

## 시각적 의미 문맥을 활용한 항공기 위치 및 방향각 추정

박준우\*, 김성중, 홍경우, 방효충  
한국과학기술원

## Position and Heading Estimation of Aerial Vehicles using Visual Semantic Context

Junwoo Park\*, Sungjoong Kim, Kyungwoo Hong, Hyochoong Bang

**Key Words** : Visual Semantic Context(시각적 의미 문맥), Vision-based Positioning(영상기반 위치 추정), Heading Estimation(방향각 추정), Vision-based Navigation(영상기반 항법)

## 서론

영상기반 항법은 관성 항법을 보조해주는 독립적으로 운용 가능한 항법 수단 중 하나이며, 위성항법과 같이 외부 시스템 및 신호에 의존하는 전파 항법에서 위장 신호, 전파 방해 등의 신호 교란을 이유로 항법 해를 획득할 수 없을 때 특히 더 유용하다. 항공 영상을 활용한 항공기의 절대 측위는 영상에서 고전적인 특징점을 추출하여 영상 지도의 그것들과 비교하는 것이 보통이다. 하지만, 영상 지도의 생성에 활용되는 영상들을 획득한 플랫폼은 일반적으로 항법을 수행하고자 하는 항공기와 다르게, 영상 지도의 갱신 자체도 빈번하게 이루어지지 않기 때문에 특징점들의 단순 비교는 시간적 변화, 특히 계절성에 취약하다<sup>(3)</sup>. 영상 간 특징점의 직접 비교보다는, 상위 수준에서의 패턴, 랜드마크와 같은 객체, 혹은 영상 내 포함된 의미(Semantic) 분포의 비교 등이 세세한 영상 변화에 강건하고 장기간 안정적으로 운용 가능한 영상기반 항법 시스템을 구축하는 데 도움이 된다.

박준우 등<sup>(1)</sup>의 연구에서는 의미론적 분할된 항공 영상에서 시각적 의미 문맥 (Visual semantic context, 이하 VSC)의 개념과 VSC 간의 오차를 기술하는 방식을 제시하였고, 도로와 건물 등의 의미들이 지배적인 도심 환경에서 특히 유용하게 활용할 수 있다. VSC는 영상 내 특정 픽셀 위치를 중심으로 방사형으로 각 의미를 채집하여 해당 지점의 고유한 특징을 기술하는 것으로, Fig. 1에 해당 내용을 간략히 도시하였다.

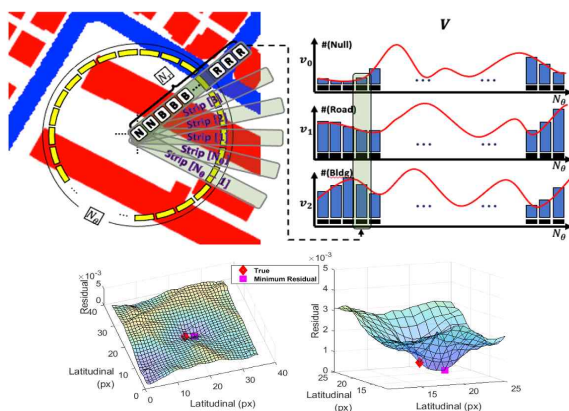


Fig. 1. Concept of the VSC and its spatial error characteristics

## 본론

본 연구는 VSC를 이용한 영상기반의 항법을 제안하고자 한다. 우선 OpenStreetMap이나 VWorld<sup>(2)</sup> 같이 도로와 건물을 기술한 의미론적 지도상의 각 지점에 대해 VSC를 획득하고 이를  $V_{DB}$ 라 하자. 이어서, 지도에 기술된 의미의 분포를 Label로 사용해 완전 합성곱 신경망<sup>(3)</sup> 등을 사전 학습할 수 있다. 이를 활용해 임의의 항공 영상을 의미론적으로 분할하여 도로와 건물의 분포를 알아낸다면 주요 의미가 도출된 해당 영상에서도 VSC를 계산할 수 있는데 이를  $\tilde{V}$ 라 하자. 선행연구<sup>(1)</sup>에서 확인한 VSC의 높은 지역적 유일성을 활용한다면,  $\tilde{V}$ 를 여러 위치 및 방향각을 가지는  $V_{DB}$ 와 비교하면서 지도 전역에 대해 VSC 오차를 계산할 수 있는데, 최소 오차를 가지는  $V_{DB}$ 를 통해 현재 항공기의 위치 및 방향각을 추정하는 것이 가능하다. 하지만 항법 해에 대한 사전지식이 전무하다면 지도 전역에서의 완전 검색(Exhaustive search)을 통해 VSC 오차를 최소화하여야 하는데, 여기에는 지나치게 많은 연산량이 요구된다는 단점이 있다.

