

## 고기동 BTT 미사일 시스템의 통합 시뮬레이션을 위한 GUI 구현

박세범\*, 염준형\*, 하인중\*  
서울대학교 전기컴퓨터공학부\*

### Design of 3D GUI Simulator for Integrated BTT Missile System

Se-Beom Park\*, Joon-Hyung Yeom\*, In-Joong Ha\*  
School of EECS, Seoul National University\*

**Abstract** - OpenCV를 사용하여 MFC/OpenGL 환경의 BTT 미사일을 설계하였다. 시뮬레이션을 수행 하는 동안의 이미지에서 표적의 특징점 (Feature point)를 추출해 호모그래피 행렬(Homography Matrix)을 계산 하여 이로부터 표적의 위치, 속도, 자세 정보등을 추정하도록 하였다. 그리고 미사일 동역학, 자동 조종 장치 역시 C로 구현하여 통합 시뮬레이션 환경을 구축하였다.

#### 1. 서 론

최근 영상 센서와 영상 처리 기법의 발전으로 정지 물체의 자세를 추정할 수 있게 되었다. 또한 단일 카메라를 이용한 물체의 6자유도 운동을 추정하는 기법[1]이 개발되어 이를 이용하여 물체의 위치, 속도, 가속도, 회전 속도 등을 추정할 수 있게 되었으며, 이를 표적의 위치/자세 정보를 추정하여 특정한 충돌각으로 미사일을 표적에 유도할 수 있다면 효과적으로 표적을 파괴할 수 있을 것이다.

한편 비행체의 충돌각에 대한 필요성과 관심이 높아지고, 여기에 최적 제어 이론을 응용한 OG(Optimal Guidance)가 도입되기 시작하였다. [2]에서는 표적을 2차원 공간에서 지상의 고정된 물체가 아닌 일정한 속도와 가속도를 가지는 움직이는 물체로 보고 표적 충돌각에 대한 최적 유도 기법을 제안하였다. [3]은 일정한 속도로 접근하는 미사일의 횡 가속도에 대한 계단 응답과 경사 응답의 선형 결합으로 충돌각과 에너지를 최적화 하는 유도 기법을 개발하였다.

그러나 이러한 시스템을 실제 미사일 시스템에 적용하여 모의 실험을 하기 위해서는 수많은 현실적 제약들이 존재한다. 따라서 대부분의 경우 수치 해석 툴인 matlab에 의존하고 있다.

본 논문에서는 MFC/OpenGL/OpenCV를 사용하여 영상 탐색기를 사용하는 BTT 미사일 시스템의 통합 시뮬레이션을 위한 시뮬레이터를 설계하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 단일 카메라를 이용한 물체의 병진 운동 추정 기법

움직이는 물체의 호모그래피 행렬(Homography Matrix)의 파라미터인 회전 변환 행렬, 정규화된 변위 벡터는 카메라와 물체의 움직임이 합쳐져 있다. 물체에 대해서 얻을 수 있는 유일한 정보는 단일 카메라로 촬영한 영상 뿐이므로, 호모그래피 행렬의 파라미터로부터 물체의 운동을 분리하려면 카메라의 회전 및 위치 정보가 필요하다. 여기에서는 카메라의 회전 및 위치 정보를 알 수 있다고 가정을 하며, 다음과 같은 가정을 추가한다.

- A1) 물체는 강체이다.
- A2) 카메라의 위치 및 회전 정보를 알 수 있다.

