

적외선 유도탄의 실시간 시뮬레이션

◦김 태 연*, 김 영 주*, 이 종 하**

* 국방과학연구소 ** 충북대학교

A real time simulation for IR Guided Missile

T. Y. Kim*, Y. J. Kim*, J. H. Lee**

* Agency for Defence Development **Chung Buk Univ

Abstract - A real time simulation is an effective tool for use in design, performance evaluation, and testing of the vehicle dynamic system. An alternate approach is to use a computer system designed specifically to provide an integrated simulation environment in which all aspects of hardware-in-the-loop simulation task have been taken into account.

Key Words : Real Time Simulation (실시간 모의시험), IR Guided Missile (적외선 유도탄), Hardware-In-The-Loop Simulation(실물 모의시험).

유도탄은 동체 끝 부분에 부착된 십자형(Cruciform)의 4개의 꼬리날개에 의하여 공력학적 제어 방식을 채택하고 있다. 날개는 공압서보에 의하여 독립적으로 제어되며 서보는 비행자동제어장치(Autopilot)로부터 조종명령에 따라 작동한다. Autopilot는 2개의 2-DOF Gyro와 탐색기로 부터 주어진 유도명령에 따라 처리하는 수치제어 프로세서를 내장하고 있다. 표적물은 탐색기의 앞돔개(Radome) 내부에 있는 적외선 광학 감지장치에 의하여 추적된다.

유도탄은 발사후 5초동안 추진 연료가 시간함수로 소모됨으로써 비행체의 MOI(Moment of Inertia)와 무게중심(Center of Gravity : c. g.)과 무게등이 변한다.

1. 서론

본 논문은 적외선 탐색기에 의하여 호우밍 유도되는 공대지 유도무기체계에 대하여 실시간 실물 모의시험(Hardware-In-The-Loop : HILS)을 수행하는데 이용되는 소프트웨어 프로그램 개발과 AD100 컴퓨터의 실시간 시뮬레이션에 관하여 소개한다. 시뮬레이션과 관련하여 유도탄 체계의 시뮬레이션 모델링에 대하여 간략히 소개하고 시뮬레이션에 필요한 Multiple frame integration에 대하여 기술하였다.

시뮬레이션 적용모델로 선정된 유도탄은 헬기에 장착된 발사대에서 발사되며 약10km 떨어진 지상에서 움직이는 표적에 대하여 파괴할 수 있는 능력을 가지고 있다.[1]

그림1.1은 디지털 시뮬레이션을 위한 시나리오로 주어진 표적물을 파괴하는데 비례항법유도(proportional navigation guidance: PNG)법칙에 따라 적외선 탐색기에 의하여 호우밍하는 모습을 보여주고 있다. 호우밍 유도[2]에서는 목표물과 유도탄의 상대위치 및 속도등의 상태변수에 대한 정보획득을 유도탄내의 탐색기에 의하여 이루어진다. 지령신호 산출은 탐색기의 목표물 LOS(line of sight)의 변화량에 PNG법칙으로 이루어진다.

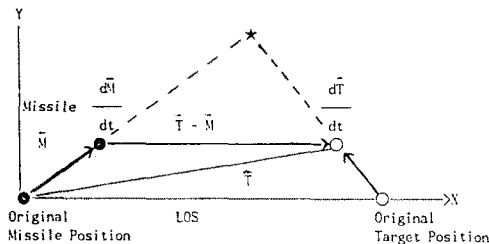


그림 1.1 디지털 시뮬레이션을 위한 시나리오

2. 유도탄 시뮬레이션 모델

일반적으로 유도무기체계를 간단한 블록선도로 나타내면 그림2.1과 같다. 6-DOF 디지털 비행궤적 시뮬레이션은 유도탄의 힘(Forces)과 모우먼트(Moments)를 계산하고, 발사에서 목표물을 요격하는데 이르기 까지 유도탄의 공간상의 비행궤적을 계산하는데 그 시뮬레이션 결과로부터 나온 가속도를 이용한다. 이 원리를 적용함으로써 유도탄의 위치와 그외의 다른 비행상태를 예측할 수 있게된다. 디지털 비행궤적 시뮬레이션의 개략적인 시뮬레이션 모형은 비행체(Airframe), 비행자동제어장치(Autopilot), 비행유도장치(Guidance), 비행운동 방정식(Kinematics) 그리고 유도탄과 표적물사이의 기하학적 관계식등으로 구성되어있다.

