사물인터넷융복합논문지 Vol. 12, No. 5, pp. 97-102, 2026 https://doi.org/10.20465/KIOTS.2026.12.5.097

동적 모바일 환경에서 광 카메라 통신을 위한 UWB 기반 PAT 시스템의 설계 및 평가

김민준[1], 정욱현[1], 유승호[2*]
[1]국립부경대학교 데이터공학과 학생, [2]국립부경대학교 컴퓨터 · 인공지능공학부 교수

UWB-Based Tracking for OCC Link Alignment in Dynamic Mobile Environments

Minjun Kim[1], Ukhyun Jeong[1], Seungho Yoo[2*]
[1]Student, Department of Data Engineering Pukyong National University
[2]Professor, Department of Computer and Artificial Intelligence Engineering Pukyong National University

요 약 본 논문은 동적 모바일 환경에서 안정적인 광 카메라 통신(OCC) 링크를 유지하기 위한 UWB 기반 소형 대칭형 송·수신 지향·획득·추적(PAT) 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 UWB 상대 위치를 측정하고 0.2초 주기로 양단의 짐벌을 능동적으로 정렬하여, 영상 기반 위치 추정 없이 상대 단말을 추적한다. 호 궤적 동적 평가의 거리별 전체 인식률은 97.15%, 100%, 99.75%였으며, Z자형 랜덤 접근 경로의 전체 인식률은 97.44%였다. 두 동적 시나리오 모두 정상 프레임 조건에서는 100%의 인식률을 달성하였다. Rx와 Tx 방향 평균 절대 오차는 호 궤적에서 각각 3.75-6.54°와 1.60-2.80°, Z자형 랜덤 접근 경로에서 9.77°와 0.81°로 모두 OCC 유효 시야각 ±20° 이내였다. 이를 통해 제안 시스템이 이동 환경에서 양방향 정렬과 OCC 링크 유지를 지원함을 확인했다.

주제어 : 초광대역 통신, 광 카메라 통신, 목표 추적, 상대 위치 추정, 비전 센서 정렬, 동적 모바일 환경

Abstract This paper proposes a compact symmetric transmitter-receiver pointing, acquisition, and tracking (PAT) system using ultra-wideband (UWB) sensing for optical camera communication (OCC) in mobile environments. Both gimbals are aligned every 0.2 s using UWB relative positions without vision-based position estimation. In arc-trajectory tests at 1, 2, and 3 m, the overall recognition rates were 97.15%, 100%, and 99.75%, respectively. The randomized Z-shaped approach tests achieved 97.44%. Both scenarios achieved 100% recognition with valid camera frames. The mean absolute direction errors at the receiver and transmitter were 3.75-6.54° and 1.60-2.80° in the arc tests, and 9.77° and 0.81° in the randomized Z-shaped approach tests. All errors remained within the effective OCC field of view of ±20°, demonstrating bidirectional alignment and link maintenance in mobile environments.

Key Words : Ultra-Wideband (UWB), Optical Camera Communication (OCC), Target Tracking, Relative Localization, Vision Sensor Alignment, Dynamic Mobile Environment

이 논문은 2026년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-23-041)
*교신저자 : 유승호(shyoo@pknu.ac.kr)
접수일 2026년 09월 03일 수정일 2026년 09월 29일 심사완료일 2026년 10월 19일
www.kci.go.kr

1. 서론

인터넷 연결 기기의 폭발적 증가와 AI 및 고대역폭 애플리케이션의 성장은 기존 RF 스펙트럼의 포화 상태를 초래했다. 무선 광통신(Optical Wireless Communication)은 이러한 RF 신호 간섭으로부터 자유롭고, 높은 보안성과 넓은 대역폭을 활용할 수 있다는 점에서 차세대 통신 기술로 각광받고 있다. 특히, 광통신의 한 분야인 광 카메라 통신(Optical Camera Communication, OCC)은 이미 구축된 광원과 이미지 센서를 송신기와 수신기로 활용하여 실내 및 단거리 환경에서 효율적인 데이터 전송을 가능하게 한다[1]. 그러나 OCC를 포함한 무선 광통신은 통신 매체인 빛의 직진성과 강한 지향 특성 때문에, 전역적으로 전파되는 RF 신호와 달리 송신기와 수신기 간의 정밀한 지향 각도 확보가 필수적이다.

