

수중운동체 시뮬레이션의 인터넷 기반 X3D 가시화

허필원*, 한순홍*

pilwon79@icad.kaist.ac.kr

shhan@kaist.ac.kr

Internet-Based Visualization of Underwater Vehicle Simulation using X3D

Pilwon Hur, Soonhung Han

Abstract

최근 들어 웹상에서 모델링 및 시뮬레이션을 수행하고자 하는 노력들이 있다. 그에 따라 웹상에서 결과를 가시화해 줄 가시화 툴이 필요하다. 기존의 모델링 및 시뮬레이션의 결과를 가시화하는 방법으로 VRML, Vega, SEDRIS 등이 많이 사용되었다. 하지만, 이러한 가시화 툴들은 웹상에서의 실시간 시뮬레이션 가시화에 적절하지 못한 점들이 있다. 본 논문에서는 웹상에서의 모델링 및 시뮬레이션의 가시화의 방법으로 Web3D 컨소시엄에서 제정한 국제표준 파일 포맷인 X3D를 제시하고, 이에 대한 타당성을 검증하고자 한다. 구현 환경으로 다채널 가상환경 공간에서 분산 시뮬레이션의 표준인 HLA/RTI를 사용하고자 한다.

Key Words: X3D, Internet, Web, Underwater Vehicle, Simulation

♣ 본 연구는 수중운동체 특화연구센터 SM-11 수중운동체의 체계/부체계 기능 및 성능 시뮬레이션을 위한 네트워크 기반의 가상 복합운동체 모델구조 연구과제의 일부로 수행 되었음.

* 한국과학기술원 대학원 기계공학과

1. 서론

1.1 연구배경

최근 선진국에서는 잠수함 등과 같은 수중 운동체 개발에 소요되는 기간, 예산 및 개발 위험성 등을 감소시키기 위해 M&S 기법을 적용하고 있다.

미국 국방부에서는 군사들의 훈련을 위해서 실제 야전에서 훈련을 하기 보다는 시뮬레이션을 이용해서 훈련을 함으로서 시간과 비용을 절약하고 있다. 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 좁은 공간에서 몇 대의 컴퓨터를 사용하는 것이 아니라 멀리 떨어진 곳의 사람들을 포함하여 수십 명에서 많게는 수백 명의 사람들이 시뮬레이션에 참여한다. 이를 위해서 분산 시뮬레이션의 여러 가지 프로토콜들을 제정하였는데, 그 중에 최근에는 HLA가 사용되고 있다.

하지만 이러한 시뮬레이션 시스템은 고가의 장비와 장소의 제약으로 인해 실질적으로 전장에서의 전술 운용에 활발하게 사용되지 못하고 있는 실정이다[31].

이러한 문제들을 해결하고자 최근에는 웹 기술을 분산 시뮬레이션에 사용하고자 하는 프로젝트들이 생겨나고 있다. 그 대표적인 작업그룹으로 XMSF(eXtensible Modeling and Simulation Framework)[29]가 있다. 웹 기술은 개발환경이나 시스템에 독립적이고 공통적으로 운용 가능한 프레임워크로서의 역할을 할 수 있기 때문에 잠수함의 군사 훈련이나 M&S에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

XMSF 등과 같은 작업그룹이나 앞으로의 흐름을 볼 때, 향후의 M&S는 웹 기술을 활용할 것이다. 여기서 발생하는 문제점 중 하

나는 가시화의 방법이다. 기존의 M&S 가시화 방법으로는 웹 기반 M&S 의 결과를 가시화 하기 어려운 점이 많다.

1.2 연구 내용

본 논문에서는 웹 기반 M&S 가시화에 대한 적절한 방법을 검토하고 제시하며, 이에 대한 검증을 하고자 한다. 여러 가지 가시화 툴들과 포맷 중에서 X3D를 제시하였으며, X3D 을 웹 기반의 분산 시뮬레이션 환경에 적용하여 웹 기반 M&S 의 가시화 방법으로서의 타당성을 검증하고자 한다.

1.3 논문의 구성

2장에서는 컴퓨터 그래픽스의 간단한 분류 및 가시화 도구 및 포맷에 대해서 설명하고, 3장에서는 본 연구에서 제시한 X3D에 대한 설명을 한다. 4장에서는 분산 시뮬레이션 프로토콜인 HLA/RTI를 설명하며, 5장에서는 구현환경에 대해서 언급한 뒤 6장에서 결론 및 향후 연구 계획에 대해서 언급하고자 한다.

