

지평선을 이용한 영상기반 위치 추정 방법 및 위치 추정 오차

A Vision-based Position Estimation Method Using a Horizon

신 종 진* 남 화 진* 김 병 주*
Jong-Jin Shin Hwa-Jin Nam Byung-Ju Kim

Abstract

GPS(Global Positioning System) is widely used for the position estimation of an aerial vehicle. However, GPS may not be available due to hostile jamming or strategic reasons. A vision-based position estimation method can be effective if GPS does not work properly. In mountainous areas without any man-made landmark, a horizon is a good feature for estimating the position of an aerial vehicle. In this paper, we present a new method to estimate the position of the aerial vehicle equipped with a forward-looking infrared camera. It is assumed that INS(Inertial Navigation System) provides the attitudes of an aerial vehicle and a camera. The horizon extracted from an infrared image is compared with horizon models generated from DEM(Digital Elevation Map). Because of a narrow field of view of the camera, two images with a different camera view are utilized to estimate a position. The algorithm is tested using real infrared images acquired on the ground. The experimental results show that the method can be used for estimating the position of an aerial vehicle.

Keywords : Position Estimation(위치 추정), Horizon(지평선), DEM(Digital Elevation Map), Infrared Image(적외선 영상)

1. 서론

이 논문에서는 GPS를 사용하기 어려운 환경에서 영상을 이용하여 비행체의 위치를 알아내는 문제를 풀고자 한다. 비행체 전방에는 좁은 화각을 가진 적외선 카메라가 장착되어 있으며, INS(Inertial Navigation System)로부터 비행체의 오차가 포함된 대략적인 위치

및 비행체와 카메라의 자세를 알 수 있다고 가정한다. 또한 비행체에 장착된 고도계로부터 비행체의 고도를 획득할 수 있다고 가정한다. 적외선 카메라를 이용하면 주·야간 구분없이 영상 획득이 가능하므로 야간에도 비행체의 위치 추정이 가능하다는 장점이 있다. 또한 지형 외에는 별다른 랜드마크가 없는 환경에서 비행하는 경우를 가정한다.

비행체의 위치를 추정하는 방법은 다양하다. 이러한 다양한 방법들 중에서 INS 및 GPS(Global Positioning System)가 가장 널리 사용되고 있다. 그러나, INS의 경우 시간이 지남에 따라 오차가 누적되는 단점이 있고,

† 2011년 12월 29일 접수~2012년 2월 24일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 신종진(jjshin@add.re.kr)

GPS의 경우에는 전략적으로 또는 GPS 재밍으로 인해 사용이 제한될 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 영상을 이용한 보조항법을 많이 사용한다. 영상 보조항법은 인공적인 랜드마크나 자연적인 랜드마크를 이용하여 자신의 위치를 알아낸다. 이 중 인공적인 랜드마크를 이용하는 방법^[1,2]은 랜드마크가 주위에 반드시 존재해야하며 이러한 랜드마크를 인식하는 능력을 갖추어야 한다는 어려움이 있다. 이와는 다르게 자연적인 랜드마크인 지형을 이용하는 경우에는 이러한 어려움에서 조금 자유로울 수 있다. 지형을 이용하여 위치를 추정하는 방법은 많은 연구자들에 의해 수행되었다. 그 중에서 지상에서 무인 로봇의 위치를 추정하는 방법은 고정된 자세에서 다양한 방향으로 여러 장의 영상을 획득하거나 때로는 파노라마 영상을 구성하여 활용하는 방법을 이용한다^[3~6]. 이 방법은 지속적으로 움직이는 비행체의 경우에는 적합하지 않다. Woo 등^[7,8]이 제시한 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 위치를 추정하는 방법은 지평선 영상에서 산꼭대기를 추출하고 이 지점에 해당되는 부분을 DEM(Digital Elevation Map)에서 찾아 위치를 알아낸다. 이 방법은 산꼭대기를 추출할 때의 정확성 및 추출된 산꼭대기의 개수가 위치 추정의 결과에 많은 영향을 미친다.

