Andrew Bragdon, Joseph Levy, Caleb I.Fassett, David Shean, James W.Head III, Sarah Milkovich, Mark Duchaineau, "Adviser: Immersive Field Work for Planetary Geoscientists", IEEE Computer Graphics and Applications, July 2006.

[10] K.J.Blom, "vjVTK: A toolkit for interactive visualization in virtual reality", Eurographics Symposium on Virtual Environment, 2006.

[11] vjVTK, <http://imve.informatik.uni-hamburg.de/blom/vjVTK.html>