2. 관련연구

2.1 가시화의 방법

가시화의 방법에는 여러 가지가 있다. Flash, SVG 와 같은 2D 그래픽 도구, 그리고 Vega, Java3D 등과 같은 3D 그래픽 도구들도 있다. 또한 VRML이나 X3D 등과 같은 3D 파일 포맷도 있다. 이번 장에서는 이러한 그래픽 도구 및 포맷을 간단히 분류(그

림1.)해 보고, 이 도구들을 사용한 관련 연구를 분석한 뒤 웹 기반 M&S 에 적절한 가시화 방법을 제시하고자 한다.

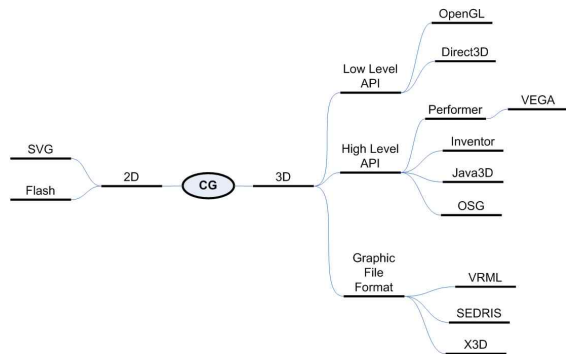


그림1. 컴퓨터 그래픽스 분류

2.1.1 저수준 그래픽 라이브러리

저수준 그래픽 라이브러리는 디바이스 드라이버 인터페이스(DDI)를 거쳐 그래픽 하드웨어에 직접 접근한다(그림2.). 주로 3D 이미지를 렌더링하기 위해 사용되며, OpenGL 과 Direct3D 가 여기에 해당한다. OpenGL은 sgi 의 IRIS GL의 후속으로 나온 그래픽 라이브러리로, 개방되어 있으며, 플랫폼과 운영체제에 독립적이다. Direct3D는 마이크로소프트사에서 발표한 그래픽 라이브러리이며, 마이크로소프트사의 윈도우 운영체제에서만 돌아가도록 설계되었기 때문에 윈도우 환경에 최적화 되어 있다. Direct3D는 OpenGL보다 고속의 렌더링이 가능하지만 렌더링 품질에서는 OpenGL이 더 앞선다[5].

2.1.2 고수준 그래픽 라이브러리

고수준 그래픽 라이브러리는 앞에서 언급한 저수준 그래픽 라이브러리의 상위에 존재한다(그림3). 이렇게 하면 프로그램의 이식성이 좋아지고 복잡한 저수준의 그래픽 함수 호출

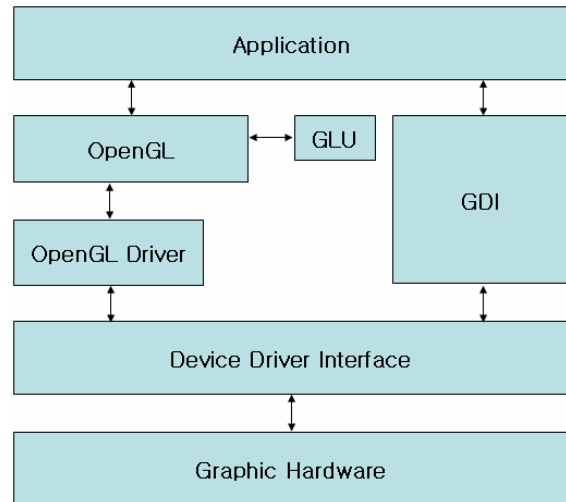


그림2. OpenGL의 계층구조[7]

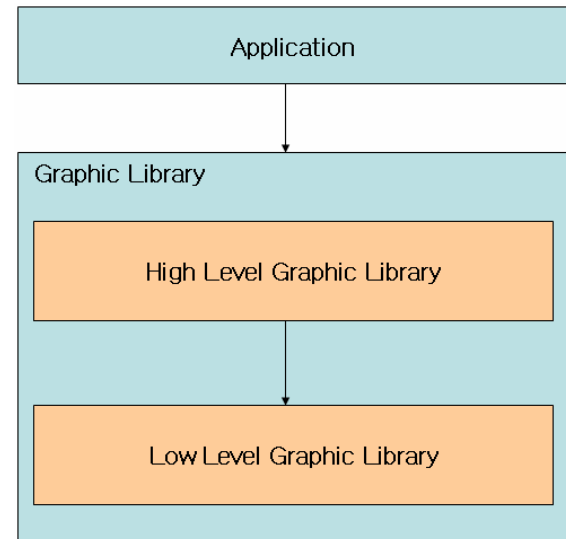


그림3. 고수준 그래픽 라이브러리 계층구조[10]

