

## 이동 객체 위치 추정을 위한 저조도 환경에서의 특징점 매칭 방법론

권용진<sup>1</sup>, 윤준희<sup>2</sup>, 최강혁<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 공간정보공학과, <sup>2</sup>한국건설기술연구원

## Feature Matching Framework in Low-Light Environment for Moving Object Localization

Yongjin Kwon<sup>1</sup>, Junhee Youn<sup>2</sup>, Kanghyuk Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Geoinformatics Engineering, Inha University

<sup>2</sup>Dept. of Feature & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Tech

**요약** 최근 스마트시티, 도시계획, 로봇 공학, 공간정보 등 다양한 분야에서 이동 객체의 위치 추정 기술은 핵심 알고리즘으로 사용될 수 있다는 점에서 다양한 연구가 진행되고 있다. 영상 기반의 위치추정 방법은 비교적 구현이 간편하고 안정적이지만, 저조도 환경에서는 대비 저하와 노이즈로 인해 객체의 특징점을 정확하게 추출 및 매칭 하는 것에 한계가 존재한다. 따라서 본 논문에서는 저조도 환경에서 영상 기반의 위치추정을 위한 특징점 매칭 성능을 향상시키는 방법론을 제안하였다. 본 연구에서는 대표적인 특징점 알고리즘 KAZE, ORB, SIFT 그리고 SURF를 이용하여 저조도 환경에서 특징점 매칭을 수행하고 그 결과에 대해 비교 분석한다. 다음으로 CLAHE, 미디안 필터 그리고 다운 샘플링의 영상 전처리 기법을 이용하여 특징점 매칭 알고리즘과 함께 조합하여 성능을 비교 분석하였다. 분석 결과 ORB 알고리즘과 다운 샘플링의 조합이 평균 92% 이상의 정확도와 최대 0.287초 이하의 처리 시간을 보였다. 이는 다른 전처리 기법 및 특징점 매칭 알고리즘 조합 대비 가장 높은 정확도와 함께 우수한 성능을 보여준다.

**Abstract** Technology for estimating the position of moving objects has been the subject of extensive research due to its potential in diverse fields, such as smart cities, urban planning, robotics, and spatial information. Image-based location-estimation methods are relatively simple to implement and stable. However, in low-light environments, there are limitations in accurately extracting and matching feature points of objects due to reduced contrast and noise. This paper presents a framework to enhance feature-matching performance for image-based position estimation in low-light environments. We employed well-known feature matching algorithms such as KAZE, ORB, SIFT, and SURF to perform feature-point matching in low-light environments and analyzed the results. We then combined these algorithms with image-processing techniques like CLAHE, a median filter, and down-sampling to compare their performance. The combination of the ORB algorithm and down-sampling showed an average accuracy of more than 92% and a maximum processing time of less than 0.287 seconds. This combination showed excellent performance with the highest accuracy compared to other combinations of image-processing techniques and feature-point matching algorithms.

**Keywords** : Low-light Image, Localization, Feature Point Matching, Image Enhancement, ORB

---

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00143782).

\*Corresponding Author : Kanghyeok Choi(Inha Univ.)

email: cwsurgery@inha.ac.kr

Received August 21, 2023

Revised September 19, 2023

Accepted October 6, 2023

Published October 31, 2023

## 1. 서론

최근 이동 객체의 위치추정 정보는 스마트시티, 도시 계획, 로봇 공학 그리고 공공서비스 분야의 주요 정보로 사용될 수 있다는 점에서 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 영상 기반의 위치추정 방법은 GNSS (Global Navigation Satellite System) 음영 지역에서도 활용 가능하며, 라이다(LiDAR) 기반 방법보다 경제적이라는 장점이 있어 범용 되고 있다[1-6].