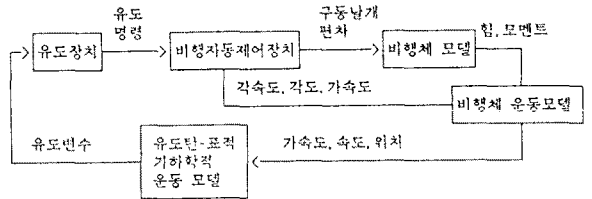


그림2.1 유도탄 비행궤적 시뮬레이션 블록선도

비행궤적 시뮬레이션 모형은 그림2.1 블록선도와 같은 구조로 구성되어 있으며, 컴퓨터 산업의 발달로 위와같은 복잡한 모델의 시뮬레이션도 실시간으로 처리 가능한 특별한 용도로 개발된 컴퓨터가 등장하게 되었다. 실시간 시뮬레이션은 미국 ADI사가 제작한 AD100 디지털 시뮬레이션 컴퓨터와 미국 DEC사가 개발한 호스트(Host) 컴퓨터인 VAX-11/780 시스템과 I/O전담 컴퓨터인 VMEbus 컴퓨터를 이용하여 수행된다. 이때 사용된 프로그램 언어는 ADSIM 이라는 하이레벨 언어다.

유도탄의 시뮬레이션 모델은 ADSIM 언어로 코딩하여 AD100 수치전산기에 의하여 시뮬레이션이 수행됨으로, ADSIM 언어의 장점인 모듈화 기능을 충분히 활용하여 유도 무기체계의 각 서브시스템을 분야별로 구분할 수 있기 때문에 프로그램 오류를 발견하는데 용이하며, 특히 HILLS 수행 시에 각 서브시스템에 대한 성능평가를 위하여 각 서브시스템별로 실패 하드웨어로 대체하여 시험하기가 매우 쉽다. 그림 2.1과 대조하여 비행궤적 시뮬레이션 프로그램상의 모듈들의 구성은 그림 2.2와 같다. 시뮬레이션 모델은 MCC (Missile Coordinate Conversion) 모듈, LOS(Line of Sight) 모듈, 탐색기(Seeker) 모듈, 비행자동제어장치 (Autopilot) 모듈, 구동장치(Actuator control system)모듈, 비행체 및 공력(Aerodynamic)모듈로 구성된다.

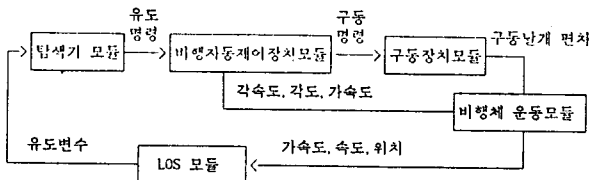


그림 2.2 유도탄 비행궤적 시뮬레이션 모듈

2.1 MCC 모듈

MCC 모듈은 적용모델에 대한 좌표계를 정의하고 있다. 적용모델은 표적물체가 지상위에 있는 운반체 임으로 Inertial axis는 지표면위에서 유도탄과 표적기 사이에 설정된 최초의 LOS선상에서 표적기 위치를 좌표계의 원점 (Origin)으로하여 지표면에 설정한다. 이때 Inertial axis는 지구좌표계(Earth axis)와 동일하며 +Z축 방향이 지표면 아래로 향하고 지표면 위에 놓여있으며, 최초의 표적위치가 지표면 좌표계의 원점에 놓여 있다. 비행체 고정 좌표계는 무게중심점에 원점을 가지며 +X 축은 비행체의 코(Nose)방향이며 Roll축을 나타내고, Z방향은 Yaw축을, Y방향으로는 유도탄의 Pitch축을 유발한다. 유도탄의 자세는 동체에 고정된 설치대(Platform)위에 장착된 2개의 2-DOF Gyro에 의하여 감지된다. Gyro 1 은 관성축(Inertial frame)에서 Roll, Yaw각도를 Gyro2는 Pitch 각을 측정한다.

