

미지 우주물체 궤도 정보 획득을 위한 스트릭 추정 방법 검토

현철^{1*} · 이상욱¹ · 이호진¹ · 이종민²

Streak Estimation Method for Obtaining Orbital Information of Unknown Space Objects

Chul Hyun^{1*} · Sangwook Lee¹ · Hojin Lee¹ · Jongmin Lee²

¹M&S R&D Team, LIG Nex1, Yongin, 16911 Korea

²IIR Seeker R&S Lab, LIG Nex1, Yongin, 16911 Korea

요약

광학관측 시스템에서, 미지의 우주물체의 궤도 정보를 얻을 수 있는 궤도 결정 방법에는, 균등한 시간 간격의 세 쌍의 관측 값이 필요하다. 본 논문에서는 하나의 스트릭 영상의 정보를 이용하여, 세 쌍의 관측 값을 획득하기 위한 스트릭 추정 방법에 대하여 살펴본다. 우주 물체의 궤도에 따른 특성을 확인하고, 추정 성능을 평가하기 위하여, STK 프로그램을 이용하여 총 9가지 경우에 대한 위성 궤적 모의 관측 자료를 생성하였다. 하나의 스트릭 영상 정보로부터 수 초 후의 다음 스트릭 위치를 추정할 수 있는 세 가지 접근 방법을 적용하여 시뮬레이션을 수행하고, 추정 성능을 평가해 보았다. 선형 가정을 기본으로 하는 선형 벡터 방법과 Kalman Filter 방법은 비선형성이 커지는 부분에서 추정 오차도 함께 증가하는 경향을 보였으나, 최소자승 기법을 기반으로 한 다항식 커브 피팅을 통한 추정 방법은, 앞선 방법들 보다 오차 값이 작고 균일한 결과를 보였다.

ABSTRACT

In an optical observing system, three pairs of observations at equal time intervals are required for the orbit determination method to obtain orbital information of an unknown space objects. In this paper, we propose a method of estimating a streak for acquiring three pairs of observations using one streak image information. Satellite trajectory simulation data were generated for nine cases using the STK program in order to verify the characteristics of the orbit of space object and estimation performance. Simulation was performed by applying three approaches that can estimate the next streak position after a few seconds from one streak image information, and the estimation performance was evaluated. Linear vector method and Kalman Filter method based on the linear assumption tend to increase the estimation error in the region where the nonlinearity is large. However estimation method using the polynomial curve fitting based on the least square method showed smaller and uniform error result than the previous methods.

키워드 : 우주물체, 광학관측, 위성궤도, 스트릭, 다항식 커브피팅

Keywords : Space object, Optical observation, Satellite orbit, Streak, Polynomial curve fitting

Received 14 September 2018, Revised 27 September 2018, Accepted 24 October 2018

* Corresponding Author Chul Hyun(E-mail:chul.hyun@lignex1.com, Tel:+82-31-8026-4293)

M&S R&D Team, LIG Nex1, Yongin, 16911 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.11.1448>

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. 서 론

우주공간에는 인공위성을 비롯한 우주선, 발사체 등의 다양한 인공 우주물체 수 만개가 존재하고 있다. 우주물체 간의 충돌로 인한 파편의 지상 낙하 또는 적성국의 정찰 위성에 의한 국내 정찰 등의 위험성이 존재하므로, 우주물체를 탐지, 식별, 추적하고 위치를 예보하는 감시체계가 필요하다. 이미 우주 선진국들은 우주통제를 목적으로 우주감시시스템을 운영하고 있으며, 국내에서도 이와 관련된 연구 및 기술 개발이 진행 중이다[1-8].