영상 기반 위치추정 방법론은 일반적으로 크게 매칭 알고리즘 기반의 방법과 딥러닝 기반 방법론으로 분류할 수 있다. 먼저 매칭 알고리즘 기반 위치추정은 ORB(Oriented FAST and Rotated BRIEF) 및 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 등과 같은 매칭 알고리즘을 통하여 취득된 매칭 점 정보를 이용하여 영상 간 상대적인 위치 관계를 파악하는 방법이다. 매칭 알고리즘 기반 위치 추정은 상대적으로 구현이 용이하며 다양한 영상에 적용 가능하다는 장점이 있어 다양한 기존 연구들에서 활용된 바 있다. Kim 등(2011)은 특징점 알고리즘을 활용하여 실시간 영상정보를 이용한 주행 경로 인식 시스템을 제안한 바 있다[7]. Se 등(2005)은 SIFT를 활용하여 전역적 자기 위치추정 방법론을 제시하였다[8]. Park 등(2013)은 실시간 다중 객체 인식을 위해 ORB 알고리즘을 활용한 방법론을 제시한 바 있다[9]. 딥러닝 기반 위치추정 방법은 대량의 훈련 자료 학습을 활용하여 구축된 모델을 이용하여 상대적 위치를 추정한다. Baek 등(2019)은 CNN(Convolutional Neural Network)을 이용하여 이동체의 경로 추정을 분석한 바 있으며, Seo 등(2022)은 YOLO(You Only Look Once) 네트워크의 특성을 이용하여 객체 검출 및 거리 추정 연구를 진행한 바 있다[10,11].

영상 기반 위치추정과 관련된 기존 연구들은 각각의 목적에 적합한 데이터와 방법론을 기반으로 합리적인 결과를 도출한 바 있지만, 다음과 같은 측면에서 한계를 지닌다. 먼저, 대부분의 기존 연구들은 주로 충분한 조도가 확보된 환경을 대상으로 하고 있으며, 저조도 환경을 대상으로 한 연구가 거의 없다. 하지만 특징점 매칭의 성능은 대상 환경의 조도에 큰 영향을 받으며 이는 추정 위치의 정확도에 영향을 미친다[12]. 특히 저조도 환경에서 취득된 영상은 일반적으로 대비가 낮고 노이즈가 많기 때문에 특징점 매칭의 성능이 크게 하락할 수 있다[13]. 또한 딥러닝 기반 방법론의 경우 대량의 학습 데이터와 높은 수준의 연산 처리 능력을 요구하기 때문에 범용성

이 감소될 수 있다. 즉, 딥러닝 기반 방법론은 높은 연산 처리 능력을 확보할 수 없는 상황에서는 적용에 한계가 있다.

본 연구에서는 위와 같은 한계를 보완하고자 저조도 환경에서의 특징점 매칭 방법론을 제안하고자 한다. 이를 위하여 저조도 환경에 적합한 영상 전처리 기법과 특징점 매칭 알고리즘을 선정하였다. 최종적으로 최적의 전처리 기법 및 특징점 매칭 알고리즘을 결합하여 저조도 환경에서의 특징점 매칭 성능을 향상시키는 방법을 제안한다.

본 연구의 내용은 다음과 같은 순서로 설명된다. 먼저 2장에서는 연구에 사용된 데이터에 대한 설명과 영상 전처리 기법 및 특징점 매칭 알고리즘에 대한 설명이 제공된다. 3장에서는 저조도 환경에서의 특징점 매칭 성능에 대한 실험 결과가 분석된다. 마지막으로 4장에서는 본 연구의 의의와 향후 연구 계획을 제시한다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서는 저조도 영상 특징점 매칭 방법론제안을 위하여 다음과 같이 수행되었다. 먼저 다양한 위치추정 조건을 기준으로 실제 저조도 환경에서의 영상데이터를 수집하였다. 다음으로 다양한 영상 전처리 기법을 이용하여 영상 품질을 개선 시킨 뒤, 특징점 매칭을 수행하고 결과를 비교/분석하였다. 이후 영상 전처리 기법과 특징점 매칭 알고리즘의 조합 성능을 비교/분석하여 최적의 특징점 매칭 방법론을 도출한다.

