

CAMShift 영상 처리 기법을 이용한 기동형 경계 로봇의 목표추적 시스템[§]

서봉철* · 김성수**† · 이동엽***

* 충남대학교 기계설계 · 메카트로닉스공학과, ** 충남대학교 메카트로닉스공학과, *** 한국타이어

Target-Tracking System for Mobile Surveillance Robot Using CAMShift Image Processing Technique

Bong-Cheol Seo *, Sung-Soo Kim **† and Dong-Youm Lee ***

* Graduate School of Mechanical Design · Mechatronics Engineering, Chungnam Nat'l Univ

** Dept. of Mechatronics Engineering, Chungnam Nat'l Univ.

** Hankook Tire Co., Ltd.

(Received September 3, 2013 ; Revised November 7, 2013 ; Accepted November 12, 2013)

Key Words: Target-Tracking Control(목표추적 제어), Stabilization Control(안정화 제어), Mobile Surveillance Robot(기동형 경계 로봇)

초록: 기동형 경계 로봇의 목표 추적 시스템은 효율적인 경계 임무를 수행하는데 있어서 중요한 부분이다. 본 논문은 영상 장치를 포함한 3 축 기동형 경계로봇의 영상 정보를 이용한 목표 추적 알고리즘을 제안하였다. 제안된 목표추적 알고리즘에서는 카메라 영상의 중심과 카메라 영상으로 포착된 목표물 중심 사이의 위치 에러를 이용하여 영상 장치의 목표 지향 벡터를 획득하였으며, 위치 에러를 획득하기 위하여 영상 처리 기법 중 하나인 CAMShift(Continuously Adaptive Mean Shift) 알고리즘을 적용하였다. 최종적으로, 목표 추적 알고리즘을 실험 모델에 적용해 봄으로써 실제 실험 환경에서의 목표 추적 알고리즘의 적용 타당성을 검증하였다.

Abstract: Target-tracking systems are important for carrying out effective surveillance missions using mobile surveillance robots. In this paper, we propose a target-tracking algorithm using camera image data for a three-axis mobile surveillance robot and carry out an actual hardware test for verifying the proposed algorithm. The heading direction vector of a camera system is deduced from the position error between the viewfinder center and the object center in a camera image. The position error is obtained using the CAMShift(Continuously Adaptive Mean Shift) algorithm, an image processing technique. The performance test of an actual three-axis mobile surveillance robot was carried out for verifying the proposed target-tracking algorithm in a real environment.

1. 서 론

기동형 경계 로봇은 차량 및 선박 등에 장착 되어 경계 감시 임무를 수행하는 국방 로봇으로서, 크게 사격 시스템, 카메라 시스템, 제어 시스템으로 구성 되어지며, 뛰어난 기동성과 넓은 시야 각을 갖는다는 장점으로 인해 개발 실용화를 위한 연구들이 이루어지고 있다. 이것의 대표적인 예로써 이스라엘의

RCWS(Remote Control Weapon System), 노르웨이의 Protector M151, 한국의 Super aEgis 2 등을 꼽을 수 있다. 이러한 기동형 경계 로봇은 외란에 대한 안정화와 이동 목표물에 대한 대응 사격을 효율적으로 만들어주는 목표 추적 시스템을 필요로 한다. 하지만 기 개발된 시스템의 개발 내용들은 군사적인 이유로 알려지지 않고 있다.

목표 추적 시스템은 크게 영상 안정화와 목표물 추적에 대한 제어 알고리즘을 필요로 한다. 이와 관련하여 국내외 목표 추적 시스템에 대한 연구 동향을 살펴보면, 국외의 경우 항공 분야에서 사용되는 EOTS (Electro-Optical Targeting System) ⁽¹⁻³⁾에 적용하기 위한 2 축 짐벌 형태의 목표 추적 시

§ 이 논문은 대한기계학회 IT 융합부문 2013년도 춘계학술대회 (2013. 5. 9.-10., 대명리조트) 발표논문임.

† Corresponding Author, sookim@cnu.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

시스템이 활발히 연구되고 있으며, 국내의 경우 2축 기동형 경계 로봇 시스템에 적용 가능한 목표 추적 시스템이 연구되어지고 있다.^(4,5)

이러한 국내의 연구 동향을 보면, 목표 추적 시스템에 대한 대부분의 연구가 팬, 틸트 축에 대한 2축 안정화에 기반을 두고 있다는 것을 알 수 있다. 하지만, 2축 목표 추적 시스템은 롤 축에 대한 자유도의 부재로 롤 외란에 대한 영상의 안정화를 보장할 수 없다. 따라서, 롤 외란을 동반하는 선박 및 차량에 탑재되는 기동형 경계 로봇에 있어서 2축 목표 추적 시스템은 안정화된 영상을 획득하기에 부족한 점을 갖고 있다.

본 논문에서는 기존 2축 목표 추적 시스템의 롤 외란 안정화에 대한 한계를 보완하고, 영상 정보를 통해 목표물을 추적할 수 있도록 고안된, 영상 정보를 이용한 3축 목표 추적 시스템을 제시하였다.⁽⁶⁾ 또한, 3축 기동형 경계 로봇의 실제 하드웨어 제작 및 실험을 통해 제안된 3축 목표 추적 시스템의 목표 추적 타당성을 검증하였다.