현재 사용되고 있는 우주물체의 추적 및 감시 시스템으로는 레이더 시스템, 레이저 시스템, 광학 시스템이 있다. 레이더 시스템은 주로 저궤도 위성의 추적 및 감시에 사용되고, 레이저 시스템은 거리 정보 획득을 통하여 높은 정밀도의 추적이 가능하다[1]. 그리고 광학 시스템은 검출할 수 있는 대상의 고도의 범위가 넓고 종류도 다양하다는 특징을 지닌다[3]. 우주 선진국에서는 높은 정밀성을 위해 레이더 및 광학시스템에 레이저시스템을 병행하여 통합적인 우주 추적 및 감시시스템을 구축하는 추세이지만[4], 광학관측만을 이용한 우주 감시 활동 사이트들(미국의 GEODSS, 일본의 BSGC 천문대 등)도 여전히 운영되고 있다[3,5].

광학관측은 근본적으로 하늘의 일정 영역에 대한 사진을 찍는 것으로서, 스트릭(Streak) 형태의 영상을 얻고, 이미 알려진 별 위치와의 비교를 통하여 우주물체의 각(angle) 위치와 운동 방향을 알아낼 수 있다[9]. 거리 정보 없이 광학관측으로부터 얻는 각 위치와 시간 정보만을 이용하여 궤도를 결정하는 방법은 Laplace, Gauss, Double-r반복법, 그리고 Gooding 방법 등이 있다[9]. 이 방법들은 모두 세 쌍의 광학 관측 자료를 이용하여 우주물체의 궤도를 결정하는 방법이다[4,9]. 세 쌍의 광학 관측 자료는 동일 시간 간격의 방위각, 고각 값이고, 그림 1에 개략적인 개념도로 표현되어 있다.

한국천문연구원 등에서 진행되었던 기존 연구[10, 11]들은 기본 정보를 알고 있는 위성에 대하여 스트릭 영상을 얻고, 이를 바탕으로 보다 정확한 궤도 정보를 재산출하는 과정으로 볼 수 있다.

본 논문에서는 궤도 정보를 알 수 없는 미지의 우주물체에 대하여 한 장의 스트릭 영상을 얻게 되었을 때(그림 1의 t_1), 스트릭 영상을 연속해서 찍을 수 있도록, 다

음스택(그림 1의 t_2, t_3)의 스트릭을 촬영할 위치를 추정하는 방법을 다룬다. 2장에서 상용 프로그램을 이용한 모의 관측 자료 생성과 시뮬레이션을 위한 가정 사항에 대하여 기술하고, 3장에서는 하나의 스트릭 영상 정보로부터 수 초 후의 스트릭 위치를 추정하는 방법들을 정리하였다. 4장에서 시뮬레이션을 통하여 각 접근 방법 별로 수행 결과와 성능을 정리하고, 5장에서 결론을 서술하였다.

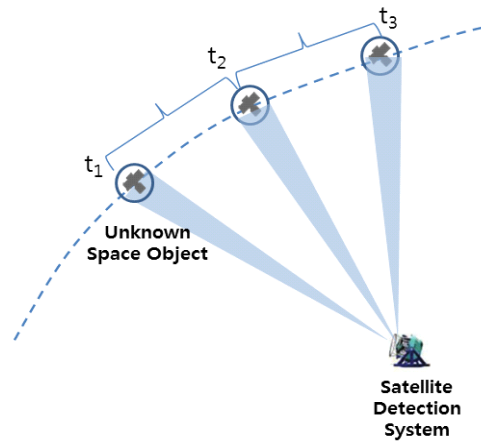


Fig. 1 Angles only preliminary orbit determination

II. 모의 관측 자료

2.1. 모의 관측 자료 생성

우주 물체의 궤도에 따른 특성을 확인하고, 여러 가지 경우에 대한 스트릭 추정 성능을 평가하기 위하여 다음과 같이 우주물체의 모의 관측 자료를 생성하여 활용하였다.

본 논문에서 광학 시스템으로 관측하는 우주물체는, 한반도 내의 임의의 지점에 있는 관측소에서 관측이 가능한 저궤도 위성으로 선정하였다. 표적의 고도와 관측소에서 관측되는 표적 궤적의 최대 고각의 크기에 따라서 궤적 자체의 특성과 추정 성능이 다를 것으로 판단하고, 저고도 위성의 고도를 세 가지 경우로 나누고, 관측소에서의 최대 고각 역시 세 가지 경우로 나누어, 총 9가지 경우에 대한 검토를 수행하였다.

