

AI-IoT 융합 기반 보행 장애인 보조기기의 자율주행 경로 결정 및 시스템 설계에 관한 연구

송제호*, 곽표성**, 박의준***, 김은찬***

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학), 스마트 그리드 연구 센터

**금성아이티

***전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of an AI-IoT Convergence-based Autonomous Path Decision and System for Assistive Devices for the Walking Disabled

Je-Ho Song*, Pyo-Sung Gwak**, Eui-Jun Park***, Eun-Chan Kim***

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering),
Smart Grid Research Center, Chonbuk National University

**GOLDSTAR IT Inc

***Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요 약

본 논문에서는 초고령화 사회와 장애인의 이동권 보장을 위한 스마트 보행 보조기기 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 다양한 센서로부터 수집된 경사도, 장애물, 보행자 흐름, 기상 정보, GPS 위치 등 보행 환경 데이터를 S-빅데이터로 구축하고, 이를 기반으로 AI와 IoT 기술을 활용하여 보행 환경을 분석하고 안전한 이동 경로를 제공한다. 본 시스템은 단순한 자율주행 기능을 넘어, 긴급 상황 대응과 실시간 경로 보정을 지원함으로써 장애인의 안정성과 편의성을 향상시키며, 향후 실제 보행 환경에서 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

현대 사회의 급속한 고령화는 보행 장애인의 이동권 보장을 중요한 사회적 과제로 부각시키고 있다. 한국은 이미 고령화 사회(Aging Society)를 지나 고령사회(Aged Society)에 진입하였으며, 초고령사회로의 진입을 앞두고 있다. 이에 따라 보조기기의 필요성과 스마트 프리미엄 기기에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 전통휠체어와 같은 기본 보조기기는 조작 미숙이나 반응 속도 저하로 인해 충돌, 전복 사고가 빈번하며, 배터리 제약과 도심 환경의 한계로 최적의 이동 경로를 제공하지 못한다. 또한, 이러한 기기들의 기능은 음성인식이나 단순 호출 수준에 머물러 있어 맞춤형 네비게이션과 자율주행 기능을 동시에 제공하지 못하는 한계가 있다.

이에 본 연구는 다양한 센서로부터 수집한 경사도, 장애물, 보행자 밀도, 기상, GPS 등의 데이터를 S-빅데이터(Sidewalk Big Data)로 구축하고, 이를 기반으로 YOLO 객체 인식과 이미지 프로세싱 기법을 활용한 실시간 경로 판단 및 Level3 자율주행을 목표로 한다. 또한 클라우드 IoT 네트워크와 보호자 알림 시스템을 연동하여 안정성과 편의성을 강화한 스마트 보행 보조기기를 제안한다. 본 연구는 단순 이동 보조를 넘어, 실시간 데이터 기반

의 경로 판단과 자율주행 기능을 결합한 스마트 보행 보조기기를 제시하였으며, 향후 실제 보행 환경에서 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 본론

보행 환경에서 이동 성능에 영향을 미치는 다양한 도로 및 주행 관련 데이터를 체계적으로 수집, 관리, 분석 하기 위해, 본 논문에는 이를 S-빅데이터(Sidewalk Big Data)로 정의한다.

S-빅데이터는 가속도 센서를 통한 도로 경사와 진동, 영상 기반 객체 인식에 의한 장애물 및 보행자 밀도, 환경 센서를 통한 조도, 온도, 시간대, GPS 위치 정보, 초음파, 적외선 센서 신호, 카메라 영상 등으로 구성된다. 이러한 이질적 데이터를 정량화, 표준화하여 통합 데이터셋으로 구축함으로써, 자율주행 판단 알고리즘의 학습 및 실시간 의사결정 과정에서 핵심 입력값으로 활용된다. 그림 1은 S-빅데이터 수집 프로그램 및 맵핑 이미지를 나타내었다.