에 대한 구현이나 최적화가 필요 없어서 빠른 시간에 응용프로그램을 만들 수 있다. 여기에 해당하는 것들로써 Performer, Open Inventor, Vega, Java3D, Open Scene Graph 등이 있다. 이들에 대해서 각각 살펴 보기 전에 장면그래프(Scene Graph)에 대해서 먼저 알아보자.

장면그래프는 컴퓨터 그래픽스에서 장면을 구성하기 위해 사용되는 일종의 데이터 구조이다. 보통 장면(Scene)은 노드들로 구성되어 있고, 각각의 노드는 다시 여러 개의 노드들로 구성이 된다. 이러한 노드들이 계층구조를 이루게 되며 이를 장면그래프라고 말한다. 장면그래프를 사용하면 3D 환경을 추상화 하여 간단하게 나타낼 수 있고, 유연성이 있어서 조작하기가 편리하다.

Performer는 OpenGL을 기반으로 하는 sgi의 상업용 장면그래프로서, C와 C++를 사용한 3D 그래픽스 렌더링 툴킷이다. 초창기의 Performer는 sgi의 그래픽 전용 UNIX 시스템인 IRIX에 최적화되어 있어서 멀티 프로세서를 사용할 수 있다. 최근에는 IRIX뿐 아니라 Linux나 Windows를 지원하는 버전들도 나오고 있다. 하지만, Performer의 기능을 최대한 사용하기 위해서는 IRIX 시스템과 전용 서버인 Onyx를 사용해야 하는데, 이들은 상당히 고가의 시스템이다[12].

Open Inventor는 Performer와 마찬가지로 OpenGL을 기반으로 하는 sgi의 상업용 3D 개발 툴이다. 하지만, 손으로 직접 하드코딩 해야 하는 Performer와는 달리 제공되는 GUI를 사용하여 쉽게 장면그래프를 생성할 수 있고, 애니메이션도 수행할 수 있다[10]. 하지만 역시 고가이며 플랫폼이 종속적이다.

Vega는 앞에서 설명한 Performer를 한 단계 더 추상화하여 만들어진 상업용 실시간 시뮬레이션 가시화 개발 툴킷이다. Performer를 한 단계 더 추상화하였기 때문에 Performer에서 제공하는 Scene Graph를 모두 사용할 수 있고, 동시에 Lynx라는 GUI를 통해서 아주 빠른 시간에 가시화 프로그램을

만들 수 있도록 한다. Vega는 뒤에서 언급할 Java3D와 비교할 경우 성능 면에서 아주 우수하지만 플랫폼에 종속적이고 고가이며 웹상의 가시화가 어려운 점이 있다[4].

Java3D는 Java를 개발한 썬 마이크로시스템즈사에서 발표한 3D 개발 툴킷이며 OpenGL 또는 Direct3D를 기반으로 하는 고수준 그래픽 라이브러리이다. 이식성이 아주 뛰어나며 네트워크 컴퓨팅과 인터넷의 언어로 자리 잡고 있는 Java라는 언어의 특징을 그대로 가지고 있기 때문에 Java3D는 앞에서 말한 Performer, Open Inventor, Vega 등과는 달리 플랫폼에 독립적이고 무료이며 웹에서 가시화가 가능하다는 점에서 상당한 이점을 가진다[3].

하지만 몇가지 단점이 존재한다. 예를 들어 Java의 Garbage Collection 기능이 Java3D가 시뮬레이션을 수행하는 동안에 작동할 경우 장면이 멈춰버리는 현상이 발생하게 되므로 장면사실성이 떨어지게 된다[3]. 또한 Java3D는 Java2 SDK가 필수적으로 필요한데, 마이크로소프트사의 인터넷 익스플로러에 내장되어 있는 JVM은 Java2를 지원하지 않는다. 그러므로 고용량의 Java2 SDK를 설치해야 할 뿐 아니라 ClassPath 등과 같은 여러 가지 설정도 직접 해줘야 하는 어려움이 있다[3].

