

# 소프트웨어 프레임워크를 이용한 대공유도무기 실시간 분산 시뮬레이터 개발 및 분석

Development and Analysis of Real-time Distributed Air Defense System Simulator  
Using a Software Framework

조 병 규\*      윤 청\*\*  
Byung Gyu Cho      Cheong Youn

## ABSTRACT

To overcome limitations of test scope, schedule and cost, M&S(Modeling & Simulation) technique has been applied for T&E(Test and Evaluation) of the state-of-art weapon systems. This paper proposes an air defense simulation software framework to reduce both redundancy and programming errors in system simulator. The proposed framework consists of a "model" and a "middleware". The "middleware" is a reliable communication service layer that supports not only HLA(High Level Architecture) which is an international standard in M&S but also TCP/IP, UDP and etc. The main role of "model" is to schedule and to run the real-time distributed simulation. The proposed framework has been applied to M-SAM (Middle range Surface to Air Missile) system simulator. The proposed framework's scheduling and communication performance results are satisfactory and were measured by hardwired NTP(Network Timer Protocol) time-stamp with GPS(Global Positioning System) timer for better precision.

주요기술용어(주제어) : Software Framework(소프트웨어 프레임워크), Real-time Distributed Simulation(실시간 분산 시뮬레이션), HLA(표준연동구조)

## 1. 서론

국방과학연구소는 시험시설, 시험기간의 제한, 비용의 한계 및 첨단 무기체계 특성상 실제 비행시험으로 수행하기 곤란한 문제를 해결하고자 한국형 중거리 지대공 유도무기(M-SAM : Medium Range Surface

to Air Missile) 시험평가 일부분에 M-SAM체계시뮬레이터(이하 체계시뮬레이터)를 적용할 예정이다. 체계시뮬레이터는 모델링 및 시뮬레이션(M&S : Modeling & Simulation) 기반기술을 활용한 실시간 분산 시뮬레이터이다<sup>[1]</sup>.

체계시뮬레이터는 M&S 기술을 이용하여 생성한 가상환경(Synthetic Environment)에서 실무기 체계와 시뮬레이터를 연동하는 HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation) 시스템이다. 개발효과를 높이기 위하여 체계시뮬레이터는 M&S의 국제표준(IEEE 1516)인 HLA(High Level Architecture)를 준수하고, 실

† 2005년 8월 26일 접수~2005년 12월 7일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

\*\* 충남대학교(Chungnam National University)

주저자 이메일 : bgcho@naver.com

무기체계의 대표적인 통신 방식인 TCP/IP 및 UDP을 지원하도록 개발하고 있다. 현재, 체계시뮬레이터는 레이더 실무기 체계, 교전통제 실무기 체계, 수직발사 실무기 체계 및 다수의 분산 시뮬레이터들로 구성할 예정이다. 시험평가에 적용하기 위하여서는 실시간으로 동작 및 연동되어야 한다<sup>[2,3]</sup>.

일반적으로 HLA 준수는 복잡한 개발기술 습득이 필요하며, 개발 시 오류가 쉽게 발생한다<sup>[4]</sup>. 또한, 실시간 분산 시뮬레이션을 위해서는 체계시뮬레이터 구성요소(Sub System)간에 메시지 전송 지연시간(Data Latency)을 50~100ms 이하가 되도록 통신관련 서비스를 개발하여야 한다. 더욱이, 정밀 무기체계를 정확히 모사하기 위해서는 실행주기 100Hz 이상을 지원해 주는 실시간 시뮬레이션 엔진개발이 필요하다. 이와 같은 요구조건을 만족시키기 위해서는 각 구성요소 개발자들이 HLA 연동기술을 포함한 복잡한 통신 부분과 실시간 시뮬레이션 엔진을 개발해야 하였다.

따라서, 본 논문에서는 HLA를 포함하는 다수의 통신환경을 지원하면서, 실시간 시뮬레이션 엔진을 포함하는 대공유도무기 시뮬레이션을 위한 소프트웨어 프레임워크를 제안한다. 제안된 소프트웨어 프레임워크를 이용하여 탐색개발 체계시뮬레이터 실험시제품에 적용하여 성공적으로 개발을 완료하였다.

또한, 결과분석의 정확성을 높이고자 위성항법장치(GPS : Global Positioning System) 시계를 사용하여 실시간 분산 시뮬레이션 결과를 정확하게 분석하였다. 결과적으로 다수의 개발자가 소프트웨어 프레임워크를 이용하여 기존보다 편하게 국제표준과 실무기체계 연동이 가능한 실시간 분산 시뮬레이션 시스템을 구축할 수 있도록 하였다. 구축한 시뮬레이션 시스템은 미국 국방부 모의분석국(DMSO : Defense Modeling Simulation Office)으로 부터 HLA 호환 인증을 획득하였다<sup>[5]</sup>.

본 논문은 실시간 분산 시뮬레이션 개념, 시뮬레이션을 지원하는 소프트웨어 프레임워크, 기존의 시험평가용 시뮬레이터 사례 및 프레임워크 필요성에 대해서 2장에서 설명하고, 3장에서 제안된 소프트웨어 프레임워크에 대한 고찰, 4장에서는 소프트웨어 프레임워크를 체계시뮬레이터에 적용한 연구결과를 분석하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를

를 제시하였다.