[그림 1] S-빅데이터 수집프로그램 및 맵핀 관련 이미지

본 논문에서 제안하는 스마트 보조기기 시스템은 보행 환경 데이터를 단계적으로 처리하는 데이터 흐름을 기반으로 설계되었다. 먼저 센서 계층(Sensor Layer)에서는 가속도 센서를 통한 기울기·진동 측정, 초음파 및 적외선 센서를 활용한 장애물·거리탐지, 카메라를 이용한 영상 데이터 수집 및 YOLO 기반 객체 인식, GPS 모듈을 통한 위치 정보, 환경 센서를 통한 조도·온도·시간 정보가 취득된다.[1-3]

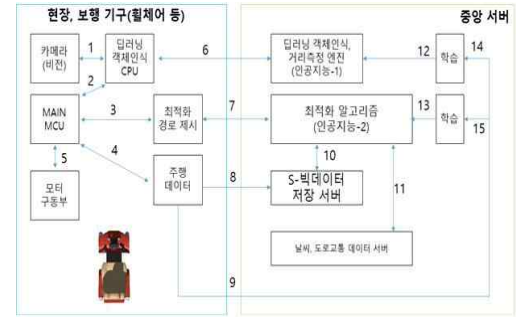
수집·전송 계층(Collection & IoT Layer)에서는 기울기, 진동, 장애물, 보행자 밀도, GPS 위치 등 센서 기반 보행 환경 데이터가 제어기에 집계된 후, IoT 네트워크를 통해 클라우드 서버로 실시간 전송된다. 클라우드(Cloud Layer)에서는 이 데이터를 정량화·표준화하여 S-빅데이터로 통합하고, 노이즈 제거 및 시간·좌표 동기화를 수행하여 분석 가능한 형태로 저장한다.

분석 계층(AI/Analytics Layer)에서 S-빅데이터는 딥러닝 기법에 의해 처리된다. YOLO 알고리즘을 통한 객체 탐지, KNN 기반 경로 추천, 딥러닝 기반 자율주행 판단 모델 등이 적용되어 보행 환경의 위험 요소를 식별하고 최적 경로를 산출한다.

의사결정 및 제어 계층(Decision & Control Layer)에서는 분석결과를 기반으로 보조기기의 주행 경로를 결정하고, 가속·정지·회피 등의 동작을 제어한다. 동시에 보호자 알림 시스템과 연동하여 긴급 상황 대응 기능을 제공함으로써 사용자의 안전성을 확보한다. 그림 2는 기울기·진동 제어기를 나타내며 그림 3은 자율주행 시스템 구성도를 나타내었다.

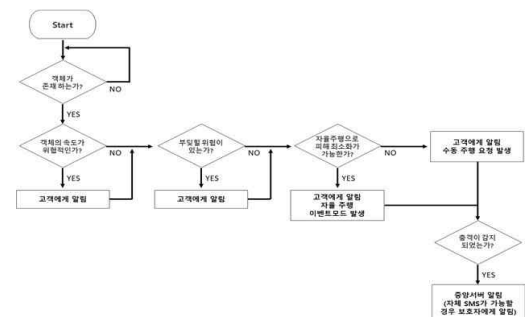


[그림 2] 기울기·진동 제어기



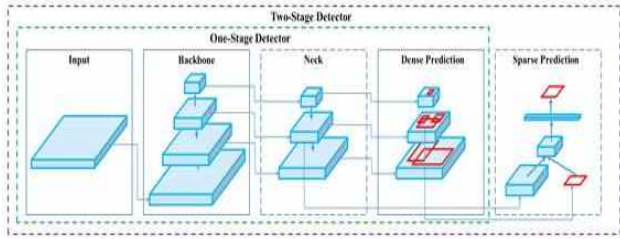
[그림 3] 자율주행 시스템 구성도

자율주행 과정은 크게 객체인식·거리산출·경로 판단·자율 제어 단계로 구성된다. 보행기구(휠체어)는 내장된 딥러닝 객체 인식 엔진을 통해 장애물 및 보행자를 인식하고, 카메라 영상과 기구의 실제 폭 정보를 바탕으로 객체와의 상대 거리를 계산한다. 계산된 결과는 중앙 서버가 제공하는 최신 경로 데이터와 결합되어, 메인 MCU(제어기)가 모터를 구동함으로써 자율주행을 수행한다. 또한, 주행 중 발생하는 위치·속도·방향 등의 데이터는 서버에 전송되어 S-빅데이터를 지속적으로 갱신한다. 그림 4는 자율주행 판단 알고리즘을 나타내었다.