앞선 가정을 통해서 병진 운동 모델을 다음과 같이 선형 시스템으로 나타낼 수 있다.

$$x_o = \Phi_O[k+1, k] \cdot x_o[k] \tag{1}$$

여기에서 상태변수는 3차원 벡터로 표현 된 물체의 위치, 물체의 속도로 정의한다. 위 시스템을 추정하기 위해 출력과 상태 변수간의 관계식을 구하기 위하여 카메라와 물체의 변위 벡터와 호모그래피 행렬간의 관계를 분석하면 가정 A2)에 의해서 카메라의 위치가 다음과 같이 상태 변수와 초기 시간에서의 카메라 좌표계의 원점의 위치와 물체 좌표계의 원점의 위치간의 거리 d와의 식으로 나타낼 수 있다.

$${}^{C_0}p_{C_k} = C_T[k] \begin{bmatrix} x_o[k] \\ d \end{bmatrix} \tag{2}$$

where

$$C_T[k] = \left[ C_p - \left( \frac{{}^{C_0}R_{C_k}[k]}{d} + {}^{C_0}R_{O_k} {}^{O_0}R_{C_0} \frac{{}^{C_0}p_{O_0}}{{}^{C_0}n \cdot {}^{C_0}p_{O_0}} \right) \right]$$

$$C_p \triangleq [I_3 \quad 0_{3 \times 3}]$$

0번째 카메라 좌표계로부터 물체 좌표계의 회전 변환 행렬은 알 수 있는 수치이며, 변위 벡터와 상평면의 법선 벡터는 호모그래피 행렬로부터 구할 수 있으며, 물체의 회전 변환 역시 계산이 가능하므로 C[k]의 모든 행렬을 영상으로부터 구할 수가 있다. 즉, 모든 성분을 시변이 계수(Time-Varying Coefficient)처럼 다룰 수가 있게 된다. 따라서 다음과 같이 물체의 운동방정식을 선형 시변이 시스템으로 볼 수 있다.

$$\begin{aligned} x[k+1] &= \Phi[k+1, k]x[k] + w[k] \\ y[k] &= C[k]x[k] + v[k] \end{aligned} \tag{3}$$

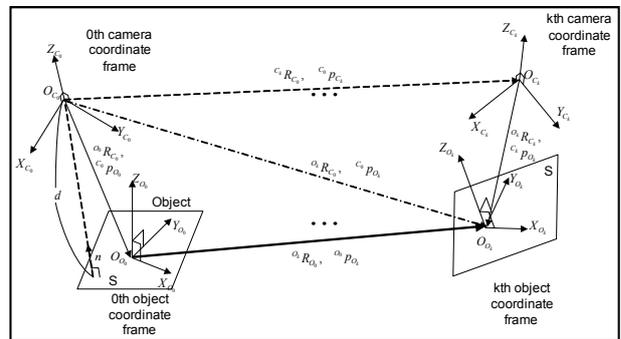
where

$$x[k] = \begin{bmatrix} x_o[k] \\ d \end{bmatrix}$$

$$y[k] = {}^{C_0}p_{C_k}$$

$$\Phi[k+1, k] = \begin{bmatrix} \Phi_O[k+1, k] & 0_{6 \times 1} \\ 0_{1 \times 6} & 1 \end{bmatrix}$$

$$C[k] = C_T[k]$$



<그림 1> 카메라 좌표계 및 물체 좌표계 설정

따라서 물체의 병진 운동 모델을 선형 시변이 시스템의 형태로 나타내었으므로 선형 시변이 시스템의 대표적인 추정 기법인 칼만 필터를 이용하여 물체의 운동을 추정할 수 있게 된다.

## 2.2 최적 유도 법칙

영상 센서를 이용한 탐색기가 개발이 되면서 이로부터 표적의 위치, 속도, 자세 정보 등을 추정할 수가 있게 되었다. 따라서 표적을 효과적으로 파괴할 수 있도록 요격시 특정한 충돌각으로 미사일을 유도할 수가 있게 되면서 표적 충돌각을 고려한 유도 법칙의 필요성이 증가하게 되었다.