2. 영상 장치를 포함한 3축 기동형 경계 로봇

Fig. 1은 도담 시스템의 aEgis 2 경계 로봇을 나타낸다. aEgis 2는 팬, 틸트의 2축 구동 모델로서, 기관총과 CCD 카메라, LRF(Lazer Range Finder)를 포함하고 있다. aEgis 2의 구동 가능 범위는 팬 축의 경우 $180^{\circ} \sim +180^{\circ}$, 틸트 축의 경우 $-20^{\circ} \sim +30^{\circ}$ 이다.

Fig. 2는 aEgis 2 모델을 기반으로 생성된 동역학적 등가 가상 모델을 나타낸다. 하지만 기동형 경계 로봇은 차량 및 선박의 롤 외란에 대해서도 안정적인 영상을 획득할 수 있어야 하므로, 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 Fig. 2 모델에 영상 장치를 포함시킨 3축 기동형 경계로봇의 가상 모델을 생성하였다.

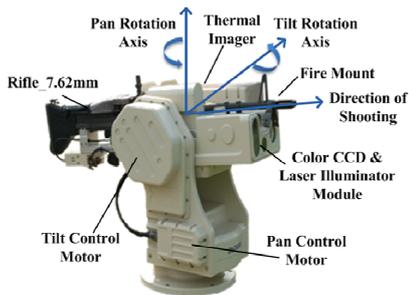


Fig. 1 aEgis 2 surveillance robot(Dodaam systems Korea)

Fig. 3의 영상 장치를 포함한 3축 기동형 경계 로봇은 2축 사격 시스템, 1축 영상 장치, 모터 제어 시스템으로 구성되어있으며, 구동 토크를 최소화하기 위해 각 모듈의 무게 중심을 각 모듈의 회전 축 선상에 위치하도록 설계하였다. 이러한 3축 기동형 경계 로봇의 구동 가능 범위는 팬 모듈의 경우 $-180^{\circ} \sim +180^{\circ}$, 틸트 모듈의 경우 $-20^{\circ} \sim +30^{\circ}$, 롤 모듈의 경우 $-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$ 이다.

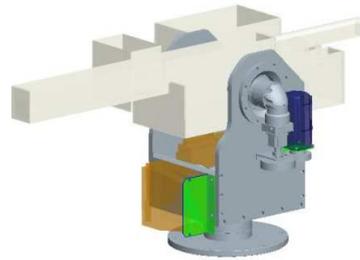


Fig. 2 Virtual model of aEgis 2

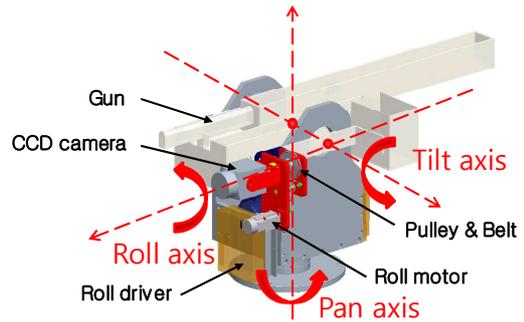


Fig. 3 Virtual model of 3-axes mobile surveillance robot with CCD camera

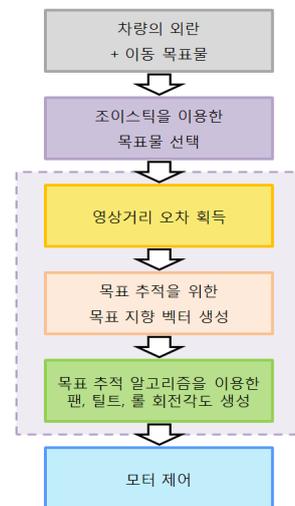


Fig. 4 Operational process of a surveillance robot target-tracking system

Fig. 4 는 영상 정보를 이용한 목표 추적 알고리즘의 전반적인 구동 과정을 나타낸다. 시스템에 차량의 외란과 이동 목표물이 주어졌을 때, 조이스틱을 이용하여 기동형 경계 로봇의 팬, 틸트 축을 수동 제어하여 영상 내에 목표물이 위치하도록 한 후, lock-on 기능을 통해 목표물을 선택한다. 선택한 목표물은 색상 기반의 영상 처리 기법 중 하나인 CAMShift 영상 처리 기법을 통해 목표물의 중심을 획득할 수 있으며, 이를 통해 목표물의 중심과 카메라 영상 중심 사이의 영상 거리 오차를 획득할 수 있다. 획득한 영상 거리 오차는 목표 추적을 위한 목표 지향 벡터를 생성하기 위해 이용되며, 이 같은 목표 지향 벡터는 목표 추적을 위한 기동형 경계 로봇의 팬, 틸트, 롤 축의 회전 요구 각도를 생성하는데 이용되어진다. 마지막으로, 팬, 틸트, 롤 축의 회전 요구 각도를 각 축의 모터 시스템에 적용하여 기동형 경계 로봇을 구동하게 된다.

