

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(10), 902-909(2015)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.10.902

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

능동 윤곽 기법을 적용한 단일 영상 기반 인공위성 상대항법

김상현, 최한림*, 심현철

Mono-Vision Based Satellite Relative Navigation
Using Active Contour Method

Sang-Hyeon Kim, Han-Lim Choi* and Hyunchul Shim

Korea Advanced Institute of Science and Technology

ABSTRACT

In this paper, monovision based relative navigation for a satellite proximity operation is studied. The chaser satellite only uses one camera sensor to observe the target satellite and conducts image tracking to obtain the target pose information. However, by using only mono-vision, it is hard to get the depth information which is related to the relative distance to the target. In order to resolve the well-known difficulty in computing the depth information with the use of a single camera, the active contour method is adopted for the image tracking process. The active contour method provides the size of target image, which can be utilized to indirectly calculate the relative distance between the chaser and the target. 3D virtual reality is used in order to model the space environment where two satellites make relative motion and produce the virtual camera images. The unscented Kalman filter is used for the chaser satellite to estimate the relative position of the target in the process of glideslope approaching. Closed-loop simulations are conducted to analyze the performance of the relative navigation with the active contour method.

초 록

본 논문에서는 인공위성 근접운용을 위한 단일 영상 기반 상대항법에 대한 연구를 수행하였다. 추적 위성은 하나의 카메라 센서만을 이용하여 표적 위성을 관측하고 영상추적을 통해 표적 위성의 위치 정보를 얻게 된다. 그러나 단일 영상만을 이용할 경우, 표적과의 상대 거리에 해당하는 깊이 정보를 얻기 힘들다. 이러한 문제를 해결하기 위해 능동 윤곽 기법을 영상 추적에 적용하였다. 능동 윤곽 기법을 통해 표적의 이미지 크기를 얻을 수 있고 이러한 형상 정보를 바탕으로 상대 거리를 간접적으로 계산할 수 있다. 두 인공위성이 상대 운동을 하는 우주환경을 구현하고 가상의 카메라 영상을 생성하기 위해 3차원 가상현실이 이용되었다. 추적 위성은 UKF를 이용하여 표적 위성에 대한 상대위치를 추정하면서 글라이드슬로프 접근 기법을 이용하여 표적 위성에 근접한다. 상대항법의 성능을 분석하기 위해서 페 루프 시뮬레이션을 수행하였다.

Key Words : Relative Navigation(상대항법), Proximity Operation(근접운동), Image Tracking(영상추적), Active Contour Method(능동 윤곽 기법), 3차원 가상 환경(3D Virtual Reality), Glideslope Approach Method(글라이드슬로프 접근 기법)

† Received : March 4, 2015 Revised : August 24, 2015 Accepted : September 16, 2015

* Corresponding author, E-mail : hanlimc@kaist.ac.kr

I. 서론

현재의 인공위성은 탑재장비의 소형화와 경량화로 인해 과거의 인공위성보다 그 임무가 더 복잡해지고 정교해지는 추세다. 그래서 과거에는 인간이 직접 개입하여 수행하였던 인공위성 간의 랑데부 (Rendezvous) 및 도킹 (Docking) 임무를 현대에는 인공위성이 자율적으로 수행할 수 있게 하는 연구가 활발하다.

인공위성의 근접운동 (Proximity Operation)은 상대거리 1 km 이내에서 수행되는 임무를 의미하며 랑데부 및 도킹 임무가 포함된다. 근접운동을 위한 상대항법과 관련해서 카메라 센서를 이용하는 연구가 많이 진행되어왔다. 카메라 센서는 표적에 대한 형상 정보뿐만 아니라 상대적인 방위각과 고도각을 측정할 수 있지만 상대거리는 측정하기 어렵다는 단점을 가지고 있다[5,10-12]. 이렇게 상대적인 방위각 정보만을 이용하여 표적 위성에 대한 상대위치를 추정하는 문제를 기존의 여러 연구 문헌들에서 다룬 것을 볼 수 있는데 [2-4,6,8], 이러한 가관측성 문제를 해결하는 방법 중 하나가 글라이드슬로프 접근과 같이 가관측성이 확보되는 기동을 하는 것이다[2].

그러나 글라이드슬로프 접근법의 특성상 기동을 위한 임펄스 횟수가 일정 수 이상으로 늘어날 경우 상대거리에 대한 가관측성 확보가 어렵게 된다. 이것을 해결하기 위해서 본 논문에서는 능동 윤곽 기법[7,8,13]이라는 영상처리 기법을 응용한 단일 영상 기반 상대항법을 제시하였다.