OSG(Open Scene Graph)[30]는 IRIX에서만 돌아가던 Performer 장면그래프에 기반한 행글라이더 시뮬레이터를 Linux로 이식하면서 개발되었다. 그러므로 OSG는 Performer와 사용되는 함수가 거의 비슷하다. 하지만, Performer와 다른 점은 C와 C++를 함께 사용하는 Performer에 비해 OSG는 C++만 사용하므로 Performer보다

더 완전한 객체지향적 틀이며, C++와 OpenGL이 실행되는 곳에서는 어느 곳에서도 실행가능하므로 플랫폼에 독립적이라고 말할 수 있다[11].

2.1.3 그래픽 파일 포맷

지금까지 이야기한 그래픽 라이브러리들은 모두 응용프로그램 개발 관점에서 보았을 때의 틀들이다. 하지만, VRML, X3D, SEDRIS 등은 그래픽 라이브러리가 아니라 일종의 파일 포맷이다. 즉, 관심 대상에 대한 정보만 가지고 있고, 렌더링은 제공되는 뷰어를 통해서 해야한다. 그러므로 개발자는 오로지 대상에 대한 내용에만 신경을 쓰면 된다.

VRML은 인터넷 상에서 3D 가시화를 가능하도록 하는 국제표준이다. VRML1.0, VRML2.0 그리고 VRML97로 바뀌면서 여러 가지 노드들이 추가가 되고 프로그래밍 언어와 연동이 되어 장면그래프를 동적으로 바꿀 수 있게 되어서 실시간 시뮬레이션이 가능하다. 하지만 각각의 노드들을 따로 관리하기 어렵다. 즉, 개발자가 사용하지 않는 불필요한 기능들 까지도 한꺼번에 다 가지고 있어서 VRML 뷰어는 쓸데없이 무거운 경향이 있다. 그리고 상호 운용성과 확장성에 있어서도 부족한 점이 많다[1]. 또한 의미 정보를 체계적으로 구조화하기 어려운 점이 있다[13].

X3D는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Web3D 컨소시엄에서 제안한 VRML 확장 버전이다. X3D는 XML 기술을 사용하여 VRML을 표현하였다. 그렇기 때문에 VRML97과 호환이 가능하고, XML을 기반으로 하기 때문에 의미 정보의 체계적 구조화가 가능하며 확장성이 좋아졌다[13].

SEDRIS는 환경 데이터를 의미와 관계를

잃어버리지 않고 명확하게 표현하여 저장하며, 서로 다른 데이터 포맷 간의 교환 수단으로 사용된다. SEDRIS는 일종의 정적인 데이터를 저장하는 데이터베이스라고 할 수 있다. SEDRIS가 저장하는 데이터를 가시화하기 위해서는 가시화 틀이 필요한데[28], 기능이 많이 부족하고 더 이상 개발이 진행되지 않아 확장이 불가능하기 때문에 사용하기 어렵다. 그러므로 OpenFlight, VRML, Maya 등의 포맷으로 변환을 해야 하는데, 이럴 경우 실시간 가시화가 어렵게 되고 변환 과정에서 각종 정보들이 손실된다[13].

2.1.4 기타

특정 도메인에서 시뮬레이션 및 가시화를 하는 툴도 있다. 김용식[9]은 자신의 논문에서 가상 공장 시뮬레이션을 수행하기 위해서 앞에서 언급한 방법들이 아닌, 특정 분야에 특화되어 있는 소프트웨어를 사용하였다. 이렇게 하면 형상정보는 물론, 의미 정보나 기구학적인 정보도 모두 저장할 수 있다. 하지만, 이러한 소프트웨어의 가격이 고가이고, 적용 분야가 달라지면 기존의 소프트웨어를 사용하기 어렵다는 단점이 있다.

2.1.5 가시화 방법 제시

앞에서 제시한 가시화의 방법들은 모두 일장일단이 있다. 어느 하나의 소프트웨어가 절대적으로 좋다고 말할 수 없다. 본 연구에서는 인터넷 상에서의 시뮬레이션 결과를 가시화 하고자 한다. 인터넷이라는 말은 그 자체로 개방된 환경이기 때문에 플랫폼에 독립적이어야 하며 누구라도 쉽게 저작하고 개발할 수 있는 환경이 되어야 한다.