[그림 4] 자율주행 판단 알고리즘

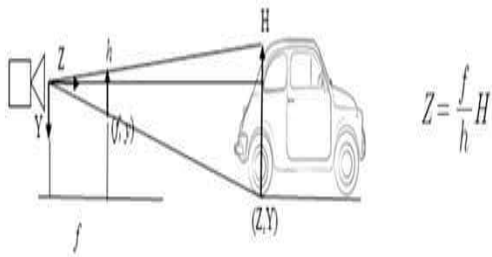
객체 인식은 YOLO-v4 알고리즘을 기반으로 구현하였다. YOLO는 이미지를 격자 단위로 나누어 바운딩 박스와 클래스 확률을 동시에 예측하고, 비최대 억제(NMS)를 통해 최종 결과를 산출하는 방식으로 실시간성이 뛰어나다. YOLO-v4는 WRC, CSP, CmBN, SAT, Mosaic Augmentation, CloU Loss 등 다양한 최신 기법을 통합하여 기존 모델 대비 정확성과 속도의 균형을 제공한다. 본 연구에서는 약 2000장의 객체 이미지를 라벨링하여 학습을 수행하였으며, $\text{max_batches}=14000$, $\text{steps}=11200 \cdot 12600$, $\text{filters}=36$, 입력 크기 416×416 으로 파라미터를 최적화 하였다. GPU 기반 Darknet 환경에서 학습을 진행하여 연산 효율을 높였고, OpenCV를 활용해 추출된 좌표·클래스를 시각적으로 표시. 하였다. 그림 5는 YOLO-v4 네트워크를 나타내었다.



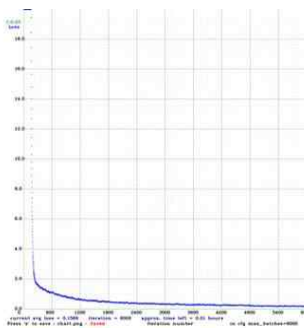
[그림 5] YOLO-v4 네트워크

보행 보조기기의 자율주행을 위해 YOLO-v4 객체 탐지 엔진을 활용하여 사람을 인식하고, 인식된 객체의 거리 산출 알고리즘을 개발하였다. 객체 탐지 대상은 Person 클래스로 설정하였으며, 탐지 결과로부터 추출된 바운더리 및 픽셀 정보를 이용하여 거리 계산을 수행하였다.

거리측정은 삼각법(Trigonometry) 기반 방식으로, 카메라의 초점 거리와 객체의 실제 크기(사람의 신장 등 골격 인식으로 추정된 값)을 활용하여 산출하였다. 이를 통해 고정된 객체뿐만 아니라 다양한 자세에서도 거리 예측이 가능하도록 설계하였다. YOLO-v4 모델 학습 결과는 Precision 0.89, Recall 0.89, F1-Score 0.89, IoU 91.48%로 나타나, 객체 인식과 거리 추정에 안정적인 성능을 확보하였다. 그림 6은 거리 측정 기술 예시를 나타내었고, 그림 7은 YOLO 트레이닝 결과물을 나타내었다.