## K-S 검정을 이용한 비교군 기각

2-표본 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 검정<sup>(4)</sup>은 통계적 가설검정 방법으로, 두 개의 표본이 동일한 모집단에서 추출되었다는 귀무가설을 사용한다. 식 (1)과 같은 통계 결과를 활용해 해당 귀무가설을 채택할지, 혹은 이를 기각하고 두 표본이 추출된 모집단이 같지 않다는 대립가설을 채택할지를 검정한다.

$$D_{n,m} = \max_x |F_{1,n}(x) - F_{2,m}(x)| \quad (1)$$

여기서,  $D_{n,m}$ 은 검정에 활용하는 통계치로 두 표본의 경험적 누적 분포  $F_{1,n}(\cdot)$ ,  $F_{2,m}(\cdot)$  차이의 최댓값을 나타낸다.  $n, m$ 은 각각 두 표본의 요소 개수이며,  $n$ 개의 표본을  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  이라고 표현했을 때 경험적 누적 분포는 아래와 같은 방법으로 표현할 수 있다.

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1_{x_i \leq x} \quad (2)$$

여기서  $1_A$ 는 어떤 사건  $A$ 에 대한 지시 (Indicator) 함수이다. 이때, K-S 검정은 유의수준  $\alpha$ 에서 다음을 만족할 때 귀무가설을 기각한다.

$$D_{n,m} > \sqrt{-\log\left(\frac{\alpha}{2}\right) \frac{1+m/n}{2m}} \quad (3)$$

이는 만약 두 표본의 모집단이 동일하다면 각 표본을 이용해 구한 누적 분포도 유사하다는 점을 근거로 도출된 검정 방식이다. VSC의 의미별 문맥이 특정 모분포에서 추출한 표본의 집합이라고 생각하면, 두 VSC간에 의미별로 K-S 검정을 적용해볼 수 있다. 단, 이는 표본의 순서와는 관계가 없으므로 영상의 회전과는 무관한 검정임을 유의하자.

본 연구에서는 모든 의미에 대해 K-S 검정이 기각된  $V_{DB}$ 를 최소화 대상에서 최종 제외하였으며, 이를 통해 전방향으로의 오차를 계산하여 비교해보기 이전에 특정 VSC를 기각하는 것이 가능하다. 기각된 VSC가 위치한 곳을 실제 항공기가 위치한 지점을 중심으로 표기하여 Fig. 2에 나타내었다. 직접적인 수치 비교에 포함하지 않아도 되는 VSC는 전체 비교 대상의 86% 정도이며, 반대로 반드시 포함되어야 할 참값은 기각되지 않은 것을 확인할 수 있다. 이를 활용해 위치 및 방향각의 3차원 공간에서 최소 오차를 가지는 VSC를 탐색하는 과정에서 요구되는 반복 계산량을 획기적으로 줄일 수 있다.

본 문제에서는  $V_{DB}$ 는 지도에서 획득하고,  $\tilde{V}$ 는 주어진 영상에서 획득하여 두 VSC의 출처가 다르다. 또한, 각 의미가 추출되었다고 생각되는 모집단을 기술할 방법이 없으므로 모집단을 명시할 필요가 없는 2-표본 K-S 검정이 적합하다. 아울러, 단일 검정에 소요되는 연산량은 특정 위치에서 전체 방향각 영역에 대해 VSC 오차를 계산하는 것보다 월등하게 적으므로, 전역에서의 전수 조사를 통한 VSC 오차 최소화보다 빠른 속도로 해를 도출할 수 있다.

