

DEVS형식론을 적용한 HLA기반의 분산 실시간 시뮬레이션 시스템 개발

Development of the Distributed Real-time Simulation System Based on HLA and DEVS

김 호 정* **이 재 현*** **조 길 석***
Kim, Ho-Jeong Lee, Jae-Hyun Cho, Kil-Seok

ABSTRACT

Weapon systems composed of several subsystems execute various engagement missions in distributed combat environments in cooperation with a large number of subordinate/adjacent weapon systems as well as higher echelons through tactical data links. Such distributed weapon systems require distributed real-time simulation test beds to integrate and test their operational software, analyze their performance and effects of cooperated engagement, and validate their requirement specifications. These demands present significant challenges in terms of real-time constraints, time synchronization, complexity and development cost of an engagement simulation test bed, thus necessitate the use of high-performance distributed real-time simulation architectures, and modeling and simulation techniques. In this paper, in order to meet these demands, we presented a distributed real-time simulation system based on High Level Architecture(HLA) and Discrete Event System Specification(DEVS). We validated its performance by using it as a test bed for developing the Engagement Control System(ECS) of a surface-to-air missile system. The proposed technique can be employed to design a prototype or model of engagement-level distributed real-time simulation systems.

주요기술용어(주제어) : Distributed Weapon Systems, Distributed Real-Time Simulation, Modeling and Simulation, High Level Architecture(HLA), Discrete Event System Specification(DEVS)

1. 서론

레이다와 발사대, 교전통제장치, 유도탄 등의 부 체계들로 구성되는 대공유도무기체계는 다양한 공중 위

협 유형을 대상으로 다수의 표적에 대해 여러 발사대와 유도탄을 포함한 가용한 자원을 효율적으로 활용하여 최대의 대공방어 효과를 발휘할 수 있도록 동시 교전을 수행한다. 교전통제장치는 전술데이터링크를 통해 상부의 지휘통제를 받거나 인접포대들 간의 자율적 협동을 통해 분산 배치되어 있는 부 체계들과 상호 연동하여 대공유도무기체계의 다 표적 동시교전과 방공작전 임무를 수행한다.

† 2006년 6월 14일 접수~2006년 8월 4일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : hjkim511@add.re.kr

이와 같은 교전통제장치를 개발하기 위해서는 분산되어 있는 여러 체계와 실시간으로 연동할 수 있는 개발환경이 필요하다. 하지만 무기체계를 개발하는 동안에는 각 부 체계들과 실제 연동시험이 불가능한 상황이므로 예산 및 기간 등을 고려할 때 실제장비를 이용한 개발환경 구축은 현실적으로 많은 문제점이 있다. 그러므로 모델링 및 시물레이션 기술을 이용하여 개발·시험·검증 환경을 구축하는 것은 매우 효과적이다^[1,2]. 특히 부 체계 간의 인터페이스 시험과 통합방공통제체계 및 인접포대 간의 상호 운용성 확인 그리고 협동교전을 포함한 교전성능 및 효과도 분석을 통한 개발업무를 저비용 고효율로 수행하기 위해서는 교전수준의 분산 연동 운용환경을 모의할 수 있어야 하고 필요에 따라 실제 장비와 운용자를 포함하는 실시간 HILS(Hardware In The Loop Simulation)이 가능해야 한다. 또한 이미 개발된 모의기의 재사용성과 시물레이션 시스템의 향후 확장성을 향상시킬 수 있도록 고려되어야 한다. 하지만 이와 같은 분산 연동 운용환경을 모의하기 위하여 상호운용성과 재사용성을 크게 향상시킨 국방 모델링 및 시물레이션의 국제 표준인 HLA(High Level Architecture)를 적용할 경우 시물레이션 프레임에서 시간 동기화 및 실시간 모의를 동시에 보장하기가 어려우며^[3] 실장비를 개발하기 위해 효과적으로 연동할 수 있는 프레임 구축방안이 요구된다^[4].

