

효과분석 시뮬레이션을 이용한 미지 우주물체 광학 추적 시스템 설계 변수 조합 분석

현철^{1*} · 이상욱¹ · 이호진¹ · 박승욱²

Combination Analysis of Optical Tracking System Design Variables for Unknown Space Objects Using Effectiveness Analysis Simulation

Chul Hyun^{1*} · Sangwook Lee¹ · Hojin Lee¹ · Seung-Wook Park²

^{1*}Chief researcher, Department of System Engineering, LIG Nex1, Seongnam, 13488 Korea

²Chief researcher, EO/IR System R&D, LIG Nex1, Yongin, 16911 Korea

요약

본 논문은 미지 우주물체에 대한 광학 연속 관측을 위한 효과 척도를 정의하고, 통합 시뮬레이션 수행을 이용하여 망원경/마운트 제어 시스템 관점에서 효과 척도를 만족할 수 있는 설계 변수 조합 범위를 제시하였다. 표적의 위치 예측과 함께 프레임률, 영상처리 소요시간과 측정 오차, 표적 궤적특성 및 마운트 김발의 기동성능 등의 설계 변수를 고려하여 전체적인 시스템 수준에서의 시뮬레이션을 구현하고 추적 성능을 분석하였다. 분석 결과 광학 관측 시스템의 연속 추적 성능은 프레임률과 마운트 기동성능의 조합에 의존적임을 확인할 수 있었다. 광학 관측 시스템을 설계하거나 상용 제품을 구입하여 유사 시스템을 구성할 때, 본 연구와 같이 효과분석 시뮬레이션을 이용하면 설계 변수들 사이의 적절한 요소 조합을 찾을 수 있을 것이다.

ABSTRACT

This paper defines an effectiveness index for optical continuous observation of unknown space objects and presents a range of design variables combinations that can satisfy the effectiveness index from a telescope/mount control system perspective using integrated simulation. The overall system-level simulation was implemented and the tracking performance was analyzed by considering design variables such as target position prediction and frame rate, image processing time and measurement error, target trajectory characteristics, and maneuver performance of mount gimbal. As a result of the analysis, it was confirmed that the continuous tracking performance of the optical observation system is dependent on the combination of frame rate and mount maneuver performance. In a situation where an optical observation system is designed or a similar system is implemented using COTS, an appropriate combination of parameters between design variables can be found through effectiveness analysis simulation as in this study.

키워드 : 우주물체 추적, 광학관측, 효과분석, 효과척도, 시스템 시뮬레이션

Keywords : Space object tracking, Optical observation, Effectiveness Analysis, Effectiveness Index, System simulation

Received 5 July 2022, Revised 23 July 2022, Accepted 1 August 2022

* **Corresponding Author** Chul Hyun(E-mail:chul.hyun@gmail.com, Tel:+82-31-5178-4293)
Researcher, Department of System Engineering, LIG Nex1, Seongnam, 13488 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.9.1312>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

상업적·군사적 목적을 위한 우주 공간의 개발이 활발해지고 특히 우주 진출의 주체가 다국적화되고 민간 기업까지 참여하는 뉴스페이스 시대로 들어서면서 우주물체로 인한 위협성은 커지는 추세이다. 현재 우주물체의 추락·충돌 등에 대응할 수 있는 방법은 인공위성과 우주파편 등의 우주물체를 지속적으로 감시·추적하는 것이다[1].

인공위성이나 우주 물체의 추적은 일반적으로 지상 기반 레이더를 사용하여 수행하지만, 광학 관측 시스템은 날씨의 제한이 있음에도 저렴하게 구성할 수 있고 검출 대상의 고도의 범위가 넓은 장점이 있어 여러 관련 연구가 수행되고 있다[2-10].

광학 관측의 장점 중 저렴함에 초점을 맞추어 상용 기성품(COTS:Commercial off the shelf)을 이용하여 광학 관측 시스템을 구성하기 위한 연구가 2010년대에 활발하게 진행된 바 있다[3-6]. 애리조나 대학에서는 COTS 광학 센서 시스템으로 위성 위치 측정 정확도를 별지도 (Star Map) 수준으로 획득하기 위한 연구를 수행하였고 [3], 미국 해군 대학원(Naval Postgraduate School)에서는 저궤도 cubesats를 탐지 추적하기 위한 광학 망원경 시스템을 만들기 위해 COTS를 활용한 바 있다[4]. 그 밖에 레이저통신을 위한 COTS 시스템의 정렬과 추적 알고리즘을 MIT에서 발표하였고[5], 터키에서도 상용 제품을 이용한 저궤도 위성 추적 연구를 수행하였다[6].