[그림 6] 거리 측정 기술 예시



[그림 7] YOLO 트레이닝 결과물

보행 보조기기의 자율주행을 위해서는 단순한 주행 지원을 넘어, 객체 인식과 거리 추정에 기반한 경로 의사결정이 핵심적이다. 본 연구에서는 YOLO 기반 객체 탐지 모델을 적용하여 보행 환경 내 인적·물적 요소를 식별하고, 탐지된 객체의 크기 및 위치 정보를 활용해 거리 계산과 경로 통과 가능성(Whether Path Can be Passed, WPCP)을 평가하였다. 카메라 영상에서 획득한 픽셀 크기와 실제 치수를 삼각법적으로 연산하여 거리 값을 도출하였으며, 이를 보행기기의 차체 폭과 비교해 주행 가능 여부를 판정하였다.[4]

경로 선택이 비효율적이거나 인식 오류가 발생할 경우, 해당 데이터는 서버에 전송되어 경로 추천 알고리즘 보정과 객체 인식 성능 개선에 활용된다. 이를 통해 시스템은 축적된 데이터를 바탕으로 정밀도가 향상되어, 결과적으로 안정적이고 신뢰성 있는 자율주행을 지원한다. 또한, 메인 제어기(MCU)는 사용자에게 현재 주행 상태를 알리는 인터페이스를 제공하고, 필요 시 자율모드에서 수동 조작으로 전환할 수 있도록 설계하였다.

정면 카메라 영상 처리와 연동된 실시간 객체 탐지(Real-time Object Finding, ROF) 및 경로 검증 모듈(WPCP)을 결합하여, 도시 환경의 변화에도 유연하게 대응할 수 있는 주행 기능을 구현하였다.

3. 결론

본 논문에서는 보행 장애인과 고령자의 안전한 이동을 지원하기 위해 AI-IoT 융합 기반 스마트 보행 보조기기 시스템을 제안하였다. 이를 위해 보행 환경의 다양한 요소(경사, 진동, 장애물, 보행자 밀도, 기상·위치 정보 등)를 통합한 S-빅데이터(Sidewalk Big Data)개념을 정의하고, 센서 계층부터 의사결정 계층에 이르는 단계적 처리 구조를 설계하였다.

객체 인식 부분에서는 YOLO-v4 알고리즘을 적용하여 보행자 및 장애물을 실시간으로 탐지하는 데 효과적이었으며, 삼각법을 활용한 거리 산출 기법과의 결합을 통해 다양한 환경 조건에서도 안정적인 거리 추정이 가능하였다. 학습 결과, Precision, Recall, F1-score 모두 0.89, IoU 91.48%를 달성하여 제안된 접근 방식이 보행 보조기기 자율주행 환경에서 활용 가능성이 높음을 입증하였다.

제안된 시스템은 객체 인식·거리 산출·경로 판단·자율 제어로 이어지는 일련의 과정을 통해 보행 보조기기의 자율주행을 실현하였다. 특히, 실시간 객체 탐지(ROF)와 경로 통과 가능 여부 판단(WPCP) 기능을 통합함으로써, 변화하는 도시 환경 속에서도 안전한 경로 선택이 가능하도록 설계하였다.

본 논문은 AI-IoT 융합 기반 스마트 보행 보조기기를 제안하고, 실시간 객체 인식과 경로 판단을 통해 자율주행 가능성을 입증하였다. 제안된 시스템은 단순 이동 보조를 넘어 안전성과 편

의성을 강화할 수 있는 의의를 지니며, 향후 경량화 및 경로 최적화 연구를 통해 다양한 환경에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김원희, 김준식, “자동화를 위한 센서 공학”, 성안당, 2020
- [2] Jacob Fraden, “현대 센서공학”, 한빛아카데미, 2021
- [3] Norman S. Nise, “제어시스템공학”, 홍릉과학출판사, 2015
- [4] 나희수, 원영진, 윤중근, 이상민, 안명일, 김동현, 문종훈, “2 채널 영상 스트리밍 기술을 적용한 차량용 전. 후방 무선 영상 모니터링 시스템”, 전자공학회논문지, Vol.51, Issue 12, pp.210-216, 2014

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 산학 Collabo R&D 사업 지원에 의한 연구수행 결과물임을 밝힙니다. [과제번호 : S3301656]