공개된 위성목록에서 선택할 수 있는 위성을 선정하여 AGI (Analytical Graphics, Inc)사에서 만든 상용 툴인

STK(Systems Tool Kit)를 활용하여 각 경우별의 위성 궤도 운동을 모사하였다.

고도 약 300km~400km 부근의 우주물체는 ISS (Interantional Space Station), 고도 약 500km 부근은 지구 관측 위성인 WV-1(WorldView 1), 그리고 고도 700km 부근은 국내 위성인 KOMPSAT-3호를 사용하였다.

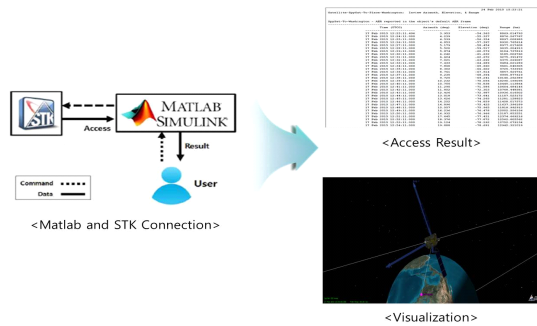


Fig. 2 Matlab and STK connection for Satellite orbit

STK 프로그램 내에 센서 객체(망원경)를 생성하면, 그림 2와 같이 Matlab과 연동하여 망원경 지향 방향 및 범위에 따라 위성과의 조우 정보인 조우 시간, 방위각, 고각에 대한 정보를 출력하여 활용할 수 있다. 관측소를 기준으로 고각 30도 이상인 영역에서 관측이 가능한 것으로 간주하고, 이에 대한 위성의 위치 정보를 출력하여 분석에 활용하였다.

이렇게 얻어진 모의 관측 자료는 실제 위성 데이터와 차이는 있겠지만, 상용 프로그램에서 위성의 섭동 등 운동 특성이 충분히 반영되어 생성된 자료이기 때문에, 본 논문에서 주요하게 살펴보는 추정 성능의 경향을 확인하는 용도로는 충분하다.

2.2. 모의 관측 자료 특성

앞서 가정한 9가지의 경우에 대하여 고도별/최대고각별 관측소 기준의 방위각을 그림 3에, 고각을 그림 4에 도시하였다. 3x3 형태의 그래프에서 각 행은 최대고각별, 각 열은 고도별로 분류된다. 각각의 그래프는 상호 비교가 용이하도록 정규화 하여 도시하였다.

고도가 낮을수록, 최대 고각이 클수록 관측되는 궤적의 비선형성이 커지는 것을 그림 3과 4로부터 확인할 수 있다. 그리고 고각 궤적보다는 방위각 궤적이 상대적으로 더 큰 비선형성을 보였다.