### 제안 알고리즘 및 수치실험 결과

제안하는 알고리즘은 2단계로 구성되어 있다. 우선  $\tilde{V}$ 를 획득하면 이전 절에서 기술한 방법으로 다수의  $V_{DB}$ 들 중 기각할 부분을 결정한다. 그 다음, 선행연구<sup>(1)</sup>에서 제시한 영상 회전에 불변한 오차 메트릭을 활용해 제외되지 않은  $V_{DB}$ 들 중 그 오차가 가장 작은  $N$ 개의 후보를 추린다. 이후 해당 후보들에서 영상 회전을 기술하는 오차 메트릭<sup>(1)</sup>을 이용해 가장 오차가 작은  $V_{DB}$ 를 선택한다. 본 연구에서는  $N=10$ 을 활용한다.

Fig. 3에는 실제 항공기 위치 및 방향각, 본 알고리즘을 통해 추정된 위치 및 방향각, 그리고 주변의 의미 분포를 나타내었다. 여기서 노랑과 초록은 각각 도로와 건물을 나타내고, 파랑은 의미 없음이다.

전체 탐색 구역은 Fig. 2에 나타난 것과 같이 참값을 포함하는  $100m \times 100m$  구역으로 설정하였으며, Fig. 3에는 그 일부가 표시되었다. 해당 구역에서 본 알고리즘이 추정한 항공기의 위치의 오차는 약 1.89m이며 방향각 오차는 약 1.51deg이다.

## 결론

본 연구에서는 K-S검정을 활용해 실용적인 VSC기반의 영상 항법 해 도출 방안을 제시하였다. 주어진 영상에서 계산한 VSC인  $\tilde{V}$ 와 다른 모분포에서 추출된 것으로 생각되는  $V_{DB}$ 를 탐색 구역에서 선제적으로 제외하여 불필요한 연산을 제거하였다. 제안하는 알고리즘은  $100m \times 100m$ 의 구역 내에서 위치 및 방향각을 각각 2m, 2deg 오차 이내로 특정할 수 있다. 단, 일반화된 성능 지표를 획득하기 위해서는 몬테-카를로 수치실험 등을 통한 종합적인 성능평가가 필요하다.

## 참고문헌

- 1) Park, J., Kim, S., Hong, K., Bang, H., "Visual Semantic Context of Semantically Segmented Aerial Images," *Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology*, 2021.
- 2) VWorld Data Center, operated by Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) of South Korea, [https://data.vworld.kr/data/v4dc\\_usrain.do](https://data.vworld.kr/data/v4dc_usrain.do), last accessed: 02.Dec.21.
- 3) Hong, K., Kim, S., Park, J., Bang, H., "Particle Filter Approach to Vision-Based Navigation with Aerial Image Segmentation," *Journal of Aerospace Information Systems*, Vol. 18, No. 12, 2021, pp. 964-972.
- 4) Massey Jr, F. J., "The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit," *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 46, No. 253, 1951, pp. 68-78.

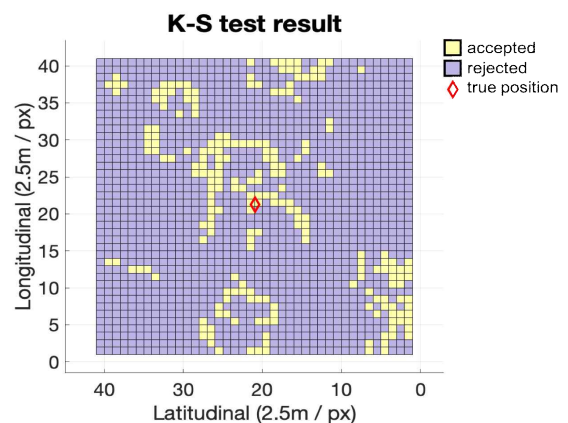


Fig. 2. Spatial distribution of accepted/rejected VSCs within  $10^4 m^2$

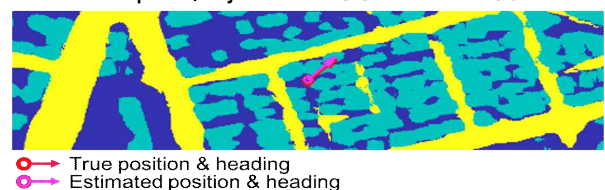


Fig. 3. True and estimated position/heading