3. CAMShift 영상 처리 기법을 이용한 목표물 인식 및 영상 거리 오차 획득

3.1 CAMShift 영상 처리 기법

색상 기반 영상 처리 기법을 이용한 목표물 인식 방법의 대표적인 예는 MeanShift 알고리즘과 CAMShift 알고리즘이 있다. Fig. 5 는 MeanShift 를 통해 목표물을 인식하는 과정을 도식화 한 것이다. MeanShift 알고리즘은 데이터 집합의 밀도분포를 기반으로 관심 영역(Region Of Interest) 객체를 고속으로 추적하는 알고리즘으로 초기의 검색 영역의 크기와 위치를 지정하며 반복되는 색 영역에 기반하여 경계를 결정하여 관심 물체를 추출하는 알고리즘이다. 초기 관심 영역이 정해지면 관심 영역의 중심과 관심 데이터의 중심을 구한 후 관심 영역의 중심을 관심 데이터의 중심으로 이동한다. 이때, 발생하는 벡터가 MeanShift 벡터이다. 관심영역 중심의 이동으로 새로운 관심 영역이 지정되고 새로운 관심 데이터들이 지정된다. 새로운 관심 영역의 중심 위치와 새로운 관심 데이터의 중심 위치가 같을 때까지 이러한 과정을 반복한다. 하지만, MeanShift 알고리즘은 Fig. 5 에서 보여지는 것과 같이 고정된 탐색 윈도우를 사용하기 때문에 관심 영역보다 상대적으로 작은 목표물을 추적할 때 불필요한 연산을 하게 되어 실시간 시스템에 적합하지 못한 단점을 갖고 있다.

이러한 단점을 보완하여 실시간 목표 추적 시스

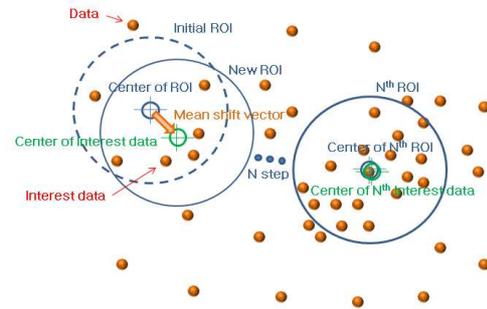


Fig. 5 MeanShift image processing for region of interest

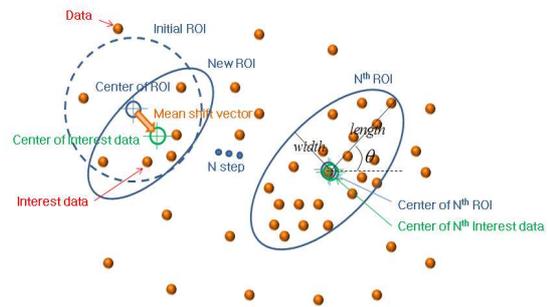


Fig. 6 CAMShift image processing for region of interest

템에 적합하도록 설계된 알고리즘이 CAMShift 알고리즘이며, CAMShift 알고리즘을 통해 목표물을 인식하는 과정은 Fig. 6 에 나타나 있다.

CAMShift 알고리즘은 MeanShift 알고리즘과 동일하게 데이터 집합의 밀도분포를 기반으로 관심 영역(Region Of Interest)의 중심과 관심 데이터의 중심을 일치시키려는 반복적인 과정을 통해 목표물을 추적하는 방식이지만, 관심 영역 지정 시 관심 영역의 크기와 회전을 고려한다는 차이가 있다. 이를 통해 불필요한 영역의 연산이 제거되어 연산량이 적어진다는 장점이 있다.

3.2 CAMShift 영상 처리 기법을 이용한 목표물 인식

색상 기반 CAMShift 알고리즘을 이용하여 목표물을 인식하고 추적하는데 있어서 RGB(Red, Green, Blue) 도메인 기반의 CCD 카메라 영상은 조명과 빛에 민감하기 때문에 실험 환경에 따라 추적의 성능이 좌우될 수 있다. 따라서, RGB 도메인의 데이터를 비교적 조명과 빛에 강한 HSV(Hue, Saturation, Value) 도메인의 데이터로 변환할 필요가 있으며, 식 (1)은 RGB 도메인의 영상 데이터를 HSV 도메인의 영상 데이터로 변환하는 과정을 나타낸다.

$$H = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2}((R-G)+(R-B))}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} \min(R, G, B) \tag{1}$$

$$V = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

Fig. 7 은 색상 기반 CAMShift 알고리즘을 이용하여 목표물을 인식하고 목표물의 중심을 구하는 전반적인 과정을 나타내고, Fig. 8 은 이러한 과정을 실제 테스트해 본 결과를 나타낸다.

관심 영역이 선정되면, 관심 영역에서의 카메라 색상 데이터의 히스토그램을 분석하고, 히스토그램을 역투영하여 관심 영역에서의 가장 많이 분포된 색상과 유사한 색상은 흰색으로, 그 외의 색상은 검은 색으로 변화시키는 이진화 과정을 거친다.

이진화 과정을 통해 획득 된 영상의 흰색 데이터에 대해서 CAMShift 알고리즘이 적용되며, 결과적으로 목표물의 중심점을 찾게 된다.