2.2 LOS 모듈

LOS모듈은 표적기 모델과 수평축, 수직축의 추적오차를 만들어낸다. 탐색기는 Gyro의 수평대(Gyro-Stabilized Platform)위에 장착되며, 유도탄축 방향으로 탐색기가 움직이도록 규정되었다. 기하학적 모델이 표적기의 움직임을 정의하는데 사용된다. 표적기 선형가속도는 $\pm 0.1ft/s^2$ 크기로 Random하게 변하고 회전속도는 표적기 속도의 함수로 가정하였다. 이 모듈에서는 유도탄과 표적기 사이의 상대속도에 따라 Azimuth와 Elevation 각도, 유도탄의 위치에 따라 표적기 상대 위치 및 상대속도를 산출한다. 탐색기는 RADOME 과 GLINT현상에 의하여 추적오차가 발생하며 이로써 LOS의 각변위가 발생된다.

2.3 탐색기 모듈

탐색기는 2개의 Gimbal축으로된 유도탄 동체에 부착된 관성 수평대위에 장착된다. 탐색기는 주기적으로 LOS모듈 프로세서에서 산출된 2방향의 표적 추적오차를 선별하고 Pitch/Yaw 유도명령을 산출한다. 유도명령이 탐색기 Boresight가 표적기의 LOS상에 위치하도록 내려진다.

2.4 비행제어장치 모듈

이 모듈에는 유도필터와 비행자세를 제어하는 Pitch/Yaw 조종장치와 Roll, Pitch/Yaw 조종명령 보상회로등이 포함된다. 비행자동제어장치는 탐색기의 유도명령과 유도탄의 Roll, Pitch, Yaw 자세를 Sensor로부터 측정된 값을 이용하여 구동명령을 계산하고 조종날개에 구동명령을 준다.

2.5 구동장치 모듈

구동장치는 비선형 제어장치로서 4개의 조종날개에 각 구동명령을 주기위한 4개의 제어장치가 있다. 구동장치의 제어루우프는 4차 서브시스템으로 비선형 마찰계수와 제한된 토오크 및 구동날개의 제한각도등이 포함된다.

2.6 비행체의 공력학 모듈

이 모듈에는 공력과 모멘트를 산출하기 위하여 공력계수가 계산 되어진다. Function Generation은 이와같은 공력계수를 결정하는데 이용되며, 일반적으로 이것은 비선형 함수로 Mach number, Angle of attack, Fin deflection과 Sideslip Angle의 함수로 되어있다. 다양한 공력계수와 모멘트 계수는 유도탄의 동체축상(Body Axes)에서 얻어지기 때문에 유도탄의 운동방정식으로 부터 얻어진다.

3. 시뮬레이션

3.1 ADSIM 언어

ADSIM 시뮬레이션 언어는 연속시스템(Continuous system)과 불연속시스템(discrete system)으로써 비선형 시스템으로된 Mixed-data system에 대하여 실시간으로 시뮬레이션하는데 매우 우수한 도구가 된다. 따라서 고차의 비선형 플랜트(Plant)의 제어시스템을 설계하여 증명하고 검증하는데 매우 유용하게 사용된다. ADSIM 시뮬레이션 언어는 AD100 시뮬레이션 컴퓨터를 위하여 특별히 고안된 하이 레벨 언어로서 ACSL, CSSL 과 CDSM과 유사한 언어다. 다양한 적분 방식, Extrapolation과 Interpolation등이 지원된다.