본 연구에서는 이와 같은 분산 운용되는 무기체계들을 개발하기 위한 통합모의환경 구축 시 필수적으

로 요구되는 분산 실시간 시물레이션 특성과 실장비 연동에 관련된 제한사항을 해결하기 위하여 그림 1과 같은 환경의 개발벤치를 실제로 구축한 개발사례를 바탕으로 시물레이션 프레임의 요구사항에 대한 설계 기법과 시험 및 검증 방안을 제안하였고 시험결과와 활용성에 대해 고찰하였다.

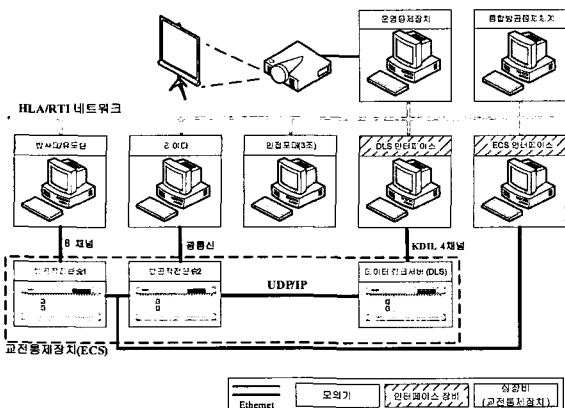
2. 본 론

가. HLA를 적용한 개방형 구조와 운용 기법

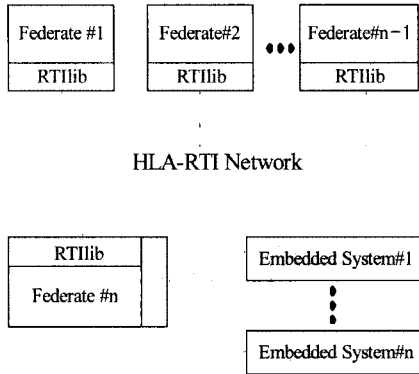
HLA는 미국 국방성 산하 DMSO(Defense Modeling Simulation Office)의 주도로 1996년에 탄생한 상위 수준의 모델링 및 시물레이션 구조로 시물레이션의 재사용성과 상호운용성, 적합성, 신뢰성을 증진시키기 위해 제안되었으며 2000년에 IEEE Standard 1516으로 규격화된 국방 모델링 및 시물레이션 분야의 표준이다. 패더레이트(Federate)와 패더레이션(Federation) 규칙, 인터페이스 규격(Interface Specification), OMT(Object Model Template)로 구성된 HLA는 인터페이스 규격을 구현한 RTI(Runtime Infrastructure)가 제공하는 여러 가지 서비스를 기반으로 분산 환경에서 이기종의 모의기간 상호연동이 가능하다^[5~7].

하지만 본 시스템은 그림 1과 같이 실시간 내장형 시스템(실장비)을 포함시켜 시물레이션이 가능하여야 하므로 HLA/RTI 분산 환경과 연동시키기 위한 라이브러리를 탑재할 경우 내장형 시스템의 구조가 복잡해지고 독립적으로 개발하기 어려워진다. 따라서 그림 2와 같이 내장형 시스템을 HLA/RTI 기반 분산 실시간 시물레이션 환경에 직접 연결하지 않고 내장형 시스템과 HLA/RTI를 중간에서 연결해주는 하나의 실장비 연동 패더레이트를 만들어줌으로써 내장형 시스템과 시물레이션 환경의 연동문제를 자연스럽게 해결하는 인터페이스 장비를 설계하고 운영하는 방식으로 HLA/RTI 기반 분산 실시간 시물레이션 프레임을 구축하였다.

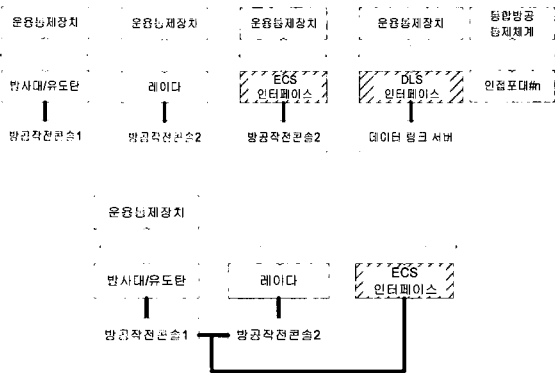
분산 실시간 시물레이션 환경에서 내장형 시스템 개발을 위해 시험 요구조건에 따라 반복적이고 다양한 장비 구성으로 시험을 하는 것이 불가피하다. 따라서 효율적인 시스템 운용을 위하여 HLA/RTI 기반