## 2. 관련 연구

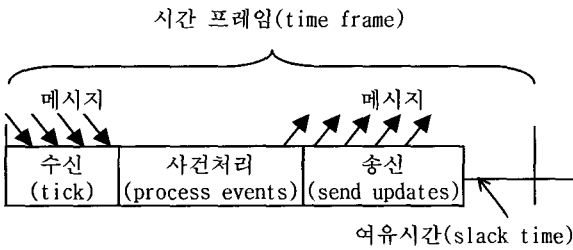
### 가. 실시간 분산 시뮬레이션 개념

실시간 시뮬레이션 실행에 있어서 시뮬레이션 시간(Simulation Time)과 일상 시간(WCT : Wall Clock Time)이 일정한 시간간격을 유지하면서 진행될 때 시뮬레이션은 실시간으로 진행된다고 할 수 있다<sup>[6]</sup>. 시뮬레이션 시간은 시뮬레이션을 전진시키는 시뮬레이션의 내부시간을 말하며 일상시간은 실시간에 대한 참조시간으로서 일반적으로 시스템 시간을 나타낸다. 실시간 시뮬레이션에서는 시간계약조건이 중요하다. 시간계약조건은 일정한 시간간격 내에서 시뮬레이션의 계산처리가 완료되는 조건을 의미한다. 실시간 제약조건은 충족에 따라 하드(Hard) 실시간 시뮬레이션과 소프트(Soft) 실시간 시뮬레이션으로 구분된다. 하드 실시간 시뮬레이션은 시간계약조건이 엄격하게 지켜지지 않으면 임무수행 혹은 기능상에 중대한 오류가 발생할 수 있는 시뮬레이션을 말하며, 소프트 실시간 시뮬레이션은 시간계약조건이 지켜지지 않을 때 현저한 성능저하를 가져올 수 있는 시뮬레이션을 말한다.

분산 컴퓨팅 환경에서 지역적으로 서로 다른 분산노드에서 실시간 시뮬레이션 들이 상호 협조적으로 수행될 때 이를 실시간 분산 시뮬레이션이라고 한다. 실시간 분산 시뮬레이션에서는 실시간 제약조건을 만족해야 되는 것 외에도 각 분산노드에서 시뮬레이션 수행 간에 사건메시지 송수신 시 발생할 수 있는 인과성오류(Casuality Error)가 발생하지 않도록 해야 한다<sup>[6,7]</sup>.

#### 1) 시간계약조건

실시간 분산 시뮬레이션의 수행에 있어서 임의의 시간간격(t) 내에서 이루어지는 작업에는 그림 1에서 보는 바와 같이 외부 메시지 수신(Tick), 메시지 관련 사건처리(Process Events), 그리고 외부 메시지 송신(Send Updates) 작업이 있다. 실시간 분산 시뮬레이션에서 t 내에서 이러한 연속적인 3가지 작업의



[그림 1] 시간 프레임

처리가 완료될 때, 시간제약조건이 만족되었다고 말한다<sup>[6]</sup>.

2) 메시지 지연

실시간 분산 시뮬레이션에서 메시지 지연(Message Delay)은 인과성 오류를 유발시키는 요인이 된다. 메시지 지연은 그림 1에서 외부 메시지 송신(Send Updates) 작업 구간에서 메시지를 송신한 시점으로부터 다른 시뮬레이션 노드에서 외부 메시지 수신(Tick) 작업구간에서 메시지를 수신한 시점까지의 시간차를 의미한다. 일반적으로 메시지 지연은 외부 메시지 송신시간, 네트워크 지연시간(Network Latency), 그리고 외부 메시지 수신시간에 의존적이다. 송신시간의 경우는 거의 무시할 수 있다. 네트워크 지연시간은 WAN(Wide Area Network)의 경우에는 무시하지 못할 정도이며 네트워크의 밴드 폭에도 크게 영향을 받는다. 외부 메시지 수신시간의 경우에는 수신 메커니즘을 어떤 것을 사용하는냐에 따라 달라진다. 특히, RTI(Runtime Infrastructure)와 같은 미들웨어를 통하여 수신되는 경우에는 많은 지연시간이 발생된다. 이런 지연시간을 가상지연시간(Virtual Latency)이라고 한다.

나. HLA 개념

시뮬레이션 표준연동구조인 HLA는 1990년대 중반 미국 국방성에서 모든 유형의 시뮬레이션, 무기체계 및 C4I체계간의 상호 운용성을 보장하고, 각 모형간의 재사용성을 향상시키기 위해 개발한 표준 분산 시뮬레이션 아키텍처이다<sup>[4,5]</sup>.

분산 시뮬레이션은 최초 개별 시뮬레이터를 활용한 장비 조작 숙달 훈련의 한계를 극복하기 위해 개발된

1세대 분산 시뮬레이션 구조인 SIMNET(Simulator Network) 체계로부터 다양한 시뮬레이션 모형과 시뮬레이터를 하나의 동일한 가상환경으로 연동하는 2세대 분산 시뮬레이션 구조인 DIS(Distributed Interactive Simulation)로 발전하였다. 동시에 전구급 수준의 대규모 합동시뮬레이션을 위한 분산 시뮬레이션 하부구조 및 통신규약을 정의한 ALSP(Aggregated Level Simulation Protocol) 체계로 각각 발전해 왔다<sup>[4,5]</sup>.

HLA는 규칙(Rules), 객체모델 모형(OMT : Object Model Template), 및 인터페이스 명세(Interface Specification)로 구체적으로 정의되었다. RTI는 HLA 인터페이스 명세를 구현하고 있고, HLA에 호환되는 시뮬레이션 응용체계를 개발하기 위해서는 반드시 사용해야 하는 미들웨어이다. 미국 정부는 국방 분야에서 시뮬레이션을 개발할 때에 HLA를 준수하도록 하고 있으며, 상용분야에서도 게임 시뮬레이션, 교육용 시뮬레이터 등에 HLA를 적용하려는 시도가 이루어지고 있다<sup>[8]</sup>. HLA 표준을 기반으로 개발된 개별 분산시뮬레이션 체계들은 상호작용하여 하나의 시뮬레이션 목적을 위해 한개의 페더레이션(Federation)을 구성하게 된다. 페더레이션은 분산 시뮬레이션 객체인 페더레이트(Federate)와 연동기반체계인 RTI, 및 교환 자료를 기술하고 있는 FOM(Federation Object Model)로 구성 된다<sup>[4,5]</sup>.

