

Q-learning 기반 메카넴휠 자율주행 주차 시스템

남현수¹, 김서연¹, 백수안¹, 임승원¹

¹이화여자대학교 휴먼기계바이오공학부

pollux1472@ewha.ac.kr, kimkite@ewhain.net, suan7967@ewhain.net, 2170078@ewhain.net

Autonomous Parking System Using Q-learning with Mecanum Wheels

Hyunsoo Nam¹, Seoyeon Kim¹, Suan Baik¹, Seungwon Lim¹

¹Division of Mechanical and Biomedical Engineering, Ewha Womans University

요 약

본 논문에서는 메카넴휠을 활용한 강화학습 기반 자동주차 시스템을 제안한다. Q-learning 알고리즘을 사용하여 다양한 주차 환경에서의 주차 경로를 최적화하였으며, 실시간으로 로봇이 목표 주차 구역까지 정확하게 이동할 수 있도록 설계하였다. 본 연구는 강화학습이 적용된 주차 시스템의 실효성을 보여주며, 향후 실제 환경에서의 적용 가능성을 제시한다.

1. 서론

차량 증가로 인한 주차 공간 부족 문제는 현대 사회에서 심각한 사회적 문제로 부상하고 있다. 서울 주택가의 주차장 확보율은 106.5%로, 높은 인구 밀집도와 자동차 보유율로 인해 주차 공간 부족 문제는 근본적으로 해결되지 못하고 있는 실정이다.

이를 해결하기 위해 공간 수용력을 높이고 효율적인 주차를 가능하게 하는 시스템의 도입이 필요하다. 본 연구에서는 메카넴휠을 이용한 강화학습 기반 자동주차 시스템을 대안으로 제안한다.

2. 본론

본 연구에서는 Q-learning 기반의 최적 경로로 주행하는 메카넴휠 자동주차 시스템을 제안한다. 360°회전 및 직각주행이 가능한 메카넴휠 주차 로봇으로 협소한 공간에서 주차가 가능하며, 공간 활용도를 극대화할 수 있는 시스템을 구상하였다.

[그림 1]은 본 시스템의 구성도이다. 사용자가

ParkWiz 앱을 통해 주차 명령을 입력하면, 출발 지점에서 가장 가까운 주차자리를 선택하고, 사전 학습된 경로를 출력하여 주차 서비스를 시작한다.

주차 로봇은 주행 중 카메라 모듈로 QR코드를 인식하고 자이로 센서로 직진 주행을 보정, 초음파 센서를 통해 실시간으로 장애물을 감지한다. 중앙 처리 장치인 Raspberry Pi는 센서 데이터를 기반으로 Arduino에 구동 명령을 전달하며, Arduino는 서보모터를 제어하여 차량을 자동으로 주차한다.

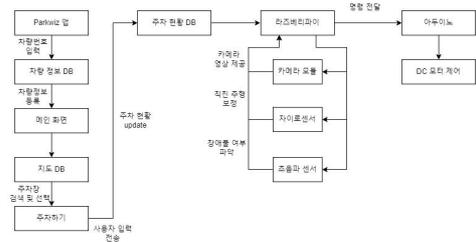


그림 2. 기능 처리도

2.1 메카넴휠

메카넴휠은 45°각도의 서브 롤러들이 메인 휠 주변부를 둘러싼 구조의 바퀴이다. 일반적인 바퀴와 달리, 메카넴휠은 대각선 방향의 속도 벡터를 형성하며, 이로 인해 롤러에 대해 수직 방향으로 힘이 작용하게 된다. 각 롤러는 휠의 회전 방향과 관계없이 자유롭게 회전이 가능하다. 이에 따라 주차로봇은 전진, 후진, 직각(좌우) 주행, 사선 주행, 제자리 회전 등 다양한 방향으로 주행할 수 있다.

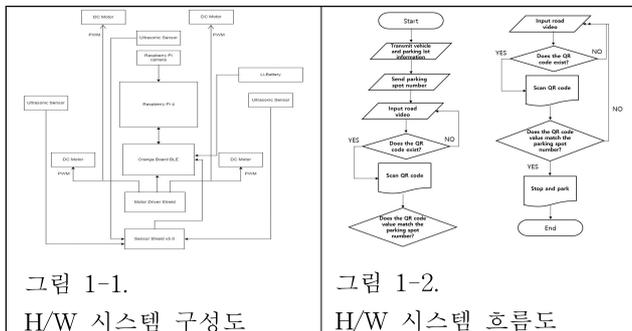


그림 1-1. H/W 시스템 구성도

그림 1-2. H/W 시스템 흐름도

2.2 QR코드

QR코드를 주행 보조장치로 활용하여 주행 정확성을 높였다. QR 코드는 즉각적인 확인이 가능하며 다양한 각도에서 인식할 수 있다. 로봇이 주행 중 목표 주차구획 숫자를 반환하는 QR 코드를 인식하면, 해당 주차 구역에 차량을 주차한다.