능동 윤곽 기법을 통해 영상에서 표적의 형상 정보를 얻을 수 있는데 표적의 픽셀 위치 정보뿐만 아니라 표적의 크기에 대한 정보도 추가적으로 얻을 수 있다. 이러한 표적의 크기 정보를 바탕으로 추적 위성과 표적 위성 사이의 상대거리를 간접적으로 얻을 수 있게 된다.

두 인공위성이 상대 운동을 하는 우주환경을 구현하고 가상의 카메라 영상을 얻기 위해 3차원 가상현실을 이용하였다. 이렇게 얻어진 가상의 카메라 영상에 영상 잡음을 넣어서 비교적 실제와 같은 영상 정보를 시뮬레이션에서 활용할 수 있도록 하였다. 이러한 가상현실 기반 시뮬레이션 환경은 실제 하드웨어가 개발되기 전 혹은 지상에서 하드웨어를 실험하기 어려운 상황에서 인공위성의 임무 및 알고리즘 검증에 유용하게 활용될 수 있다는 것을 본 논문에서 보여준다.

표적 추적 필터로는 UKF가 사용되었으며 이것을 통해 표적 위성에 대한 상대 위치 추정치를 얻고 이 추정치 정보를 바탕으로 글라이드슬로프

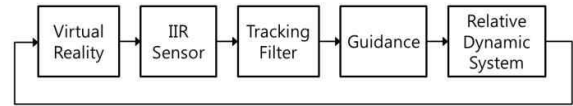


Fig. 1. Simulator structure

접근 기법을 이용한 제어 입력을 생성하게 된다.

본 논문에서는 먼저 상대운동방정식과 이를 활용한 인공위성 접근 기법을 설명하고 상대항법에서 활용하는 영상 정보를 생성하는 과정과 영상 추적 기법을 차례로 설명한다. 그리고 영상 추적 기법인 능동 윤곽 기법을 응용하여 단일 영상에서 상대거리를 얻는 방법을 제시한다. 마지막으로 Fig. 1과 같은 구조를 가지는 폐 루프 가상현실 시뮬레이션을 통해 능동 윤곽 기법을 응용한 상대항법에 대한 항법 성능을 분석하였다.

II. 본론

2.1 상대운동방정식

근접운동에서 추적 위성과 표적 위성 간의 거리가 약 1 km 이내이므로 표적 위성의 궤도반경에 비해 두 인공위성 간 거리가 상대적으로 매우 작다고 볼 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 표적 위성에 대한 추적 위성의 선형화된 상대운동방정식을 얻을 수 있게 되는데 이것을 Clohessy-Wiltshire (CW) 방정식이라고 한다.

CW 방정식에서 표적 위성이 원궤도를 가지며 이에 따라 일정한 각속도 ω 로 운동하고 있다고 가정하면 식 (1)과 같이 표현된다[1,9].

$$\begin{aligned}
 \ddot{x} - 2\omega\dot{z} &= a_x \\
 \ddot{y} + \omega^2 y &= a_y \\
 \ddot{z} + 2\omega\dot{x} - 3\omega^2 z &= a_z
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 공전 각속도 ω 는 표적 위성의 공전 반지름, R_t 과 지구 중력 상수, μ 를 이용하여 계산한다.

$$\omega = \sqrt{\frac{\mu}{R_t^3}} \tag{2}$$

2.2 위성 접근 기법

본 논문에서는 글라이드슬로프 접근법 (Fig. 2)을 이용하여 추적 위성이 표적 위성에 근접하게 되는 시나리오를 구성하였다. 글라이드슬로프 접근법은 CW 방정식을 이용하며 특정한 시간 간격을 가지는 여러 번의 임펄스 추력을 통해 표적

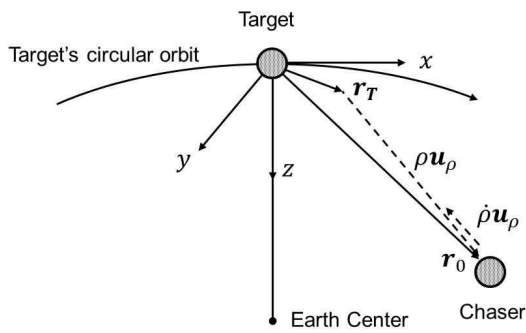


Fig. 2. Glideslope approach in LVLH frame

에 근접하는 기동방법이다. 임펄스 추력을 가하는 횟수 N , 초기 및 마지막 상대위치, 상대속도 설정을 통해 천이 궤적을 생성할 수 있다.