[그림 1] 개발벤치 구성도



[그림 2] 내장형 시스템을 포함한 시뮬레이션 환경



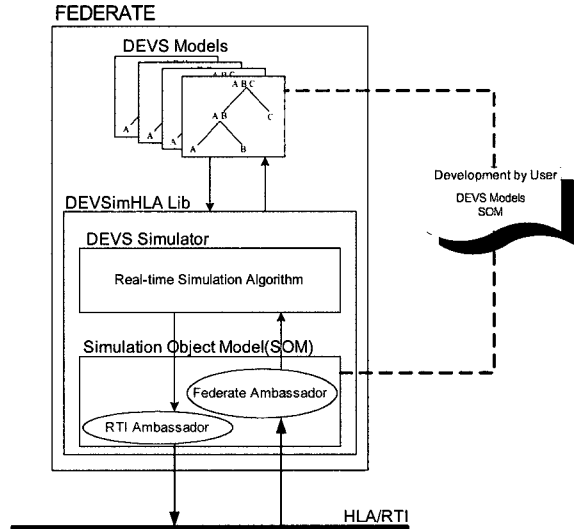
[그림 3] 시뮬레이션 프레임 운용

으로 그림 3과 같이 계층적으로 모듈화 하여 유연성 있는 운용이 가능하도록 시뮬레이션 프레임 구조와 모의기(Federate)를 개발하였다.

나. DEVS 형식론을 적용한 모의 기법

DEVS(Discrete Event System Specification)은 이산사건시스템을 모델링 및 시뮬레이션하기 위해 1976년 B. P. Zeigler에 의해 제안된 집합론에 근거한 형식론으로 복잡한 시스템을 구성요소 별로 나누어 각각의 모델을 만든 후, 이를 합쳐서 전체 시스템을 표현할 수 있다^[8~10]. 이와 같은 DEVS 형식론의 검증된 객체지향적 모델링 기법을 적용하여 그림 4와 같이 각 모의기를 계층적이고 모듈화된 시스템으로 모델링함으로써 신뢰도와 충실도를 향상시킬 수 있었다.

특히 DEVS 형식론의 특징으로 그림 4와 같이

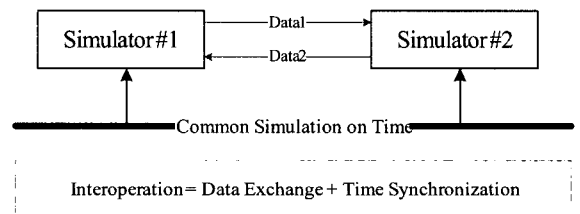


[그림 4] 모의기(Federate) 구조

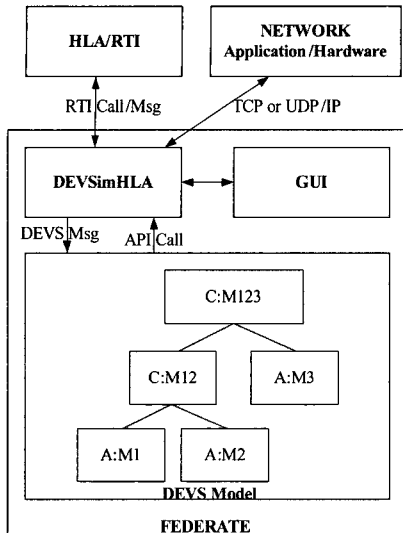
모델(DEVS Models)과 모델의 구동 및 HLA/RTI 네트워크가 연동을 함께 제공하는 시뮬레이터(DEVSimHLA)를 분리함으로써 모델을 구현 언어에 독립적으로 개발 할 수 있고 개발된 모델의 향후 형상관리와 재사용성을 향상시킬 수 있으며, 수학적으로 검증되어 있는 시뮬레이션 알고리즘을 사용함으로써 모델의 정형적인 확인과 검증이 가능하였다.