3.2 AD100 컴퓨터

ADSIM 시뮬레이션 언어가 사용되는 AD100 컴퓨터는 7개의 Parallel processors로 구성된 Simulation compute engine 이다. AD100은 20Mflops 처리 능력과 Synchronous system, Bus-oriented system을 갖는 Multiprocessor 이다.

3.3 Integration 방법

유도무기체계와 같은 복잡구조로된 Dynamic System은 최근의 전산기 분야의 눈부신 발전에 힘입어 수치제어 시스템으로 개발되어 다양한 형태의 탄내 컴퓨터가 탑재되어 서브시스템별로 처리속도를 달리하고 있다. 그러므로 Dynamic System은 Fast Subsystem과 Slow Subsystem으로 구성된 Multi Frame System이된다.

즉 매우빠른 Dynamic System을 갖는 부모모델로 인하여 실시간 시뮬레이션의 수행이 어렵게 되는 경우에는 빠른 Dynamic특성을 갖는 부모모델에 대한 적분구간의 정수배 만큼 작게 선정하여, 느린모델에 대하여 한번이상의 적분을 수행하는 기법인 다중프레임 적분을 수행하므로써 안정된 시뮬레이션의 수행 및 시뮬레이션 정확도를 높일수 있다.

3.4 연속시스템과 불연속시스템의 시뮬레이션 기법

디지털 제어기와 같은 불연속 Dynamic 특성모델과 비행체 모델, 구동장치 모델등의 연속 동특성 모델이 혼합되어 있는 시뮬레이션 모델의 시뮬레이션 수행에는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- 1) A/D, D/A 변환에 따른 정량화 오차(Quantization Error)
- 2) 적분구간과 불연속제어기 모델의 샘플링 시간 조정
- 3) 실시간 시뮬레이션 수행을 위한 프레임타임 조정
- 4) 불연속 제어기 모델의 연산 지연 시간조정

4. 시뮬레이션 결과

적용대상 유도무기체계는 헬기에 장착된 공대지 유도탄으로 적외선 탐색기에 의하여 종말 호우밍 유도된다. 시뮬레이션 시나리오를 설명하면 초기에 25ft/s로 비행하는 헬기에 탑재된 유도탄이 표적물의 후방20,000ft 거리의 100ft 상공에 있으며, 표적물은 25ft/s로 160 degrees 헤딩각도(Heading Angle)로 주행하는 가상의 탱크이다.

AD100 실시간 디지털컴퓨터에 의하여 수행되는 적응대상 유도무기체계의6-DOF 시뮬레이션 프로그램은 ADSIM으로 코딩(Coding) 되었고 상태방정식의 적분방법은 AB2이며 Frame Time은 500 μ s이며, ADSIM 시뮬레이션 결과는 그림3.1 과 같다.

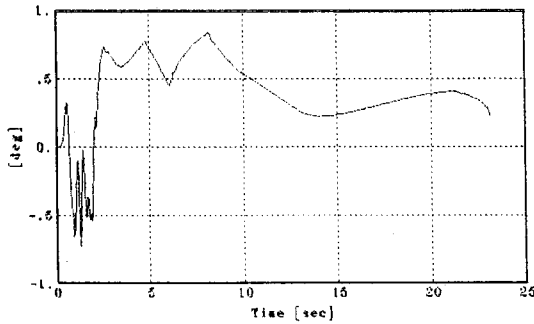
그림 3.1의 기호 설명은 다음과 같다.