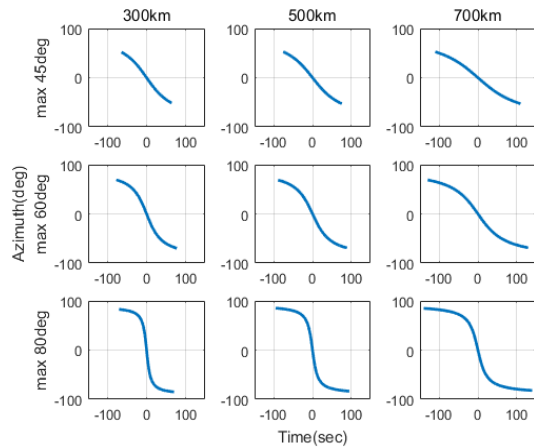


Fig. 3 Azimuth Plot

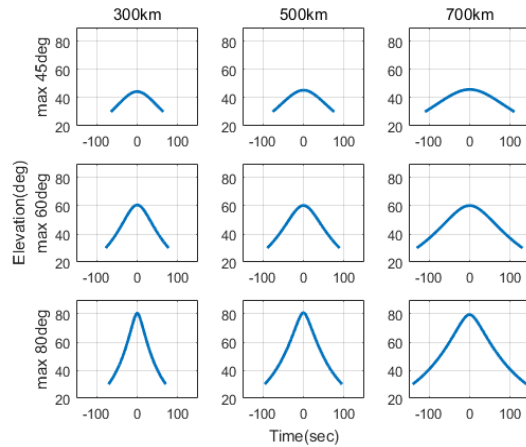


Fig. 4 Elevation Plot

2.3. 스트릭 데이터 모의

그림 3과 4는 관측소에서 관측할 수 있는 영역의 전체 궤적을 나타낸 것이고, 실제 촬영되는 스트릭은 전체 궤적의 일부분이 된다. 이동물체의 궤적에서 시간 정보를 추출할 수 있도록, 우주물체의 이미지를 촬영하기 위한 카메라 앞에 초퍼(chopper)를 위치시켜서, 촬영되는 우주물체의 궤적을 복수의 선분으로 잘라낼 수 있다 [10,11]. 복수의 회전 블레이드를 포함하여 구성되는 초퍼를 이용하면 그림 5와 같은 영상을 얻을 수 있는데, 잘려진 각각의 선분으로부터 표적물체의 이동 방향과 각(angle) 위치 정보를 얻게 된다.

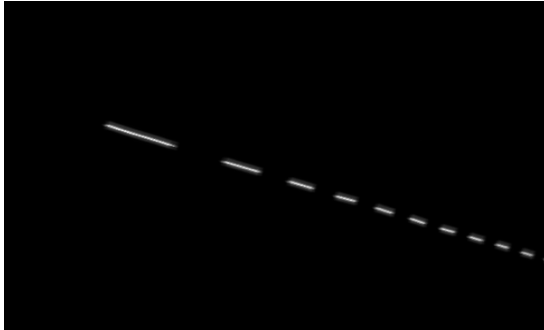


Fig. 5 Streak Image

일반적으로 스트릭 영상 촬영은 일정시간 동안 노출을 하게 되고, 영상정보 획득 및 처리, 망원경 마운트 구동 등의 시간이 흐른 후 다음 스텝의 스트릭 촬영을 계속하게 된다. 그림 6은 STK로 생성한 모의 관측 자료의 한 케이스의 데이터를 방위각을 x축으로 고각을 y축으로 그린 결과이다. 점선으로 표현된 부분이 전체 궤적이고, 굵은 부분으로 표현된 부분이 스트릭 촬영을 하는 구간이다. 그림 6의 모의 관측 자료에서는 노출시간을 1초, 각 스트릭 사이의 간격을 15초로 가정하였다.

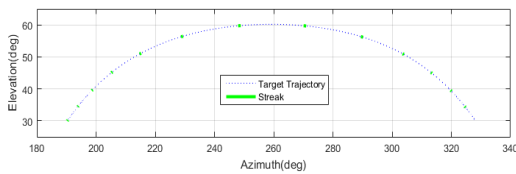


Fig. 6 STK Measurement Data & Streak

그림 6에서 보듯이 매우 작은 구간의 스트릭 정보를 이용하여 상대적으로 먼 시간 후의 우주물체의 위치를 추정해야 한다. 그림 7은 그림 6의 스트릭 촬영 구간 모의 데이터 중의 한 부분을 확대한 그림이다. 3개의 날개가 달린 초퍼가 500rpm으로 회전한다고 가정하였을 때, 촬영궤적이 0.02초 간격으로 잘려지는 부분이 모사되어 있다. 그림 7의 굵은 선 부분이 그림 5와 같이 실제로 영상으로 얻을 수 있는 부분이 된다.