다. 소프트웨어 프레임워크

소프트웨어 프레임워크는 특정응용분야 소프트웨어 대해서 재사용할 수 있도록 설계된 상호작용하는 클래스(Class)들의 집합이라고 정의할 수 있다<sup>[9]</sup>. 또는, 특정 응용분야 소프트웨어를 개발하기위해서 구체화될 수 있는 어느 정도 완성(Semi-Completed)되고 재사용 가능한 프로그램이라고 정의할 수 있다<sup>[10]</sup>. 개발자는 프레임워크 클래스들을 부 클래스(Sub Classing) 및 인스턴스(Instance) 과정을 통해 특정 응용분야에 적용할 수 있다.

소프트웨어 프레임워크는 하부체계의 상세한 것을 개념화하고, 증명된 상부체계 소프트웨어 서비스를 제공한다. 이러한 소프트웨어 프레임워크는 재사용이라는 가장 큰 이익을 제공한다. 일반적으로 프레임워

크를 통한 재사용은 생산성 향상, 오류 교정, 개발기간 단축, 유지비용 감소 및 전체개발 비용감소를 제공한다<sup>[9]</sup>.

라. 기존 HLA 시뮬레이션 프레임워크 관련연구  
Kevin Cox<sup>[9]</sup>은 여러 가지 HLA 패더레이트 지원하는 HFC(HLA Federation Class) 및 HAT(HLA Automation Tool)를 제안하였다. Jean-Pierre<sup>[10,11]</sup>는 HLA 호환 패더레이트 개발 도구인 OSim 프레임워크를 제안하였다. OSim 프레임워크는 분산통신을 지원하는 OSim BulletinBoard 프레임워크, 시뮬레이션 엔진 및 시뮬레이션 객체를 지원하는 OSim Executor 프레임워크, 및 BulletinBoard와 Executor 정보를 이용하여 C++ 및 JAVA 골격코드를 생성하는 OSim Generator 프레임워크로 구성되어 있다. Jay Graham<sup>[12]</sup>는 HLA 객체모델모형에서 자동적으로 Java 골격 코드로 형성된 프록시 패더레이트를 생성해 주는 FedProxy 도구를 제안하였다.

Robert-Jan<sup>[13]</sup>는 DIS(Distributed Interactive Simulation) 호환 시뮬레이션을 HLA 호환 시뮬레이션으로 전환해 줄 수 있는 ASF(Advanced Simulation Framework)을 제안하였다. 김대석<sup>[4]</sup>은 RTI 프로그램과 시뮬레이션 프로그램을 분리해 주는 ROM(RTI Object Model) 프레임워크를 제안하였다. ROM은 RTI 서비스 부분, 객체상태 관리, 및 데이터 관리 부분으로 구성된다. ROM 프레임워크는 '창조21' 연동화 모델 개발에 성공적으로 활용되었다.

기존연구를 종합적으로 정리하면 HLA를 포함한 통신 관련부분과 시뮬레이션 엔진부분을 분리하여 소프트웨어 프레임워크로 구성하는 추세이다. 이전 연구에서 미비한 분야는 정교한 실시간 시뮬레이션 지원 시뮬레이션 엔진과 실시간 분산시뮬레이션을 지원하면서 신뢰성 있는 통신지연시간을 갖는 통신관련 프레임워크 부분이다.

#### 마. HLA 기반 대공 체계시험평가 시설

미국 Raytheon사는 Patriot 체계의 시험평가를 위하여 FMS(Flight Mission Simulator)을 개발하여 사용하고 있다. FMS는 실 사격(Flight Test)로 시험평가 하기 곤란한 항목들에 대하여 M&S 기법

을 활용하는 시험평가 도구이다. FMS는 대공유도 무기 시험평가의 개념을 실 사격 중심에서 M&S 중심으로 전환할 수 있는 가능성을 보여주었다<sup>[14]</sup>. 또한, Raytheon사는 HLA에 기반한 SM-3(Standard Missile) 체계의 시험평가시설을 개발하여 체계 수준의 시험에 사용하고 있다<sup>[15]</sup>. 독일 육군도 Gepard 방공유도무기체계 기술시험(DT : Development Test) 및 운용시험(OT : Operational Test)에 HLA에 기초한 M&S 기술을 활용하는 HIL(Hardware-in-Loop) 시설을 개발하여 활용하고 있다<sup>[16]</sup>.

#### 바. 체계시뮬레이터를 위한 프레임워크 필요성

체계시뮬레이터는 HLA를 이용하는 군사용 시뮬레이터와 TCP/IP 및 UDP 통신을 이용하는 실 무기체계를 연결하여 동작하는 시스템이다. 따라서, HLA 및 TCP/IP, UDP 통신을 모두 지원하는 통신미들웨어가 필요하다.

체계시뮬레이터는 다수의 구성요소로 구성되어 있다. 이 구성요소들은 서로 네트워크로 연동되어 하나의 대공유도무기 패더레이션(Air Defense System Federation)을 이루게 된다. 각각의 부 구성요소들은 시뮬레이션 수행을 위해서 시간간격 실행모델을 지원하는 시뮬레이션 엔진이 필요하다.