천이하는데 걸리는 시간을 T 라고 할 때, 임펄스 추력을 가하는 시간 간격은 $\Delta t = T/N$ 이며 임펄스를 가하는 시각, t_m 과 시간에 따른 상대위치, r_m 는 식 (3)을 통해 계산된다[1].

$$\begin{aligned} t_m &= m\Delta t, \quad m = 0, 1, \dots, N-1 \\ r_m &= r_T + \rho_m u_p \\ \rho_m &= \rho_0 e^{at_m} + (\dot{\rho}_T/a)(e^{at_m} - 1) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 r_T 는 추적 위성의 최종적인 상대위치를 의미하고 ρ_m 은 상대거리, u_p 는 최종 위치와 현재 위치 사이의 방향 벡터를 나타낸다. 접근 방향 기울기, a 는 $a = (\dot{\rho}_0 - \dot{\rho}_T)/\rho$ 와 같이 정의되고 $\dot{\rho}_0$ 와 $\dot{\rho}_T$ 는 상대거리, ρ 의 초기 및 최종 변화율로써 글라이드슬로프 궤적 형태를 결정하게 된다.

그리고 임펄스 크기는 다음 기동 궤적을 생성하기 위한 속도증가분, ΔV_m 이고 식 (4)와 같이 계산된다[1].

$$\begin{aligned} \dot{r}_m^+ &= \Phi_{rr}^{-1}(\Delta t)(r_{m+1} - \Phi_{rr}(\Delta t)r_m) \\ \Delta V_m &= \dot{r}_m^+ - \dot{r}_m^- \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 \dot{r}_m^- , \dot{r}_m^+ 은 각각 임펄스 추력을 가하기 전과 후의 상대속도이고 Φ 행렬은 식 (5)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \Phi_{rr}(t) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 6(\omega t - s) \\ 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 4 - 3c \end{bmatrix} \\ \Phi_{rr}(\dot{t}) &= \begin{bmatrix} (4/\omega)s - 3t & 0 & (2/\omega)(1-c) \\ 0 & s/\omega & 0 \\ -(2/\omega)(1-c) & 0 & s/\omega \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

$s = \sin\omega t, \quad c = \cos\omega t$

식 (4)에서 계산된 속도증가분을 시간으로 나누어 임펄스 추력에 의한 가속도로 환산하고 추적 위성의 가속도 입력값으로 활용한다.

2.3 영상 추적 기법

본 논문에서는 MATLAB의 V-Realm Builder [14]라는 도구를 이용하여 가상의 우주 환경을 구성하였다. 가상현실 내에서 보이는 표적 위성의 형상은 Fig. 3과 같다. 추적 위성은 Image IR (IIR) 카메라를 이용하여 표적 위성을 관측한다고 가정하였다. IIR 카메라는 표적의 온도에 따른 밝기 정보를 영상으로 얻는 방식인데, 온도가 높은 곳은 밝게 반면에 온도가 낮은 곳은 어둡게 영상이 출력되므로 야간에서도 활용이 가능하다. 실제 IIR 영상에는 열잡음이 존재하며 본 논문에서는 이것을 가우시안 잡음으로 가정하여 영상에 적용하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다.

영상 추적 기법으로는 영상 이진화 기법 (Thresholding), 능동 윤곽 기법을 각각 적용하여 보았다. 영상 이진화 기법을 적용하기 위해 표적 위성의 전면부에는 지름이 1 m인 가상의 적외선 반사판을 설치하였다. 영상 이진화 기법은 적외