이 논문에서는 앞에서 제시한 문제를 해결하기 위하여 비행체의 위치를 추정하는 새로운 알고리즘을 제안하고 실험을 통한 결과를 제시하고자 한다. 적외선 카메라의 화각이 작다는 전제 조건으로 인하여 영상에 존재하는 특징점이 적을 수 있기 때문에 지평선 전체를 특징점으로 하여 DEM으로부터 미리 생성한 지평선 모델과의 비교를 통하여 위치를 추정하는 방법을 이용한다. 2장에서는 한 장의 영상을 사용하여 위치를 추정하였을 때 카메라의 시선각과 수직 방향에서의 오차가 작다는 것을 활용하여 서로 다른 시선각을 가지는 두 장의 영상을 이용하여 비행체의 위치를 추정하는 방법을 제안한다. 3장에서는 제안한 방법에 대한 오차를 이론적으로 분석한다. 4장에서는 실제 지상에서 획득한 영상을 이용한 위치 추정 결과를 제시하고 5장에서는 제안한 방법에 대한 요약 및 향후 발전 사항을 기술한다.

2. 위치 추정 방법

비행체의 위치를 추정하는 문제를 풀기 위한 전제

조건으로 전방에 장착된 적외선 카메라의 화각이 작다는 것이 제시되었다. 적외선 카메라는 CCD 카메라에 비해 화각이 작으며 현재 보편적으로 사용되는 적외선 카메라의 경우 320×240의 해상도에 12°×9° 정도의 화각을 가진다. 90° 보다 작은 화각을 가지는 카메라의 경우 Fig. 1에서와 같이 카메라가 이동함에 따라 지평선의 변화가 다르게 나타난다. 즉, 카메라가 바라보는 방향과 수직 방향(cross-view 방향) 및 카메라가 바라보는 방향과 평행한 방향(along-view 방향)으로 같은 거리 T 만큼 카메라를 이동하였을 때 카메라의 화각에 보이는 지평선의 변화는 각각 T 및 $T \times \tan(\text{FOV}/2)$ 로 나타난다. 여기에서 FOV는 카메라의 수평 화각을 나타낸다. 수평 화각이 12°일 경우, cross-view 방향으로 T 만큼 이동하여 지평선이 보이지만 along-view 방향으로는 대략 $0.1 \times T$ 정도로 지평선의 변화량이 작다. Fig. 2에서는 카메라의 원 위치에서의 영상이 cross-view 방향 및 along-view 방향으로 500m씩 움직였을 때 카메라에 보이는 지평선을 보여준다. 앞·뒤로 움직였을 때는 화면에 보이는 지평선의 변화가 거의 없고 좌우로 같은 거리만큼 카메라를 이동시키면 지평선의 변화량이 큼을 확인할 수 있다.

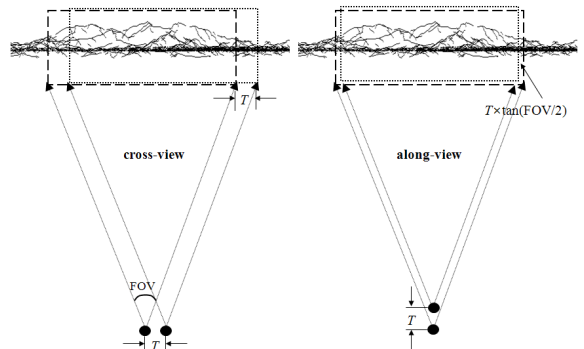


Fig. 1. Horizon change due to a camera's moving direction

화각이 작은 카메라를 통해 획득한 한 장의 영상을 가지고 비행체의 위치를 추정해 보았다. 이 때 Fig. 3에서와 같이 비행체가 존재할 수 있는 영역에 대하여 격자를 구성하고 각 격자점에서 DEM으로부터 가상의 지평선을 생성한다. 이렇게 생성된 지평선 모델과 카메라에서 획득한 영상에서 지평선만을 추출한 후 서로 MSD(Mean Squared Difference)를 이용하여 유사도를 비교하고 위치를 추정하였다. 이는 Talluri 등^[3,4]이 취

중 위치 추정을 위해 사용한 격자별 MSD를 이용한 방법과 유사한 방법이다. 영상으로부터 지평선을 추출하는 다양한 방법^[7,9,10]이 존재하지만 Kim 등^[10]이 제안한 Canny 에지를 추출하고 지평선이 아니라고 판단되는 라인들을 순차적으로 제거해나가는 multi-stage edge filtering 방법을 이용하였다. DEM으로부터 지평선 모델을 생성하는 방법은 Fig. 4에서와 같이 각 격자점에서 가시선을 이용하여 방위각별로 수직 시선각이 최대가 되는 각도를 획득한 후 이 방위각별 데이터를 이용하여 추후 비행체에서 영상평면에 투영하여 자세를 고려한 지평선을 생성할 수 있는 방법^[11]을 이용하였다. DEM에서 가시선을 이용하여 지평선 모델을 생성하는 것은 많은 시간이 걸리기 때문에 미리 방위각별 수직 시선각 자료를 만들고 비행체에서는 단지 투영변환만을 이용하므로 빠른 시간 내에 지평선 모델을 생성할 수 있게 된다.