이를 위해서 다음과 같이 목적함수를 정의 한다.

$$J = \frac{1}{2} [|y(t_f)|^2 + |z(t_f)|^2 + w_a (|\psi(t_f)|^2 + |\theta(t_f)|^2)] + \int_{t_0}^{t_f} [w_1 |A_z^c(t_f)|^2 + w_2 |\phi^c(t_f)|^2] d\tau \quad (4)$$

위의 식에서 w는 각각 순서대로 충돌각, 피치 가속도 명령, 롤각 명령에 대한 가중치를 나타내는 상수이다. 위의 식은 구동기의 제어 편각을 직접 최소화하는 것은 아니지만 유도 명령을 최소화함으로써 제어 편각의 크기를 감소시키는 효과를 얻을 수 있음이 자명하다. 위의 식을 토대로 최적 문제의 해를 풀면 피치 가속도 명령과 롤각 명령은 time-to-go 함수를 계수로 갖는 state feedback with time-varying gain 형태를 가지게 된다. 따라서 위의 해를 지시표 형태로 구성하면 실시간으로 구현이 가능하다.

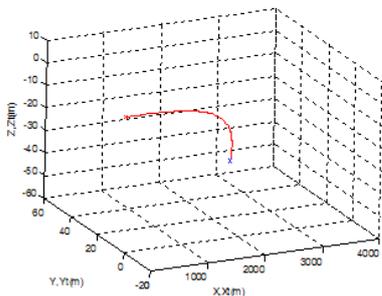
## 2.3 BTT 미사일 시뮬레이터

위의 결과들을 바탕으로 시뮬레이터를 구성하였으며, 사용한 환경은 MFC/OpenGL이다. 그리고 행렬 형태와 영상 처리를 위해서 OpenCV를 사용하였으며, 특징점 추출을 위해 Harris 코너 검출기를 사용하였다. 아래의 그림은 위의 토대로 구현한 시뮬레이터의 초기화면이다.

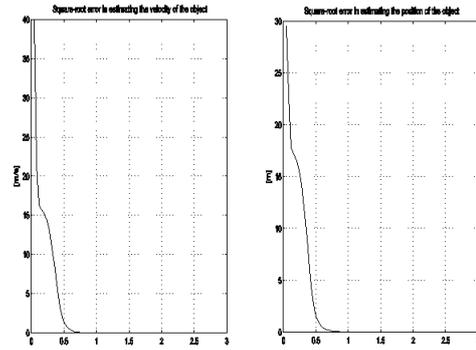


<그림 2> GUI 시뮬레이터 초기화면

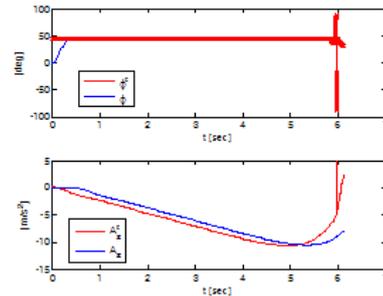
다음 그림들은 위 시뮬레이터로 모의 실험을 한 결과들이다.



<그림 3> 미사일 궤적



<그림 4(좌)> 위치 추정치 오차  
<그림 5(우)> 속도 추정치 오차



<그림 6> 롤 각/피치 가속도 명령/응답

## 3. 결 론

단일 카메라를 이용한 영상에서 물체의 병진 운동하는 기법과 표적 충돌각을 고려한 최적 유도 법칙을 C로 구현하여 BTT 미사일의 통합 GUI 시뮬레이터를 설계하였다. 이를 이용하여 영상 정보를 이용한 탐색기의 개발, 유도 법칙 등의 개발에 응용이 가능할 것으로 예상된다.

## Acknowledgement

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화센터(IIRC)를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UD070007AD)

## [참 고 문 헌]

- [1] 송은한, "단일 카메라의 영상을 이용한 6자유도 운동을 하는 물체의 자세 추정 기법", 서울대학교 전기컴퓨터공학부, 2009년 2월
- [2] 홍진우, "구동기 동역학을 고려한 BTT 미사일의 유도 조종 시스템 설계", 서울대학교 전기컴퓨터공학부, 2007년 8월
- [3] 조철, "충돌각을 고려한 BTT 미사일의 최적 종말 유도 법칙 설계", 서울대학교 전기컴퓨터공학부, 2009년 2월
- [4] C. G. Harris, M. Stephen, "A Combined Corner and Edge Detector", In proceedings of Alvey Conference, 1988