### 2.1 연구 데이터

본 연구에서는 저조도 환경에서의 특징점 매칭 성능을 비교/분석하기 위해 실험 데이터를 Table 1과 같은 방법으로 구성하였다. 먼저 객체 이동 방식에 따라서 직진 데이터 셋(case 1-4)과 회전 데이터 셋(case 5-6)으로 구분하여 실험 데이터를 구성하였다. 이는 객체 이동 패턴에 따른 특징점 매칭 알고리즘이 성능을 비교/분석하기 위함이다. 다음으로 실시간 위치추정 가능 여부를 판단하기 위하여 각 데이터 셋을 구성하는 두 영상의 시간 간격은 약 1초로 설정하였다. Fig. 1은 위와 같은 방식을 통하여 구성된 실험 데이터 영상을 보여준다.

Table 1. Specifications of used image data

Case ID	Trajectory	Time difference between images
1	Straight	1 sec
2		
3		
4		
5	Rotation	
6		



Fig. 1. Dataset used in study, Straight trajectory  
 (a) case 1, (b) case 2, (c) case 3, (d) case 4  
 Rotation trajectory (e) case 5, (f) case 6

## 2.2 영상 전처리 기법

본 연구에서는 저조도 영상의 품질 개선을 통한 특징 점 매칭 정확도 향상을 위하여 다양한 전처리 기법들의 성능을 비교 분석하였다. 즉, 효과적이고 안정적인 영상 전처리 기법 선정을 위하여, 영상 대비 개선 및 노이즈

제거를 위한 전처리 기법을 적용하고 개선된 영상에 대한 특징점 매칭 결과 분석을 수행하였다. 실험에는 CLAHE(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization), 미디안 필터(Median Filter) 그리고 다운 샘플링(Down Sampling)의 세 가지 전처리 기법이 이용되었으며 각 기법의 특징은 다음과 같다.

CLAHE는 이미지를 작은 타일로 분할하여 지역적으로 대비를 개선함으로써 영상의 선명도를 향상시키고 텍스처 및 디테일을 강조하는 알고리즘이다[14]. 이때 블록 크기는 분할된 각 타일의 사이즈를 나타내며, CL(Clip Limit)은 각 타일의 대비를 조절하기 위한 임계값을 의미한다. 본 연구에서는 사전 실험을 통하여 최적의 블록 크기는  $8 \times 8$ , CL은 0.0025로 결정하였다. Fig. 2는 CL 결정을 위한 사전 실험 결과를 보여주며, CL이 0.01 또는 0.03인 경우에는 대비가 과도해지거나 노이즈가 증폭되는 것으로 나타났다(Fig. 2(c) 및 (d)).

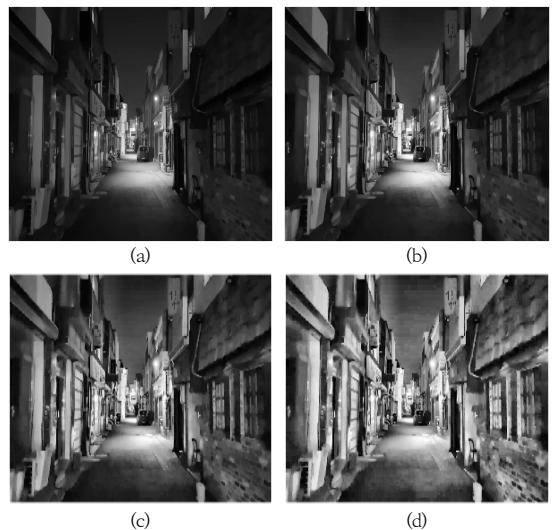


Fig. 2. Sample of images result with different clip limit  
 (a) Original Image, (b) CL=0.0025, (c) CL=0.01,  
 (d) CL=0.03

미디안 필터는 영상의 노이즈 제거를 위한 전처리 기법 중 하나로, 한 픽셀 주변값의 중간값으로 픽셀값을 대체하여 비선형적인 노이즈를 제거하는 기법이다[15]. 미디안 필터 적용 결과는 윈도우 크기에 따라서 달라지며, 본 연구에서는 연산 처리의 효율성을 고려하여 윈도우 크기를  $3 \times 3$ 으로 결정하였다.