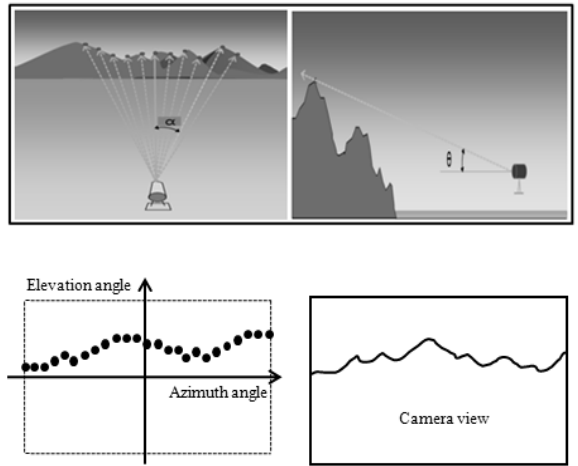


Fig. 4. Horizon model generation using LOS Method

Fig. 5에서는 카메라의 시선 방향이 165°일 때 획득한 한 장의 영상을 이용하여 격자의 원점을 랜덤하게 생성한 상태에서 MSD가 최소가 되는 지점을 추정 위치로 나타낸 결과를 보여준다. 카메라의 시선 방향으로의 위치 오차가 상당히 크게 나타난 것을 알 수 있으며 cross-view 방향으로의 오차(cross-view 오차)는 상당히 적다. 따라서, 격자를 이용하여 지평선 모델을 생성하고 유사도를 비교하는 방법에서는 한 장의 전방관측 영상만을 가지고는 위치 추정을 제대로 수행할 수 없음을 알 수 있다.