광학 관측 시스템은 기능적인 면에서 촬영 영상을 얻어내는 광시야 망원경과 카메라를 포함한 광학계, 영상 처리를 통하여 표적을 식별하고 표적의 정보를 산출해주는 영상처리부, 산출된 정보를 통해 다음 망원경 위치를 예측하고 망원경 구동 명령을 생성하는 망원경 제어 시스템(TCS, Telescope Control System), 그리고 TCS의 명령대로 망원경을 구동시키는 마운트 제어 시스템(MCS, Mount Control System)으로 구성할 수 있다[7].

기존 관련 연구들은 대상 표적의 궤도나 TLE(Two Line Element) 정보를 알고 있는 위성에 대한 추적 활동 [3,5,6]이나 추적/제어 보다는 광학계 위주의 접근[4,10], 표적 탐지를 위한 영상처리[8]를 수행하였다. 본 논문에서는 사전 정보가 없는 미지의 우주물체에 대해서, 촬영과 영상처리가 정상적으로 수행된다는 가정하에, TCS와 MCS를 중심으로 광학 추적 시스템을 설계하는 부분

에 초점을 둔다.

광학관측 추적 시스템의 설계와 관련한 요구사항 분석 연구가 있었지만[9], 이는 정지궤도 영역의 상시 감시를 위한 광학 관측 시스템의 사양을 경험 기반 단순 분석을 통하여 도출했던 것이고, 유럽우주국(ESA: European Space Agency)이 제공하는 시뮬레이션 도구 (PROOF:Program for Radar and Optical Forecasting)를 이용하여 광학 시스템 조합을 설계했던 연구[10]는 추적·제어 관점이 아닌 주로 광학계에 대한 내용이었다.

본 논문은 미지 우주 물체에 대한 광학 연속 관측을 위한 효과 척도를 정의하고, 통합 시뮬레이션 수행을 통하여 망원경/마운트 제어 시스템 관점에서 효과 척도를 만족할 수 있는 설계 변수 범위를 제시한다. 위치 추적 알고리즘의 예측 오차만을 분석했을 때, 사전 정보가 없는 미지 우주 물체의 추적에는 등가속도 표적 기동 모델을 기반으로 한 칼만 필터가 적합하다는 결론을 얻은 바 있다[7]. 본 연구에서는 표적의 위치 예측과 더불어 그에 상응하는 프레임률, 영상 처리 소요 시간과 측정 오차, 표적 궤적 특성 및 마운트 김발의 구동 성능 등 전체적인 시스템 수준에서의 시뮬레이션을 구현하고 추적 성능을 분석하도록 한다.

2장에는 광학 관측 시스템의 전체적인 구성을 소개하고, 3장에서는 고려되는 설계 변수와 정의된 효과 척도, 효과분석 시뮬레이션 구현 내용을 서술한 후, 4장에서 효과분석 시뮬레이션 결과를 제시, 분석하여 5장에서 결론을 내렸다.

II. 시스템 구성

본 연구는 초당 수~수십 프레임의 짧은 주기 단위로 미지의 우주 표적을 망원경 시야각 안에서 연속 추적/촬영하려는 광학 관측 시스템을 대상으로 한다. 그림 1(a)에 광학 관측 시스템에서 미지 우주 물체를 초당 수십 프레임의 연속적인 영상 촬영을 하며 추적하는 개념도를 표시하였고, 해당 시스템의 세부 과정은 그림 1(b)에 시간 축에 대하여 도시되어 있다.

