

AI 및 IoT 기반 S-빅데이터 연계 보행 장애인용 보조기기의 경로 판단 및 자율주행 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 and IoT-Based Autonomous Navigation System using S-Bigdata for Mobility Aids for people with Walking Disabilities

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 장애인의 보행 안정성과 이동 편의성을 향상시키기 위해 AI 기반 사물인터넷 융합 S-빅데이터 스마트 보행 보조 기기 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 다양한 센서로부터 수집된 경사도, 장애물, 보행자 밀도, 기상 정보, GPS 위치 등 보행 환경 데이터를 기반으로 S-빅데이터를 구축하고, 해당 데이터를 활용하여 딥러닝 기반의 YOLO 객체 탐지 알고리즘과 TensorFlow 프레임워크를 통해 구현된 경로 판단 모델을 구성하였다. 또한, 사물인터넷 기술을 통해 보조기와 내비게이션 시스템을 실시간으로 연동함으로써 자율 주행 및 긴급 상황 대응 기능을 통합하고, 변화하는 도시 환경에서도 장애인의 안정적인 이동을 효과적으로 지원한다.

1. 서론

최근 고령화 사회의 도래와 함께 이동 취약 계층의 수가 증가하고 있으며, 이들의 보행 안전성과 이동 자율성은 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다. 장애인과 노약자는 전통휠체어를 비롯한 다양한 보행 보조기기에 의존하여 일상적인 이동을 수행하지만, 도심 내 보행 환경은 여전히 이들에게 많은 제약을 가하고 있다. 경사진 도로, 좁은 인도, 공사 구간, 보행자 밀집 지역 등은 보조기기의 주행을 어렵게 만들며, 주행 중 예기치 못한 상황이 발생했을 경우에도 즉각적인 대응이 어려워 안전사고로 이어질 가능성이 높다.

기존의 보행 보조기기는 대부분 수동 조작 방식이거나 단순한 이동 보조 기능에 한정되어 있어 사용자의 물리적·인지적 부담이 크고, 변화하는 환경에 능동적으로 대응하는 데 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 AI 및 사물인터넷(IoT)기술과 다양한 보행 환경 정보를 수집·분석해 구성한 S-빅

데이터를 융합한 스마트 보조기기 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 실시간 경로 안내, 자율주행, 딥러닝 기반의 객체 인식, 긴급 상황 대응 기능을 통합함으로써 장애인과 노약자의 보다 안전하고 효율적인 이동을 지원한다.

2. 본론

보행 환경에서 이동에 영향을 미치는 다양한 도로 및 주행 관련 정보를 통합적으로 관리하고 분석하기 위해, 본 연구에서는 이를 S-빅데이터(Sidewalk Bigdata)로 정의하였다.

S-빅데이터는 도로의 기울기, 진동, 노면 상태, 장애물 유무, 보행자 밀도, 조도, 온도, 시간대, GPS 위치, 초음파 및 적외선 감지 정보, 카메라 영상 등 정량화 가능한 주행 환경 요소로 구성되며, 이러한 데이터를 기반으로 자율주행 판단 알고리즘의 입력 값으로 활용된다.

S-빅데이터의 수집을 위해 실제 전통휠체어에 센서를 장착한 후 주행 실험을 진행하였으며, 경로 기반의 환경 정보를 확보하기 위해 T-MAP OPEN API를 활용하였다. 그림 1은 수집된 데

이터를 시각화한 맵핑 프로그램의 구성과 화면 예시를 나타낸 것이다.



[그림 1] S-빅데이터 수집프로그램 및 맵핑 관련 이미지

S-빅데이터를 구성하는 환경 정보를 효과적으로 수집하기 위해, 전동 휠체어는 기능별로 특화된 센서 기반 제어기들이 장착되어 있다.[1,2] 각 제어기는 주행제어, 환경감지, 데이터 저장, 무선 통신, 긴급 상황대응 등의 역할을 수행하며, 수집된 정보는 자율주행 판단 알고리즘의 핵심 입력으로 활용 하도록 하였다..

모터제어 및 저장용 제어기는 Atmega2560 MCU와 마이크로 SD카드 저장 장치로 구성되며, 휠체어 주행을 위한 모터 제어와 동시에 센서 데이터를 로컬에 저장하고, 이를 통해 주행 중 발생하는 데이터를 실시간으로 확보할 수 있도록 하였다.

WIFI 기반 IoT 통신 제어기는 ESP-WROOM-02 모듈과 포토커플러, RS-485, TTL 등 다양한 통신 포트를 포함하고 있으며, 수집된 데이터를 무선 네트워크를 통해 서버로 전송한다. 클라우드 기반 모니터링 및 외부 명령 연동이 가능하도록 구성하였다.