다. 모의기간 연동 기법

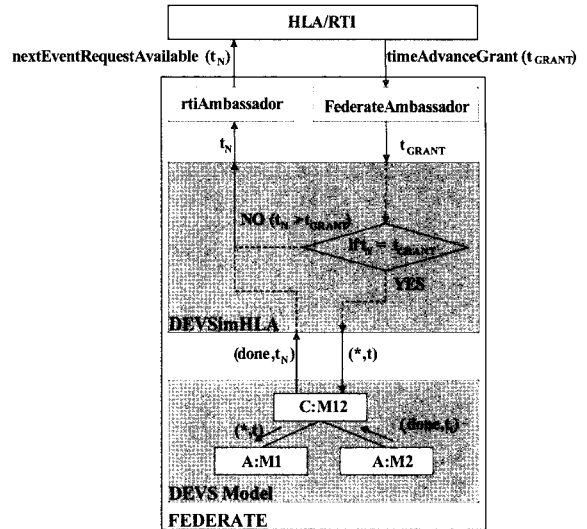
개발벤치를 구성하고 있는 HLA/RTI 네트워크에서 각 모의기는 Federate Ambassador와 RTI Ambassador를 통하여 그림 5와 같이 상호 연동을 하기 위하여 데이터 교환과 시간동기화를 함께 수행하여야 한다. 그리고 DEVS 기반으로 구현된 각 모의기 내부의 모델과 시뮬레이터는 HLA/RTI 네트워크 및 실장비와 실시간으로 상호 연동되어야 한다.



[그림 5] 모의기간 연동 정의



[그림 6] 데이터 교환 구조



[그림 7] 실시간 동기화 구조

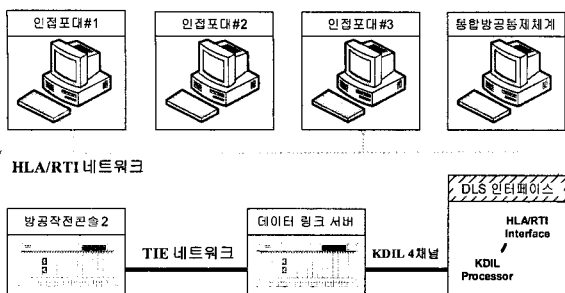
따라서 그림 6에 나타난 바와 같이 HLA/RTI를 경유한 모의기간의 연동뿐만 아니라 TCP(Transmission Control Protocol) 또는 UDP/IP(User Defined Protocol/Internet Protocol) 네트워크 프로토콜을 통한 실장비와 DEVS 모델의 메시지/이벤트(Event) 교환, 각 모의기의 모의 진행상황 화면전시 및 운영자 입력을 위한 사용자 인터페이스가 가능하도록 DEVSimHLA를 고려하여 설계하였다.

또한 분산 환경에서 각각 시뮬레이션 시간을 갖고 있는 모의기들이 함께 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 일정한 규칙에 의해 논리적 시각인 시뮬레이션 시각에 동기화되어야 하며 모의 진행 및 이벤트의 입출력을 독립적으로 진행해서는 안된다. 특히 내장형 시스템을 포함하는 시뮬레이션 환경에서는 시뮬레이터 사이의 데이터 교환도 시간 제한조건에 따라 이루어져야 하며, 실시간 동기가 무엇보다 요구된다. 이를 위해 개발벤치의 각 모의기는 RTI에 다음이벤트허용요청(nextEventRequestAvailable(t_N))을 통해 자신의 시뮬레이션 진행시각을 보고하고 이에 대해 RTI가 제공하는 전체 시뮬레이션 시각진행허용정보(timeAdvanceGrant(t_{GRANT}))를 비교하여 그림 7과 같이 자신의 시뮬레이션 시간진행을 판단하게 된다. 즉, 임의의 모의기(Federate)에서 DEVS 최상위 모델(M12)의 시간진행 메시지(done, t_N)가 생성되었을 때