다운샘플링은 영상의 크기를 줄이는 과정으로, 이를

통해 영상의 노이즈를 감소시키고 특징점 매칭에 요구되는 연산량을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 이때 이미지의 품질을 최대한 유지하기 위해 보간법을 이용하는데, 최근 특징점 이웃 보간법은 이미지의 특징 손실의 위험이 있고 쌍선형 보간법은 연산량이 크다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 상대적으로 이미지 특징 손실과 연산량이 적은 양선형 보간법을 이용한 10% 다운 샘플링을 수행하였다.

### 2.3 특징점 매칭 기법 및 성능 평가

본 연구에서는 KAZE, ORB, SIFT 그리고 SURF(Speed Up Robust Features)와 같은 서로 다른 네 가지 특징점 매칭 기법을 사용하였다. 먼저, KAZE 알고리즘은 비선형 확산 필터 기반의 매칭 알고리즘으로, 영상의 크기, 회전 및 블러링의 영향에 강인하며 애지 영역을 부각시키고 노이즈에 강건하다는 장점이 있다[16]. ORB 알고리즘은 FAST(Features from Accelerated Segment Test) 검출기와 BRIEF(Binary Robust Independent Elementary Features) 기술자의 장점을 통합하여 신속하고 영상의 크기 변화와 회전에 불변한 특징을 지닌다[17]. SIFT는 영상의 크기와 회전에 강인한 특성을 가지는 대표적인 특징점 추출/매칭 알고리즘으로, DoG(Different of Gaus sian)을 사용하여 특징점을 추출한다[18]. SURF 알고리즘은 SIFT를 개선하여 연산량을 줄이고 속도를 향상시킨 방법으로 적분영상(integral images)과 해이시안 검출기(Hessian detector)를 이용하여 영상의 크기와 회전 변화에 강인한 특성을 가진다[19].

본 연구에서는 특징점 매칭 기법들의 성능평가를 위해 정상점 수(correct matches), 매칭 정확도, 처리 시간을 기반으로 비교/분석하였다. 저조도 환경에서 촬영된 영상의 경우, 픽셀 간 명암 차이가 뚜렷하지 않으며 노이즈가 포함되어 있기에 특징점 추출/매칭 과정에서 유효하지 않은 정합쌍이 발생할 수 있다. 따라서 정확히 매칭된 특징점들만을 식별하여 초기 매칭된 결과에서 정상점 수를 나누어 정확도를 산출하였다. 처리 시간은 전처리, 특징점 추출 및 매칭에 걸리는 시간을 의미한다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 특징점 매칭 알고리즘별 성능 분석

본 연구에서는 특징점 매칭 알고리즘인 KAZE, ORB, SIFT 그리고 SURF에 대한 성능을 비교/분석하였다. 주

요 측정 지표로 정상점 수, 처리 시간, 정확도, 정확도의 표준편차(STD, Standard deviation of Accuracy)를 고려하였다. Table 2는 특징점 매칭 결과의 전체 결과를 나타내며, 각 데이터 세트의 측정값을 평균 낸 결과를 보여준다. 실험분석 결과 가장 우수한 성능을 보여주는 알고리즘은 ORB로 가장 높은 정확도를 보였으며, 0.31초의 처리 시간과 함께 111개의 정상점 수를 보였다.

정상점 수는 KAZE 알고리즘이 평균 133개로 가장 많은 매칭 수를 보였다. 이에 반해 SIFT는 평균 21개로 가장 적은 수의 매칭 수를 보였으며, ORB 및 SURF는 각각 111, 51개로 중간 수준의 결과를 보였다. 정확도의 경우 ORB 알고리즘이 평균 89%로 가장 높은 정확도를 보였으며 4%의 표준편차로 다른 알고리즘 대비 상대적 일관된 성능을 나타낸 것을 알 수 있다. 반면 KAZE 및 SIFT는 평균 77%로 중간 수준의 정확도를 보였으며, SURF의 경우 가장 낮은 정확도(72%)를 나타냈다. 표준편차는 KAZE 및 SURF가 각각 9%, SIFT는 15%로 ORB에 대비 상대적으로 큰 변동성을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 처리 시간은 SURF가 평균 0.07초로 가장 빠른 처리 시간을 기록했으며, KAZE 알고리즘은 1.22초로 가장 느린 처리 시간을 기록했다. ORB, SIFT는 각각 0.31, 0.38로 중간 수준의 처리 시간을 보였다. 따라서 종합적으로 ORB 알고리즘이 가장 높은 정확도와 전반적인 성능 및 안정성에서 다른 알고리즘에 비해 우수한 결과를 나타내는 것을 알 수 있다.