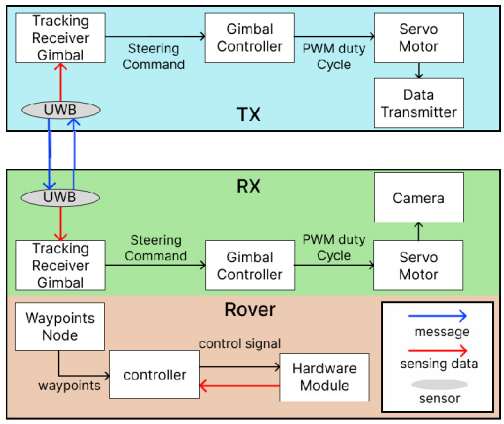
이러한 높은 각도 민감성에도 불구하고 광통신을 실용화하기 위한 연구는 지속되어 왔다. 초기 연구의 대부분은 송·수신기의 위치가 고정된 정적 환경을 전제로 진행되어 왔으나, 6G 네트워크로 환경이 변화함에 따라 UAV, HAP, 위성 등 모바일 플랫폼 간의 연결이 핵심 연구 대상으로 부상하고 있다[2].

동적 환경에서 가시선을 실시간으로 추적하고 정밀하게 조향하기 위해서는 PAT(Pointing, Acquisition, and Tracking) 메커니즘의 도입이 필수적이다. 그러나 기존의 PAT 연구들은 주로 한쪽 단말에만 PAT 메커니즘을 탑재하는 단일 구조를 주로 사용해 왔으며, 이러한 단일 PAT 구조는 상대방의 급격한 위치 변화나 넓은 범주의 모션 추적 시 구동 범위 및 추적 속도에서 물리적 한계를 드러낸다[3].

이러한 단일 구조의 한계를 보완하고 자원이 제한된 소형 UAV나 IoT 기기 환경의 전력 및 무게 부담을 줄이기 위해, 최근에는 빛의 반사를 활용하여 한쪽 단말의 PAT를 최소화하거나 제거하고 기지국 혹은 수신단에만 기능을 탑재하는 비대칭 PAT 방식이 주요 대안으로 제시되고 있지만, 비대칭 방식은 동적인 환경에서 대칭형 PAT 만큼의 링크를 유지하지 못한다[4,5].

따라서 이동 기기 간의 고속·고용량 통신을 안정적으로 유지하기 위해서는 송·수신기 양단이 서로를 능동적으로 추적하는 대칭형 PAT가 가장 이상적인 구조이다. 그럼에도 불구하고 기존의 대칭형 PAT가 모바일 환경에 적용되지 못한 결정적인 이유는 양단에 탑재되는 모터 및 조향 기구로 인한 크기·무게·전력 증가 때문이었다.

이러한 대칭형 PAT의 크기·무게·전력 한계를 극복하고 초동 탐색 범위를 줄이기 위해 광학 카메라 센서나 IMU를 보조 센서로 활용하는 연구들이 수행되어 왔다. 카메라는 기기가 시야각을 벗어날 경우 위치 추산에 필요한 송신자를 놓칠 위험이 크다[6,7,8]. 한편 IMU 센서는 고질적인 누적 오차 문제를 안고 있어, 최근 이를 보완하기 위해 CNN이나 LSTM 등 딥러닝 기반의 포즈 추정 기법이 시도되고 있으나, 이는 소프트웨어적 추정치에 의존한다는 것에 한계점이 있다[9,10,11].



[Fig. 1] System Overview

따라서 알고리즘 기반의 간접 추정이 아닌, 넓은 영역에서 물리적인 정밀 상대 위치 데이터를 직접 측정할 수 있는 외부 보조 센서의 도입이 필수적이다. UWB (Ultra-Wideband) 기술은 초단파 임펄스 특성을 활용하여 센티미터 수준의 정밀한 거리(ToF) 측정과 도착 위상차(PDoA) 기반의 상대 각도 추출이 가능하며[12], 이러한 UWB의 센싱을 통해 광학 PAT 구동부는 광범위 탐색 과정 없이 미세 정렬만 수행하면 되므로, 모터 및 구동부의 물리적 구조와 연산 부담을 경량화할 수 있다.