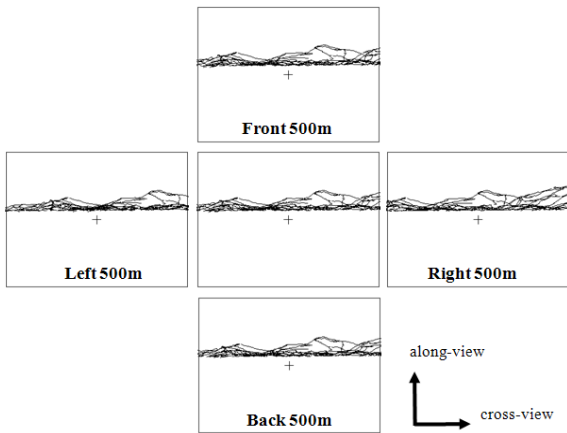


Fig. 2. Horizon within the camera's field of view

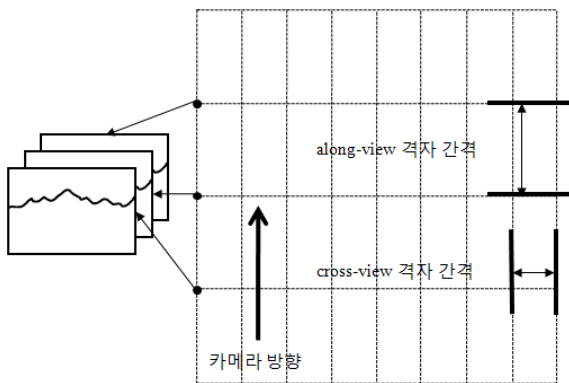


Fig. 3. Grid spacings and horizon model at grid point

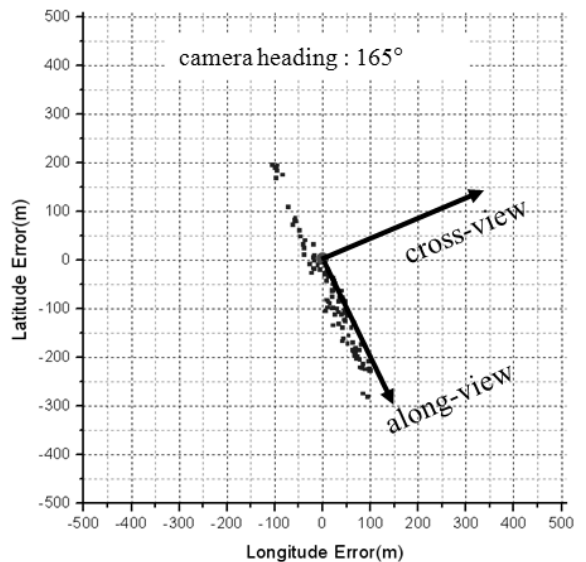


Fig. 5. Position estimation errors using one image

한 장의 영상을 이용한 위치 추정에서 cross-view 오차는 상당히 적다는 결과를 이용하여 새로운 위치 추정 방법을 제안하고자 한다. 비행체의 전방에 장착된 적외선 카메라는 김발을 이용하여 방향 전환이 가능하다. 따라서, 서로 다른 방향의 두 영상을 획득하면 Fig. 6에서와 같이 along-view 방향으로 길게 오차가 분포하고 이 두 오차 범위가 겹치는 부분이 카메라가 존재하는 영역이 된다. 같은 원리를 이용하여 비행체의 위치를 추정할 수 있다. Fig. 7에서와 같이 왼쪽에서 오른쪽으로 비행체가 이동할 때 영상을 획득하는 두 개의 지점이 있고 그 지점에서 각 카메라의 시선각에 맞는 격자를 구성하고 격자점마다 지평선 모델을 구성한다. 첫 번째 획득한 영상을 이용하여 유사도 비교를 통한 위치를 추정하고 그 위치를 포함하고 카메라의 시선각에 나란한 직선을 긋는다. 이는 cross-view 방향의 추정 결과를 이용하기 위함으로 오차가 많이 포함될 수 있는 along-view 방향의 결과는 전혀 사용하지 않는다. 두 번째 영상에서도 동일하게 추정 위치를 포함하고 카메라의 시선각에 평행한 직선을 계산한다. 비행체에 장착된 INS로부터 진행방향 및 이동거리를 알 수 있으므로 첫 번째 계산된 직선을 Fig. 8에서와 같이 이동거리만큼 이동시키면 이 두 직선이 만나는 곳이 최종적인 추정 위치가 된다.

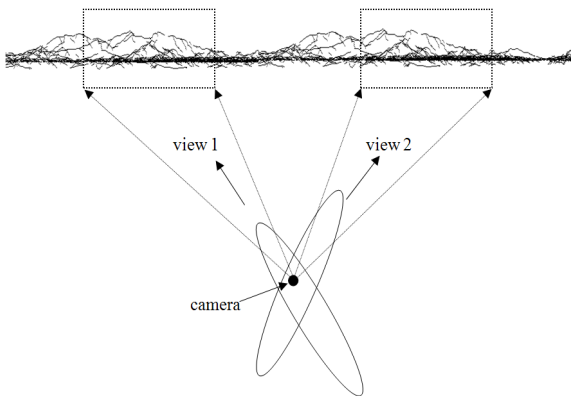


Fig. 6. Position estimation using two images

비행체가 이동하는 거리는 짧을수록 INS의 오차로 인한 이동거리의 오차가 적지만, 영상 획득, 획득된 영상으로부터 지평선 추출 및 각 격자점마다 유사도를 비교하는데 소요되는 시간을 고려하여 이동거리를 계획한다.