영상처리를 통하여, 그림 7에서 원으로 표시된, 각 선분의 중심점 정보를 얻을 수 있다고 가정하고, 이 데이터를 다음 스트릭 위치 추정에 활용하였다. 분석의 용이함을 위해서, 영상처리 오차나 잡음 등의 세부적인 사항은 중심점 정보에 오차를 섞어주는 형태로 대신하였다.

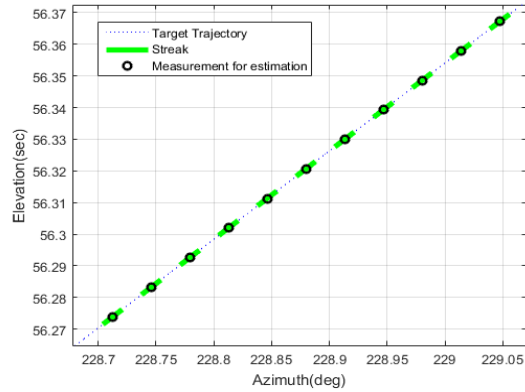


Fig. 7 Simulated Streak Data

III. 추정 알고리즘

하나의 스트릭 영상 정보를 획득 했을 때, 영상에서 얻을 수 있는 정보를 이용하여 다음 스텝의 스트릭 영상 촬영 위치를 추정할 수 있는 여러 접근법에 대하여 검토해 본다.

3.1. 선형 벡터를 이용한 추정

가장 직관적인 방법으로서, 우주물체 궤적의 비선형성을 고려하지 않고, 한 화면의 스트릭을 선형으로 가정하여 속도 벡터를 산출하고, 여기에 다음 스트릭 촬영 시간 간격을 곱하여 위치를 추정하는 방법이다. 이 접근 방법을 이용하면 우주물체의 궤적의 비선형성을 확인하고, 선형 접근이 어느 정도의 범위까지 추정 값이 유효한지를 확인할 수 있다.

3.2. Kalman Filter를 이용한 추정

우주물체의 궤적에 대한 복잡한 모델을 적용하기 보다는 가장 단순한 형태의 선형 모델을 이용한 칼만 필터를 구성하고 스트릭 추정을 수행해 보았다.

초퍼에 의해서 잘려지는 각 선분들의 중심점 데이터를 확보할 수 있다는 가정 하에서, 각 데이터를 이용하여 연속적으로 예측과 갱신을 수행하고, 스트릭의 마지막 점의 속도 상태 변수를 이용하여 다음 스트릭 지점을 추정하였다.

표적의 상태 변수는 식(1)과 같이 방위각과 고각의 위치와 속도만 사용하였다.

$$X(k) = [x_k, y_k, \dot{x}_k, \dot{y}_k]^T \quad (1)$$

표적이 항상 일정한 속도를 유지하는 동역학 등속모델은 식(2)와 같다.

$$X(k+1) = \Phi X(k) + Bw(k) \quad (2)$$

$w(k)$ 는 동역학 모델의 불확실성을 의미하고 백색 가우시안 잡음으로 설정하였다. 식(2)의 상태전이행렬은 식(3)과 같다.

$$\Phi = \begin{bmatrix} I_2 & TI_2 \\ 0_2 & I_2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} T^2 I_2 \\ TI_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식(3)의 0_2 는 2×2 영행렬이고, I_2 는 2×2 단위행렬이다. T 는 초퍼로 잘려진 스트릭 데이터 간격을 의미한다.

측정치 방정식은 식(4)와 같고, v_k 는 백색 가우시안 잡음으로 가정되는 측정 잡음, H 는 선형 시스템에서의 측정치 행렬로, 본 시스템의 측정치는 방위각과 고각 방향의 위치 정보이므로 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$z_k^T = Hx_k^T + v_k \quad (4)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Kalman Filter를 이용한 결과는, 추정된 속도 값을 이용하여 다음 스트릭 위치를 추정하는 형태이기 때문에, 선형 벡터를 이용한 추정과 큰 차이가 없겠지만, 선형 속도 벡터 산출 시에 측정 잡음이나 랜덤 오차 등으로 속도 성분 오차가 생기는 부분에 대한 간접적인 검증은 해볼 수 있다.