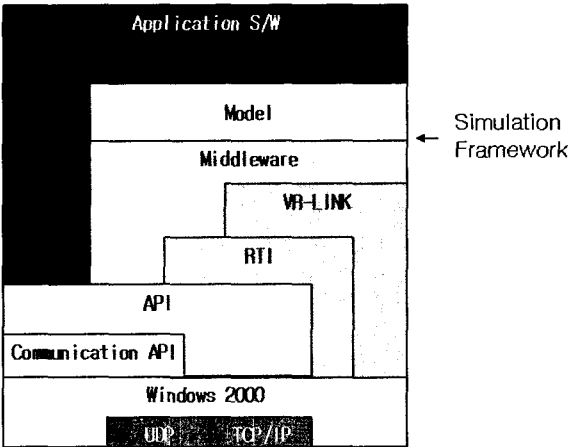
개발자들이 통신미들웨어와 정밀한 실시간 분산 시뮬레이션 엔진을 각각 개발하기 보다는 공통적인 프레임워크를 적용하여 재사용을 높일 필요성이 있다.

따라서, 체계시뮬레이터의 실시간 분산 시뮬레이션 요구조건을 만족시키는 통신부분 및 시뮬레이션 엔진을 포함하는 소프트웨어 프레임워크 적용이 필요하였다.

### 3. 대공유도무기 시뮬레이션 프레임워크

대공유도무기 각 패더레이트에서 사용되는 공통적인 기능들을 지원하는 것이 대공유도무기 시뮬레이션 프레임워크의 개발목적이다. 실시간 분산 시뮬레이션을 위해서는 구성요소들이 서로 필요로 하는 자료를 주어진 시간 내에 송수신해주는 통신기능이 필요하고, 시간을 전진시키면서 모의를 수행하는 시뮬레이

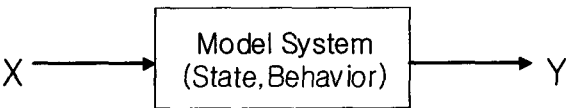
션 엔진이 필요하다. 대공유도무기 시뮬레이션프레임워크는 중요한 기능인 통신기능을 담당하는 미들웨어 부분과 실시간 시뮬레이션 엔진을 담당하는 모델구조 (Model Architecture) 부분으로 구성된다. 전체적인 소프트웨어 계층구조는 그림 2와 같다.



[그림 2] 대공유도무기 시뮬레이션 소프트웨어 구조

가. 모델구조

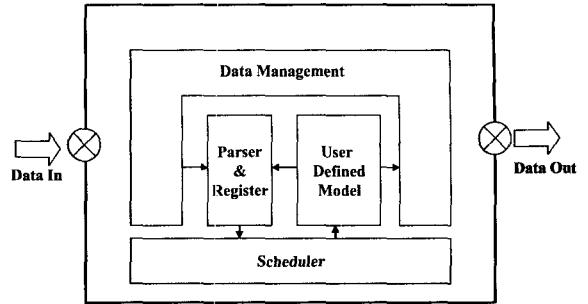
제안한 모델구조는 이산 모델시스템을 기반으로 개발하였다. 그림 3의 상태(State)는 이산 모델시스템에서 정의한 상태변수(State Variables)에 해당된다. 행위(Behavior)는 이산 모델시스템 내부의 행동을 모사하는 사건을 수행하는 내부함수를 말한다.



[그림 3] 모델구조에서의 모델 시스템

1) 모델구조 구성

모델구조의 큰 구성은 그림 4와 같이 데이터관리 (Data Management), 분배/등록(Parser/Register), 및 스케줄러(Scheduler)로 구성된다. 데이터는 모델의 인터페이스(Interface)를 통해서 들어온 후 사용자 정의 모델로 전달된다. 전달된 데이터는 사용자 정의모델에서 처리하여 데이터 인터페이스를 통하여 외부로 출력된다.



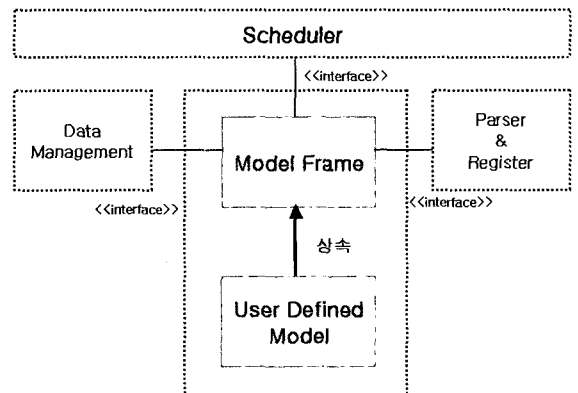
[그림 4] 모델구조 구성

2) 모델구조 기능

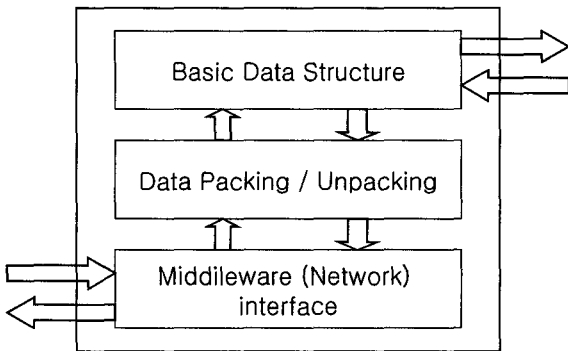
사용자 정의 모델(User Defined Model)을 통해 모델링하려는 모델은 각각 자신의 상태와 행위를 가지고 외부 입력이나 내부 연산을 통해 상태를 변화시키거나 행위를 수행한다. 따라서, 사용자 정의 모델은 외부 인터페이스 부분과 모델이 공통적으로 가지는 기능을 모아놓은 프레임이다. 나머지 부분은 이 프레임을 기반으로 모델을 정의하는 사용자가 작성하여야 한다. 그림 5와 같이 사용자가 정의하는 모델은 기본적으로 모델프레임(Model Frame)의 기능을 상속하여 사용한다.