미지 우주물체 표적을 연속 촬영/추적하는 과정은 다음과 같다. 프레임1의 촬영을 하고 나면 촬영된 이미지 데이터를 읽어내고 영상처리 장치까지 데이터가 전송된다. 이후 영상처리 과정을 통하여 표적의 위치 정보를

산출해 내고, 이를 추적 알고리즘에 적용하여 다음 프레임 촬영을 위한 망원경의 지향점을 예측하여 마운트에 전달할 명령값을 생성한다. 김발은 명령값에 따라서 다음 촬영 위치로 마운트를 구동시키고, 프레임 2를 촬영하는 작업을 반복한다.

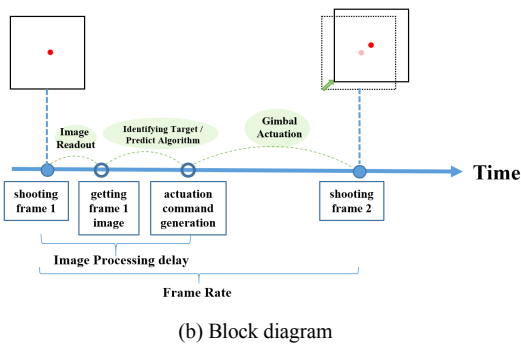
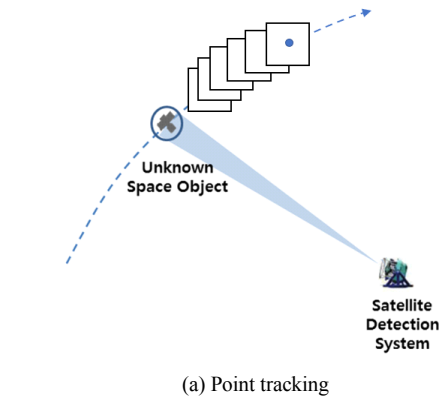


Fig. 1 Schematic diagrams for optical tracking system

III. 시뮬레이션 설정

광학 추적 시스템 전체 성능에 영향을 줄 수 있고, 설계 방법에 따라서 그 값을 조정할 수 있는 설계 변수를 선정하고, 정의된 효과 척도를 만족할 수 있는 변수 조합을 시뮬레이션을 통하여 분석적으로 찾아보았다. 3장에서 선정된 설계 변수와 정의된 효과 척도 및 분석을 위한 효과분석 시뮬레이터 구현에 대하여 다룬다.

3.1. 설계 변수

참고문헌[7]에서는 위치 추적 알고리즘의 예측 오차 관점에서의 추적 성능이 분석되었다. 위치 예측 알고리

즘은 사전 연구에서 결정된 등가속도 표적 기동 모델을 기반으로 한 칼만 필터로 고정하고, 그 외의 설계 변수들을 검토하였다.

설계 변수는 표적 궤적 특성, 측정 오차, 영상처리 지연 시간, 마운트 구동 특성 그리고 프레임률(frame rate)의 다섯 개를 고려하였으며 각각의 상세 내용은 다음과 같다.

3.1.1. 표적 궤적 특성

위치 예측 알고리즘 외 설계 변수들의 영향을 비교, 분석하기 위하여 본 연구에서는 [7]에 적용된 표적 궤적을 다시 적용하였다.

300km/500km/700km의 세 가지 고도와 관측소 기준 45도/60도/80도의 최대 고도각으로 분류되는 총 9가지 궤적에 대하여 추적 성능을 시뮬레이션하고 분석한다. 궤적 특성에 따른 시뮬레이션 결과와 매칭하기 위하여 고도별/최대고도각별 관측소 기준의 방위각/고도각 그래프를 그림 2에 표현하였다.