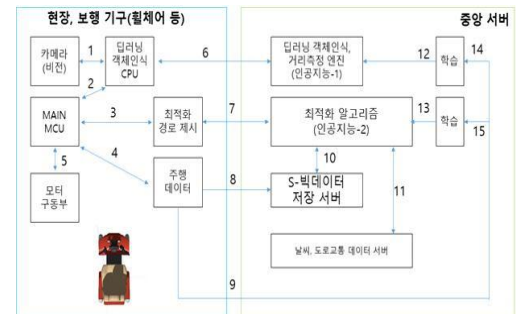
SIM7600CE-T 모듈이 탑재된 통신 제어기는 GPS를 통해 위치 정보를 수신하고, 충격이나 장시간 정지, 배터리 부족 등 비정상 상황 발생 시 보호자에게 문자 메시지를 송신한다. 본제어기는 독립 배터리 기반 구조로 설계되어 전원 차단 상황에서도 비상 통신 기능을 유지할 수 있도록 하였다. 그림 2는WIFI 기반 IoT 통신 제어기를 나타내었다.



[그림 2] WIFI 기반 IoT 통신 제어기

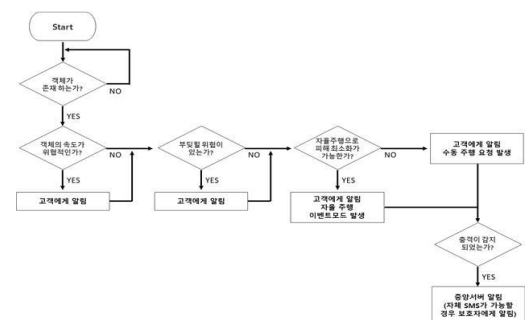
자율주행 시스템은 S-빅데이터를 기반으로 주행 환경을 실시

간으로 해석하며, 장애물 탐지와 경로 판단 기능을 수행하는 구조로 구성된다. 도로의 기울기, 진동, 보행자 밀도, 조도, GPS 위치 등 다양한 환경 요소가 입력값으로 활용되며, 이를 바탕으로 주행 가능 여부를 평가하고 회피, 정지, 통과 등 적절한 주행 명령을 생성한다. 그림 3은 자율주행 시스템의 구성을 나타내었다.



[그림 3] 자율주행 시스템 구성도

환경 인식과 판단 과정은 휠체어에 장착된 각종 센서로부터 수집된 데이터를 기반으로 이루어진다. 카메라는 전방 객체 인식에 사용되며, GPS는 현재 위치와 경로 추적에 활용된다. 진동 및 기울기 센서는 노면 상태와 도로 경사를 감지하고, 초음파 센서는 근거리 장애물을 빠르게 탐지한다. 이와 같은 센서 데이터는 메인 제어기(MCU)로 통합되어 처리되며, 객체의 위치, 유형, 거리, 주변 환경 요소를 종합적으로 분석해 판단 결과를 도출한다. 그림 4는 판단 알고리즘을 나타내었다.

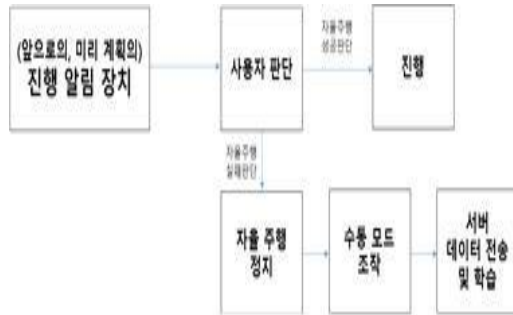


[그림 4] 자율주행 판단 알고리즘

주행 대상 구간의 경사, 조도, 보행자 밀도 등 다양한 조건은 보행자의 이동 안정성과 직접적으로 연관 된다. 이를 고려하지 않은 단순 최단 거리 기반 경로 설정은 실제 주행에서 위험을 초래할 수 있다. 본 시스템은 S-빅데이터를 기반으로 현재 위치와 주변 주행 가능성을 평가하고, K-최근접(K-NN) 알고리즘을 통해 유사 환경 조건에서의 최적 경로를 추천할 수 있게 구현하였다.

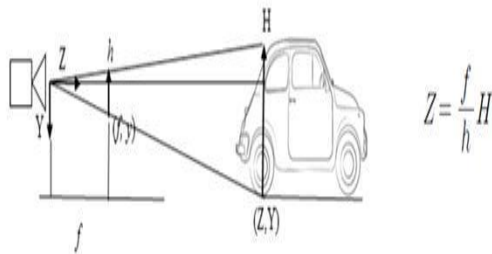
실시간 자율주행 과정에서 객체 인식 오류, 경로 판단 실패, 충격 감지 등 다양한 예외 상황이 발생할 수 있으며, 이에 대한 적절한 대응이 요구된다. 본 시스템은 주행 중 충돌 위험, 장시간

정지, 진동 발생 등 비정상 상황을 자동 감지하고, 진행 알림 장치를 통해 사용자에게 즉시 정보를 전달한다. 사용자는 시각적 안내와 음성 안내를 통해 상황을 인지하며, 필요시 수동 모드로 전환할 수 있도록 구현하였다. 전환된 주행 상황 및 환경 데이터는 서버로 전송되며, 실패 상황의 로그는 이후 판단 알고리즘 개선을 위한 학습 데이터로 활용될 수 있도록 설계 하였다. 그림 5는 자율 주행 중 비정상 상황 대응을 위한 프로세스 흐름도를 나타내었다.