데이터 관리 부분은 모델프레임에서 기본적으로 제공하는 데이터구조(Data Structure)들을 정의하고, 그 데이터들을 미들웨어인 네트워크가 전송/수신할 수 있게 포장(Packing)/정리(Unpacking)한다.

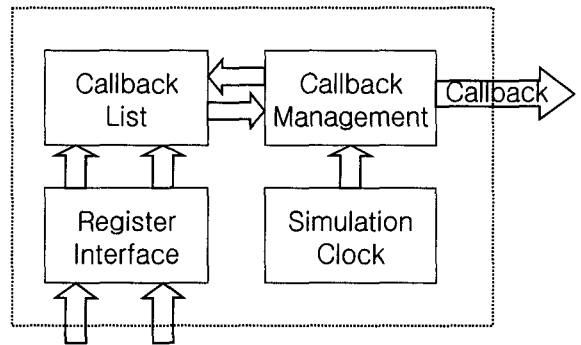
그림 6은 미들웨어로부터 데이터가 입력되어 사용자 정의 모델로 전달되는 구조를 나타낸다.



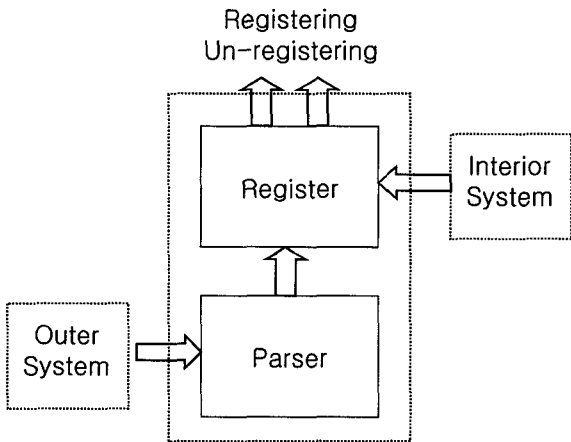
[그림 5] 사용자 정의 모델



[그림 6] 데이터관리



[그림 8] 스케줄러 구조



[그림 7] 등록/분배기 구조

분배기는 외부 시스템을 통해 들어오는 데이터를 데이터관리 모듈을 이용하여 가져와 그 데이터를 분석하여 사용자 모델을 구동하는 스케줄러로 호출함수 (Callback Function)를 등록한다. 내부모델에서 주기적인 호출과 비 주기적 호출을 스케줄러에 등록하거나 취소하게 되는 경우는 등록기를 이용하여 직접 수행하게 된다. 단, 공통적인 모델프레임이 이를 수행할 수 있는 인터페이스를 제공한다. 그림 7은 분배/등록기의 구조를 나타낸다.

스케줄러의 기본적인 기능은 모델의 시뮬레이션 시간 진행에 따라 사용자 정의 모델 상태에 영향을 주는 사건을 발생시키는 것이다. 여기서 사건은 사용자가 정의한 행위를 시뮬레이션 시간 흐름에 따라 호출해주는 것으로 정의하였고, 스케줄러는 외부와 모델에서 요구하는 호출함수를 등록기 인터페이스를 통해

등록시키거나 취소시킨다. 그것을 시뮬레이션 시계 (Simulation Clock)를 참조하여 사용자 정의 모델의 행위를 호출한다. 등록된 행위 리스트는 기본적으로 시뮬레이션 시간 흐름에 따라 정렬된다. 각 호출마다 우선순위를 결정하여 호출관리가 호출을 할 것인지를 결정하게 된다. 그림 8은 사용자 정의 모델로부터 사건등록 과정과 등록된 사건에 대해서 사용자 정의 모델의 행위가 호출되는 과정을 나타낸다.

시뮬레이션 프레임워크 모델 스케줄러는 정밀한 실행모사 주기를 수행하고자 GPS Board Timer 또는 Multimedia Timer를 사용하였다.

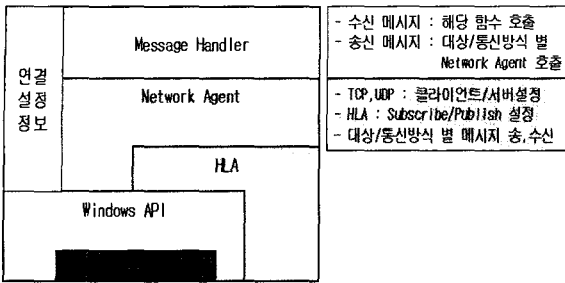
#### 나. 미들웨어

체계시뮬레이터는 분산 시스템으로 실 체계와 시뮬레이터를 통합하여 실체계의 성능을 분석하는 목적으로 설계되어있다. 실 체계 장비의 경우 TCP/IP나 UDP를 이용하며 시뮬레이터 연동을 위하여 별도의 HLA 인터페이스를 제공하지 않으므로, TCP/UDP와 HLA를 모두 지원하는 미들웨어를 작성하여 일관된 품질의 네트워크 서비스를 제공해야 한다.

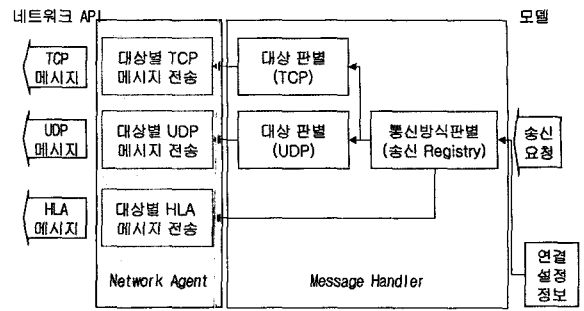
시뮬레이션 프레임워크 미들웨어의 구조는 그림 9와 같다.