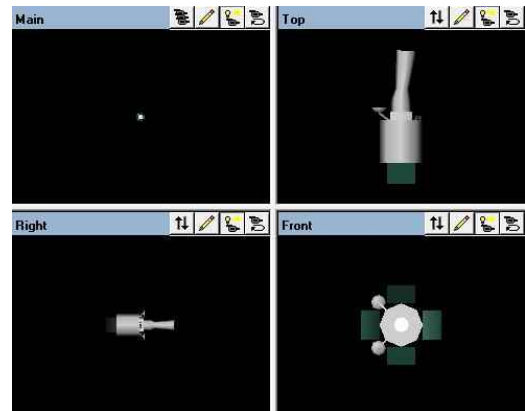


Fig. 3. Target satellite in virtual reality

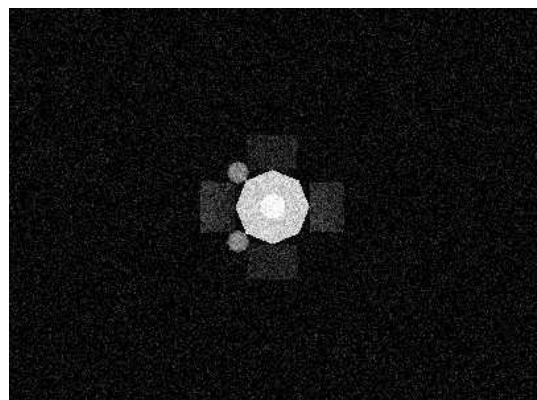


Fig. 4. Target satellite in IIR image

선 반사관의 밝기 정보를 이용하여 표적의 중심을 추적하는 방식이며 이를 위해 적외선 반사관은 IIR 카메라 영상에서 가장 밝게 보이도록 하였다. 능동 윤곽 기법은 기법 1과 기법 2로 구분하였으며 능동 윤곽 기법 1은 표적의 형상 정보인 표적의 윤곽선을 추출한 후 표적 형상의 중심점을 얻고 이 중심점의 픽셀 위치를 방위각 정보로 이용한다. 능동 윤곽 기법 2의 경우, 표적 형상 정보를 이용하여 간접적으로 얻은 상대거리 정보까지 함께 사용하게 하였다. 여기서 적용된 능동 윤곽 기법은 Lankton[7]의 영역 기반 능동 윤곽 기법 알고리즘을 적용하였고 능동 윤곽 기법을 활용하여 상대거리를 추정하는 방법은 능동 윤곽 기법 설명 이후에 이어진다.

2.3.1 영역 기반 능동 윤곽 기법 알고리즘

Lankton[7]에서 제시된 영역 기반 능동 윤곽 기법은 영상 이미지 내부의 Intensity 차이를 바탕으로 표적 형상의 윤곽선을 추출하는 방식이다. 능동 윤곽 기법 알고리즘은 정지 영상 (Still Image)에서 배경과 물체, 물체와 물체를 구분하는 용도로 연구가 되었다. 본 연구에서는 능동 윤곽 기법을 정지 영상이 아닌 시간 흐름에 따라 표적 형상이 변화하는 카메라 영상 정보에 적용하였다.

능동 윤곽 기법 알고리즘에서 $I(\mathbf{x})$ 를 도메인 Ω 에서 정의된 영상 이미지라 하고, C 를 Closed Contour 라고 한다. 여기서 \mathbf{x} 는 앞에서 정의한 이미지 영역, $I(\mathbf{x})$ 에서의 공간변수를 의미한다. Signed Distance Function $\phi(\mathbf{x})$ 를 이용하여 Closed Contour는 $C = \{\mathbf{x} | \phi(\mathbf{x}) = 0\}$ 으로 표현된다. C 의 Interior를 식 (6)과 같이 근사된 Smoothed Heaviside 함수로 명시할 수 있다.

$$H\phi(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1, & \phi(\mathbf{x}) < -\epsilon \\ 0, & \phi(\mathbf{x}) > \epsilon \\ \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{\phi}{\epsilon} + \frac{1}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\phi(\mathbf{x})}{\epsilon}\right) \right\}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

Contour의 바로 주변 영역을 명시하기 위해 식 (7)과 같은 $H\phi(\mathbf{x})$ 의 미분식을 사용한다. 여기서 미분식은 $\delta\phi(\mathbf{x}) = d\{H\phi(\mathbf{x})\}/d\phi(\mathbf{x})$ 으로 정의된다.

$$\delta\phi(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1, & \phi(\mathbf{x}) = 0 \\ 0, & |\phi(\mathbf{x})| > \epsilon \\ \frac{1}{2\epsilon} \left\{ 1 + \cos\left(\frac{\pi\phi(\mathbf{x})}{\epsilon}\right) \right\}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

새로운 공간변수 \mathbf{y} 를 사용하여 반지름 변수 r 에 대한 Characteristic 함수를 식 (8)과 같이 정

의한다.

$$B(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \begin{cases} 1, & \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\| < r \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$B(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ 를 이용하여 힘과 관련된 함수, F 에 대한 에너지 함수에 Contour를 Smooth하게 유지하기 위한 Penalty 변수 λ 를 도입한 에너지 식은 식 (9)와 같다.

$$E(\phi) = \int_{\Omega_{\mathbf{x}}} \delta\phi(\mathbf{x}) \int_{\Omega_{\mathbf{y}}} B(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \cdot F(I(\mathbf{y}), \phi(\mathbf{y})) d\mathbf{y} d\mathbf{x} \quad (9) \\ + \lambda \int_{\Omega_{\mathbf{x}}} \delta\phi(\mathbf{x}) \|\nabla\phi(\mathbf{x})\|$$

위의 에너지 식에서 F 는 일종의 인력 (attractive force)을 의미하며 Contour를 표적 형상의 윤곽에 밀착하게 든다. 즉 위의 에너지 식을 통해 Contour의 안과 밖 사이에서의 힘의 균형점을 찾을 수 있는데 이를 위해 식 (9)를 ϕ 에 대한 미분 형태로 나타낸다. 그 결과 식 (10)과 같은 Contour Evolution 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial\phi}{\partial t}(\mathbf{x}) = \delta\phi(\mathbf{x}) \int_{\Omega_{\mathbf{y}}} B(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \cdot \nabla_{\phi(\mathbf{y})} F(I(\mathbf{y}), \phi(\mathbf{y})) d\mathbf{y} \quad (10) \\ + \lambda \delta\phi(\mathbf{x}) \operatorname{div} \left(\frac{\nabla\phi(\mathbf{x})}{|\nabla\phi(\mathbf{x})|} \right)$$