2.3 Q-learning

Q-learning은 off-policy 기반의 경로 탐색을 수행하며 시간차(TD, Temporal Difference) 학습을 하는 제어 방법론이다. 에이전트는 현재 상태에서 취한 행동과 그에 따른 보상을 바탕으로 최적의 경로를 탐색하며, 다음 상태에서 최적의 행동을 선택하기 위한 가치 함수를 업데이트하는 방식이다. 벨만 방정식에 따라 상태-행동 쌍의 가치를 갱신하며(식(1)), 모든 상태에서 최적의 행동을 학습한다.

$Q(s,a) \leftarrow Q(s,a) + \alpha(r + \gamma \max_{a'} Q(s',a') - Q(s,a))$ 식(1)
 Q-learning 기반 경로 계획 알고리즘은 다양한 주차장 형태나 환경 변화에도 파라미터 조정 없이 최적의 경로를 스스로 학습할 수 있다. 이는 탐색 기반 알고리즘(A*, D*)이나 샘플링 기반 알고리즘(RRT)보다 높은 적응성과 유연성을 갖는다.

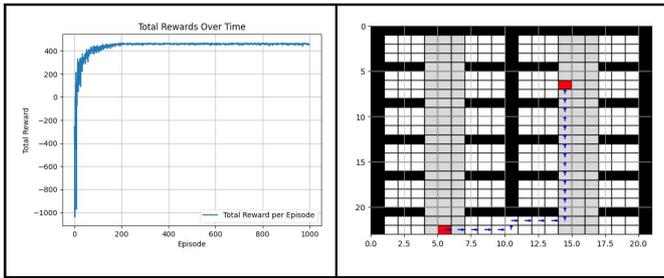


그림 3. Q-learning 학습 과정 및 결과

본 연구에서는 주차장의 로봇 이동 경로를 grid world로 모델링하였고, 출발 위치와 목표 위치를 지정한 후 리턴값이 가장 큰 경로를 최적 경로로 간주하여 로봇의 주행 경로로 지정하였다.

2.4 시스템 통합

애플리케이션을 통해 자동주차 서비스를 이용할 수 있다. <1> 애플리케이션에 차량 정보를 등록하여 시작한다. <2> '주차하기' 버튼을 누르면, Raspberry Pi에서 주차 자리 선택 알고리즘을 실행하여 최적의 자리를 선택한다. <3> 주차 자리에 대응되는 최적 경로는 사전 학습되어, 텍스트 파일로 저장되어 있다. <4> Arduino는 시리얼 통신으로 전송받은 목표 주차 구획 번호를 바탕으로 텍스트 파일에서 경로 정보를 읽어온다. <5> grid world에서 학습된 로봇 경로는 주차장의 비율에 맞게 cm 단위

로 변환된다. <6> 로봇은 이를 시간 정보로 변환하여 구동 명령을 완성하고, 목표 위치까지 이동한다.

경로 문자열: UP 19번 -> LEFT 1번 -> UP 12번 -> GOAL

그림 4. 텍스트 파일에 저장된 최적경로 예시

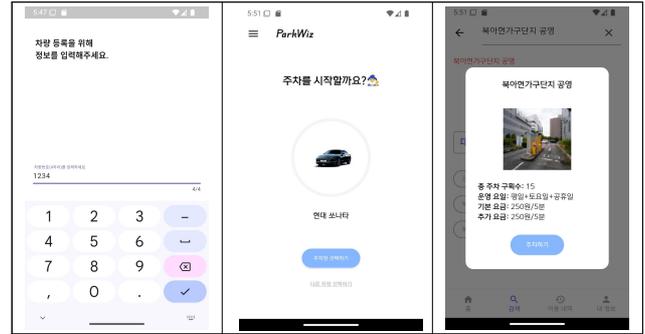


그림 5. 애플리케이션 화면

3. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 다양한 주차 환경에서 최적 경로를 효율적으로 탐색하고 주행할 수 있는 Q-learning 기반 메카넘휠 자동주차 시스템을 제안하였다.

메카넘휠 자동주차 로봇은 협소한 공간에도 차량을 자율적으로 주차할 수 있으며, 기존 주차장보다 더 넓은 공간 활용을 가능하게 한다. 로봇과 연동되는 주차 서비스 애플리케이션으로 편의성을 높였다.

인공지능 기술은 로봇의 성능을 극대화하여 시너지 효과를 발휘할 수 있다. 주차장의 수용력을 높이기 위해 ICT 기술을 융합한 연구가 지속된다면 증가하는 자동차 수로 인한 주차장 부족 문제를 효과적으로 해결할 수 있을 것이다.

"본 논문은 과학기술정보통신부 대학디지털교육역량강화 사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다."

참고문헌

[1] 메카넘 구동형 전방향 시스템 개요와 메카넘 휠의 역사, 헬로티, 2015.12.17, <https://www.hellot.net/news/article.html?no=26599>.
 [2] 주백석, 외 1명, "메카넘휠 기반의 전방향 이동 로봇 주행성능 평가," 한국생산제조시스템학회지, vol. 13, no. 4, pp. 374-379, 2014.
 [3] Du H, Hao B, Zhao J, Zhang J, Wang Q, Yuan Q (2022) A path planning approach for mobile robots using short and safe Q-learning. PLoS ONE 17(9): e0275100. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275100>