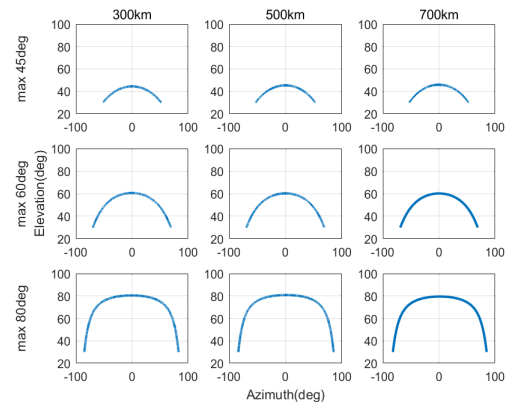


Fig. 2 Trajectories of targets

3.1.2. 측정오차

측정오차는 영상처리 결과로 획득한 표적 위치 정보와 실제 표적 위치의 차이로 정의할 수 있다. 측정 오차에는 촬영 시 대기효과 등으로 발생하는 오차, 영상처리 과정에서 발생하는 오차, 마운트 위치 측정을 위한 엔코더 오차등이 복합적으로 작용하게 된다. 효과 분석에서는 이런 오차들을 특정 크기의 표준편차를 갖는 랜덤 잡음으로 가정한다. 실제 시뮬레이션에는 5arcsec에서 20arcsec 범위의 표준편차를 갖는 랜덤 잡음을 적용하였다. 목표가 특정 지점을 포인팅하는 상황이 아니고,

표적을 연속적으로 추적하는 것이므로 마운트의 정렬 오차는 측정 오차에 포함되지 않는 것으로 가정한다.

3.1.3. 영상처리 지연 시간

2장에서 언급한 바와 같이, 촬영된 표적 영상을 읽어내고 전달하고, 영상처리하여 표적 위치를 산출하고, 산출된 표적 위치를 이용하여 마운트 구동 명령을 생성하는 데까지 소요되는 시간을 모두 합하여 영상처리 지연 시간으로 가정하였다. 지연 시간도 시스템의 연산 능력에 따라 변할 수 있으므로 설계 변수의 하나로 가정하였으며, 효과분석 시뮬레이션에서는 10ms와 20ms 두 가지 경우를 적용하였다.

3.1.4. 마운트 구동 특성

망원경의 김발 마운트의 구동 특성을 식(1)의 전달함수를 갖는 2차 모델로 가정하였다.

$$H(s) = \frac{\omega_n}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

분석의 용이함을 위하여 식(1)의 댐핑비를 $\zeta = 0.7$ 로 고정하고, 고유진동수 ω_n 부분만을 마운트 기동 특성을 대표하는 변수로 가정하였다. 적용된 ω_n 값은 20부터 250까지이다.

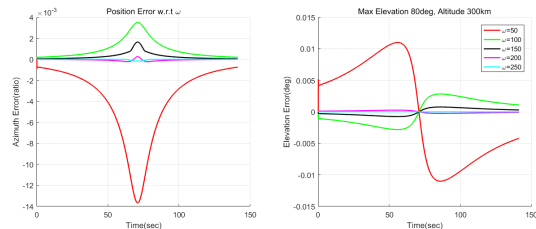


Fig. 3 Position error variation w.r.t ω_n

그림 3은 하나의 궤적에 대해, 다른 설계 변수를 고정하고 마운트 구동 특성으로 정의한 ω_n 값을 바꾸는 경우의 표적 위치 오차를 방위각과 고각을 각각 도시한 결과이다. 마운트 구동 속도가 클수록 위치 오차가 작아지는 결과를 확인할 수 있다.

3.1.5. 프레임률(frame rate)

프레임률은 앞서 언급된 영상처리 지연 시간과 마운트 구동과 밀접하게 관련된 설계 변수이다. 촬영 주기가

짧을수록 표적에 대한 정보를 촘촘하게 얻을 수 있으므로 표적 정보 획득면에서는 장점을 가질 수 있는 반면, 그만큼 마운트 구동을 빨리 완료해야 하기 때문에 마운트 구동면에서는 단점이 될 수 있다. 4장에서는 5Hz에서 25Hz까지의 프레임률에 대하여 통합 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 4는 나머지 변수를 고정시키고 촬영주기만을 바꾸었을 때의 표적 위치 오차 시뮬레이션 결과이다. 그림 3의 결과처럼 눈에 띄는 만큼의 차이는 보이지 않지만, 프레임률(frame rate)이 커질수록 오차가 미세하게 작아지는 정도만을 확인할 수 있다.

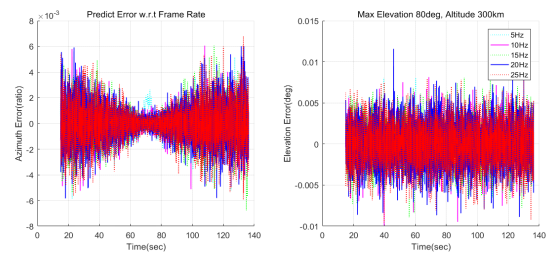


Fig. 4 Position error variation w.r.t frame rate

그림 3과 그림 4의 결과는 한정된 조건하에서의 단순 경향을 확인하기 위한 용도일 뿐이고, 전체 시스템의 성능 특성은 4장의 통합 시뮬레이션 결과로부터 확인할 수 있다.