식 (9)에 적용될 수 있는 능동 윤곽 기법 알고리즘의 에너지 모델은 다양한데 본 논문에서는 식 (11)의 Uniform Modeling Energy 식을 사용하였다.

$$E_{UM} = \quad (11)$$

$$\int_{\Omega_{\mathbf{y}}} H\phi(\mathbf{y})(I(\mathbf{y}) - u)^2 + (1 - H\phi(\mathbf{y}))(I(\mathbf{y}) - v)^2 d\mathbf{y}$$

여기서, u, v 는 Global Mean Intensity이며 식 (12), (13)과 같이 정의된다.

$$u = \frac{\int_{\Omega_{\mathbf{y}}} H\phi(\mathbf{y}) \cdot I(\mathbf{y}) d\mathbf{y}}{\int_{\Omega_{\mathbf{y}}} H\phi(\mathbf{y}) d\mathbf{y}} \quad (12)$$

$$v = \frac{\int_{\Omega_{\mathbf{y}}} (1 - H\phi(\mathbf{y})) \cdot I(\mathbf{y}) d\mathbf{y}}{\int_{\Omega_{\mathbf{y}}} (1 - H\phi(\mathbf{y})) d\mathbf{y}} \quad (13)$$

식 (11)의 에너지 모델을 적용하여 식 (10)을 정리하면 최종적으로 식 (14)의 Contour Evolution 방정식을 얻을 수 있다. 능동 윤곽 기법 알고리즘은 초기 Contour 형상을 사용자가

입의로 결정하면 Contour Evolution 방정식을 일정 시간 동안 반복적으로 계산하여 Contour가 표적 형상의 윤곽선에 수렴하도록 한다. 정지 영상이 아닌 동적 영상에서는 시간에 따라 표적 형상이 변화하므로 Contour 또한 변화하는 표적 형상에 따라 수렴하는 과정을 반복하게 된다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t}(\mathbf{x}) = \delta \phi(\mathbf{x}) \int_{\Omega_y} B(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \cdot ((I(\mathbf{y}) - u_{\mathbf{x}})^2 - (I(\mathbf{y}) - v_{\mathbf{x}})^2) dy + \lambda \delta \phi(\mathbf{x}) \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi(\mathbf{x})}{|\nabla \phi(\mathbf{x})|} \right) \quad (14)$$

여기서, $u_{\mathbf{x}}$, $v_{\mathbf{x}}$ 는 Local Mean Intensity이며 식 (15), (16)과 같이 정의된다.

$$u_{\mathbf{x}} = \frac{\int_{\Omega_y} B(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \cdot H\phi(\mathbf{y}) \cdot I(\mathbf{y}) dy}{\int_{\Omega_y} B(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \cdot H\phi(\mathbf{y}) dy} \quad (15)$$

$$v_{\mathbf{x}} = \frac{\int_{\Omega_y} B(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \cdot (1 - H\phi(\mathbf{y})) \cdot I(\mathbf{y}) dy}{\int_{\Omega_y} B(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \cdot (1 - H\phi(\mathbf{y})) dy} \quad (16)$$

2.3.2 능동 윤곽 기법의 응용

능동 윤곽 기법을 이용하여 표적의 형상 정보를 얻으면 그 형태는 Fig. 5와 같다. 실제 표적의 크기에 대한 사전 정보가 있을 경우, 영상에서의 표적 이미지 크기를 통해 추적 위성과 표적 위성과의 거리를 추정할 수 있다. 실제 표적의 지름, D 와 영상에서의 표적의 픽셀 단위 지름, p_D 를 이용하여 표적과의 상대거리, R 을 계산할 수 있다. 영상의 크기가 $M \times N$ 픽셀 ($M > N$), Field of View (FOV)가 α 라고 하면 표적과의 상대거리는 식 (17)을 통해 계산할 수 있다.

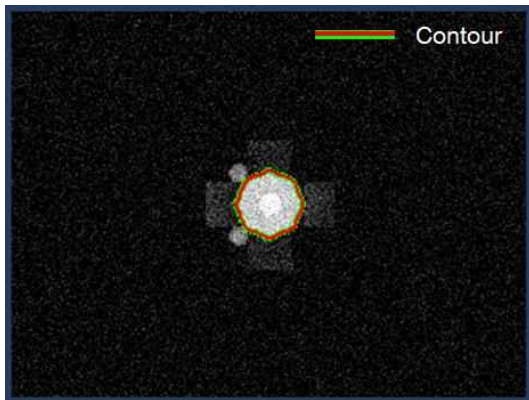


Fig. 5. Active contour

$$R = \frac{D/2}{\tan\left(\frac{p_D \alpha}{2N}\right)} \quad (17)$$

2.4 시뮬레이션

2.4.1 시뮬레이션 설정

추적 위성은 표적 위성이 진행하는 방향으로 200 m 떨어진 거리에서 표적 위성의 30 m 전방까지 접근을 하는 랑데부 임무를 수행한다. 여기서 표적 위성은 0.001 rad/sec의 각속도로 지구 주위를 공전하고 있는데 이때의 표적 위성 고도는 약 800 km이다. 그 외의 구체적인 시뮬레이션 파라미터들은 Table 1에 정리하였다.