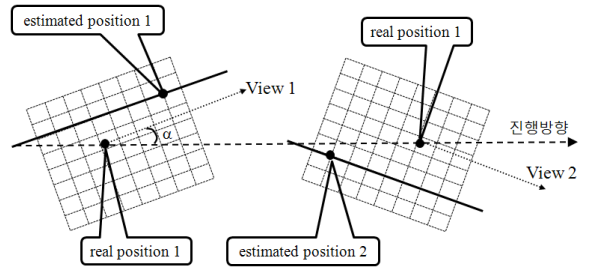


Fig. 7. Grid construction for two images

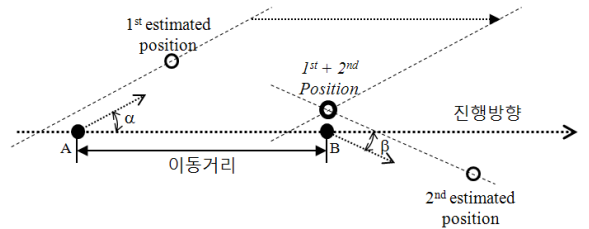


Fig. 8. Position estimation for a moving vehicle

3. 이론적 위치 추정 오차 분석

이 논문에서 제안하는 방법을 이용시 발생할 수 있는 오차는 여러 가지가 존재한다. 먼저 격자를 사용하기 때문에 격자 간격에 따른 오차가 존재하며, 또한 카메라 광축과 INS와의 정렬 오차, 카메라 자세 오차, DEM 오차, 고도 오차 등이 있다. 비행체에서 실시간 위치 추정이 가능하기 위해서는 가능한 격자 간격을 크게 하여 온라인 계산에 소요되는 시간을 단축시켜야 한다. 그러나, 이는 위치 추정 오차와 밀접한 연관이 있기 때문에 격자 간격에 따른 오차 분석이 필요하다.

먼저 격자 간격 이외의 오차는 없다고 가정하면, along-view 방향의 오차는 위치 추정에서 사용하지 않기 때문에 cross-view 방향의 오차만 고려되며 그 오차는 수식 (1)과 같이 표현된다. 이 수식은 가장 가까운 격자점이 추정 위치로 산출된다는 가정을 포함하고 있다. 이러한 가정은 지평선의 유일성이 보장되는 곳에서는 성립될 수 있다.

$$-\frac{I}{2} \leq E_{cross} \leq \frac{I}{2} \quad (1)$$

여기에서 I 는 cross-view 방향의 격자 간격이며 E_{cross} 는 cross-view 오차를 나타낸다.

비행체의 실제 위치가 격자 상에서 랜덤하게 분포할 것으로 판단되므로, 평균 cross-view 오차는 절대값으로 $I/4$ 가 된다. 최대 오차는 $I/2$ 이다.

격자 간격 외 모든 오차 요인에 의해 발생하는 오차를 $\Delta D(>0)$ 라고 정의하면, 격자 간격 및 모든 요인을 포함한 cross-view 오차는 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta D - \frac{I}{2} \leq E_{cross} \leq \Delta D + \frac{I}{2} \quad (2)$$

이 때 평균 cross-view 오차($\overline{E_{cross}}$)는 수식 (3)과 같이 계산된다.

$$\overline{E_{cross}} = \frac{1}{I} \int_{-I/2}^{I/2} |x + \Delta D| dx \quad (3)$$

위 수식은 $\Delta D - \frac{I}{2}$ 의 부호에 따라 다른 값을 가진다. 이 값이 양수일 경우 평균 cross-view 오차는 ΔD 이다. 그러나, $\Delta D - \frac{I}{2}$ 가 음수일 때는 평균 cross-view 오차가 $\frac{(\Delta D)^2}{I} + \frac{I}{4}$ 가 된다. 격자 간격이 아주 큰 값을 가지면 $\frac{(\Delta D)^2}{I}$ 은 0에 수렴하고 $I/4$ 만 남으며 격자 간격 오차만 존재하였을 때의 평균 cross-view 오차와 같은 값을 가짐을 알 수 있다. Fig. 9에서와 같이 ΔD 가 존재하는 경우에는 격자 간격이 $I/2$ 까지는 ΔD 의 일정한 평균 cross-view 오차를 가지다가 격자 간격이 $I/2$ 보다 커지면 오차가 증가하기 시작하는 경향을 보인다. 또한, 모든 경우에 대하여 격자 간격이 커질수록 cross-view 오차가 $I/4$ 에 근접한다.

두 방향의 영상을 이용한 위치 추정 오차는 수식 (4)와 같이 표현된다.

$$a = \frac{E_{cross}}{\sin(\theta)}, \quad b = \frac{E_{cross}}{\cos(\theta)} \quad (4)$$

여기에서 E_{cross} 는 cross-view 방향의 오차이며, θ 는 비행체의 진행방향과 카메라의 시선각이 이루는 각도다.

위치 오차는 Fig. 10에서와 같이 a 와 b 의 값으로 표현될 수 있으며, 보통 θ 는 카메라 김발의 움직임 한계로 제한된 값을 가진다. 이러한 오차는 cross-view 방향의 오차인 E_{cross} 와 진행방향과 카메라 시선각이

이루는 각도인 θ 만의 함수로 나타난다. 구체적인 E_{cross} 와 θ 의 값에 대한 오차는 Table 1에 정리하였다. E_{cross} 의 값이 작을수록 또한 θ 의 값이 클수록 오차는 줄어든다.