3.2. 효과 척도

표적 영상을 촬영하는 순간의 위치 오차와 그때의 마운트 속도 값을 효과 척도로 정의하고, 이에 따라 통합 시뮬레이션 결과의 효과도 분석을 수행하였다. 각 효과 척도의 세부 내용은 다음과 같다.

3.2.1. 위치오차

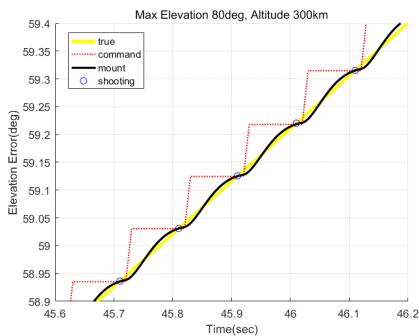
이상적인 추적을 가정해 보면, 표적이 촬영 이미지의 중심에 항상 위치하는 상황일 것이다. 위치 오차는 촬영 이미지의 중심으로부터 표적 위치가 떨어져 있는 거리 또는 전체 FOV에 대한 비율 값으로 정의될 수 있는데, 가장 기본적으로 구상할 수 있는 효과 척도라 할 수 있다.

3.2.2. 마운트 속도

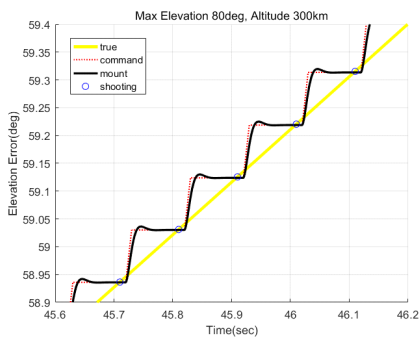
위치 오차 값과 더불어 촬영 시점에서의 마운트 속도를 효과 척도로 정의하였다. 망원경의 마운트가 다음 단

계의 촬영 위치로 미리 움직인 후, 안정된 상태에서 촬영이 되어야 영상품질을 보장할 수 있다.

그림 5는 frame rate 10Hz에 대하여 (a)는 $\omega_n = 35$ (b)는 $\omega_n = 150$ 일 때의 단순 시뮬레이션 결과이다. 각 그림에는 표적 우주물체의 true값과 10Hz의 프레임률에서의 마운트 구동 명령(점선), 명령에 대한 마운트 구동 응답곡선과, 촬영하는 시점(원)이 표시되어 있다.



(a) $\omega_n = 35$



(b) $\omega_n = 150$

Fig. 5 Example of a performance index

그림 5의 (a)와 (b)를 비교하면 위치 오차는 두 경우 모두 작게 보이지만, (b)는 미리 다음 촬영 위치에 도달하여 멈추어 있다가 촬영하는 반면에, (a)는 촬영 순간에도 마운트의 구동이 완료되지 않는 것을 확인 가능하다. 위치 오차만을 효과 척도로 정의하면, 그림 5에 도시된 두 경우를 구분할 수 없다. 다소 극단적인 예이지만 이와 같은 상황을 체크하기 위한 기준으로, 촬영시의 마운트 속도도 중요 효과 척도로 추가 정의하였다.

3.3. 효과분석 시뮬레이션 구현

MATLAB을 이용하여 3.1의 설계 변수들 값에 따른 시뮬레이션 결과를 3.2의 효과 척도를 기준으로 판단할 수 있는 통합 효과분석 시뮬레이션 도구를 구현하였다. 3.1에서 언급된 설계 변수 범위 내의 모든 경우에 대하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였고 그 결과를 4장에 정리하였다.