그러므로, 본 논문에서는 실내 동적 모바일 환경에서도 안정적인 OCC 통신 링크를 유지하기 위해, UWB 기반의 정밀 상대 추적과 연동된 소형 대칭형(Tx/Rx) PAT 메커니즘을 제안하며, 동적 모바일 환경에서도 OCC 통신이 가능함을 검증한다.

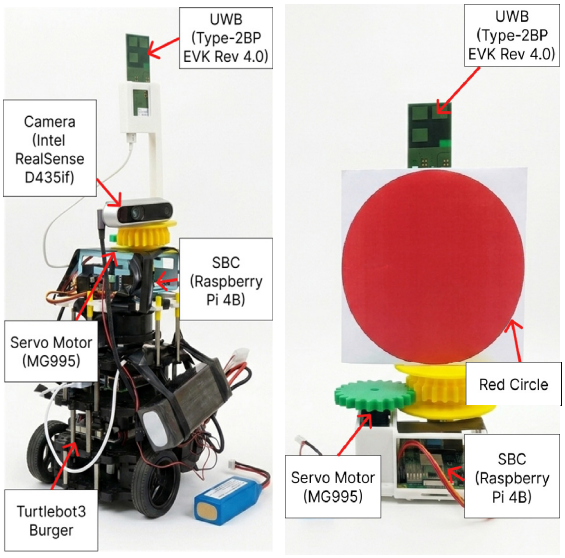
2. 시스템 설계

[Fig. 1]의 시스템은 OCC 송신기(Tx)와 Rover에 장착된 수신기(Rx)로 구성된다. 양단은 위치 정보 대신 0.2초 주기의 UWB 메시지로 상대 위치를 파악하고 같은 주

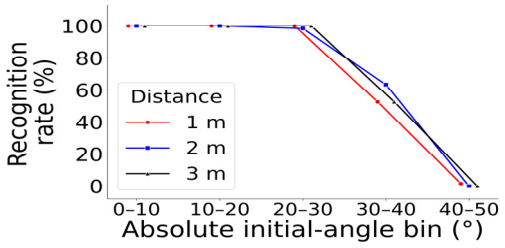
www.kci.go.kr

〈Table 1〉 Static Alignment Recognition Performance by Distance with and without Stabilization

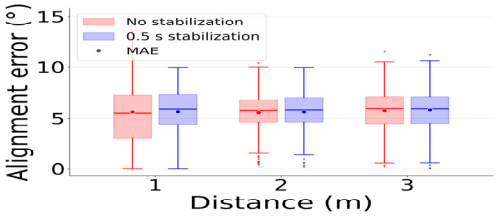
Distance	Stabilization	Detection	Color misses	Timeouts	Recognition rate	Frame-conditional rate
1m	No	203/300	85	12	67.7%	203/288 (70.5%)
	0.5 s	291/300	0	9	97.0%	291/291 (100.0%)
2m	No	210/300	83	7	70.0%	210/293 (71.7%)
	0.5 s	288/300	0	12	96.0%	288/288 (100.0%)
3m	No	203/300	85	12	67.7%	203/288 (70.5%)
	0.5 s	295/300	0	5	98.3%	295/295 (100.0%)



[Fig. 2] Hardware Structure



[Fig. 3] Recognition Rate by Absolute Initial-Angle Bin



[Fig. 4] Static Alignment Error

〈Table 2〉 Hardware Specification

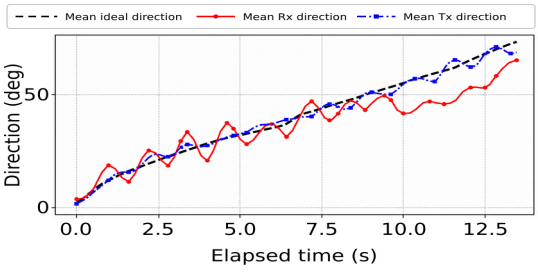
Item	Specification
Single Board Computer	Raspberry Pi 4 Model B (quad-core Cortex-A72)
UWB Module	Murata Type 2BP EVK
Gimbal	MG995 servo (0.2 s/60°)
Camera	Intel RealSense D435if
Moving Platform	TurtleBot3 Burger