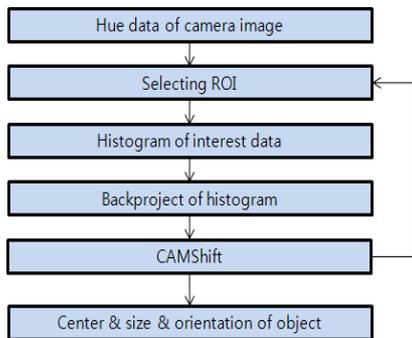


Fig. 7 Recognition of object using CAMShift image processing

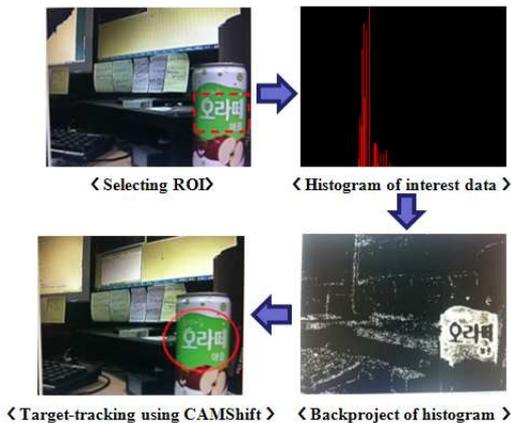


Fig. 8 Simulation results of CAMShift image processing based on color

하지만, 색상 기반 CAMShift 알고리즘은 목표물의 유실 유무를 검출할 수 있는 기능이 없다는 단점이 있다. Fig. 9 는 이러한 CAMShift 알고리즘의 단점을 보여주는 예로써, Fig. 8 에서 존재하던 목표물이 사라졌음을 인식하지 못하고 있다는 것을 알 수 있다.

이러한 문제는 관심 영역 안에 존재하던 목표물의 주요 색상 데이터가 없어지더라도 배경 색상 데이터를 적응적으로 인식하게 되는 CAMShift 알고리즘의 특성으로 인해 발생하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 목표물이 사라지면 관심 영역 타원의 크기가 급격히 변화한다는 특징을 이용하여 이러한 문제를 해결하였다. 즉, 관심영역 타원의 넓이가 이전 스텝에 비해 일정 크기 이상 급격히 커지거나 작아질 때 목표물이 사라졌음을 인식하도록 CAMShift 알고리즘을 개선하였다.

Fig. 10 은 목표물 유실 유무 검출 기능을 적용한 CAMShift 알고리즘을 테스트해 본 결과이다. 그림을 보면, 목표물을 추종하던 빨간색 타원의 관심 영역이 목표물이 카메라 영상 내에서 사라짐과 동시에 초록색 원으로 표시된 카메라 영상 중심으로 이동한다는 것을 알 수 있다.

3.3 목표 지향 벡터 생성을 위한 영상 거리 오차 획득

목표 지향 벡터를 생성하기 위한 영상 거리 오차는 식 (2)와 같이 카메라 뷰 파인더 중심으로부터 목표물 중심까지의 픽셀 오차와 한 픽셀당 실제 거리의 곱으로 표현되어지며, 목표물의 중심은 3.1과 3.2에서 설명된 CAMShift 영상 처리 기법을 통해 구해질 수 있다.

$$\text{영상 거리오차} = \text{픽셀 오차} \times \text{한 픽셀당 실제거리} \tag{2}$$



Fig. 9 Problem of CAMShift image processing based on color



Fig. 10 Loss detection test about the target

본 연구에서 사용된 카메라의 해상도는 640(H)×480(V) 으로서 카메라 영상의 중심은 320(H)×240(V) 위치하게 되며, 이를 기준으로 목표물 중심까지의 픽셀 오차를 구할 수 있다. 또한, 한 픽셀당 실제 거리를 측정하기 위해 Fig. 11 과 같이 10cm(H)×10cm(V) 크기의 격자를 포함한 보드를 이용하였으며, 카메라로부터 2m 전방에 격자 보드를 위치시키고 촬영을 시도하였다. 촬영 결과 Fig. 11 에 보여지는 것과 640(H)×480(V) 의 해상도 안에 160cm(H)×120cm(V) 크기의 투영 평면이 비춰졌으며, 이를 통해 한 픽셀 당 실제 거리는 약 0.25cm(H)×0.25cm(V) 이라는 것을 알 수 있다.

Fig. 12 는 CAMShift 알고리즘을 통해 임의의 고정 타겟을 추종해 본 결과를 나타내며, 영상 중심으로부터 목표물까지의 영상 거리 오차는 $\varepsilon_y, \varepsilon_z$ 로 표현되어진다.