앞에서 컴퓨터 그래픽스를 세 가지로 분류

	Direct3D	OpenGL	Vega	OSG	Java3D	SEDRIS	VRML	X3D
구분	저수준 그래픽 라이브러리		고수준 그래픽 라이브러리			그래픽 파일 포맷		
목적	3D 렌더링		저수준 그래픽 라이브러리의 추상화			DB	Web상의 3D 가시화	
플랫폼독립성	X	△	X	△	O	O	O	O
개발용이성	hard	hard	medium	medium	medium	medium	easy	easy
충돌검사	구현필요	구현필요	지원	구현필요	구현필요	N/A	지원	지원
향후발전가능성	O	O	O	O	O	△	X	O
기능확장유연성	O	O	O	O	O	O	X	△
Web	구현가능	구현가능	X	X	O	X	O	O

플랫폼독립성 : X - 종속적, △ - 플랫폼에 따라서 다시 컴파일 해줘야 함. O - 완전 독립적

표1. 가시화 방법들의 비교표

하였다. 저수준 그래픽 라이브러리 일수록 세부적인 표현이 가능하고 성능도 뛰어나지만 개발하기가 어려운 점이 있다. 고수준 그래픽 라이브러리의 경우 저수준 그래픽 라이브러리보다 그래픽의 질이나 속도 면에서 떨어지는 면이 있지만 개발의 측면에 있어서 조금 더 쉽게 접근할 수 있다. 하지만 이 역시 코딩을 필요로 하고 있다. 파일 포맷으로 언급했던 VRML와 X3D의 경우 프로그램 개발은 신경 쓸 필요 없이 콘텐츠의 개발에만 집중할 수 있으므로 개발의 측면에서 볼 때 아주 편리하고 시간이 단축이 된다.

웹상의 가시화 측면에서 볼 때에는 Java3D나 X3D가 적절한 선택이라고 할 수 있다.

그러므로 표1에서 보는 바와 같이 개발의 용이성, 웹상의 가시화, 개방성 등을 고려할 때 X3D가 적절한 선택이다.

3. X3D

3.1 X3D의 정의 및 특징

Web3D 컨소시엄[15]은 최초의 웹 기반 3D 그래픽스의 국제 표준인 VRML의 후속 버전으로 X3D를 제안하였다. X3D는 상호작용적인 웹 기반의 3D 콘텐츠를 정의한다. X3D는 많은 하드웨어 장치와 응용 프로그램에서 돌아가며, 통합된 3D 그래픽스와 멀티미디어를 위한 공통적인 교환 포맷을 제공한다.

XML 인코딩 방식은 X3D에 많은 장점을 가져다 준다. XML 인코딩은 선언적인 요소와 절차적인 요소를 가지는데, 선언적인 요소를 사용함으로써 2D, 3D 그래픽스, 애니메이션, 공간화된 음향, 비디오 등을 포함하는 계층 구조의 장면그래프를 사용할 수 있도록 해준다. 절차적 요소로는 스크립팅 언어를 사용하여 장면그래프를 동적으로 변화시킬 수 있도록 해준다[12].

모듈화된 구조는 X3D가 컴포넌트화 되도록 하였다. 즉, 비슷한 기능을 가지는 노드들은 같은 컴포넌트로 묶어서 정의하여 필요한 기능들이 발생할 때 추가로 확장할 수 있게 되었다. 또한 프로파일을 사용하는 것이 큰 특

징 중에 하나인데, 개발자는 자신에게 맞는 프로파일을 선택하여 콘텐츠를 개발할 수 있게 됨으로써 X3D를 VRML보다 더 가볍게 만든다.

3.2 X3D 활용분야

다음은 Web3D 컨소시엄에서 말하고 있는 X3D의 활용분야이다[15].

- 공학 및 과학적 가시화
- CAD
- 건축
- 의료 가시화
- 훈련 및 시물레이션
- 엔터테인먼트
- 멀티미디어
- 교육



그림4. X3D의 활용분야[16]

4. HLA/RTI

4.1 HLA 개요

HLA(High Level Architecture)는 분산 환경에서 어떻게 시물레이션을 위한 연동 및 통신을 할 것인지에 대한 방법을 제공하는 시물레이션 표준이다. HLA는 기본적으로 분산 시물레이션 간의 상호 운용성 및 재사용성을

용이하게 한다. 또한 RTI 라는 소프트웨어를 사용하여 각 분산 시물레이터들 간의 인터페이스를 구현하며, 네트워크 함수를 제공한다.