IV. 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션의 목적은 광학 관측 시스템의 TCS, MCS 부분에서, 정의된 효과 척도 만족을 위한 표적 궤적 특성/측정 오차/영상처리 시간 지연/마운트 구동 특성/프레임률로 표현되는 설계 변수들의 요소 조합을 찾는 것이다. 이를 위하여 전체 변수의 범위를 설정하고, 각 범위 조합의 모든 경우에 대하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하고 결과를 정리해 보았다.

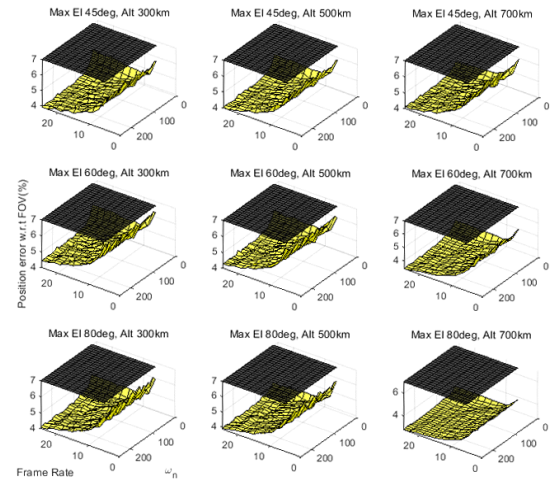


Fig. 6 Simulation result - position error

그림 6은 시뮬레이션 결과의 한 경우의 결과를 위치 오차 효과 척도에 대해서 표적 궤적 특성별로 도시한 것이다. 오차 허용 범위를 FOV의 7% 이내로 잡았을 때 대부분 이를 만족하는 결과이다. 표적 궤적의 비선형성이 클수록, 프레임률이 작을수록 결과 값이 안 좋아지는데, 위치 오차 결과는 다른 변수 보다 프레임률 값에 민감한 특성을 확인할 수 있다.

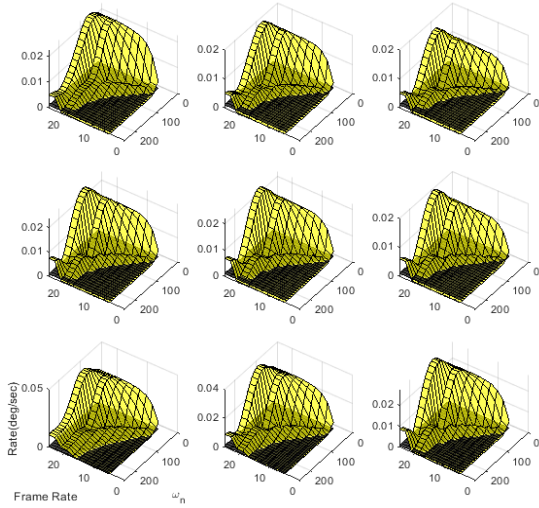


Fig. 7 Simulation result - mount velocity

그림 7은 그림 6과 같은 조건의 시뮬레이션 결과를 촬영시의 마운트 속도로 표현되는 척도에 대해서 표적 궤적 특성별로 도식한 것이다. 효과 척도 만족 기준을 마운트 속도가 0.001deg/sec보다 작은 것으로 설정하였고, 이를 만족하는 조합이 그림 7에 나타나 있다. 마운트 속도 척도에서는 단순히 마운트 ω_n 값이 클수록, 프레임률이 클수록 기준을 만족하는 것이 아니라, 두 변수 사이의 적정 조합이 필요함이 확인 가능하다.

그림 8과 9에는 9가지의 표적궤적을 모두 누적하여 각각의 기준을 만족하는 부분이 짙은 색 범위로 표현되어 있다. 각 그림의 첫 번째 행은 영상처리 지연 시간이 10ms, 두 번째 행은 지연 시간이 20ms인 경우의 결과이고, 열 별로 측정오차 값이 증가하는 경우에 대한 시뮬레이션 결과가 도시되었다.

그림 8에서 위치 오차 기준을 FOV대비 7%로 잡았을 때, 대부분의 경우 이를 만족했으며 측정 오차가 20arcsec로 큰 경우에서 프레임률이 수 Hz 정도로 낮은

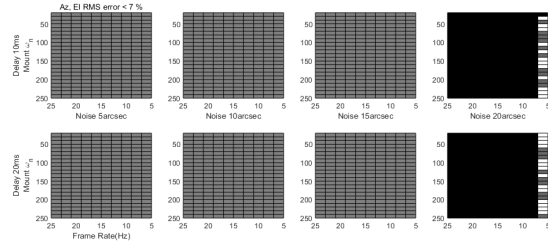


Fig. 8 Accumulated simulation result wrt trajectories - position error

부분에서만 기준을 벗어나는 경우가 발생하였다.