Table 2. Comparison analysis result of matching algorithms

Algorithm	Correct Matches	Processing Time(sec)	Accuracy (%)	STD(%)
KAZE	133	1.22	77%	9%
ORB	111	0.31	89%	4%
SIFT	21	0.38	77%	15%
SURF	51	0.07	72%	9%

### 3.2 영상 전처리 기법에 따른 성능 분석

본 연구에서는 영상 전처리 기법에 따른 특징점 매칭 성능을 비교/분석하였다. 이때 특징점 매칭에는 ORB 알고리즘이 사용되었으며, 이는 앞선 실험에서 ORB 알고리즘이 가장 우수한 성능을 보여주었기 때문이다. Table 3은 전처리 기법에 따른 ORB 알고리즘의 특징점 매칭 성능 결과를 보여준다. 이때 ORIGINAL은 전처리 기법을 적용하지 않은 원본 영상을 나타내며, CLAHE는 대비

제한 적응 히스토그램 평활화 기법, MEDIAN(Median Filter)은 미디안 필터 기법, 다운 샘플링(DS, Down Sampling)은 영상 축소과정에서의 약선형 보간법을 적용한 기법을 의미한다. 분석 결과 다운 샘플링 시 가장 높은 정확도를 보였으며 다른 전처리 기법 대비 안정된 성능을 보여주었다.

C LAHE 전처리를 수행한 경우 다른 전처리 기법 대비 상대적으로 정상점 수와 처리 시간이 증가 된 것을 알 수 있다. 원본 영상 기준 정상점 수 및 정확도는 약 8%, 2% 증가하였지만, 처리 시간은 2.2배 증가하였다. MEDIAN 전처리를 수행한 경우, 원본 영상 대비 정확히 매칭된 수는 약 9.8% 감소하였고 정확도는 미세하게 증가하며 처리 시간은 약 39% 단축된 것을 알 수 있다. 다운 샘플링 전처리를 수행한 경우, 평균 93%로 가장 높은 정확도를 보여주었으며 표준편차는 1%로 다른 전처리 대비 상대적으로 일관되게 높은 성능을 유지한 것을 알 수 있다. 정상점 수는 원본 영상과 동일하게 나왔으며 처리 시간은 평균 0.17초로 가장 짧은 시간을 기록하였다. 종합적으로 다른 샘플링 시 다른 전처리 기법 대비 가장 높은 정확도와 함께 빠른 처리 속도를 제공하여 뛰어난 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

Table 3. Comparison analysis result of ORB algorithms

Algorithm	Pre-Processing	Correct Matches	Processing Time(sec)	Accuracy (%)	STD (%)
ORB	ORIGINAL	112	0.28	86%	3%
	CLAHE	121	0.62	88%	3%
	MEDIAN	101	0.18	87%	6%
	DS	112	0.17	93%	1%

### 3.3 이동 경로별에 따른 성능 분석

본 연구에서는 초기 분석단계에서 우수한 성능을 띤 ORB 알고리즘에 대하여 이동 경로별 특징점 매칭 성능을 비교/분석하였다. 크게 두가지 이동 경로를 고려하여

직진 이동 경로에서 촬영한 경우(case1-4)와 회전 경로에서의 촬영한 경우(case5-6)로 분류하여 이동 경로별에 따른 성능 분석을 수행하였다. Table 4는 이동 경로 별에 따른 ORB 알고리즘의 측정값을 평균한 전체 결과를 나타낸다.

직진 이동 경로의 경우, 영상 간 객체 스케일의 변화가 비교적 일정하게 유지되기 때문에 특징점 매칭 정확도가 회전 경로보다 일반적으로 높게 나타났다. 그중 다운 샘플링과 ORB 알고리즘의 조합 성능이 다른 조합들에 비해 평균 94%로 가장 높은 정확도를 나타냈으며 145개의 충분한 정상점 수를 보였다. 처리 시간에서도 0.21초로 가장 빠른 시간을 기록하였으며 MEDIAN-ORB 와 유사한 처리 시간을 보였으나 ORIGINAL-ORB 및 CLAHE-ORB 조합 대비 약 38%, 72% 단축된 것을 알 수 있다.