4.2 HLA 용어정리 및 구성요소[22]

4.2.1 용어

- Federate - 분산 시물레이션을 구성하는 각각의 시물레이션
- Federation - 여러 개의 시물레이션으로 구성된 분산 시물레이션 전체
- FOM - Federation에 속한 Federate들 간에 공유해야 하는 자료의 집합 (Federation Object Model)

4.2.2 구성요소

HLA는 세가지 구성요소를 가진다.

- OMT - OMT 는 FOM이 갖추어야 할 자료구조의 형식과 틀을 정의한다. 다시 말해서 OMT는 여러 가지 형태의 테이블을 정의하고 있으며, FOM은 이 테이블을 기준으로 작성된다 (Object Model Template)
- RTI - HLA 기반의 분산 시물레이션을 동작시키기 위하여 필요한 미들웨어 (Run Time Infrastructure)
- Rules - HLA 기반의 분산 시물레이션이 수행되기 위해서 반드시 만족시켜야 하는 기본적인 10가지 규칙들을 가리킨다. 5개는 Federation에 관한 규칙이며 나머지 5개는 각각의 Federate이 지켜야 할 규칙이다.

그림5는 HLA의 구성요소를 그림으로 나타낸 것이다.

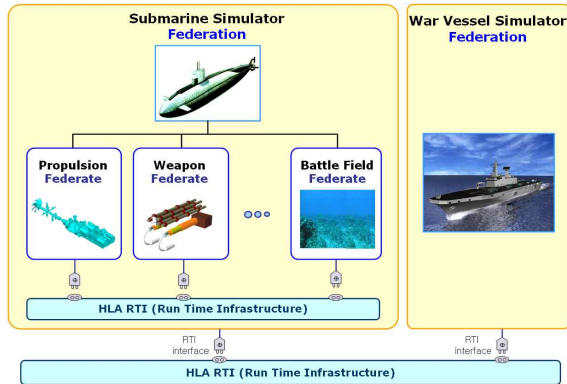


그림5. HLA 구성도

5. 구현

X3D가 웹기반 M&S의 가시화에 적합한지를 검증하기 위해서는 실제로 웹 기반의 분산 시뮬레이션에서 X3D를 사용하여 가시화를 해보아야 한다. 그림6은 본 연구에서 검증하고자 하는 시스템의 구성도이다. 시스템은 모두 4가지의 모듈로 이루어져 있다.