4. 영상 정보를 이용한 목표 추적 알고리즘

4.1 영상 정보를 이용한 목표 지향 벡터 생성

목표 추적 알고리즘은 목표 추적을 위한 3 축의 회전 요구 각도를 획득하기 위해서, 영상 장치로부터 목표물까지의 거리 벡터(\mathbf{d}_c)의 단위 벡터인 목표 지향 단위벡터(\mathbf{e}_c)를 필요로 하며, 이러한 목표 지향 벡터는 Fig. 13 을 통해서 설명되어질

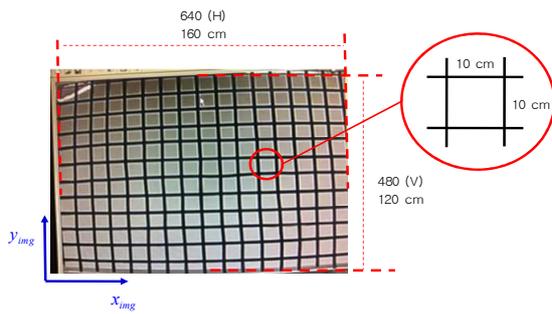


Fig. 11 Definition of the projected target

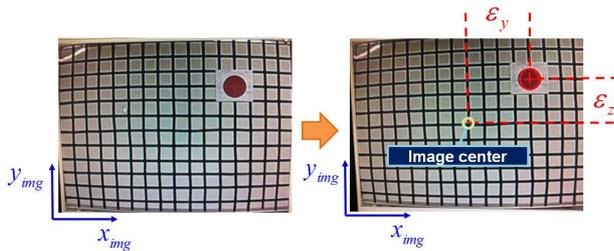


Fig. 12 Target tracking test and measurement of image error using CAMShift algorithm

수 있다.

목표물이 영상 내에 위치하고 일정 거리(l)에 있는 투영 평면에 투영되어진다고 가정하였을 때, 3 장에 기술되어있는 CAMShift 알고리즘을 통해서 카메라 뷰 파인더 중심으로부터 투영 목표물 중심까지의 영상 거리 오차($\varepsilon_y, \varepsilon_z$)를 획득 할 수 있다. 획득한 영상 거리 오차를 식 (3) 에 적용하면, 목표물을 영상 중심에 위치 시키기 위한 방위각과 고각($\alpha_{err}, \beta_{err}$)을 구할 수 있으며, 이와 같은 방위각과 고각을 식 (4)에 적용하면 카메라 기준좌표계(x'_c, y'_c, z'_c)로부터 표현 되는 목표 지향 단위벡터(\mathbf{e}'_c)를 구하게 된다.

$$\alpha_{err} = \tan^{-1}\left(\frac{\varepsilon_y}{l}\right) \quad (3)$$

$$\beta_{err} = \tan^{-1}\left(\frac{\varepsilon_z}{\sqrt{l^2 + \varepsilon_y^2}}\right)$$

$$\mathbf{e}_c = [\cos \beta_{err} \cos \alpha_{err} \quad \cos \beta_{err} \sin \alpha_{err} \quad \sin \beta_{err}]^T \quad (4)$$

4.2 목표 추적 알고리즘

목표 추적 알고리즘은 4.1 절에서 설명된 목표 지향 벡터와 차량의 위치와 자세에 대한 외란이 주어졌을 때, 기동형 경계 로봇의 영상 장치가 목표물을 추적하기 위해 요구되어지는 팬, 틸트, 롤 축 회전 각도를 생성하는 알고리즘이다.

Fig. 14 는 기동형 경계로봇의 자세를 정의하기 위한 좌표축과 좌표변환 행렬을 나타내며, 차량의 롤, 피치, 요의 함수인 $\mathbf{A}_v(\varphi_{roll}, \varphi_{pitch}, \varphi_{yaw})$ 는 차량 기준 좌표계($x'_v - y'_v - z'_v$)로부터 전역 기준 좌표계($x'_G - y'_G - z'_G$)로의 좌표변환 행렬을 나타낸다. 경계 로봇의 팬, 틸트 각의 함수인 $\mathbf{A}_g(\theta_{pan}, \theta_{tilt})$ 는 기동형 경계 로봇 기준 좌표계($x'_g - y'_g - z'_g$)

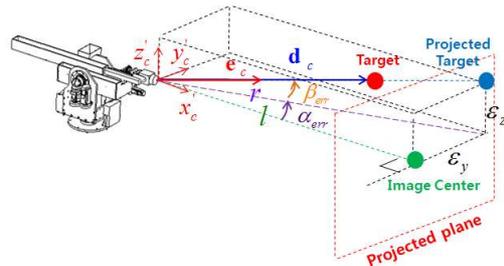


Fig. 13 Vectors and matrixes definition in target-tracking algorithm

로부터 차량 기준 좌표계 $(x'_v - y'_v - z'_v)$ 로의 좌표 변환 행렬을 나타낸다. 또한, 카메라 롤 각의 함수인 $\mathbf{A}_c(\theta_{roll})$ 는 카메라 기준 좌표계 $(x'_c - y'_c - z'_c)$ 로부터 기동형 경계 로봇 기준 좌표계로의 좌표 변환 행렬을 나타낸다. 제안된 목표 추적 알고리즘은 카메라 기준 좌표계의 카메라 지향 방향인 x'_c 축이 4.1 절에서 구한 목표 지향 벡터 \mathbf{e}_c 와 항상 평행을 유지해야 한다는 구속 조건과 카메라가 수평을 유지하기 위해서 카메라 기준 좌표계의 y'_c 축이 중력 방향과 항상 수직해야 한다는 구속 조건을 만족해야만 한다.