DEVSimHLA는 rtiAmbassador를 통해 시뮬레이션 진행시각(t_N)으로 다음이벤트 허용을 요청하면 해당 모의기는 FederateAmbassador를 통해 RTI의 시간관리(Time Management) 서비스를 활용하여 전체 시뮬레이션에 허용된 시뮬레이션 진행시각(t_{GRANT})을 제공받게 되고, DEVSimHLA는 CPU 클럭을 이용해 t_{GRANT} 만큼 최적화된 실시간으로 시뮬레이션 시간을 진행시킨다. 반복적으로 t_{GRANT} 와 t_N 이 같은 시각이 될 때까지 위의 과정을 수행하여 같은 시각이 되었을 때 DEVSimHLA는 해당 하위 모델로 메시지(*, t)를 보내어 시뮬레이션을 진행시키게 된다. 이와 같이 실시간으로 시뮬레이션되는 각 모의기가 RTI의 시간관리 서비스를 활용함으로써 전체 분산 시뮬레이션 시스템이 실시간으로 동기화되어 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하였다.

라. 전술데이터링크 연동 모의기법

교전통제장치는 실장비인 데이터링크서버를 통해 ATDL-1(Army Tactical Data Link-1)과 KDIL(Korean Digital Information Link) 등의 전술데이터링크를 활용하여 통합방공통제체계 및 인접포대와 상호연동 한다. 하지만 전술데이터링크는 각각 고유한 메시지 프레임과 통신 프로토콜을 갖고 있으므로 실장비와 같이 각 모의기에 이러한 메시지를 교환할 수



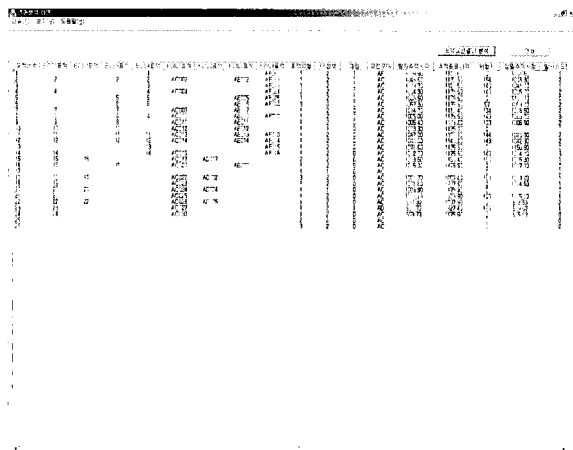
[그림 8] 전술데이터링크 연동 구조

있는 데이터링크 프로세서를 구현하는 데는 상당한 어려움이 있다.

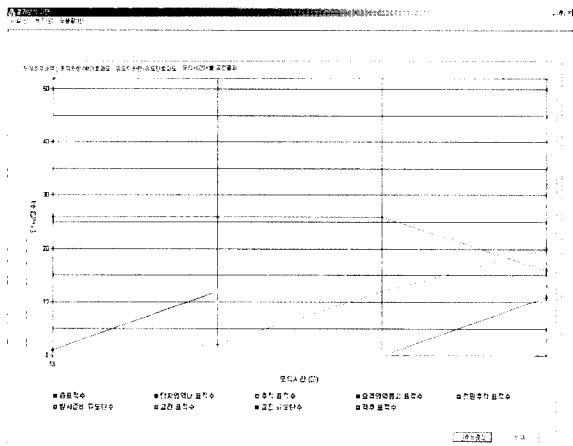
따라서 그림 8과 같이 교전통제장치의 전술데이터링크인 KDIL 프로세서(Processor) 기능을 탑재하여 실장비와 최대 4채널까지 전술데이터링크를 연결하여 이를 각각 4개의 모의기와 메시지 교환이 이루어질 수 있도록 HLA/RTI기반 연동 환경과 실제 전술데이터링크 사이에 전술데이터링크 메시지를 변환하여 전달해 줄 수 있는 DLS(Data Link Server) 인터페이스 장비를 개발하였다. 특히 KDIL은 ATDL-1, TADIL-A/B 등의 링크와 상호연동이 가능하므로 통합방공통제체계와 전술데이터링크는 1개의 KDIL 데이터링크 채널을 할당하여 모의하도록 구현하였다.