미들웨어는 미 국방성 4계층의 정의에 의하여 프로그램 계층에 속하는 모듈로 다음과 같은 기능을 제공한다.

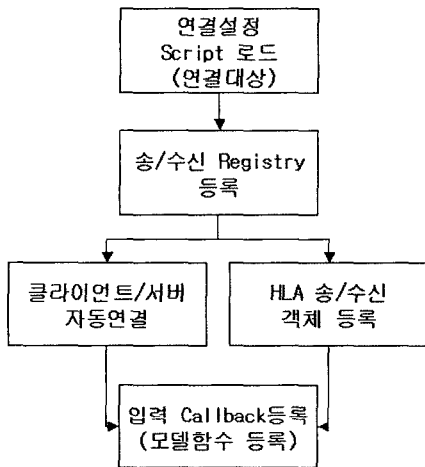
- ① TCP/IP 통신의 자동설정
  - 서버 및 클라이언트 생성
  - TCP/UDP 메시지 전달



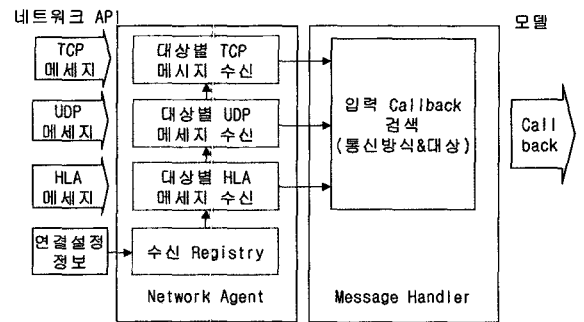
[그림 9] 미들웨어 구조



[그림 11] 미들웨어 이용 정보 전송



[그림 10] 미들웨어 통신 설정



[그림 12] 미들웨어 이용 정보 수신

- 메시지 전송 및 입력 메시지 감시/전달
- ② HLA 통신의 자동설정
  - Publish 및 Subscribe
  - HLA 메시지 전달
  - 메시지 전송 및 입력 메시지/전달

HLA에서 Publish라는 것은 정보를 전송한다는 의미이고, Subscribe는 정보를 수신한다는 의미이다.

제안된 미들웨어가 HLA와 TCP/IP를 이용하여 통신을 하기 위한 기본 설정은 그림 10과 같다.

사용자는 스크립트나 미들웨어 제공 API(Application Program Interface)에 의하여 클라이언트-서버 및 HLA 송/수신 객체에 대한 등록을 수행할 수 있으며 해당정보가 들어왔을 때 호출되는 사용자 함수를 지정 할 수 있다.

미들웨어를 이용한 데이터 전송 및 수신은 그림 11 및 그림 12와 같다.

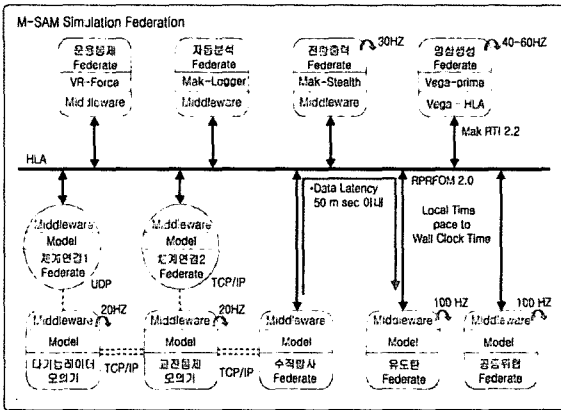
#### 4. 대공유도무기 시뮬레이션 프레임워크 적용사례

대공유도무기 시뮬레이션 프레임워크를 사용하여 M-SAM 체계시뮬레이터를 작은 자원(인력, 예산, 기간)으로 주어진 요구조건을 만족하게 설계하고 구현하였다. 2004년 탐색개발 시제품을 개발 완료하였다.

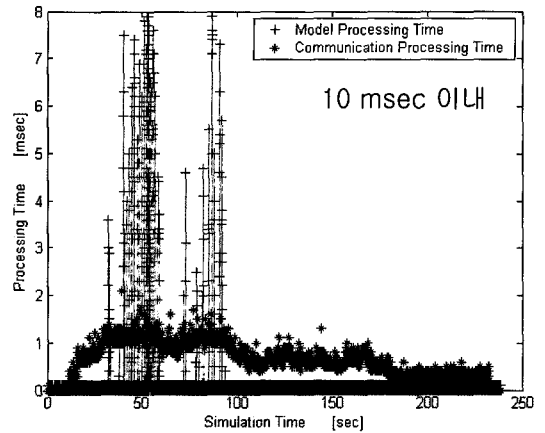
##### 가. 개발환경

체계시뮬레이터 모델은 Mak RTI 2.1을 사용하며, Window 2000 운영체제에서 C++ 언어로 구현하였다. 제안된 대공유도무기 시뮬레이션 소프트웨어 프레임워크는 C++을 사용하여 구현하였고, 전체 패더레이션 구조는 그림 13과 같다.

상용제품을 사용하는 영상생성 장치를 제외한 모든 구성요소에 시뮬레이션 프레임워크를 적용하여 성공적으로 개발 하였다.



[그림 13] M-SAM 시뮬레이션 패더레이션



[그림 14] 유도탄 패더레이트 처리시간

나. 시험 및 결과

일반적인 시뮬레이션 소프트웨어 프레임워크 성능 측정을 위해서는 통신 지연시간 및 시뮬레이션 엔진 측면에서 본 갱신주기를 측정하여야 한다<sup>[10,11]</sup>.

