

HWIL 시뮬레이션을 위한 통합 제어 시스템 고찰

김기승\*, 김영주, 홍정운  
국방과학연구소, 국방과학연구소, 을제텍

The Review on the Integrated Control System for HWIL Simulation

Ki Seung Kim, Young Ju Kim, Jeong Woon Hong  
Agency for Defense Development, Agency for Defense Development, OIZetech

**Abstract** - The development of guided missile requires complex guidance schemes and hardware units because of high maneuver, delicate and variable missions. In this point of view, simulation systems and facilities which test missile hardwares and softwares are needed. This paper introduces the hardware-in-the loop simulation system and facilities which include the real-time computation systems and 3 Axis FMS(Flight Motion Simulator).

1. 서 론

모의비행시험은 유도탄의 성능을 검증하기 위한 방안의 하나로 실험실 환경에서 실제 비행 상황을 구현하여 개발된 구성품(H/W, S/W)에 대한 실시간 HWIL (Hardware-in-the-Loop) 시뮬레이션을 수행하는 것이다. 모의비행시험은 개발 중인 유도탄에 대한 반복적인 시뮬레이션을 수행함으로써 체계의 불확실성을 제거하고 비행시험 횟수를 최소화하여 개발비용 절감 및 기간 단축을 가능하게 한다. 시험 체계는 중앙 연산 장치, 입출력 제어 장치, 표적 모델 연산 장치 및 비행 자세 모의기(Flight Motion Simulator) 등으로 구성된다. 시험 결과에 대한 분석은 실시간으로 획득된 데이터를 기반으로 정량적으로 수행되지만 유도탄의 모의 비행 상황을 3차원 그래픽 기법을 응용하여 실시간으로 전시함으로써 즉각적이고 정성적인 비행시험 판단이 가능하다.

본 논문에서는 유도탄의 성능을 검증하기 위한 모의비행시험의 HWIL 시뮬레이션 기법 및 장비에 관하여 기술하였다.

를 탑재하였으며 real time clock에 동기 되도록 구성하였다. 실시간 연산 장치는 SGI Onyx RE2, VxWorks 기반 임베디드 VME 입출력 장치 및 PC 기반 표적 모델 연산 장치로 구성하였으며 각 연산 시스템간 실시간 통신은 Reflective Memory Network으로 구현하였다. 3축 비행 자세 모의기는 유도탄의 롤, 피치, 요 운동을 구현한다.

2.1 실시간 연산 시스템

2.1.1 중앙 연산 장치

중앙 연산 장치는 hard real time 모의비행시험의 중심으로 SGI사의 Onyx RE2 워크스테이션을 사용하였다. 실시간 구현을 위하여 IRIX6.2 운영 체제에 REACT 실시간 extension을 설치하였으며 R10000 CPU 3개를 이용하였다. 이중 하나의 CPU는 중앙 장치로 모의비행시험의 모든 시스템을 제어하도록 설정하였으며 시나리오 준비, 결과 분석, 그래픽 사용자 인터페이스, 시스템 상태 제어 및 모니터링 등의 기능을 수행한다. 나머지 두개의 CPU는 실시간 연산 장치로 유도탄의 6-DOF 운동 모델 계산, 비행 자세 모의기 제어, 실시간 프레임 제어 및 실시간 통신 등의 기능을 수행한다.

2.1.2 입출력 제어 장치

입출력 제어장치는 VME 기반의 임베디드 시스템으로 구성하였으며 실시간 운영 체제인 VxWorks를 탑재하였다. 주 연산 보드로는 MPC750 200MHz을 장착한 MVME2700을 사용하였다. 모든 탄내 통신을 수용하기 위하여 D/A, A/D, Digital I/O, Discrete I/O, 1553B 시리얼 통신 보드 및 실시간 통신을 위한 Reflective Memory Network 보드를 설치하였다. 모든 입출력은 중앙 연산 장치의 프레임에 동기 되고 수백μs에 수행되도록 프로그래밍 하였다.