다. 시뮬레이션 결과 분석기법

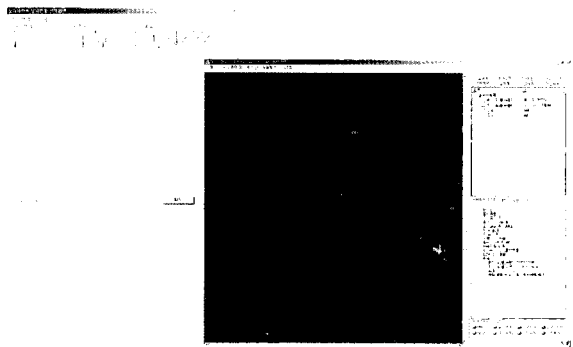
대공유도무기체계의 분산 연동환경 및 임무에 대하



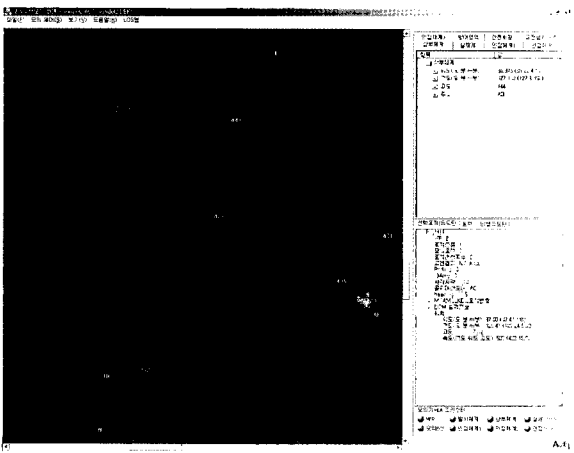
[그림 10] 시뮬레이션 결과화면(표적별 검색)



[그림 11] 시뮬레이션 결과화면(평가항목별 검색)



[그림 12] 시뮬레이션 재연화면



[그림 9] 시뮬레이션 화면

여 가정할 수 있는 여러 가지 시나리오들을 사전에 미리 편집 및 검토하여 작성할 수 있고, 이를 바탕으로 그림 9와 같은 모의시험을 통해 교전 내역을 실시간으로 수집하여 그림 10, 11과 같이 다양한 시뮬레이션 결과분석을 위한 교전효과도 분석 데이터베이스를 구축할 수 있으며, 그림 12와 같이 데이터베이스에 저장된 교전모의상황을 재생하여 검토할 수 있도록 개발하였다.

3. 시험 및 고찰

가. 시험

개발벤치의 요구성능에 대한 만족여부를 확인하기 위하여 실제 개발벤치의 하드웨어 환경(실 장비 포함)에서 표 1과 같은 시험조건으로 다음과 같은 시험을 수행하였다.

시험 요구조건으로는 ①9개 모의기가 상호 연동하는 분산 실시간 시뮬레이션 프레임이어야 하고 ②각 모의기는 HLA 표준규격을 준수해야 하며 ③운용통제장치는 최대 100개 공중표적 모의에 대해 10Hz 주기의 표적 갱신 및 처리가 가능해야 하고 ④레이다 모의기는 최대 100개 표적 탐지 및 추적 모의와 동시에 최대 30개 유도탄 포착 및 추적 모의, 교전통제장치 간 10Hz 주기의 광통신 연동이 가능해야 하고 ⑤발사대 모의기와 교전통제장치 간의 8채널 이더넷(Ethernet) 연동, ⑥ECS(Engagement Control System) 인터페이스장비를 통해 교전통제장치와 시뮬레이션 프레임 간의 연동, ⑦DLS 인터페이스장비를 통해 인접포대 및 통합방공통제체계 모의기와 교전통제장치 간 메시지 수준의 4채널 전송데이터링크 연동이 가능해야 한다.

이와 같은 요구성능을 만족하는지 확인하기 위하여 다음과 같은 시험을 수행하였다.

첫째, 요구조건 ①,③에 대해 실시간 성능을 확인하기 위하여 임의의 모의기에서 주어진 일정 주기마다 주어진 양의 객체(Object) 정보(Attribute)를 갱신(Update) 할 수 있는 HLABench 프로그램을 작성하여 객체의 정보 갱신주기에 대한 통계량을 측정함으로써 개발벤치 패더레이션의 데이터 갱신 규모가 실

시간성을 보장받을 수 있는지를 시험하였다.