기로 짐벌 명령을 실행한다. 명령값은 상대 위치와 현재 짐벌 정렬 위치에서 산출한 뒤 모터 범위(−90°∼+90°)와 해당 모터의 이론적 구동 범위인 0.2초당 최대 이동 각도 60°로 제한하며, 컨트롤러는 PWM 듀티 사이클로 서보 모터를 제어한다. 그 결과 Rx 측 비전 센서와 Tx 측 표식은 서로를 향해 0.2초 주기로 정렬한다. Rover의 움직임은 Waypoint Node에서 생성 후 컨트롤러에 전달하고 컨트롤러가 이를 기반으로 하드웨어의 움직임을 생성함으로써 구현된다. 실험을 위해 [Fig. 2]와 같이 OCC Tx와 OCC Rx 시제품을 제작했다. 본 시제품에서는 송신 모듈을 빨간색 원형 표식으로 구현했으며, 향후 OCC용 LED 플레이트로 대체할 예정이다. Rx는 표식 판독용 카메라, UWB 모듈, 짐벌, Single Board Computer (SBC) 및 Rover로 구성했다. 각 구성 요소는 〈Table 2〉에 나타내었다. 모터의 회전 속도는 약 300°/초 이며, 신호 입력 주기 특성상 20 ms의 입력 반영 지연 시간을 가진다. 하드웨어의 구조를 단순화하기 위해 짐벌 축에 별도의 엔코더를 두지 않았으며, 대신 짐벌과 함께 회전하는 UWB 모듈에서 획득한 정보를 매 주기 정렬 오차로 사용하여 보정하는 방식을 적용하였다. 이를 통하여 모터로 인한 지연이나 기어의 유격으로 발생하는 오차를 지속적으로 수정하도록 구성하였다.

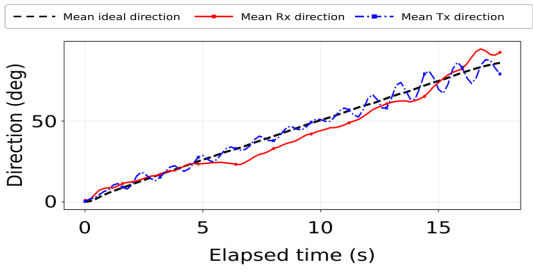
www.kci.go.kr

〈Table 3〉 Average Dynamic Tracking Performance by Scenario

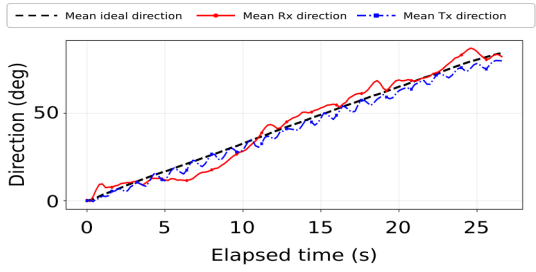
Distance	Cycle	Detections	Color misses	Timeouts	UWB misses	Detection rate	Conditional detection rate
1m	70	68	0	2	0	97.15%	100.00%
2m	106.67	106.67	0	0	0	100.00%	100.00%
3m	140.67	140.33	0	0.33	0	99.75%	100.00%
Random	143.33	139.67	0	3.67	0	97.44%	100.00%



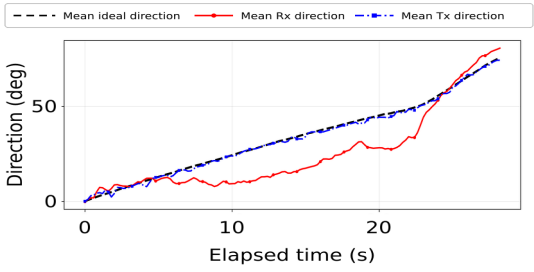
[Fig. 5] Ideal and Rx/Tx Alignment Directions 1m