회전 경로의 경우 영상 간 상대적으로 직진 이동 경로 대비 정확도가 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 다운 샘플링과 ORB 알고리즘의 조합 성능은 다른 조합들에 비해 높은 성능을 유지하였으며 평균 93%로 가장 높은 정확도를 나타내고 65개의 충분한 정상점 수를 보였다. 처리 시간 면에서도 MEDIAN-ORB와 동일한 처리 시간을 보였으나 다른 조합들과 비교하여 확연히 빠른 처리 속도를 갖는 것을 알 수 있다. 따라서 본 결과는 이동 경로에 따른 특징점 매칭 성능의 차이를 보여주며 다운 샘플링과 ORB 알고리즘의 조합 성능이 상대적으로 우수한 성능을 띠는 것을 알 수 있다. 이는 모든 경우에서 평균 93% 이상의 정확도를 보였으며, 이동 경로별 각 145, 65개의 비교적 충분한 정상점 수와 가장 빠른 처리 시간을 기록했다.

### 3.4 특징점 매칭 결과 통합분석

본 연구에서는 위와 같은 분석을 기반으로 다운 샘플링 및 ORB 특징점 매칭의 조합을 통한 저조도 영상 특징점 매칭 방법론을 제안한다. Table 5는 모든 전처리

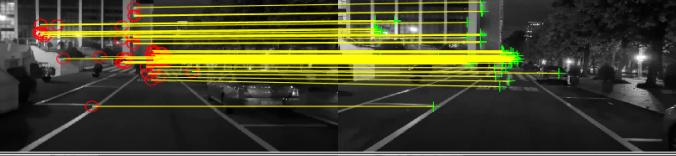
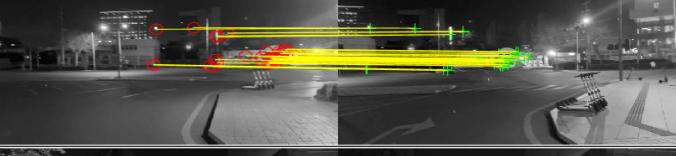
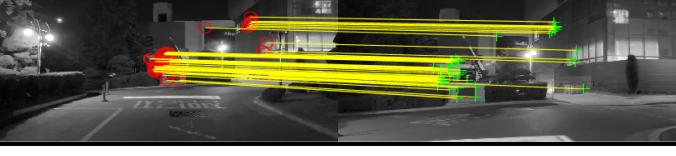
Table 4. Comparative analysis result of ORB algorithm for each moving path

Trajectory	Performance	ORIGINAL-ORB	CLAHE-ORB	MEDIAN-ORB	DS-ORB
Straight (case 1-4)	Correct Matches	142	151	130	145
	Accuracy(%)	87%	89%	89%	94%
	Processing Time(sec)	0.34	0.76	0.22	0.21
Rotation (case 5-6)	Correct Matches	68	85	57	65
	Accuracy(%)	85%	86%	85%	93%
	Processing Time(sec)	0.15	0.34	0.10	0.10

Table 5. Suitability of feature matching algorithms for improvement in low-light environments

Algorithms	Accuracy	Processing Time	Suitability
ORIGINAL-KAZE	X	X	X
ORIGINAL-ORB	△	○	○
ORIGINAL-SIFT	X	○	X
ORIGINAL-SURF	X	○	X
MEDIAN-KAZE	X	X	X
MEDIAN-ORB	△	△	△
MEDIAN-SIFT	X	○	X
MEDIAN-SURF	X	○	X
CLAHE-KAZE	X	X	X
CLAHE-ORB	△	○	○
CLAHE-SIFT	X	○	X
CLAHE-SURF	X	○	X
DS-KAZE	X	△	X
<b>DS-ORB</b>	○	○	OO
DS-SIFT	△	○	○
DS-SURF	X	○	X