식 (5)는 전역 좌표계에서 표현되어지는 목표지향 단위벡터를 구하기 위한 식을 나타내며, 카메라의 지향 방향과 목표지향 단위 벡터를 일치시키고 있다. 식 (5)를 식 (6)과 같이 다시 정의하고 상기한 두 가지 구속 조건식을 적용하면, 최종적으로 구하고자 하는 기동형 경계 로봇의 팬, 틸트, 롤 회전 요구 각도를 식 (7)과 같이 획득할 수 있다.

여기서 \mathbf{k} 는 식 (6)에서 정의한 바와 같이 \mathbf{e}_c 와 \mathbf{A}_v 로 구성된 벡터이며, $\alpha_{err}, \beta_{err}, \varphi_{roll}, \varphi_{pitch}, \varphi_{yaw}$ 의 함수이다. 그리고 \mathbf{p} 는 \mathbf{A}_v 의 3 번째 행으로 구성된 벡터이다.⁽⁶⁾

$$\mathbf{e}_c = \mathbf{A}_v \mathbf{A}_g \mathbf{A}_c \mathbf{e}' \quad (5)$$

$$\mathbf{A}_g \mathbf{A}_c \mathbf{e}' = \mathbf{A}_v^T \mathbf{e}_c \equiv \mathbf{k} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \theta_{tilt} &= \sin^{-1}(-k_z) \\ \theta_{pan} &= \tan^{-1}\left(\frac{k_y}{k_x}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\theta_{roll} = \tan^{-1}\left(\frac{p_x s \theta_{pan} - p_y c \theta_{pan}}{p_x c \theta_{pan} s \theta_{tilt} + p_y s \theta_{pan} s \theta_{tilt} + p_z c \theta_{tilt}}\right)$$

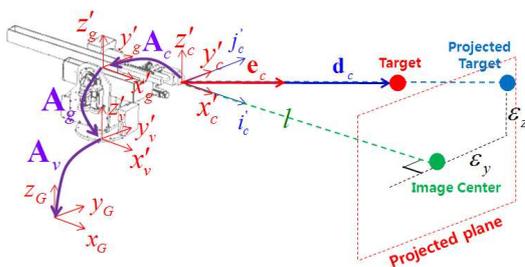


Fig. 14 Variables definition for target-tracking

5. 기동형 경계 로봇 실험 장비를 이용한 목표 추적 알고리즘 검증

5.1 목표 추적 알고리즘 증명을 위한 실험 환경
 목표 추적 알고리즘을 증명하기 위한 실험 환경은 Fig. 15 에서 보여지는 것과 같다.

빔 프로젝터와 스크린을 이용하여 대각선으로 이동하는 가상의 원형 목표물을 구현하였으며, 모션 시뮬레이터를 이용하여 기동형 경계로봇에 작용하는 외란을 구현하였다.

본 연구에서는 목표 추적 알고리즘을 검증하기 위하여 두 가지 외란 조건에서 실험을 수행하였다.

첫 번째 실험은 사인과 형태의 롤, 피치 외란을 적용한 경우이며, 두 번째 실험은 차량 주행시 발생하는 외란을 적용한 경우이다.

5.2 사인 함수 외란에서의 목표 추적 시스템 실험

사인 함수 외란을 적용한 실험은 차량 외란 환경에서의 실험을 진행하기 전에 시스템의 정상 작동 여부를 확인하기 위한 선행 실험으로서, 롤 외란을 통해 영상장치의 안정화를 확인해 볼 수 있으며, 피치 외란을 통해 기동형 경계 로봇의 틸트 축 안정화를 확인해 볼 수 있다.

Fig. 16 은 실험에서 적용된 롤, 피치 사인 함수 외란을 나타내며, 두 가지 모두 $3^\circ \sin(0.2\pi t)$ 의 모션 특성을 보인다.

Fig. 17 은 기동형 경계 로봇의 팬, 틸트, 롤 축의 회전 각도를 나타낸다. Fig. 17 에서 c-1 구간은 차량의 피치, 롤 외란에 대해 기동형 경계로봇이 정면을 지향하도록 안정화를 수행하는 구간으로서 목표물에 대한 추종은 발생하지 않는 구간이다. 따라서, Fig. 17 에서 c-1 구간을 보면, Fig. 16 에 보여지는 외란에 대해서 피치와 롤 축 회전이 180° 의 위상차를 갖는 사인파로 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 기동형 경계 로봇이 정면을 지향하