둘째, 요구조건 ②에 대해 HLA 적합성을 확인하기 위하여 미 국방성 산하 DMSO 주관으로 현지(한국)에서 정해진 시나리오와 시험환경으로 시뮬레이션 중인 대상 모의기를 인터넷을 통해 원격(미국)에서 통제, 시험 및 평가하는 인증시험을 통해 각 모의기(Federate)들이 HLA 표준규격을 준수하는지를 시험하였다.

셋째, 요구조건 ④,⑤,⑥,⑦에 대해 교전통제장치와 연동 요구성능을 확인하기 위하여 교전통제장치와 통합시험을 통해 각 모의기에 기록된 시뮬레이션 결과분석용 데이터베이스를 바탕으로 교전통제장치와의 연동 요구성능을 시험하였다.

[표 1] 시험조건 및 환경

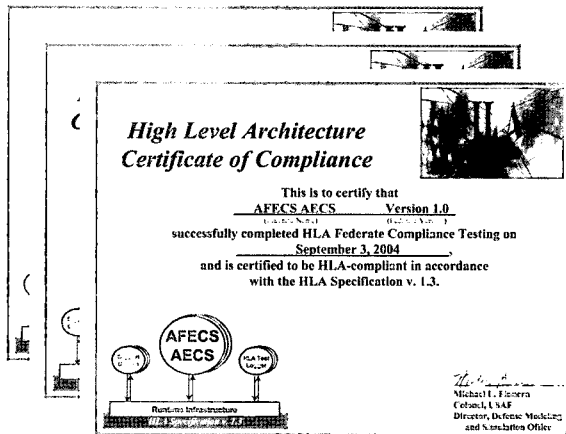
요구성능	시험조건 및 환경
실시간 성능 확인시험	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대공표적 100개를 업데이트하는 모의기 1개 ○ 통합방공통제체계 AirTrack 100개를 업데이트하는 모의기 1개 ○ 유도탄 30개를 업데이트하는 모의기 4개 ○ 업데이트 하지 않고 받기만 하는 모의기 3개
HLA 적합성 확인시험	<ul style="list-style-type: none"> ○ 운용통제장치, 통합방공통제체계 모의기, 인접포대 모의기(레이다, 발사대/유도탄, 교전통제장치 모의)를 인터넷 망 접속 ○ DMSO로부터 승인된 RID(Runtime Initialization Data) 파일과 FED(Federation Execution Details) 파일을 기반으로 RTI1.3NG v6.0을 실행하여 HLA 적합성 인증시험 수행
실장비와 연동 성능시험	<ul style="list-style-type: none"> ○ 9개 모의기와 2개의 방공작전콘솔 및 데이터링크서버의 분산 실시간 시뮬레이션 수행

나. 고 찰

첫째, 개발벤치의 실시간 시뮬레이션 성능을 확인하기 위하여 시험한 결과 객체의 정보 모두를 갱신하는 방식을 적용하였을 경우 패더레이션이 실시간 조건을 만족시키면서 객체 갱신을 할 수 있는 최소 시간은 0.06sec/update로 측정되었다. 표적·AirTrack·유도탄 객체 중 실시간으로 변하는 정보만을 갱신하는 방식을 적용하였을 경우 0.04sec/update의 결과를 얻었다. 그리고 모든 객체 정보를 1개의 객체로 압축하는 벡터 방식으로 하였을 경우 실험 결과는 0.015sec/update 이다. 위의 실험 결과로 개발벤치 시뮬레이션 프레임은 0.1초의 연성 실시간(soft real-time) 조건을 충분히 만족함을 확인하였다.

둘째, 개발벤치의 모든 FOM(Federate Object Model)과 SOM(Simulation Object Model)을 포함할 수 있도록 운영통제장치와 통합방공통제체계, 인접포대 모의기에 대해 그림 13과 같이 DMSO의 공식적인 HLA 적합성 인증을 획득함으로써 각 모의기는 HLA의 표준규격을 준수함을 확인하였다.