표적 추적 필터로는 UKF가 사용되었는데 UKF의 필터 동역학 모델은 앞 절에서 설명한 CW 방정식을 적용하였다 (식 (1)). 그리고 방위각, 거리에 대한 필터의 측정식은 식 (18)과 같다.

$$\theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{-z}{x}\right) \quad (18)$$

$$\theta_z = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

글라이드슬로프 접근법의 임펄스 횟수가 2회 혹은 8회일 때, 각각의 경우에 대해 영상 이진화 기법과 능동 윤곽 기법 1, 능동 윤곽 기법 2의 상대항법 성능을 비교하였다.

2.4.2 시뮬레이션 결과

Figure 6, 7은 추적 위성이 표적 위성에 대하여 글라이드슬로프 접근법을 이용한 근접운용을 수행할 때의 실제 궤적과 추정 궤적을 보여준다. 임펄스 횟수가 2인 경우 (Fig. 8, 9), 능동 윤곽

Table 1. Simulation parameters

Initial State	$r_0 = [200 \ 0 \ 0]^T$ (m)
Commanded Final State	$r_T = [30 \ 0 \ 0]^T$ (m)
Target's Angular Rate	$\omega = 0.001$ (rad/sec)
Commanded Velocity	$\dot{\rho}_0 = -10.0$ (m/sec) $\dot{\rho}_T = -0.01$ (m/sec)
IIR Sensor Thermal Noise	$\sigma_i = 0.1$
Image Size	400 × 300 (pixels)
Sampling Time	0.1 (sec)

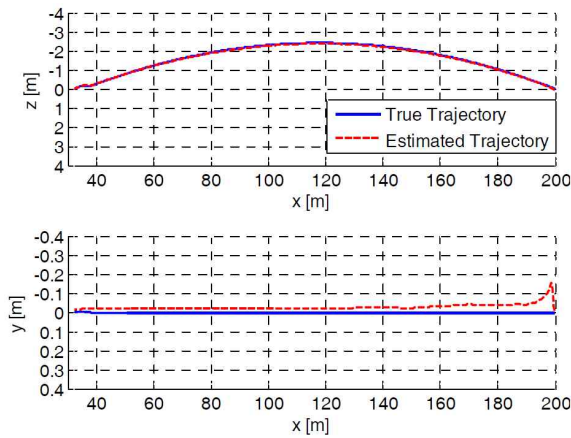


Fig. 6. True relative trajectory and estimated relative trajectory of the chaser satellite (2 impulses, active contour method 2)

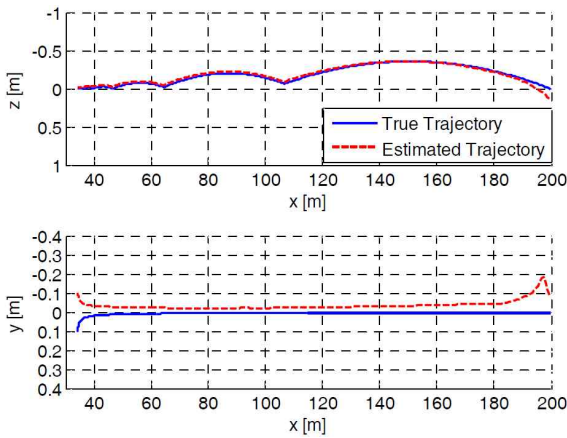


Fig. 7. True relative trajectory and estimated relative trajectory of the chaser satellite (8 impulses, active contour method 2)

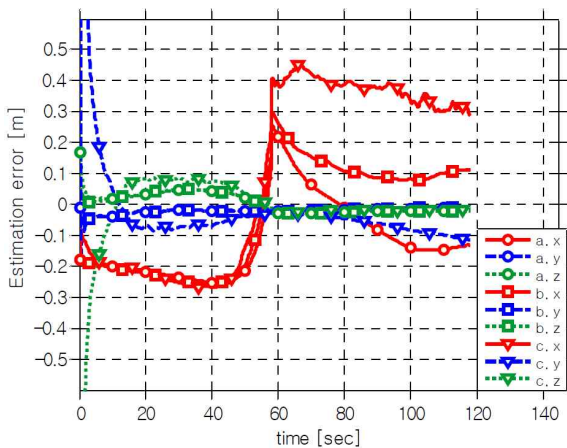


Fig. 8. Estimation errors of 2 impulses glideslope approach (a. Active contour 1, b. Active contour 2, c. Thresholding)