Table 6. Overall results of Down Sampling-ORB

	Case	Accuracy (%)	Processing Time (sec)
1		95%	0.191
2		94%	0.287
3		94%	0.129
4		93%	0.220
5		93%	0.082
6		92%	0.109

및 매칭 알고리즘 조합에 대한 적합 판정 결과를 보여준다. 알고리즘의 정확도는 90% 이상일 경우 '적합(○)', 80% 이상일 경우 '활용 가능(△)', 그 미만일 경우 '부적합(X)'으로 판단하였다. 또한, 알고리즘의 처리 시간이 0.5초 미만일 경우 '적합(○)', 1초 미만일 경우 '활용 가능(△)', 초과할 경우 '부적합(X)'으로 판단하였다. 최종적으로, 모든 평가 항목에서 '적합'한 결과를 보인 알고리즘을 '최적합(○○)'으로 결정하였다. 표를 통하여 다운샘플링-ORB 매칭 조합이 정확도 및 처리 시간 모두에서 적합을 획득하여 최적합 방법론으로 결정된 것을 확인할 수 있다.

Table 6은 제안된 방법을 이용하여 저조도 영상에 대한 특징점 매칭 결과를 각 case 별로 보여준다. 표를 통하여 제안된 방법론은 모든 case에서 92% 이상의 정확도를 보여주며, 최대 0.287초 이하의 처리 시간을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 저조도 환경에서의 영상 기반 위치추정을 위한 특징점 매칭 성능을 효과적으로 수행하기 방법을 탐색하는 것을 목표로 특징점 매칭 성능을 최적화하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 다양한 영상 전처리 기법인 CLAHE, 미디안 필터, 다운 샘플링과 함께 KAZE, ORB, SIFT 그리고 SURF와 같은 특징점 매칭 알고리즘을 적용하였다. 분석 방법으로 알고리즘별 특징점 매칭 성능, 영상 전처리 기법에 따른 알고리즘별 특징점 매칭 성능, 그리고 이동 경로별 특징점 매칭 성능을 비교 분석하였다.

분석 결과 다양한 특징점 매칭 알고리즘 중 ORB 알고리즘이 높은 성능을 보여주었으며, 다운 샘플링과 결합되었을 때 가장 우수한 성능을 나타냈다. 이러한 조합은 다른 전처리 기법과 비교하여 뛰어난 정확도 성능을 보여주었으며, 이동 경로에 따른 모든 경우에서 평균 92% 이상의 정확도를 보여주었다. 해당 연구 결과는 저조도 환경에서의 특징점 매칭 알고리즘 선택에 중요한 기준을 제공하며, 실시간 위치추정의 정확도 향상 및 처리 시간 단축에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 제안된 방법을 기반으로 최적화된 Visual SLAM 개발 연구를 수행하고자 한다.

#### References

- [1] S. W. Ha, Y. H. Moon, "Multiple object tracking using SIFT features and location matching". International Journal of Smart Home, Vol.5, No.4, pp.17-26. Oct. 2011.
- [2] M. F. Alotaibi, M. Omri, S. Abdel-Khalek, E. Khalil, and R. F. Mansour, "Computational Intelligence-Based Harmony Search Algorithm for Real-Time Object Detection and Tracking in Video Surveillance Systems", Mathematics, Vol.10, No.5, pp.733, Feb. 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/math10050733>
- [3] S. H. Song, J. W. Park, J. H. Park, T. K. Sung, "Performance Analysis of Signal Acquisition in L2C Assisted GPS Receivers." Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.17, No.1, pp.61-67. Jan. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.5302/JICROS.2011.17.1.61>
- [4] S. H. Ryoo, D. Y. Kang, S. J. Hwang, S. J. Park, J. H. Baek, "Attention based Feature-Fusion Network for 3D Object Detection", Journal of Advanced Navigation Technology, Vol.27, No.2, pp.190-196, Apr. 2023.  
DOI: <https://doi.org/10.12673/JANT.2023.27.2.190>
- [5] H. Andreasson, A. Treptow, T. Duckett, "Localization for Mobile Robots using Panoramic Vision, Local Features and Particle Filter," Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, pp.3348-3353, April. 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2005.1570627>
- [6] L. Goncalves, E. di Bernardo, D. Benson, M. Svedman, J. Ostrowski, "A Visual Front-end for Simultaneous Localization and Mapping," Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, pp.44-49, April. 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2005.1570094>
- [7] J. D. Kim, H. Y. Moon, "A System to Recognize Position of Moving Vehicle based on Images", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.15, No.12, pp.2619-2625, Dec. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2011.15.12.2619>
- [8] S. Se, D. G. Lowe, J. J. Little, "Vision-based global localization and mapping for mobile robots," in IEEE Transactions on Robotics, Vol.21, No.3, pp.364-375, June. 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2004.839228>
- [9] T. R. Park, "Implementation of Real time based Multi-object recognition algorithm," Journal of IKEEE, Vol.17, No.1, pp.51-56, Mar. 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.7471/ikeee.2013.17.1.051>
- [10] K. W. Baek, J. W. In, S. C. Chang, "A Deep Learning Technique for Path Estimation of Mobile Objects in Indoor Environments.", Proceedings of the Korean Society of Broadcast Engineers Conference, The Korean Society Of Broad Engineers, The Korean,