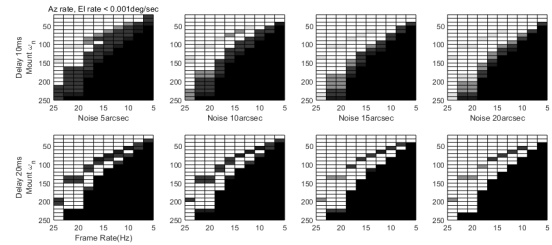


Fig. 9 Accumulated simulation result wrt trajectories - mount velocity

그림 9의 결과를 보면 그림 7과 유사한 형태의 조합이 나타나는데, 마운트 속도 척도에 대해서는 영상처리 지연 시간이나 측정오차가 큰 영향을 주지 않고 프레임률과 마운트 특성의 조합에 의존적임을 확인할 수 있다.

그림 10에 이상의 결과를 모두 조합하여, 시뮬레이션을 수행한 대부분의 경우에 대하여 일정 기준을 만족시킬 수 있는 프레임률(Hz)과 마운트 ω_n 값의 범위를 도시하였다.

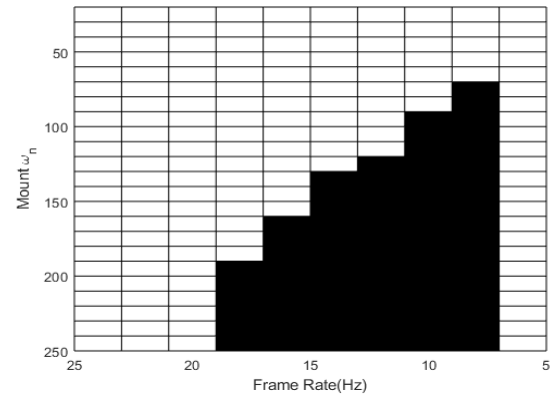


Fig. 10 Appropriate combinations between frame rate and mount ω_n

그림 11에는 프레임률(Hz)과 마운트 ω_n 값의 범위 조합의 이해를 돕기 위한 시뮬레이션 결과가 나타나 있다. 프레임률을 10Hz로 고정하고, 마운트 ω_n 값을 변화시켰을 때의 추적 성능을 볼 수 있다. 프레임률이 커질수록 표적정보 획득에는 이점을 가질 수 있으나, 그만큼 빠른 마운트 기동이 뒷받침되어야 적정 성능을 획득할 수 있을 것이다.

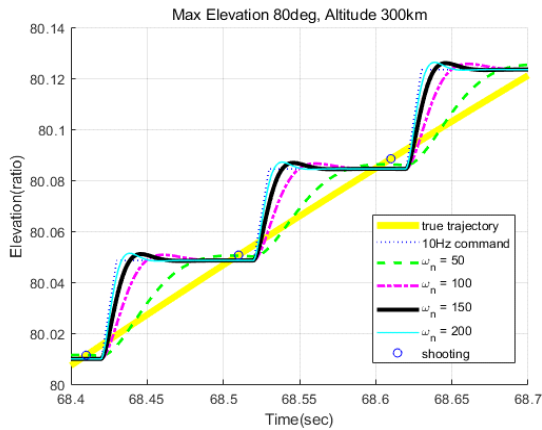


Fig. 11 Optical tracking performance for ω_n of mount

V. 결론

초당 수~수십 프레임의 짧은 주기 단위로 미지의 우주 표적을 망원경 시야각 안에서 연속 추적/촬영하려는 광학 관측 시스템을 대상으로 하여, 전체 성능에 영향을 줄 수 있고, 설계 방법에 따라서 그 값을 조정할 수 있는 설계 변수를 선정하고, 정의된 효과 척도를 만족할 수 있는 변수 조합을 시뮬레이션을 통하여 분석적으로 찾아보았다.