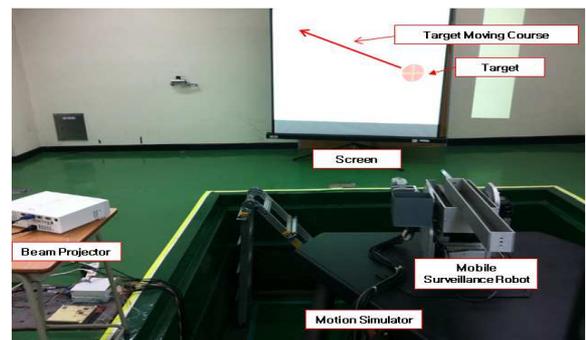


Fig. 15 Test environment of target tracking system

기 위해서 경계로봇의 피치와 롤 축 회전이 차량의 사인과 외란에 대해서 보상하고 있다는 것을 나타낸다. b-1 구간은 조종자가 조이스틱을 이용하여 목표물을 선택하는 구간으로서 목표물을 카메라 중심에 위치시키기 위해서 팬축 회전이 추가적으로 발생하는 것을 알 수 있다. 이후 구간인 c-2 구간에서는 정지 목표물이 선택되고, 이후 c-3 구간부터는 선택된 목표물이 이동하여 목표 추적 알고리즘에 의해서 목표물 추적이 수행되어지는 구간이다. 요구 각도(Desired angle)와 모터의 엔코더를 통해 획득되어진 응답 각도(Responed angle)의 그래프가 거의 일치하는 것을 알 수 있으며, 요구각도와 응답각도에 대한 오차(Error angle)가 0에 근접한 값을 갖는다는 것을 알 수 있다.

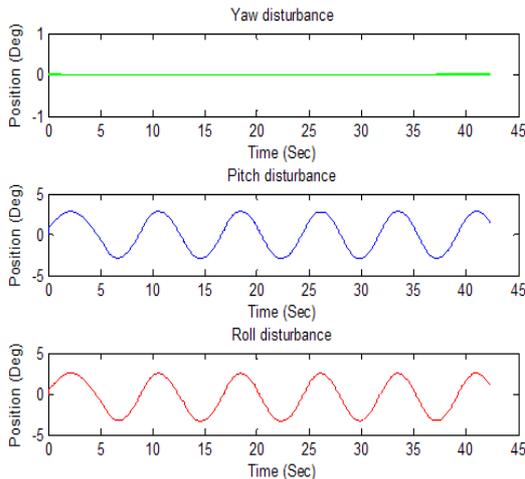


Fig. 16 Sine function disturbance of motion simulator

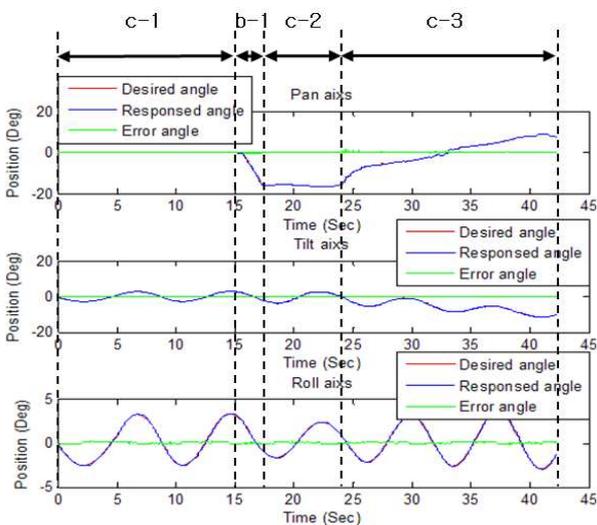


Fig. 17 Rotational angles of pan, tilt and roll from sine function disturbance

이러한 실험 결과를 통해서 사인 함수 외란이 발생하는 경우에 제안된 목표 추적 알고리즘을 이용하여 목표물 추적이 가능하다는 것을 검증하였다.

5.3 차량 외란에서의 목표 추적 시스템 실험

차량 외란은 미국에서 개발된 군용차량인 HMMWV(High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle)⁽⁷⁾가 ISO D 등급의 로드를 주행할 때 발생하는 외란을 적용하였으며, Fig. 18은 실험에 적용된 차량 외란을 나타낸다.

Fig. 18의 a-1 구간은 평지 구간으로 외란이 발생하지 않으며, a-1 구간 다음부터 외란이 발생하는 것을 알 수 있다.

Fig. 19는 기동형 경계 로봇의 팬, 틸트, 롤 회전 각도를 나타낸다. Fig. 19에서 a-1 구간은 평지 주행 구간으로 차량 외란이 발생하지 않는 구간이며, c-1 구간은 차량의 히브, 피치, 롤 외란이 발생할 때 경계로봇이 정면을 지향하는 구간으로서 기동형 경계 로봇의 틸트, 롤 축이 보상 각도만큼 회전하는 것을 알 수 있다. 또한 b-1 구간은 조이스틱을 이용하여 목표물을 선택하는 구간으로서 목표물을 카메라 중심에 위치시키기 위해서 팬축 회전이 추가적으로 발생하는 것을 알 수 있다.

이후 구간인 c-2는 목표물이 선택되어지고, 목표 추적 알고리즘에 의해서 목표물 추적이 수행되어지는 구간으로서, 요구 각도(Desired angle)와 모터의 엔코더를 통해 획득되어진 응답 각도(Responed angle)의 오차(Error angle)가 0에 근접한 값을 갖는다는 것을 알 수 있다.