[Fig. 6] Ideal and Rx/Tx Alignment Directions 2m



[Fig. 7] Ideal and Rx/Tx Alignment Directions 3m



[Fig. 8] Ideal and Rx/Tx Alignment Directions Randomized Z-shaped Approach Path

3. 평가

3.1 정적 정렬 평가

본 평가는 동적 평가에 앞서 구현된 시제품이 동적 환경에서 요구되는 정확한 정렬과 빠른 인식이 가능한지 평가하기 위해 시행하였다. 시제품의 정적 정렬 성능은 UWB 센싱값으로 Rx 카메라를 Tx 방향에 정렬한 뒤 0.2초 안에 빨간색 원형 표식을 인식하는지로 평가했다. 카메라는 15.6 ms의 기본 노출 시간에서 상황에 따라 프레임 주기인 33 ms 이내로 조절되는 자동 노출 모드로 설정하여 사용하였다. 비정면 관측각 증가에 따른 패널의 투영 면적과 픽셀 강도 감소를 고려해, 카메라 광축과 패널 중심 방향의 각도 차이가 ±20° 이내인 범위를 유효 시야로 정의하고 원본 프레임의 60% 영역만 검출에 사용했다. Tx는 Rx 기준 0°에 고정하고, Rx 짐벌을 −50°~+50°의 임의 초기각에서 절댓값 10° 구간별 20회씩 총 100회 정렬했다. 1, 2, 3 m에서 정렬 직후 0.2초 동안 인식하는 무안정화 조건과 0.5초 안정화 후 0.2초 동안 인식하는 조건을 각각 3회 수행해 결과를 합산했다. 사전 고정 상태의 표식 인식률은 1 m와 2 m에서 99.3%, 3 m에서 99.7%였다. 실패는 모두 카메라 타임아웃이었으며, 새 프레임 수신 시의 조건부 인식률은 전 거리에서 100%였다. 〈Table 1〉에서 무안정화 조건의 전체 인식률은 1, 2, 3 m에서 67.7%, 70.0%, 67.7%, 조건부 인식률은 70.5%, 71.7%, 70.5%였다. 0.5초 안정화 후에는 전체 인식률이 97.0%, 96.0%, 98.3%였으며, 조건부 인식률은 전 거리에서 100.0%였다. 이는 인식 실패가 정적 정렬 오차보다 인식할 때의 영상 품질과 관련됨을 시사한다. 이를 확인하기 위해 무안정화 조건의 조건부 인식률을 절대 초기각 구간별로 비교하였다. [Fig. 3]과 같이 0°~20°에서는 모든 거리의 인식률이 100.0%였으며, 20°~30°에서도 98.3%이상을 유지했다. 그러나 30°~40°에서는 1, 2, 3 m 순으로 52.6%, 63.3%, 52.6%로 감소했고 40°~50°에서는 1.7%, 0%,

www.kci.go.kr

0%였다. 무안정화 실패 프레임에서 짐벌 이동 방향의 수평 모션 블러가 관찰된 점을 함께 고려하면, 큰 초기각에서 이동과 영상 노출이 겹치며 발생한 모션 블러가 인식률 저하의 주요 원인임을 시사한다[13,14,15]. 따라서 동적 추적에서 양단은 한번 서로에게로 정렬한 뒤 0.2초 간격의 작은 증분 명령을 적용하므로 표식이 유효 시야 안에 유지되는 동안 안정적인 인식을 기대할 수 있다. Rx 기준 Tx 방향과 짐벌 명령값의 차이로 계산한 MAE는 [Fig. 4]와 같이 무안정화/0.5초 안정화 조건에서 1 m 5.60°/5.63°, 2 m 5.55°/5.61°, 3 m 5.72°/5.80°로 거리와 안정화 조건에 따른 일관된 변화가 없었다.

3.2 동적 추적 평가

동적 추적 평가는 두 가지 시나리오로 수행하였다. 첫 번째 시나리오에서는 Rx-Tx 거리를 각각 1, 2, 3 m로 설정하고, Rover가 호 궤적을 따라 이동하는 동안 UWB 상대 위치를 0.2초 주기로 갱신하여 양단의 짐벌을 정렬하고 빨간색 원형 표식을 인식하였다. Rover는 평균 0.16m/s 속도로 이동하였다. 영상은 정적 정렬 평가와 동일하게 유효 시야각을 ±20°로 제한하기 위해 원본 프레임의 60% 영역만을 검출에 사용하였다. 각 거리에서의 실험은 모두 3번씩 시행했으며, 이를 평균 내어 결과로 사용하였다.