설계 변수는 표적 궤적 특성, 측정 오차, 영상처리 지연 시간, 마운트 구동 특성 그리고 프레임률(frame rate)의 다섯 개로 검토하였으며 표적 영상을 촬영하는 순간의 위치 오차와 그때의 마운트 속도 값을 효과 척도로 정의하고, 이에 따라 통합 효과도 분석을 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 수행하였다.

분석 결과 광학 관측 시스템의 연속 추적 성능은 프레임률과 마운트 특성의 조합에 의존적임을 확인할 수 있었다.

직접 광학 관측 시스템을 설계하거나 상용제품을 구입하여 유사 시스템을 구성하는 상황에서도, 본 연구와 같이 접근한다면, 효과분석 시뮬레이션을 통하여 설계 변수간 적절한 요소 조합을 찾을 수 있을 것이다.

References

- [1] E. J. Choi, *Space debris*, Galmaenamoo, Korea, 2021.
- [2] C. Hyun, S. W. Lee, H. J. Lee, and J. M. Lee, "Streak Estimation Method for Obtaining Orbital Information of Unknown Space Objects," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 11, pp. 1448-1454, Nov. 2018.
- [3] T. S. Campbell, V. Reddy, J. Larson, R. Linares, and R. Furfaro, "Optical Tracking of Artificial Earth Satellites with COTS Sensors," in *Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference*, Maui: HI, USA, 2018.
- [4] L. G. Anderson, "Satellite tracking with telescope and software," M. S. theses, Naval Postgraduate School, Monterey: CA, USA, 2019.
- [5] H. Yoon, K. Riesing, and K. Cahoy, "Satellite Tracking System using Amateur Telescope and Star Camera for Portable Optical Ground Station," in *Proceeding of AIAA/USU Conference on Small Satellites*, Logan: UT, USA, 2016.
- [6] S. Aydın, Ç. Güzence, A. Kaya, Ö. Kayhan, E. C. Kovan, M. K. Yurtçu, and B. Akbulut, "Tracking of low earth orbit satellites by optical systems," in *Proceedings of the 2015 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies(RAST)*, Istanbul, Turkey, pp. 175-180, 2015.
- [7] C. Hyun, S. W. Lee, H. J. Lee, and S. W. Park, "Tracking Analysis of Unknown Space Objects in Optical Space Observation Systems," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 12, pp. 1826-1834, Dec. 2021.
- [8] W. Yang, Y. Zhao, M. Liu, and D. Liu, "Method of space object detection by wide field of view telescope based on its following error," *Optics Express*, vol. 29, no. 22, pp. 35348-35365, Oct. 2021.
- [9] J. H. Jo, J. H. Park, S. K. Cho, H. S. Yim, J. Choi, and M. Park, "Requirement analysis of a low budget dedicated monitoring telescope to support the Geosynchronous Earth Orbit region optical surveillance," *Journal of Satellite, Information and Communications*, vol. 10, no. 4, pp. 128-135, Dec. 2015.
- [10] T. Hasenohr, "Initial Detection and Tracking of Objects in Low Earth Orbit," M. S. thesis, University of Stuttgart, Germany, 2016.



현 철(Chul Hyun)

2001.2 서울대학교 전기공학부 학사
2011.2 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
2011~현재 LIG넥스원(주) 수석연구원
※관심분야 : Navigation, Guidance, Control, Modeling and Simulation



이상욱(Sangwook Lee)

2000.2 서울대학교 물리학과 학사
2009.5 Univ. of Rochester 물리학과 박사
2010~2013 Flaum Eye Institute Researcher
2014~현재 LIG넥스원(주) 수석연구원
※관심분야 : Optics, Modeling and Simulation



이호진(Hojin Lee)

2004.2 서울대학교 항공우주공학과 공학석사
2011.2 서울대학교 기계항공공학부 공학박사
2011~현재 LIG넥스원(주) 수석연구원
※관심분야 : Dynamics & Control, Satellite, Modeling and Simulation



박승욱(Seung-Wook Park)

2007.2 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
2007.1~현재 LIG넥스원(주) 수석연구원
※관심분야 : 임베디드 시스템, 디지털 신호처리