2.1.3 표적 모델 연산 장치

최근 유도탄은 관성 항법 장치 및 표적을 포착, 탐색 및 추적할 수 있는 탐색기를 탑재하여 표적을 정밀 타격할 수 있는 성능을 보유하도록 개발된다. 표적 모델 연산 장치는 유도탄의 목적에 따라 항정 및 항공기 표적에 대한 모델을 계산하는 것으로 표적의 6-DOF 운동 모델 계산, 환경 모델 계산 및 실시간 통신 등의 기능을 수행한다. 표적 모델 연산 장치는 최대 12개의 표적을 계산할 수 있도록 6대의 PC로 구성하였으며 중앙 연산 장치의 실시간 프레임에 동기 되도록 프로그래밍 하였다.

2.1.4 3차원 비행 가시화 장치

실시간 모의비행시험동안 획득된 유도탄, 표적의 위치 및 자세와 각종 이벤트 데이터를 바탕으로 유도탄의 비행 상황을 on-line으로 가시화 하여 모의비행시험에 대한 즉각적이고 시각적인 평가 및 분석이 가능하다. 3차원 렌더링은 PC에서 OpenGL을 기반으로 구현하였으며 디지털 고도 데이터와 웨이딩 기법을 이용한 지형, 3차

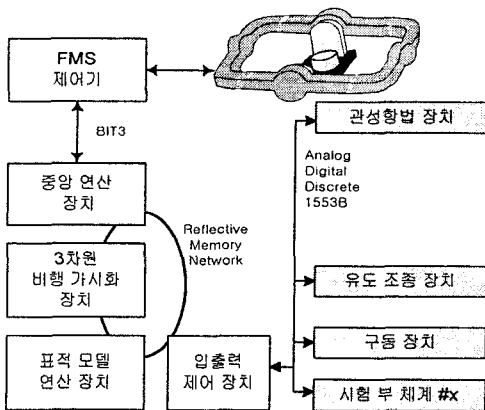


그림 1. 모의비행시험 시스템 구성도

2. 시스템 구성

모의비행시험 시스템은 hard real time을 만족하도록 중앙 연산 장치 및 입출력 제어 장치에 실시간 운영체제

원 객체에 대한 빛과 재질 효과, 텍스처 맵핑, 디스플레이 이 목록 작성 및 비트맵 폰트 등을 구현하였으며 초당 30 프레임 이상 렌더링 되도록 프로그래밍 하였다.

다중 조망 공간을 설정하여 3차원 렌더링과 고도 측 비행경로, x-y축 비행경로를 중첩하여 한 화면에서 다양한 정보를 전시하도록 구현하였다.

### 2.1.5 실시간 통신

실시간 데이터 통신은 Reflective Memory Network를 통해 수행된다. 보드는 크게 VME, cPCI 및 PCI용이 있고 광을 매개체로 하는 memory-to-memory 통신 방식을 사용하며 통신망은 반드시 링 형태로 구성되어야 한다. 즉, 한 컴퓨터에서 보드 상의 임의의 메모리 번지에 데이터를 기록하면 동일한 데이터가 수십 nS이내에 링에 존재하는 다른 보드의 동일한 메모리 번지에 기록된다. 단, 각 보드는 고유 노드 번호를 갖도록 설정하여야 하며 메모리 크기는 동일하여야 한다. 보드상의 메모리에 대한 액세스는 이 메모리 공간을 자신의 가상 메모리 공간으로 맵핑 함으로써 가능하게 된다. 따라서, Reflective Memory Network 통신 방식은 실시간 데이터 양(수백 Kbyte 이내)이 적은 분산 컴퓨터 시스템에서 성능이 극대화된다.

데이터 구조는 보드의 메모리 용량과 각 컴퓨터에서 맵핑 가능한 가상 메모리 공간을 고려하고 더블 버퍼링 등의 기법을 사용하여 사용자가 최적화 하여야 한다.

### 2.2 비행 자세 모의기

비행 자세 모의기는 유도탄의 물, 피치, 요의 비행 자세를 모의하기 위한 장비로 대개 3축으로 구성되며 1500psi 이상의 유압으로 구동된다. 적재 가능한 시험 부체계의 무게는 일반적으로 15kg에서 50kg이며 장비의 형상은 개발 유도탄의 형태 및 목적에 따라 다양하다. 가장 이상적인 비행 자세 모의기의 주파수 응답은 위상 지연이 0deg이고 크기가 0dB이어야 하지만 대개 90deg 위상 지연 포인트가 20Hz에서 30Hz사이에 위치하게 된다. 자세 각에 대한 정보는 포텐시오미터와 인덕터센을 이용하여 표시되며 해상도는 일반적으로 0.001deg를 만족하도록 설계된다.