〈Table 3〉의 거리별 3회 평균에서 1, 2, 3 m의 전체 주기/인식 성공은 각각 70.00/68.00회, 106.67/106.67회, 140.67/140.33회였다. 카메라 타임아웃은 각각 2.00회, 0회, 0.33회였고 다른 오류는 없었다. 전체 인식률은 97.15%, 100%, 99.75%, 정상 프레임 조건의 인식률은 모두 100%로, UWB 정렬 실패가 아니라 카메라 타임아웃이 성능 저하의 원인이었다. 이상적 방향은 Rover의 전역 위치로 계산한 Rx-Tx 상대 위치 벡터의 방위각으로 정의했다. Rx 방향은 Rover 헤딩에 짐벌 영점 오프셋 90°와 UWB 명령값을 더하고, Tx 방향은 UWB 명령값으로 계산했다. [Fig. 5]-[Fig. 7]의 Rx MAE는 1, 2, 3 m에서 6.54°, 4.84°, 3.75°, Tx MAE는 1.60°, 2.80°, 2.53°였다. 모두 OCC 유효 시야각 ±20° 이내이고 이상적 방향의 추세를 추종했다. 단, 실제 짐벌 자세가 아닌 명령값 기준 평가라는 한계가 있다.

앞선 1~3 m 거리별 동적 추적 평가에 이어, 두 번째 시나리오에서는 Rx 짐벌의 구동 범위(-90°~+90°)를 고려하여 Rx가 전방에서 접근하도록 제한한 Z자형 랜덤 접근 경로를 따라 동적 추적 성능을 검증하였다. 〈Table 3〉에서 평균 143.33주기 중 139.67건에서 표식을 인식했으며, 나머지 3.67건은 카메라 프레임 타임아웃으로 전체 인식률은 97.44%였다. 정상 영상 입력 조건의 인식률은 100.0%였다. [Fig. 8]의 정렬 정확도는 Rx 방향 MAE 9.77°, Tx 방향 MAE 0.81°로 모두 OCC 유효 시야각 ±20° 이내였다. Tx는 전 구간에서 이상적 방향을 안정적으로 추종했지만, Rx는 급격한 경로 변화 구간에서 편차가 커진 뒤 다시 수렴했다. 이는 보정이 0.2초 주기로만 이루어져 급격한 경로 변화 시 모터 응답 지연과 실제 회전량의 차이가 즉시 반영되지 못한 결과이며, 이후 다시 수렴하는 것은 UWB 기반 보정이 작동함을 보여준다.

4. 결론

본 논문은 동적 모바일 환경의 OCC 링크 유지를 위해 UWB 상대 위치 기반 소형 대칭형 Tx/Rx PAT 시스템을 제안했다. 0.2초 주기의 상대 위치로 양단 짐벌을 정렬해 영상 기반 위치 추정 없이 상대 단말을 추적한다. 호 궤적의 거리별 전체 인식률은 97.15%, 100%, 99.75%, 랜덤 경로는 97.44%였으며, 정상 프레임 조건에서는 모두 100%였다. Rx/Tx 방향 MAE는 호 궤적에서 3.75-6.54°/1.60-2.80°, 랜덤 경로에서 9.77°/0.81°로 모두 ±20° 이내였다. 실패는 카메라 프레임 타임아웃에서 발생했으며 급격한 방향 전환 시 엔코더 피드백이 없는 Rx에 일시적 편차가 나타났다. 향후 엔코더 기반 페루프 제어, 카메라 수신 안정화와 LED 패널 기반 OCC 전송을 검증할 예정이다.

REFERENCES

[1] A.A.B.Raj, P.Krishnan, U.Darusalam, G.Kaddoum, Z.Ghassemlooy, M.M.Abadi, A.K.Majumdar and M.Ijaz, "A Review-Unguided Optical Communications: Developments, Technology Evolution, and Challenges," Electronics, Vol.12, No.8, pp.1922, 2023.

[2] M.W.Eltokhey et al., "Optical Wireless Communications: Illuminating the Path for Cooper's Law," IEEE Open Journal of the Communications Society, Early Access, 2026.