셋째, 교전통제장치 연동 요구성능을 확인하기 위하여 각 모의기에 가능한 많은 수행시간을 할당할 수 있는 벡터 형태로 객체를 압축하여 처리하는 방식으로 실시간 성능을 만족시킬 수 있도록 각 모의기를 구현하여 교전통제장치와의 통합시험 및 운용을 통해 연동 요구성능이 만족됨을 확인하였다.



[그림 13] DMSO HLA규격 인증서

4. 결 론

개발벤치는 분산 연동 운용환경을 HLA 기반의 분산 실시간 시뮬레이션 프레임으로 구축하고 필요시 실장비는 본 시뮬레이션 프레임에 접속만으로 시험을 수행할 수 있도록 하여 개발, 시험 및 검증에 소요되는 시간과 비용을 최소화할 수 있도록 하였다. 또한 계층적이고 모듈화된 분산 실시간 시뮬레이션 프레임 구조와 다양한 패더레이션 구성을 용이하게 하여 시뮬레이션 준비와 운용시간을 최소화하고 다양한 목적의 시뮬레이션을 만족시킴으로써 개발벤치의 활용성을 향상시켰다.

DEVS 형식론을 적용한 모델링기법을 통하여 모델의 확인 및 검증이 용이하도록 하였으며 모델과 구동 시뮬레이터를 분리하여 개발함으로써 모의기 전체가 아닌 필요시 모델의 수정만으로 모의기의 유지보수와 성능개량이 가능하도록 하였다.

HLA/RTI 기반의 모의환경에서 전술데이터링크의 연동모의가 가능하도록 전술데이터링크 메시지와 HLA 메시지 간 데이터 상호변환 및 전술데이터링크 프로토콜을 지원해주는 인터페이스 장비를 개발함으로써 다양한 무기체계의 전술데이터링크에 대한 연동시험을 효과적으로 수행할 수 있도록 하였다.

결론적으로 실제 환경에서 구성하기 힘든 다양한 무기체계 연동 전장환경을 HLA 기반의 분산 실시간 시뮬레이션 환경으로 구축하고 DEVS형식론의 모델링 기법을 적용하여 재사용성과 성능개량을 용이하게 함으로써 저비용 고효율로 다양한 무기체계의 개발과 시험 그리고 검증을 가능하게 하였을 뿐만 아니라 대규모 분산 실시간 시뮬레이션 시스템의 개발 모델로도 활용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김찬기, 국방 M&S 개념 연구, 국방과학연구소 보고서, NSDC-519-020162, 2002.
 [2] 이창화 외 1명, 연구개발 과정에서 M&S 활용에 관한 연구, 국방과학연구소 보고서, NSDC-519-020162, 2002.

- [3] Thom McLean "Hard Real-Time Simulation using HLA", Simulation Interoperability Workshop, 01F-SIW-093, 2001.
- [4] 김호정 외 3명, 내장형 시스템을 위한 분산 실시간 시뮬레이션 환경 구현, 춘계정보과학회, 2003.
- [5] IEEE 1516-2000, Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Federate Interface Level Architecture Framework and Rules.
- [6] IEEE 1515.1-2000, Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Federate Interface Specifications.
- [7] IEEE 1515.2-2000, Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Object Model Template (OMT) Specification.
- [8] Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer, Tag Gon Kim, Theory of Modeling and Simulation, Second Edition, Academic press, 2000.
- [9] 김탁곤, EE612 강의노트, [Http://smslab.kaist.ac.kr/Course/EE612](http://smslab.kaist.ac.kr/Course/EE612), 2004.
- [10] 김탁곤, "이산사건 모델링 및 시뮬레이션 강좌", 국방과학연구소, 2002.
- [11] MIL-STD-498, Software Development and Documentation. 1994.
- [12] Robert Lutz et al "IEEE 1516.3: The HLA Federation Development and Execution Process (FEDEP)", Simulation Interoperability Workshop, 03E-SIW-022, 2003.
- [13] Herbert Tietje "Benchmarking of RTIs for Real-Time Applications", Simulation Interoperability Workshop, 03E-SIW-026, 2003.