5.1 각 모듈들

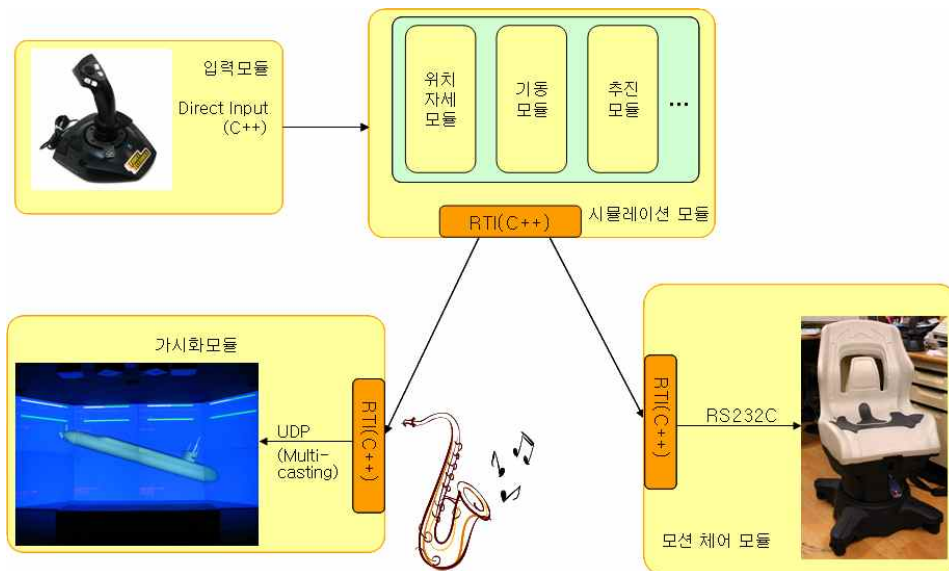


그림6. 연구 내용의 개략도

- 입력모듈 - 잠수함의 방향타, 프로펠러의 회전 속도, 어뢰 조준, 발사 등의 입력을 사용자로 부터 받는다.
- 시뮬레이션모듈 - 입력모듈에서 받아 온 값에 따라서 수학 모델을 계산하여서 잠수함의 현재 위치와 자세를 계산한다.
- 가시화모듈 - X3D를 이용하여 시뮬레이션을 가시화하기 위해서 시뮬레이션 모듈과 실시간으로 연동하여 X3D 장면그래프를 동적으로 바꾸어서 멀티채널에 가시화한다. 그림7은 멀티채널을 고려하지 않고 X3D를 동적으로 바꾸기 위해 SAI(Scene Access Interface) 를 사용한 구성도이다.
- 모션제어모듈 - 잠수함의 자세와 가감속, 그리고 어뢰의 폭발 등에 적합한 운동감을 생성시킨다.

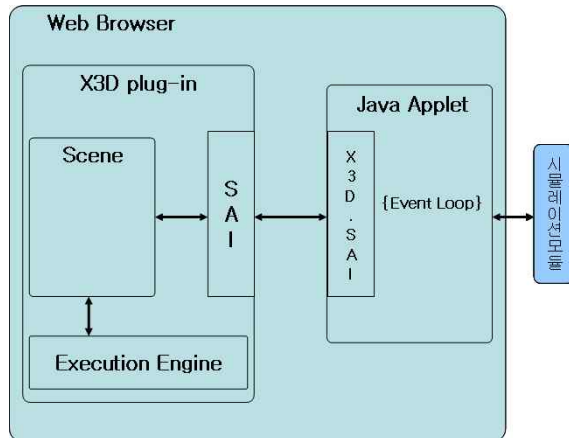
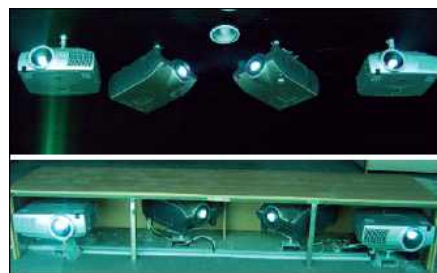


그림7. 가시화모듈(멀티채널 비교려)



Screen	Front
Size	1900mm×1400mm (for each channel)
No. of Channel	8

그림8. CAVE 가상환경 공간

5.2 구현환경

5.2.1 소프트웨어

- 운영체제 - Windows XP SP2
- HLA/RTI - Pitch RTI (C++)
- X3D SDK - Xj3D Toolkit(Java)
- N/W Protocol (Multi-channel) - UDP(Multicasting)

5.2.2 하드웨어

- VGA - Nvidia GeForce 6600
- RAM - 1GB
- CPU - Intel P4, 3.0GHz
- 입력장치 - Microsoft SideWinder Precision 2 Joystick
- 가상환경공간 - 8ch CAVE(그림8)
- 모션체어 - 2 자유도 Joychair(그림9)

	전원	220V, 60Hz
	소비 전력	286Wh (작동중) 176Wh (대기중)
	최대 유효각	전우, 좌우 모두 7.5°
	인터 페이스	직렬포트 COM1 Baud rate : 4800 bps

그림9. 2자유도 조이체어

6. 결론 및 향후 계획

본 연구는 최근 들어 이슈가 되고 있는 웹 기반 모델링 및 시뮬레이션의 가시화를 위한 방법의 제안 및 검증에 그 목적을 두고 있다. 기존의 M&S를 가시화하기 위해서 사용되던 가시화 툴들은 대부분이 플랫폼에 종속적이며 고가이기 때문에 웹기반의 M&S를 가시화 하는 것에는 적절하지 못하다.

Web3D 컨소시엄에서 표준으로 제정한 X3D는 웹상에서의 3D 가시화를 목표로 하고 있고, VRML 보다 렌더링의 질이나 기능, 확장성 등이 더 좋으며 국제표준이기 때문에 개방되어 있어 플랫폼에 독립적이고 개발이 용이하기 때문에 웹기반의 M&S의 가시화에 가장 좋은 대안이 될 수 있다고 본다.

향후, 본 연구에 대한 구현 부분이 완료되어야 하며, 그 결과를 가지고 X3D의 웹기반 M&S 가시화에 대한 적합성을 검증해야 한다.