3.3. 다항식 커브 피팅

다양한 위성 궤도가 존재하고, 관측소의 상대 위치에 따라서 달라지기 때문에, 관측 가능한 궤적들에 대하여 일률적인 모델링을 할 수는 없다.

본 논문에서는 최소자승기법(Least Square Method)를 기반으로 한 다항식 커브 피팅(Polynomial Curve Fitting) 방법을 적용하여 수 초 후의 스트릭 위치를 추정해 보았다. Least Square Method의 차수는 식(6)처럼 3차로 설정하였다.

$$p(x) = p_1x^3 + p_2x^2 + p_3x + p_4 \quad (6)$$

앞서의 Kalman Filter를 사용한 경우와 유사하게, 스트릭이 초퍼에 의해서 잘려지는 각 선분들의 중심점 데이터를 이용하여 3차의 커브 피팅을 수행하고, 여기서 얻어진 다항식의 계수를 활용하여 다음 스트릭 위치를 추정하였다.

IV. 시뮬레이션

그림 3과 그림 4에 표현한 9가지의 경우들에 대하여 다음 스트릭 예상 간격이 각각 5초 후, 10초 후, 20초 후 그리고 30초 후일 때의 추정 성능을 도출하고 비교하여 보았다.

실제 시스템이라면, 영상 획득 및 처리에 소요되는 시간 때문에 시간 간격이 짧은 경우가 적절하지 않을 수도 있고, 시간 간격이 긴 경우는 추정 성능이 충분치 않아서 바로 적용하기 힘들 수도 있다. 그러나 이번 연구에서는 추정 성능의 확인과 비교를 위하여 스트릭 간격을 임의로 설정하였음을 밝혀둔다. 그리고 시간 오차나 망원경의 마운트 구동 특성도 따로 고려하지는 않고, 단순 추정 성능 비교를 위하여, 위치 오차만을 분석 대상으로 선정하였다.

스트릭을 추정하는데 사용하는 데이터의 위치가, 각 궤적의 임의의 위치에 있다고 보고, 각 궤적별로 적게는 200여회, 많게는 400여회의 추정을 수행하고, 결과를 정리해 보았다.

우선 그림 8과 그림 9는 모의 관측 자료 9가지 중에서 한 가지 경우에 대하여 스트릭 간격이 10초일 때의 추정 특성을 도시한 결과이다.

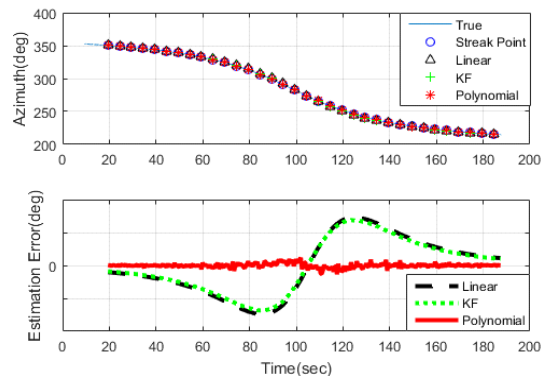


Fig. 8 Simulation Results(1 Case) - Azimuth

그림 8은 방위각에 대한 결과이고, 그림 9는 고각에 대한 결과이다. 각 그림에서 위의 그래프는 실제 궤적으로 가정하는 모의 관측 데이터에, 각 추정 방법별의 추정 결과를 함께 그린 결과이고, 아래의 그래프는 추정 오차를 도시한 결과이다.

선형 가정이 들어가는 선형 벡터 방법과 Kalman Filter 방법의 경우에는, 타겟의 궤적이 비선형성을 띄는 구간에서 - 방위각은 80초와 120초 부근, 고각은 100초 부근 - 오차가 눈에 띄게 커지는 것을 볼 수 있다. 이에 반해 다항식 커브 피팅 접근법으로는 타겟의 궤적에 대체적으로 균등한 오차를 보이고 있다.