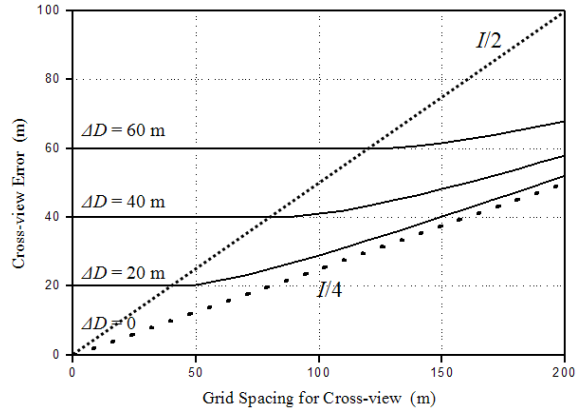


Fig. 9. Average cross-view error according to grid spacing

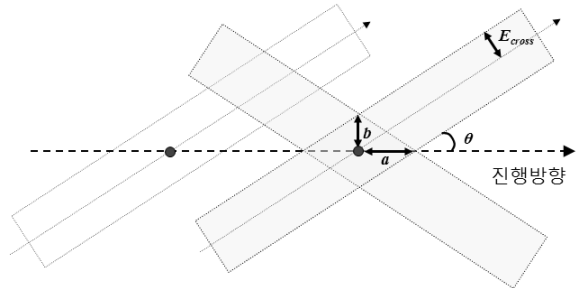


Fig. 10. Position errors using two different directions

Table 1. Position errors as a function of E_{cross} and θ

$E_{cross} \backslash \theta$	10deg	15deg	20deg	25deg
50m	a = 287m b = 50.5m	a = 193m b = 51.5m	a = 146m b = 53m	a = 118m b = 55m
75m	a = 431m b = 76m	a = 287m b = 77.5m	a = 219m b = 79.5m	a = 177m b = 82.5m
100m	a = 575m b = 101m	a = 386m b = 103m	a = 292m b = 106m	a = 236m b = 110m
150m	a = 862m b = 152m	a = 574m b = 155m	a = 438m b = 159m	a = 354m b = 165m

4. 실험결과

실험은 두 가지로 나누어 수행하였다. DEM 자료만을 이용하여 가상으로 지평선을 생성하여 시뮬레이션을 수행한 경우와 지상에서 실제 적외선 카메라를 이용하여 영상을 획득하고 위치 추정을 수행한 경우이다. 실험에 사용한 적외선 카메라는 해상도 320×240을 가지며 화각은 12°×9° 이다. DEM은 90m 간격의 격자를 가지는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) 데이터를 사용하였다.

첫 번째 실험으로 두 개의 서로 다른 지역에서 2km ×2km 영역 내에서 가상 카메라의 위치를 바꾸어 가면서 다양한 격자 간격에 대한 cross-view 방향의 오차를 살펴보았다. 가상 카메라의 위치는 50개의 서로 다른 위치로 랜덤하게 정하였으며 격자 간격은 10m, 50m, 100m, 200m로 지정하였다. 각 가상 카메라 위치에서 DEM으로부터 지평선을 획득하고 이를 실제 카메라에서 획득한 영상에서 추출한 지평선으로 가정하였다. Fig. 11에서와 같이 하나의 영상에 대한 평균 및 최대 cross-view 방향의 오차가 이론적인 오차인 1/4 및 1/2에 근접하여 나타남을 확인할 수 있다. 각 격자점에서 생성한 지평선 모델과 가상 카메라에서 생성한 지평선은 같은 DEM 정보를 이용하고 있기 때문에 오로지 격자 간격에 의한 오차만이 반영된 결과이다.