PHI : Roll Angle

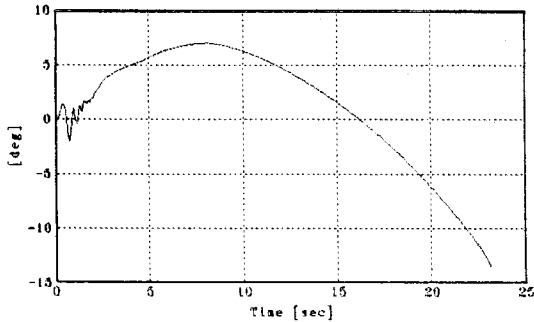
THE : Pitch Angle

PSI : Yaw Angle

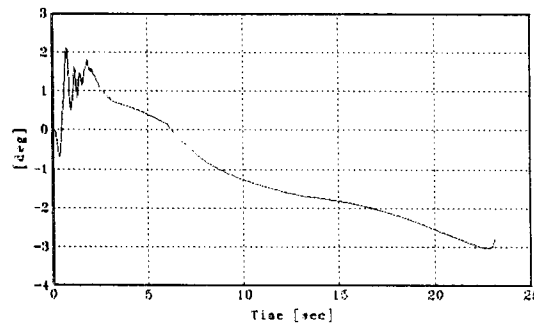
X_m, Y_m, Z_m : Missile X, Y, Z



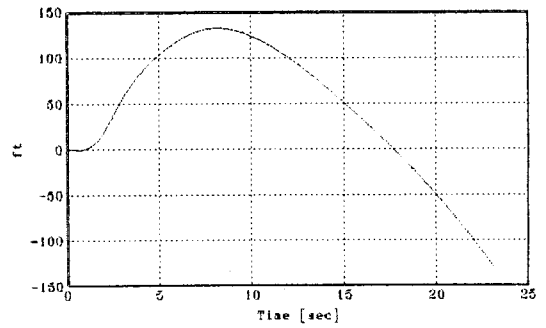
PHI



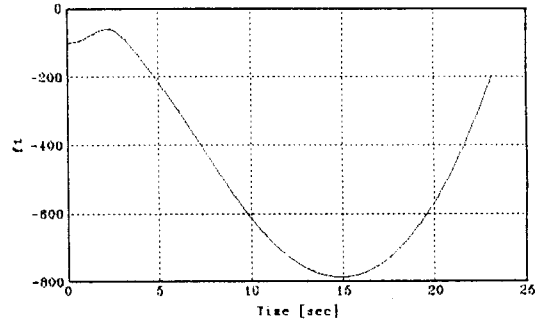
THE



PSI



y_m



z_m

그림 3.1. ADSIM 시뮬레이션 결과

5. 결론

본 논문에서는 유도무기체계의 유도조종장치를 설계하여 성능평가하는데 요구되는 시뮬레이션 기법에 관하여 연구하였다. 시뮬레이션 모델링과 AD100 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 이용하여 적응모델로 선정된 적외선 탐색기가 포함되는 유도조종장치에 대한 실시간 시뮬레이션을 수행할 수 있었다. 실물 탐색기가 포함된 종합성능평가를 위한 Closed loop HILS는 추후 연구과제로 남겨둔다.

참고 문헌

- [1] Paarmann, L.D. et al. "Guidance Law Handbook for Classical Proportional Navigation", IIT Research Institute, June, 1973.
- [2] "Six-Degree-of-Freedom Missile Simulation", ADI Application Report, March 1989
- [3] A. Morin "A Method for Digital Simulations of Countermeasures Against Infrared Guided Missiles", Defence Research Establishment Valcartier, Quebec, Canada, Proceedings of ADIUS 87, 21-24 June, 1987
- [4] Garnell, P. and East, D.J., "Guided Weapon Control Systems" Pergamon Press, 1980.
- [5] Emil J. Eichblatt, Jr. "Test and Evaluation of the Tactical Missile" vol.119 Progress In Astronautics and Aeronautics, Martin Summerfield, pp129-194, 1989.
- [6] Steve Zammit, "Simulation of Mixed-Data Systems Using the Applied Dynamics Simulation Language ADSIM"
- [7] A. Haraldsdortir, "Multiple Frame Rate Integration", 88-4579-CP, AIAA, 1988.