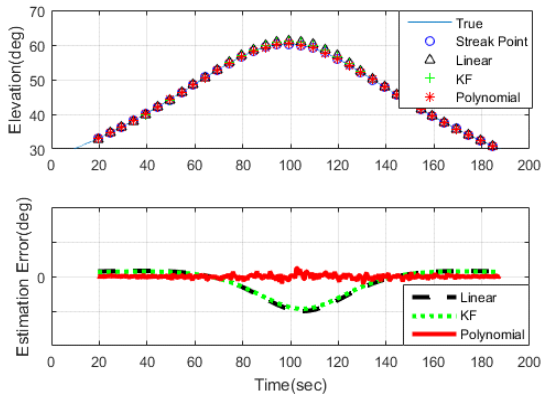


Fig. 9 Simulation Results(1 Case) - Elevation

그림 10과 11은 가정된 모든 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 방위각과 고각에 대하여 정리한 결과이다. 각 위성의 최대 고각별, 고도별, 스트릭 간격 별로 오차 RMS(Root Mean Square) 값을 정리하였다. 각 그림의 x축은 스트릭 간격을 나타내고, y축은 방위각과 고각에 대한 추정 오차값을 나타낸다. 그리고 스트릭 추정 방법 별로, 같은 그래프 안에 다른 선으로 함께 표시하였다.

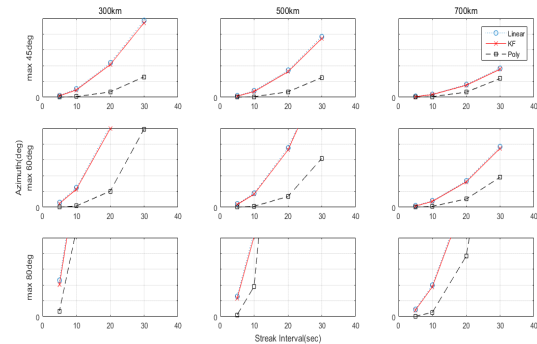


Fig. 10 Simulation Results(All Cases) - Azimuth

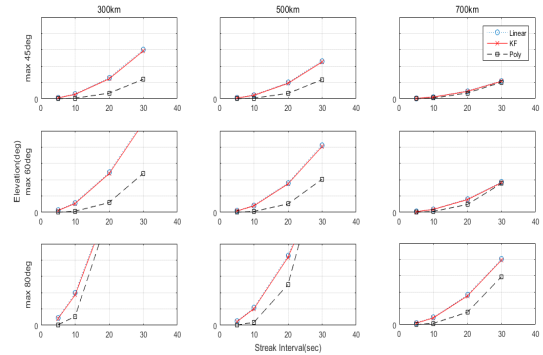


Fig. 11 Simulation Results(All Case) - Elevation

앞 절에서 살펴본 바와 같이, 최대 고각이 높을수록, 고도가 낮을수록 표적 궤적의 비선형성이 커지는데, 이렇게 비선형성이 커지는 부분에서는 추정 오차도 증가하는 것을 확인할 수 있다.

선형 벡터 방법과 Kalman Filter 방법은 기본 접근이 유사하기 때문에, 전체적인 결과 값이나 경향이 유사하였다. 다만 Kalman Filter를 사용한 경우에는 랜덤 오차에 의한 영향이 상대적으로 적어서 선형 벡터 방법보다는 미소하게 추정 오차가 작게 나왔다. 3차 다항식 커브 피팅 방법이, 선형으로 접근한 앞선 방법들 보다 눈에 띄게 작은 오차 값을 보였다.

이상의 결과에서 표적의 고도가 500km 이하, 최대 고각이 60deg 이상이 되면, 광시야 망원경을 사용한다 하더라도 기본 추정 오차가 수 deg를 넘게 되어, 스트릭 관측 정보만으로는 그 다음 스트릭에 대한 연속적인 관측이 어려울 것으로 예상할 수 있다.