[그림 5] 비정상 상황 대응을 위한 프로세스 흐름도

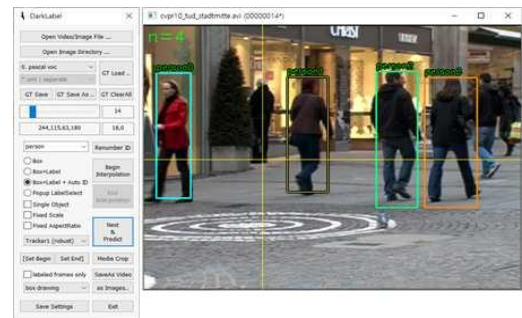
장애물과의 거리 계산은 객체 인식 이후 수행되는 핵심 처리 과정으로, 픽셀 기반의 거리 산출 공식을 적용하였다. YOLO로 인식된 객체의 픽셀 너비는 실제 크기와의 비례 관계로 환산되어, 카메라 초점 거리와 연계된 공식을 통해 물리적 거리로 변환된다. 예를 들어, 동일한 크기의 물체가 가까울수록 프레임 내에서 크게 인식되며, 이를 수학적으로 모델링 하여 일정한 기준에 따라 거리 값을 산출하였다. 산출된 거리는 자율주행 제어기에서 회피 경로 생성, 정지 판단, 주행 속도 조절 등에 실시간으로 반영되도록 설계하였다. 그림 6은 객체의 픽셀 기반 크기를 바탕으로 거리 값을 추론하는 과정과 수식을 시각화한 것이다.



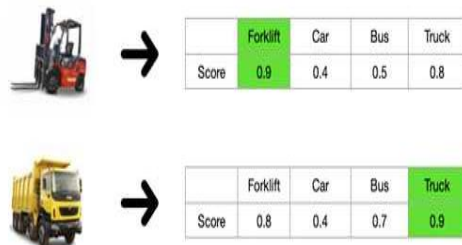
[그림 6] 거리 측정 기술 예시

객체 인식을 위한 모델 학습은 YOLOv4를 기반으로 진행되었으며, DarkLabel 툴을 활용하여 직접 라벨링한 데이터셋을 사용하였다. 학습은 CUDA Toolkit 11.4 및 cuDNN 8.2.4 환경에서 이루어졌고, OPENCV 라이브러리를 통해 Bounding Box

처리와 좌표 추출을 병행 하였다. 학습 과정에서 클래스 수는 총 7개로 설정되었고, 이미지 해상도는 416×416 으로 통일하여 학습 안정성을 확보하였다. 학습된 모델은 매 프레임마다 다수 객체를 탐지하고, 해당 객체의 클래스 및 점수 정보를 추출하여 실시간 탐지에 활용될수 있도록 구현 하였다. 그림 7은 DarkLabel 사용 예시를 나타내며 그림 8은 YOLO를 통해 인식된 객체의 클래스 분류 방법에 대해 나타 내었다.



[그림 7] DarkLabel 사용 예시



[그림 8] YOLO를 통해 인식된 객체의 클래스 분류

3. 결론

본 논문에서는 보행 장애인의 안전하고 효율적인 주행이 가능하도록, 최적 경로 안내와 자율주행 기능을 결합한 스마트 보조 시스템을 설계하였다. 제안한 시스템은 전동휠체어의 자율주행 기능과 보행 장애인 전용 내비게이션을 연동하여, 도로 상태와 주변 환경 정보를 실시간으로 분석하고 이를 바탕으로 최적화된 경로를 제공하였다.

특히 도로의 경사, 진동, 조도, 보행자 밀도, 장애물 유무, 시간대 등의 다양한 환경 정보를 'S-빅데이터'로 정의하고, 이를 주행 판단 알고리즘의 핵심 입력으로 활용하였다. 객체 인식에는 YOLO 기반의 딥러닝 기술을 적용하여 장애물을 실시간으로 탐지하였으며, 탐지된 객체와 휠체어 간 간격 분석을 통해 통과 가능 여부를 판단하도록 구현하였다.

이를 통해 사용자는 낮선 도로 환경에서도 안정적으로 주행할 수 있고, 이동 중 발생하는 다양한 주행 정보는 서버에 실시간으로 축적되어 시스템 개선과 판단 정확도 향상에 기여하도록 하였

다. 본 시스템은 보행 약자의 이동권을 실질적으로 보장할 수 있는 기반 기술로서 기능하며, 실생활 적용 가능성과 기술적 확장성을 동시에 확보하였다.

향후 연구에서는 객체 인식 정확도 향상과 데이터 기반 주행 판단의 정교화를 통해 다양한 보행 환경에서도 안정적으로 작동하는 시스템으로 고도화하고자 한다. 또한 사용자 경험을 반영한 인터페이스 개선과 도로 상황에 따른 맞춤형 경로 안내 기능을 추가함으로써, 보행 장애인의 이동 편의성과 자율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

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]