[3] B.Chen and H.Yu, "Visual Tracking for Mobile Optical Wireless Communications," Optics Express, Vol.28, No.21, pp.31119-31126, 2020.

[4] C.Chen, J.Ji, H.Zhao and Y.Song, "Performance Analysis and Experimental Evaluation of Modulating

Retroreflector and UAV based Free Space Optical Transmission Systems," Optics Express, Vol.32, No.19, pp.33830-33851, 2024.

[5] R.Abdelfatah, N.Alshaer and T.Ismail, "A Review on Pointing, Acquisition, and Tracking Approaches in UAV-based FSO Communication Systems," Optical and Quantum Electronics, Vol.54, No.9, pp.571, 2022.

[6] S.Bastiaens, M.Alijani, W.Joseph and D.Plets, "Visible Light Positioning as a Next-Generation Indoor Positioning Technology: A Tutorial," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.26, No.4, pp.2867-2913, 2024.

[7] A.Liu, W.Shi, M.Safari and W.Liu, "Investigating the Angular Distortion Impact on Vehicular Optical Camera Communication (OCC) Systems," Optics Express, Vol.32, No.11, pp.19697-19715, 2024.

[8] A.Liu, W.Shi, M.Safari, W.Liu and J.Cao, "Design Guidelines for Optical Camera Communication Systems: A Tutorial," IEEE Photonics Journal, Vol.16, No.4, pp.1-25, 2024.

[9] S.R.Teli, V.Matus, O.Younus, K.Eöllős-Jarošíková, X.Li, N.B.Hassan, B.Lin, M.Figueiredo, L.N.Alves, A.M.Vegni, S.Zvanovec, R.Perez-Jimenez and Z.Ghassemlooy, "Optical Camera Communications: Concept, Marketing, Implementation, Challenges and Applications," Science China Information Sciences, Vol.68, No.10, pp.201301, 2025.

[10] Y.Wang, K.Sithamparanathan and K.Wang, "Simultaneous Position and Orientation Estimation in Optical Camera Communication based Indoor Localization System," in Proceedings of the 2023 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC), Shanghai, 2023.

[11] J.Li and F.Zhang, "Ultra-Wideband Positioning Technology: Exploring TWR, TDoA, and PDoA Methods for Precise Ranging and Positioning," in Wideband Wave-Propagating Components for Wireless RF Communications, M.Alibakhshikenari, Ed., London, UK: IntechOpen, Ch.7, 2024.

[12] S.Jeong, J.Min and Y.Park, "Indoor Positioning Using Deep-Learning-Based Pedestrian Dead Reckoning and Optical Camera Communication," IEEE Access, Vol.9, pp.133725-133734, 2021.

[13] H.Su, L.Gao, T.Liu and L.Kneip, "Motion-Aware Optical Camera Communication with Event Cameras," IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.10, No.2, pp.1385-1392, 2025.

[14] A.von Arnim, J.Lecomte, N.E.Borras, S.Woźniak and A.Pantazi, "Dynamic Event-based Optical Identification and Communication," Frontiers in Neurorobotics, Vol.18, pp.1290965, 2024.

[15] X.Ji, H.Jiang and Y.Zheng, "Motion Blur Decomposition with Cross-Shutter Guidance," in Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Seattle, pp.12534-12543, 2024.

김 민 준(Min-Jun Kim) [준회원]



- 2026년 2월 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 학사
- 2026년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 데이터공학과 석사과정

〈관심분야〉
사물인터넷, 시뮬레이션

정 욱 현(Uk-hyun Jeong) [준회원]



- 2026년 2월 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 학사
- 2026년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 데이터공학과 석사과정

〈관심분야〉
사물인터넷, 스마트 팩토리

유 승 호(Seungho Yoo) [정회원]



- 2012년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)
- 2018년 8월 : 고려대학교 전기전자컴퓨터공학과(공학박사)
- 2018년 7월 ~ 2022년 3월 : KT 융합기술원 선임연구원
- 2022년 3월 ~ 2022년 8월 : 고려대학교 정보통신기술연구소 연구교수
- 2022년 9월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 교수

〈관심분야〉
사물인터넷, 무선 네트워크, 무인비행체 (UAV), 실내 측위 (Indoor Positioning)

www.kci.go.kr