따라서, 이러한 실험 결과를 통해서 실제 기동형 경계 로봇이 사용되어지는 차량 환경에서도 제

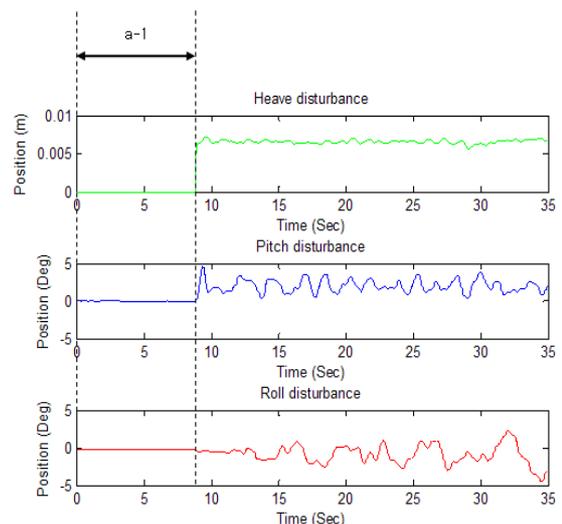


Fig. 18 HMMWV disturbance of motion simulator

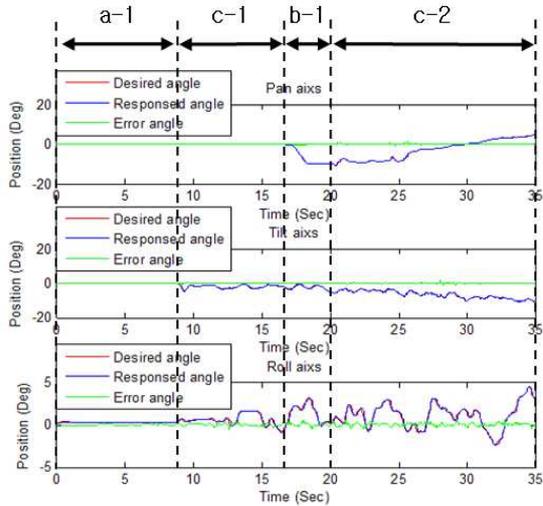


Fig. 19 Rotational angles of pan, tilt and roll from HMMWV disturbance

안된 목표 추적 알고리즘을 이용하여 목표물 추적이 가능하다는 것을 검증하였다.

6. 결론

본 논문에서는 기존 2 축 기동형 경계 로봇의 롤 모션 안정화에 대한 한계를 극복하고, 카메라 영상 정보를 획득하기 위해 설계되어진 3 축 기동형 경계 로봇의 효율적인 경계 감시 임무 수행을 위해서 CAMshift 영상 처리 기법을 적용한 3 축 기동형 경계 로봇의 목표 추적 알고리즘을 제안하였다.

또한, 사인 함수 외란을 적용한 경우와 HMMWV 차량 주행 시 발생하는 외란을 적용한 경우에 대해서 대각선으로 이동하는 원형 목표물을 추적하는 실험을 수행하였다.

두 가지 실험 모두 목표 추적 알고리즘을 통해 획득한 요구 회전 각도와 실제 기동형 경계로봇의 모터 엔코더로부터 획득한 응답 회전 각도의 오차가 0 에 근접한 값을 갖는다는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 본 논문에서 제안된 CAMshift 영상 처리 기법을 적용한 3 축 기동형 경계 로봇의 목표 추적 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

추후 연구로 배경의 색상이 목표물의 색상과 유사

한 경우 목표물 인식률인 낮은 기존의 CAMshift 알고리즘의 문제점을 극복하고, 다양한 환경에 대해서 높은 인식률을 갖을 수 있도록 하는 목표물 인식 기법의 개발이 필요하다.

참고문헌

- (1) Fitts, J. M., 1973, "Aided Tracking as Applied to High Accuracy Pointing Systems," *IEEE Trans. On Aerospace and Electronics Systems*, Vol. AES-9, No. 3, pp. 350~368.
- (2) RUE, A. K., 1974, "Precision Stabilization Systems," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, Vol. AES-10, No. 1, pp. 34~42.
- (3) Bigley, W. J. and Rizzo, V. J., 1987, "Wideband Linear Quadratic Control of a Gyro-Stabilized Electro-Optical Sight System," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 20~24.
- (4) Lee, D. Y., Kim, S. S., Kwon, J. J. and Park, S. H., 2010, "Development and Testing of Mobile Surveillance Robot using Vehicle Motion Simulator," *Proc. of the 5th Asian Conference on Multibody Dynamics*.
- (5) Choi, D. H. and Lee, S. S., 2010, "Multiphysics Simulation of Stabilized Remote Controlled Weapon System on Coast Guard Naval Ships," *Proc. of the 5th Asian Conference on Multibody Dynamics*.
- (6) Lee, D. Y., Seo, B. C., Kim, S. S. and Park, S. H., 2012, "Verification of Camera-Image-Based Target-Tracking Algorithm for Mobile Surveillance Robot Using Virtual Simulation," *The 10th International Trans. Korea Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 36, No.11, pp. 1463~1471.
- (7) Aardema, J., 1988, *Failure Analysis of Lower Rear Ball joint on the High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle(HMMWV)*, Army TACOM RD&E Center Warren, Michigan, Technical Report No. 13337.