3축 비행 자세 모의기의 구성은 아날로그와 디지털 방식의 두 가지가 있으며 최근에는 디지털 방식이 대두되고 있다. 디지털 방식은 아날로그 신호 잡음으로 인한 자세 제어 불확실성이 제거된다는 장점이 있지만 디지털 제어기가 추가되므로 시간 지연이 커지게 되며 이로 인한 위상 지연이 발생하는 단점이 있다. 최근에는 이러한 단점을 보완하여 실시간 운영 체제를 탑재하는 디지털 제어기가 사용되고 있다.

## 3. 소프트웨어 구성

실시간 연산 시스템은 분산 컴퓨터 시스템으로 구성되어 있다. 각 컴퓨터는 실시간 연산 장치가 제어하는 실시간 프레임에 연동되어야 하고 중앙 장치의 시스템 상태 제어에 따른 각각의 기능을 수행할 수 있는 CSCI(Computer Software Component Interface) 계층이 존재한다.

### 3.1 실시간 연산 시스템의 소프트웨어

CSCI는 그림 2와 같이 크게 모든 컴퓨터에 공통적으로 적용되는 기능을 수행하는 EXECUTIVE 계층과 각 컴퓨터의 고유 기능을 수행하는 응용 프로그램 계층으로 구성되어 있다. EXECUTIVE는 시스템 제어 및 모니터링, 실시간 데이터 통신, 시스템 상태 핸들링, 데이터 기록 및 수집, 여러 핸들링 및 예외 처리, 응용 프로그램 실행 등의 기능을 수행한다.

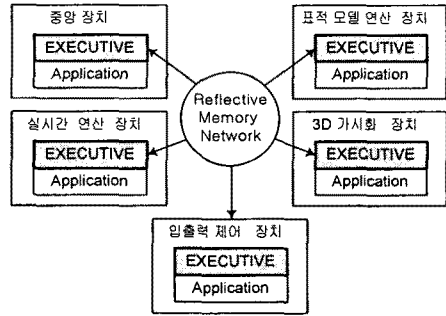


그림 2. 실시간 연산 시스템 소프트웨어 구성도

시스템 상태 제어는 중앙 장치의 사용자 인터페이스를 통해 수행된다. 그림 3의 INIT 상태에서는 각 컴퓨터가 제어하는 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 초기화를 수행한다. RUN 상태에서는 실시간 연산 장치를 중심으로 모의비행시험이 수행되며 DATA\_COLLECTION 상태에서는 실시간으로 저장한 각종 시험 데이터를 저장장치로 수집하게 된다. 또한, 중앙 장치를 통해 시스템에 대한 검사, 조정 및 진단 등의 기능도 수행하게 된다.

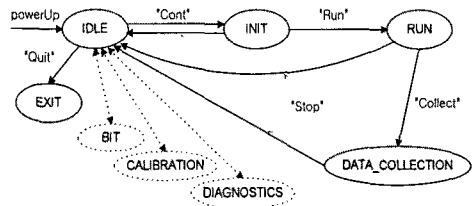


그림 3. 시스템 상태 흐름도

### 3.2 입출력 제어 장치의 소프트웨어

입출력 제어 장치는 실시간 연산 장치에서 계산한 유도탄의 정보를 각 구성품에 전송하고 그 반환 값을 수신하여 실시간 연산 장치에 다시 전송하는 과정을 한 프레임 내에 수행한다. 이와 같이, 여러 입출력 보드에 대한 동기화, 우선순위 및 타이밍 등에 대한 제어가 용이한 실시간 운영 체제 VxWorks를 탑재하였으며 시스템의 안정성을 고려하여 VME 버스 방식을 채택하였다. 각 보드를 제어하기 위한 소프트웨어 계층은 그림 4와 같다.