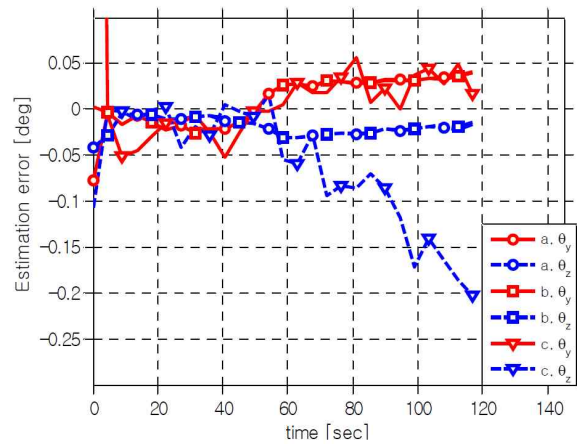


Fig. 9. Measurement errors of 2 impulses glideslope approach (a. Active contour 1, b. Active contour 2, c. Thresholding)

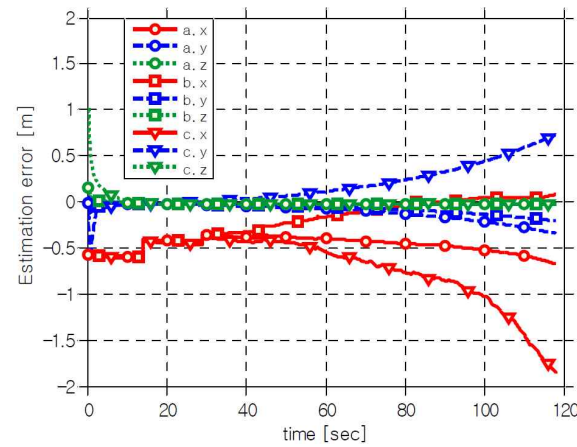


Fig. 10. Estimation errors of 8 impulses glideslope approach (a. Active contour 1, b. Active contour 2, c. Thresholding)

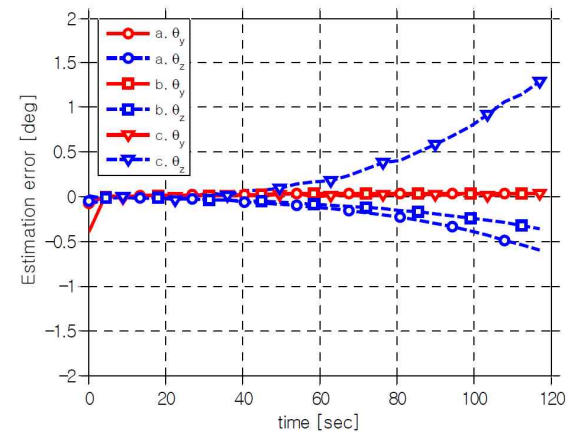


Fig. 11. Measurement errors of 8 impulses glideslope approach (a. Active contour 1, b. Active contour 2, c. Particle filter)

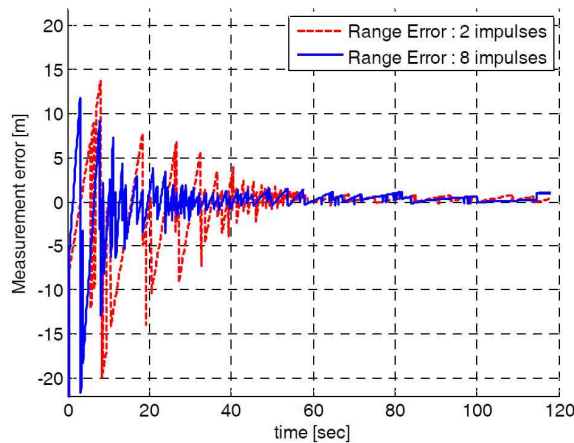


Fig. 12. Range measurement errors of active contour method 2

기법 1과 2는 유사한 성능을 보인다. 그러나 영상 이진화 기법을 적용한 경우, 가장 낮은 항법 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 영상 이진화 기법의 경우, 영상에 존재하는 잡음으로 인해 표적의 밝은 부분이 문턱 값(Threshold)보다 어두워지는 경우가 발생하여 표적의 중심을 잘 추정하지 못하는 경우가 발생하기 때문이다. 임펄스 횟수가 2인 경우보다 임펄스 횟수가 8인 경우에 글라이드슬로프 접근법에 의한 시선각 변화가 작아지게 되므로 인공위성 유도기법에 의한 가관측성 확보가 어렵게 된다. 그래서 단순히 표적 중심의 방위각 정보를 생성하는 영상 이진화 기법과 능동 윤곽 기법 1을 사용하는 경우, 상대항법 오차는 능동 윤곽 기법 2보다 크게 발산을 하게 된다(Fig. 10, 11).