V. 결론

광학관측 데이터를 이용하여, 미지의 우주물체의 궤도 정보를 얻을 수 있는 궤도 결정 방법에 필요한, 세 쌍의 관측 값을 획득하기 위한 스트릭 추정 방법에 대하여 살펴보았다.

STK 프로그램을 이용하여 모의 관측 자료를 생성하고, 하나의 스트릭 영상 정보로부터 수 초 후의 다음 스트릭 위치를 추정할 수 있는 세 가지 접근 방법을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표적 우주물체로 가정한 위성의 고도가 낮을수록, 관

측 최대 고각이 높을수록 궤적의 비선형성이 커지는데, 선형 가정을 기본으로 하는 선형 벡터 방법과 Kalman Filter 방법은 비선형성이 커지는 부분에서 추정 오차도 함께 증가하는 경향을 보였다. 이에 반해서 최소자승 기법을 기본으로 한 다항식 커브 피팅을 통한 추정 결과는 앞선 방법들 보다 작고 균일한 위치 오차 값을 보였다.

본 연구에서는 단순화된 상황에서의 위치 오차만을 분석 대상으로 하여 단순 추정 성능만을 비교였다. 추후 망원경의 마운트 구동 특성이나 영상 처리 오차 등의 광학 관측 시스템의 여러 항목을 포함한 종합적인 분석이 필요할 것이다.

References

[1] W. Lee et al, "Orbit determination of GPS and KOREASAT 2 satellite using angle-only data and requirements for optical tracking system," *Journal of Astronomy and Space Sciences*, vol. 21, no. 3, pp. 221-232, Sep. 2004.

[2] AMOS, AMOS User's Manual, U.S. Air Force Research Lab., 2001.

[3] J. Choi et al, "Orbit determination using angle-only data for MEO & GEO satellite and obsolete," *Journal of Astronomy and Space Sciences*, vol. 26, no. 1, pp. 111-126, Mar. 2009.

[4] O. Hwang, J. H. Jo, "Trends of initial orbit determination accuracy for time interval change between three pairs of measurement datas," *Journal of Astronomy and Space Sciences*, vol. 26, no. 4, pp. 529-546, Dec. 2009.

[5] GEODSS, A GEODSS Sourcebook, U.S. Air Force, 2008.

[6] M. R. Ackermann, R. R. Kiziah, J. D. Beason, P. C. Zimmer, J. T. McGraw, "Exploration of Wide-Field Optical System Technologies for Sky Survey and Space Surveillance," *Proceeding of the 30th Space Symposium*, Technical Track, Colorado Springs, Colorado, pp. 1-28, May. 2014.

[7] H. Lee, S. Lee, "Detection performance analysis of the telescope considering pointing angle command error," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 237-243, Jan. 2017.

[8] B. Nadella, "Eyes detection and tracking and eye gaze estimation," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol. 1, no. 2, pp. 25-41, Jun. 2015.

[9] D. A. Vallado, *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, 4th ed. Hawthorne, CA: Microcosm Press, 2013.

[10] S. Park et al, "Development of a data reduction algorithm for optical wide field patrol," *Journal of Astronomy and Space Sciences*, vol. 30, no. 3, pp. 193-206, Sep. 2013.

[11] S. Park et al, "Development of a data reduction algorithm for optical wide field patrol(OWL) II: improving measurement of lengths of detected streaks," *Journal of Astronomy and Space Sciences*, vol. 33, no. 3, pp. 221-227, Sep. 2016.



현 철(Chul Hyun)

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



이호진(Hojin Lee)

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



이종민(Jongmin Lee)

2003.8 한양대학교 정보통신공학과 석사
2012.2 한양대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사
2012~현재 NIG넥스원(주) 수석연구원
※관심분야: Image Processing, Satellite Observation Telescope