대공유도무기 시뮬레이션 프레임워크는 실시간 분산 시뮬레이션을 지원해 주어야 한다. 이를 시험하기 위하여 아래와 같은 3가지 항목에 대해서 시험하였다. 또한, 기존 성능측정 논문<sup>[8]</sup>에서 사용한 시간 동기화 방법인 단순 NTP(Network Time Protocol)와 시간측정에 사용한 윈도우 타이머는 정확성이 1ms~30ms의 오차를 가지고 있었다. 기존방법은 대공유도무기 시뮬레이션 프레임워크의 성능측정에 부적합하다. 대공유도무기 시뮬레이션의 경우 성능요구조건이 50ms 이하이고, NTP를 사용할 경우 송수신 양쪽 단에서 생기는 측정오차가 최악의 경우 60ms 이상이 될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 1μs 이상의 정밀도를 갖는 bc637PCI GPS Board타이머를 같이 사용하였다<sup>[17]</sup>.

일반적으로 논리적으로 검증하기 곤란한 경우 분산 시뮬레이션의 실시간성을 검증하기 위해서는 시스템이 갖는 최악의 조건을 생성한 후 시간적 요구조건을 만족하는지를 보고 판단한다. 본 연구의 시험 결과들은 체계시뮬레이터의 최악의 조건(worst case)의 하나인 최대다수의 유도탄을 모의했을 때이다. 체계시뮬레이터 요구조건에 따라 유도탄 모의 패더레이트는 다수의 유도탄에 대하여 100Hz(처리시간 10ms 이내)로 처리하여야 한다. 시뮬레이션 프레임워크 적용

결과 그림 14와 같은 요구조건에 만족한 결과를 얻었다.

1) 모의 정보 갱신 주기 정확성

유도탄 정보는 시뮬레이션 수행을 위해서 100Hz 단위로 갱신되어야 한다. 갱신 주기 정확성에 대한 시험 결과는 그림 15와 같다.

2) 데이터 전송 주기 정확성

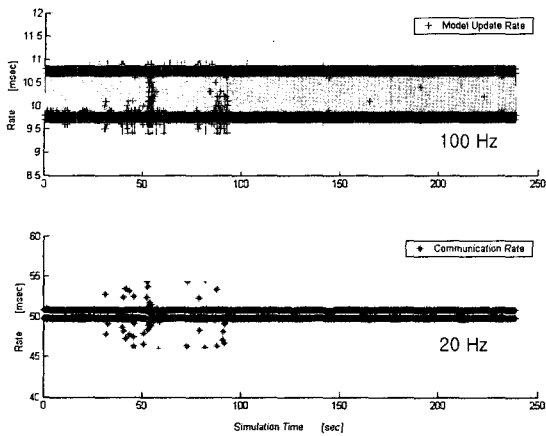
유도탄 정보는 시뮬레이션 수행을 위해서 주기적으로 이 정보를 필요로 하는 패더레이트에 전송하여야 한다. 체계시뮬레이터의 설계요구조건은 20Hz 단위로 전송해야 한다. 데이터 전송 주기 정확성에 대한 시험결과는 그림 15와 같이 표현되어 있다.

3) 주기적 데이터 통신 지연시간

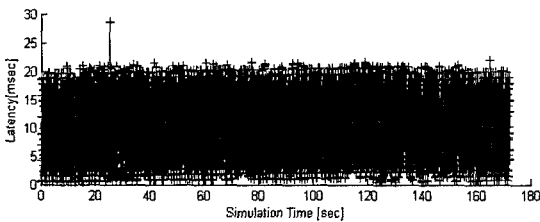
실시간 분산 시뮬레이션 수행을 위해서는 필요한 정보들이 네트워크를 통해서 전송/수신 되어야 한다. 유도탄에 대한 정보는 그림 15와 같이 주기적으로 전송되었다. HLA를 준수하려면 RTI를 이용하여 통신을 수행해야 한다. 하지만, RTI는 내부적으로 처리하는 일 때문에 많은 계산 부하가 발생하여 통신 지연시간에 영향을 미친다. 따라서, RTI 성능분석을 위한 많은 연구들이 진행되어 오고 있다<sup>[8,18,19]</sup>.

체계시뮬레이터 유도탄 패더레이트에서 공중위협 패더레이트까지 메시지 지연시간 요구조건은 50ms이





[그림 15] 갱신 주기 및 전송주기 정확성



[그림 16] 메시지 전송 지연시간

하이다. 프레임워크를 적용하여 시험한결과 그림 16과 같이 만족한 결과를 얻었다. 시험결과를 자세히 살펴보면 평균적인 메시지 지연시간은 20msec 정도이고 최악의 경우에도 요구조건인 50msec 이내로 만족하는 결과를 얻었다.

다. 프레임워크 적용 체계시뮬레이터 개발 효과 체계시뮬레이터는 HLA를 기반으로 국내에서는 최초로 시도되는 실무기 체계와 시뮬레이터를 연동하는 시스템이다. 즉, Live 시뮬레이션과 Virtual 시뮬레이션을 연동하는 시스템이다. 기존의 나와 있는 국내 HLA 연동시스템들은 위게임과 같은 구조적(Constructive) 시뮬레이션이었다. 체계시뮬레이터개발에 프레임워크를 개발하여 적용함으로써 일반적인 모델개발자가 복잡한 HLA에 개발기술에 대해서 익숙하지 않아도 된다는 장점을 제공하였다. 또한, 기존에 검증된 HLA 적용기술을 소프트웨어 프레임형태로 적용함으로써, 검증 및 확인에도 많은 도움을 제공

하였다. 개발된 프레임워크를 지대공유도무기 사업 M&S 분야에 확대 적용할 수 있는 기회를 가지게 되었다.