참고문헌

- [1] Mike Hurwicz, "Web Virtual Reality and 3D in VRML or XML?", Web Developer's journal, 2000
- [2] Don Brutzman, "The Virtual Reality Modeling Language and Java", ACM, vol. 41, No. 6, pp. 57~64, June 1998
- [3] Daniel Selman, "Java 3D Programming", Manning Publications, pp24~33, March 2002
- [4] Brian K. Christianson, "Comparison of Vega and Java3D in A Virtual Environment Enclosure", NPS Master's Thesis, March 2000
- [5] 타카시 이마기레, "DirectX9 셰이더 프로그래밍", 한빛미디어, pp26~32, July 2004
- [6] Wolfgang F. Engel, "Beginning Direct3D Game Programming 2nd Edition", Prima Publishing, pp38~55, Jan 2005
- [7] Ron Fosner, "OpenGL Programming for Windows 95 and Windows NT", Addison Wesley, pp42, 1998
- [8] Josef Wolte, "Informations Pyramiden", Graz Univ. of Tech. Master's Thesis, Oct 1998
- [9] 김용식, "가상 공장 시뮬레이션을 위한 PC 클러스터 기반의 다채널 가시화 모듈의 설계와 구현", 제 13회 HCI, CG, VR, Design, UI 학술대회 논문발표집 1-1, pp544~548, 2004
- [10] sgi 사 홈페이지 - <http://www.sgi.com>
- [11] Peter Sunna, "Introduction to the Open Scene Graph", <http://www.cs.umu.se/kurser/TDBD12/VT04/lab/osg>, Feb 2004
- [12] Rynson Lau, Daniel Thalmann, "Emerging Web Graphics Standards and Technologies", Web Graphics Tutorial, IEEE, Feb 2003
- [13] 문홍일, "SEDRIS를 이용한 디지털 생산 시뮬레이션 환경의 융합", 한국시뮬레이션학회논문지, 14(2), pp15~24, 2005
- [14] Curtis Blais, Don Brutzman, "Web-Based 3D Technology For Scenario Authoring And Visualization : The SAVAGE Project", I/ITSEC Proceedings, 2001
- [15] Web3D Consortium - <http://www.web3d.org/x3d>

-
- [16] X3D 뷰어 회사 Octaga - <http://www.octaga.com>
- [17] Curtis Blais, Don Brutzman, "Emerging Web-Based 3D Graphics For Education And Experimentation", 2003
- [18] Edward M. Sims, William Y. Pike, "Reusable, Lifelike Virtual Humans For Mentoring And Role-Playing", I/ITSEC, No1621, 2004
- [19] 이동훈, "X3D 가상환경에서의 확장 가능한 상호작용", 한국정보과학회 봄 학술발표, Vol30, No1, 2003
- [20] 이성태, "X3D를 이용한 Humanoid 모델링과 애니메이션 기법에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 추계종합학술대회, 제6권, 제2호, 2002
- [21] HAnim 홈페이지 - <http://www.h-anim.org>
- [22] Ivan Chang Kok Ping, "High Level Architecture Performance Measurement", NPS Master's Thesis, 2000
- [23] 이성준, "수중운동체의 분산 시뮬레이션을 위한 HLA 기반의 모델 구조 연구", 서울대학교 석사학위논문, 2006
- [24] Singhal, Sandeep, "Networked Virtual Environments", ACM Press, New York, NY, 1999
- [25] Dahmann Judith, Kuhl Frederick, "Creating Computer Simulation Systems - An Introduction To The High Level Architecture", Prentice Hall, 1999
- [26] Ying Li, Ken Brodlie, "Web-Based VR training Simulator For Percutaneous Rhizotomy", 2000
- [27] Jonathan C. Robert, Rob Knight, "Multiple Window Visualization On the Web Using VRML and the EAI", Proceedings of the 7th UK VR-SIG Conference, pp149~157, 2000
- [28] SEDRIS 홈페이지 - <http://www.sedris.org/>
- [29] XMSF 홈페이지 - <https://www.movesinstitute.org/xmsf/xmsf.html>
- [30] Open Scene Graph 홈페이지 - <http://www.openscenegraph.org>
- [31] Don Brutzman, Michael Zyda, "Extensible Modeling and Simulation Framework(XMSF) Opportunities", I/ITSEC, 2002