Figure 12를 보면 능동 윤곽 기법 2의 경우에 영상 처리를 통해 간접적으로 표적과의 상대거리에 대한 정보를 얻을 수 있는 것을 확인하였다. 거리 오차는 카메라 영상의 분해능과 관련이 있으며 화질이 좋은 카메라 영상을 이용할수록 더 좋은 상대거리 측정값을 얻을 수 있다. 능동 윤곽 기법 2를 통해 얻은 상대거리 정보를 이용할 경우 단일 영상 기반 상대항법에서 가장 좋은 항법 성능을 보이는 것을 확인하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 인공위성이 근접운용 임무를 수행하는 우주환경을 3D 가상현실로 모사하였다. 그리고 이러한 3D 기반 가상현실에서 얻어진 영상정보를 이용하여 단일 영상 기반 상대항법에 대한 연구를 수행하였다. 글라이드슬로프 접근법

을 통한 상대항법의 가관측성 확보 문제를 보완하기 위해 영역 기반 능동 윤곽 영상 처리 기법을 영상 추적 기법에 적용하였다. 그리고 능동 윤곽 기법을 이용하여 단일 영상에서도 표적과의 상대거리를 간접적으로 얻을 수 있는 것을 보였다. 최종적으로 능동 윤곽 기법을 적용한 근접운용의 랑데부 임무 시나리오에 대한 인공위성의 상대항법 성능을 분석하였다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 지원 (미래창조과학부 재원 - 과제번호 NRF-2012M1A3A3A02033464) 지원을 받아 수행되었습니다.

Reference

- 1) Hablani, H. B., Tapper, M. L., and Dana-Bashian, D. J., "Guidance and Relative Navigation for Autonomous Rendezvous in a Circular Orbit," *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol. 25, No. 3, 2002, pp.553~562.
- 2) Pi, J. H., *Relative Angles-Only Navigation for Satellite Relative Motion*, KAIST, Master thesis, 2011.
- 3) Gaias, G., D'Amico, S. and Ardaens, J. S., "Angle-only Navigation to a Non-Cooperative Satellite using Relative Orbital Elements," *AIAA/AAS Astrodynamics Specialists Conference*, 2012.
- 4) Woffinden, D. C. and Geller, D. K., "Relative Angles-Only Navigation and Pose Estimation for Autonomous Orbital Rendezvous," *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol. 30, No. 5, 2007, pp.1455~1469.
- 5) Shan, C., Tan, T. and Wei, Y., "Real-time hand tracking using a mean-shift-embedded particle filter," *Pattern Recognit*, Vol. 40, No. 7, 2007, pp.1958~1970.
- 6) Kim, S. H., Choi, H. L. and Shim, D. H., "A Study of Mono-Vision Based Relative Navigation for Satellite Proximity Operation," *KSAS Fall Conference*, 2013.
- 7) Lankton, S. and Tannenbaum, T., "Localizing Region-Based Active Contours," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 17, No. 11, 2008, pp. 2029~2039.

- 8) Kim, S. H., Choi, H. L. and Shim, D. H., "Mono-Vision Based Satellite to Satellite Relative Navigation Using Region-Based Active Contour Method," *KSAS Fall Conference*, 2014.
- 9) Schaub, H. and Junkins, J. L., *Analytical Mechanics of Aerospace Systems*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, Reston, VA, 2003.
- 10) Cho, S. W., Huh, S. S., Shim, D. H. and Choi, H. S., "An Image Processing Algorithm for Detection and Tracking of Aerial Vehicles in Short-Range," *Domestic Journal of KSAS*, Vol. 39, Issue 12, 2011, pp. 1115-1123.
- 11) Won, D. H., Sung, S. K. and Lee, Y. J., "Particle Filter Based Feature Points Tracking for Vision Based Navigation System," *Domestic Journal of KSAS*, Vol. 40, Issue 1, 2012, pp. 35-42.
- 12) Jo, S. Y., Kim, J. H., Kim, J. H., Lee, D. W. and Cho, K. R., "Vision-based Target Tracking for UAV and Relative Depth Estimation using Optical Flow," *Domestic Journal of KSAS*, Vol. 37, Issue 3, 2009, pp. 267-274.
- 13) Williams, D. J. and Shah, M., "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation," *CVGIP: Image understanding*, Vol. 55, No. 1, 1992, pp. 14-26.
- 14) Khaled, N., *Virtual Reality and Animation for MATLAB® and Simulink® Users: Visualization of Dynamic Models and Control Simulations*, Springer Science & Business Media.