## 5. 결론

대공유도무기 체계시뮬레이터 개발을 위해서 M&S 표준인 HLA을 적용해야 했으며, 실무기 체계와 연동을 위해서 TCP/UDP 표준도 지원되어야 했다. 체계시뮬레이터는 다수의 구성요소로 이루어진 실시간 분산 시뮬레이션 시스템이므로 실시간 분산 시뮬레이션을 지원해 주는 시뮬레이션 엔진 개발이 요구되었다. 따라서 본 연구에서는 HLA 및 TCP/UDP를 지원하고, 실시간 분산 시뮬레이션을 지원하는 소프트웨어 프레임워크를 개발하였고 개발된 소프트웨어 프레임워크를 체계시뮬레이터에 성공적으로 적용하였다. 또한, 기존연구보다 더 정확한 시험장비로 시험하여 요구조건에 만족하는 시험결과를 산출하였다.

결론적으로 프레임워크는 M&S의 표준인 HLA를 지원하고 실무기 체계의 통신 프로토콜인 TCP/UDP를 지원하는 통신 미들웨어를 갖추게 되었고, 실시간 분산 시뮬레이션의 핵심인 시뮬레이션 엔진도 갖추게 되었다. 또한, 프레임워크는 앞으로 개발된 다른 M-SAM M&S 분야에 적극적으로 적용할 수 있을 것이다. 또한, 국방과학연구소 유도무기체계 모델링 시뮬레이션 분야에도 적용 가능할 것이다.

연구 결과로 제시된 프레임워크는 윈도우 2000, XP 환경에서 지원되고 있으므로 광범위한 적용을 위해서는 다른 운용체제도 지원하는 프레임워크로 발전해야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] 조병규, 이승만, 김진호, "M-SAM 체계에서의 M&S 기술 적용", 제2차 무기체계모델링/시뮬레이션 발표대회, 국방과학연구소, 2003, pp.C-1~C-17.
- [2] 조병규, 이승영, 유양선, 김세환, "M-SAM 체계

- 시뮬레이터 모델구조에 관한 연구”, 제12차 유도 무기 학술대회 논문집, 국방과학연구소, 2003, pp.105~108.
- [3] 조병규, 정석형, 김세환, “M-SAM 체계시뮬레이터 분산 통신에 관한 연구”, 제12차 유도무기 학술대회 논문집, 국방과학연구소, 2003, pp.102~104.
- [4] 김대석, 배종환, 류재철, “HLA 패더레이트 개발을 위한 ROM 프레임워크 설계 및 구현”, 정보처리학회 논문집 D, VOL. 9-D, NO. 06, 2002, pp.1137~1144.
- [5] Defense Modeling and Simulation Office, <http://www.dmsmo.mil>
- [6] Thom McLean, “Hard Real-Time Simulation using HLA”, Simulation Interoperability Workshop, 2003, Fall.
- [7] Herbert Tietje, “Benchmarking of RTIs for Real-Time Applications”, Simulation Interoperability Workshop, 2003, Euro.
- [8] 최상영, 조병규, 이길섭, “HLA 기반 실시간 분산 M-SAM 시뮬레이션에서 RTI 성능 측정 및 분석”, 정보과학회 논문집: 커뮤니티의 실제, VOL. 11, NO. 2, 2005, pp.149~156.
- [9] Kevin Cox, “A Framework-based Approach to HLA Federate Development”, Simulation Interoperability Workshop, 1998, Fall.
- [10] Jean-Pierre Belanger, Philippe Fortier & Lily Lam, “Lessons Learned from a framework approach to HLA-Compliant Federation Development”, Simulation Interoperability Workshop, 1998, Fall.
- [11] Jean-Pierre Belanger, Philippe Fortier & Lily Lam, “OSim Framework. Experience of an In-flight Refueling Federation Development Using Commercial Tools”, Simulation Interoperability Workshop, 1997, Fall.
- [12] Jay Graham, Jim Foscue, Dannie Cutts, “HLA Object Models as Software Object Models”, Simulation Interoperability Workshop, 1998, Spring.
- [13] Robert-Jan Elias, Wim Huiskamp, “Advanced Simulation Framework : A Generic Approach to Distribution Simulation”, Proceeding of the 8th International Training and Education Conference(ITEC '97), 1997, April.
- [14] Captain Andrew Yuliano, “Simulations Changing the Paradigm for Air Defense Operational Testing”, [airdefense.bliss.army.mil/adamag/April2001/Simulate.htm](http://airdefense.bliss.army.mil/adamag/April2001/Simulate.htm)
- [15] Robert S. Manthy, “Navy Theater Wide Hardware-in-the-Loop End-to-End Simulation Using Raytheon’s HLA based Standard Missile-3 System Testbed”, Simulation Interoperability Workshop, 1999, Fall.
- [16] Kurt Lessmann, Uwe Krosta, Horst Weberpals, “Germany/USA Transatlantic Distributed Simulation Project”, Euro Simulation Interoperability Workshop, 2002.
- [17] Symmetricom bc637 PCI GPS synchronized PCI Time & Frequency User’s Manual.
- [18] Pamela Knight, Ron Liedel, Melanie Klinner, “WBT RTI Independent Benchmark Tests : Design, Implementation, and Updates Results”, Simulation Interoperability Workshop, 2002, Spring.
- [19] Paul Kuiper, Arjan Lemmers, Rene Verhage, “Performance Measurements of a HLA Component-based Fighter Pilot Station”, Simulation Interoperability Workshop, 2002, Euro.