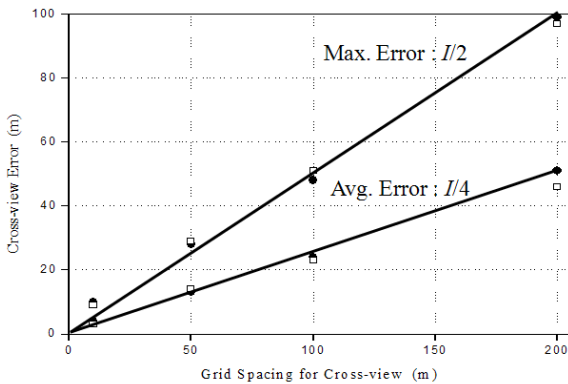


Fig. 11. Average and maximum cross-view errors for a synthetic camera

두 번째 실험은 실제 적외선 카메라로부터 획득한 영상을 이용하여 위치를 추정하는 것이다. 8개 지역에서 획득한 총 16장의 영상을 실험에 사용하였으며, 동일한 장소에서 2장씩 서로 다른 시선각 방향의 영

상을 획득하여 위치를 추정하였다. Fig. 12에서는 2장의 영상 및 그 영상에서 추출한 지평선(검은색 선)과 MSD가 최소가 되는 격자점에서의 지평선 모델(회색 선)을 보여준다. Fig. 12의 첫 번째, 세 번째, 네 번째 행 그림에서 지평선 모델이 추출된 지평선보다 훨씬 아래쪽에 위치하고 있으나 카메라의 자세 오차 등을 고려하여 추출된 지평선과 지평선 모델과의 평균값을 없애고 MSD를 계산하기 때문에 정합이 가장 잘 된 지평선 모델로 추출된 것이다. 두 번째 행의 그림에서는 추출된 지평선과 정합된 지평선 모델이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 그림에 대한 cross-view 방향의 오차는 위에서부터 각각 32.6m, -1.6m, 68.2m, 13.5m로 나타나 정합이 제대로 수행되었음을 알 수 있다.

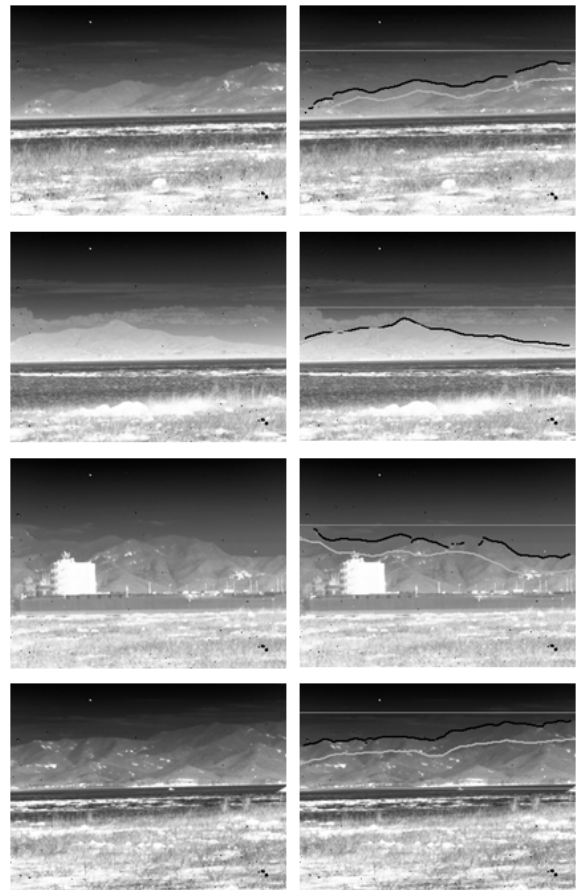


Fig. 12. Infrared images captured by a camera(left) and the overlay of an extracted edge and a horizon model(right)

모든 영상에 대한 최종 위치 추정 결과는 Table 2와 같으며 cross-view 방향의 오차 및 위치 오차는 DGPS 자료를 이용하여 계산하였다. Fig. 13에서는 Table 2에서 사용된 변수들에 대한 정의 및 최종 위치 오차를 계산하는 방법을 알 수 있다. 각 카메라 시선각마다 cross-view 방향의 오차가 다르게 나타나므로 앞에서 제시한 수식에서 약간의 변경만 있을 뿐 위치 오차는 cross-view 방향의 오차가 적을수록 또한 두 카메라의 시선각 차이가 클수록 적게 나타난다.