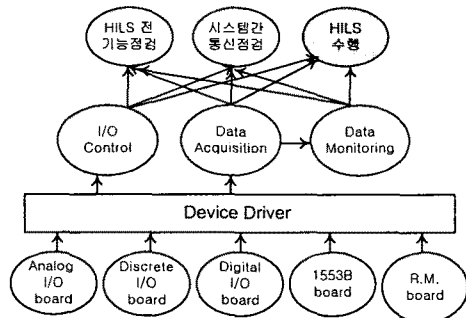


그림 4. 입출력 소프트웨어 계층

### 3.3 3차원 비행 가시화 소프트웨어

3차원 비행 가시화 소프트웨어는 실시간 통신망에서

Slave만 동작하며 시스템 상태에 따라 실시간 데이터를 모니터링하고 이를 렌더링 한다. 즉, 데이터 자체가 실시간이므로 별도의 렌더링 타이머를 사용을 배제하고 폴링 방식을 채택하여 초당 최소 20에서 최대 40 프레임을 구현하도록 구현하였다.

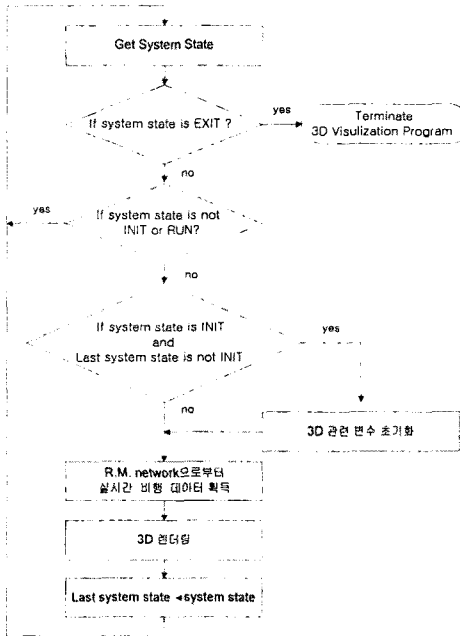


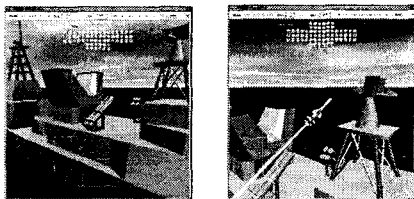
그림 5. 3차원 렌더링 흐름도

### 3.4 비행 자세 모의기 제어

비행 자세 모의기 제어기는 디지털 방식의 VME 임베디드 시스템으로 구성되어 있다. 디지털 제어기는 실시간 연산 장치와 VME 어댑터(BIT3)를 통하여 구동 명령 데이터 및 궤환 데이터를 송수신 한다. 통신 방식은 R.M. 보드와 동일하게 제어 명령이 차지하는 VME 주소 공간을 Onyx 워크스테이션의 가상 메모리 공간으로 맵핑하여 메모리 읽기/쓰기 방식으로 구현하였다.

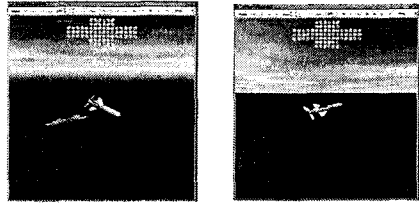
## 4. 모의비행시험 결과

다음 그림 6은 실시간 모의비행시험 과정을 3차원으로 가시화 한 결과이다.

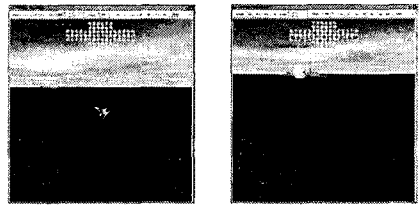


(1) 발사 대기

(2) 발사



(3) 고고도 비행 단계 (4) 중기 유도 비행



(5) 해면 밀착 비행 (6) 표적 격침

그림 6. 유도탄 3차원 비행 가시화 결과

## 5. 결 론

본 논문에서 소개한 HWIL 시뮬레이션 시스템을 모의 비행시험에 적용하여 실제 비행시험 이전에 유도탄 성능을 예측하였으며 비행 시험 결과와의 비교 분석을 통하여 우수한 시뮬레이션 시스템을 입증하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] G.D.Swetnam, "RF Homing Missile Guidance & Control Simulation Techniques, Facilities, and Experiences", AGARD, CP 257, 1979
- [2] R.G. Lee, "Guided Weapons", Brassey's Defence Publishers Ltd., 1988
- [3] C. J. Silverio, "OpenGL Programming Guide", D.N. 007-1797 020, SGI, 1994
- [4] "Tornado User's Guide", DOC 12612 8D 01, WindRiver, 1999