- 
- pp.141-142, Sep 2019.
- [11] J. Y. Seo, M. B. Park, "Application of Deep Learning-based Object Detection and Distance Estimation Algorithms for Driving to Urban Area," The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol.21, No.3, pp.83-95, Jun 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.3.83>
- [12] M. R. Nehashree, P. Raj S. Mohana, "Simulation and Performance Analysis of Feature Extraction and Matching Algorithms for Image Processing Applications," 2019 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), Palladam, India, pp.594-598, Feb 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.8907990>
- [13] S. Park, S. Yu, M. Kim, K. Park, J. Paik, "Dual Autoencoder Network for Retinex-Based Low-Light Image Enhancement," in IEEE Access, Vol.6, pp.22084-22093, Mar 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2812809>
- [14] Zuiderveld, Karel. "Contrast limited adaptive histogram equalization." Graphics Gems IV, pp.474-485. 1994.
- [15] M. R. Gu, K. S Lee, D. S. Kang. "Image noise reduction using modified gaussian filter by estimated standard deviation of noise." Journal of Korean Institute of Information Technology Vol.8 No.12, p111-117, Dec. 2010.
- [16] P. F. Alcantarilla, A. Bartoli, and A. J. Davison, "KAZE features", In European Conference on Computer Vision, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 214-227, Oct. 2012.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33783-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33783-3_16)
- [17] M. Calonder, V. Lepetit, C. Strecha, and P. Fua, "Brief: Binary robust independent elementary features", In European conference on computer vision, pp. 778-792, Sep. 2010.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-15561-1\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15561-1_56)
- [18] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", International Journal of Computer Vision, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110, Nov. 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>
- [19] H. Bay, A. Ess, T.uytelaars, and L. Van Gool, "Speeded-up robust features (SURF)", Computer vision and image understanding, Vol. 110, No. 3, pp. 346-359, Jun. 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>

권 용 진(Yongjin Kwon)

[준회원]



- 2017년 2월 ~ 현재 : 인하대학교 공간정보공학과 (학사과정중)

<관심분야>

공간정보, 스마트 모빌리티, 디지털트윈

윤 준 희(Junhee Youn)

[종신회원]



- 1998년 8월 : 연세대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : Purdue University, Dept of Civil Eng. (Engineering Ph.D.)
- 2007년 5월 ~ 2012년 1월 : 삼성 SDS 수석컨설턴트
- 2012년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

GIS, Feature Extraction, ISP

최 강 혁(Kang Hyeok Choi)

[정회원]



- 2018년 8월 : 서울대학교 건설환경공학부 (공학박사)
- 2019년 2월 ~ 2019년 12월 : 명지대학교 연구교수
- 2020년 1월 ~ 2020년 11월 : Purdue University, Post Doc.
- 2021년 1월 ~ 2022년 8월 : 한국건설기술연구원, Post Doc.
- 2022년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 공간정보공학과 조교수

<관심분야>

공간정보, 디지털트윈, 3D 모델링