Table 2. Position estimation results using two images with a different view direction

Case#	Heading difference (deg)	Cross-view error 1 (m)	Cross-view error 2 (m)	Position error (m)
1	20	21.9	-27.4	146.6
2	26	-88.6	43.6	284.1
3	40	13.5	25.9	27.6
4	42	68.2	67.6	73.0
5	46	-1.6	53.6	76.4
6	50	32.6	19.2	32.8
7	52	32.5	94.8	99.3
8	68	-89.5	-54.5	92.6

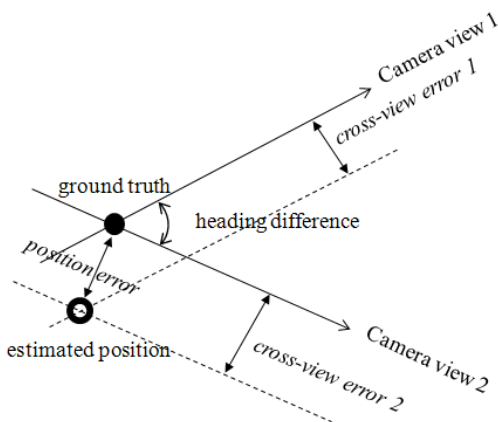


Fig. 13. Position error calculation for a case with different cross-view errors

5. 결론

이 논문에서는 작은 화각을 가지는 적외선 카메라를 장착한 비행체의 위치를 추정하는 새로운 방법을 제안하였다. 서로 다른 카메라 시선각을 가지는 두 영상으로부터 획득한 지평선과 각 격자점에서 DEM으로부터 계산한 지평선 모델과의 유사도 비교를 통해 위치를 추정한다. Cross-view 방향으로의 결과만을 이용하여 최종 위치를 추정하는 방법에 대한 이론적인 평균 오차를 제시하였다. 또한, 실험을 통하여 실제 적외선 영상에 대한 위치 오차를 계산하여 제안한 방법의 유효성을 검증하였다.

향후 이 방법을 실제 비행체에 적용하기 위해서는 많은 양의 데이터를 실시간으로 처리할 수 있는 노력이 필요하다. 또한, 지평선 추출의 유효성 여부 및 매칭 유효성을 온라인에서 판단할 수 있는 measure를 개발하여 신뢰성 있는 비행체의 위치 추정이 가능하도록 하여야 한다.

References

- [1] R. Talluri and J. K. Aggarwal, "Mobile Robot Self-location Using Model-image Feature Correspondence", IEEE Trans. Robot. Automat., Vol. 12, No. 1, pp. 63~77, 1996.
- [2] W. Y. Kong, G. K. Egan and T. Cornall, "Feature based Navigation for UAVs", Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst., pp. 3539~3543, 2006.
- [3] R. Talluri and J. K. Aggarwal, "Position Estimation for an Autonomous Mobile Robot in an Outdoor Environment", IEEE Trans. Robot. Automat., Vol. 8, No. 5, pp. 573~584, 1992.
- [4] R. Talluri and J. K. Aggarwal, "Image/map Correspondence for Mobile Robot Self-location Using Computer Graphics", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 15, No. 6, pp. 597~601, 1993.
- [5] S. H. Suh, J. K. Kang, W. S. Jee, M. Y. Jung, and K. S. Kim, "Estimating ALV Position in Mountainous Area", Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst., pp. 2178~2185, 2003.
- [6] F. Stein and G. Medioni, "Map-based Localization Using the Panoramic Horizon", IEEE Trans. Robot.

- Automat., Vol. 11, No. 6, pp. 892~896, 1995.
- [7] J. H. Woo, I. S. Kweon, G. S. Kim and I. C. Kim, "Robust Horizon and Peak Extraction for Vision-based Navigation", IAPR Conf. Mach. Vision App., pp. 526 ~ 529, 2005.
- [8] J. H. Woo, K. H. Son, T. Li, G. S. Kim and I. S. Kweon, "Vision-based UAV Navigation in Mountain Area", IAPR Conf. Mach. Vision App., pp. 236~239, 2007.
- [9] S. W. Yang, I. C. Kim and J. S. Kim, "Robust Skyline Extraction Algorithm for Mountainous Images", VISAPP Int. Conf. Comput. Vision Theory App., pp. 253~257, 2007.
- [10] B. J. Kim, J. J. Shin, H. J. Nam and J. S. Kim, "Skyline Extraction using a Multistage Edge Filtering", WASET, ICECECE, pp. 28~32, 2011.
- [11] 남화진, 신종진, 김진수, "수치고도자료를 이용한 지평선의 실용적인 생성방법", 2011년 군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 720~722, 2011.