

자율 이동 로봇의 이동 경로 예측 기반 버티컬 핸드오버 기술

김성연, 최성찬*

ICT 폴리텍대학, KETI (한국전자기술연구원)*

sungyeon@ict.ac.kr, csc@keti.re.kr

Vertical handover using the trajectory prediction of autonomous mobile robot

Sung-Yeon Kim, Sung-Chan Choi

ICT Polytech Institute of Korea, Korea Electronic Technology Institute

요 약

자율 이동 로봇은 실시간 환경 인지, 경로 계획, 제어 명령 수행 등을 위해 안정적인 네트워크 연결이 필수적이다. 실내에서는 고속, 저지연의 WLAN, 실외에서는 넓은 범위의 이동통신 네트워크에 접속한다. 로봇이 실내외를 오가며 이동하는 경우, 접속 네트워크의 전환이 안정적이지 않다면, 데이터 손실과 연결 단절 등의 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위한 버티컬 핸드오버 기술은 네트워크 전환 시 신호 강도, 지연, 처리량 등을 고려해 최적 네트워크를 선택하는 다양한 알고리즘이 제안되어 왔다. 그러나 대부분의 핸드오버 기술이 사용자 단말 (user equipment, UE) 기반으로 설계되어, channel 특성을 핸드오버 판단기준으로 하여 WLAN 과 이동통신망의 급격한 channel 변화 및 fading channel 특성에 따라 안정적인 버티컬 핸드 오버에 어려움이 있었다. 본 논문에서는 이를 해결하고자, 자율 이동 로봇의 이동 경로가 예측 가능함을 이용하여, 버티컬 핸드 오버의 안정성을 높이는 기술을 제안한다.

I. 서 론

자율 이동 로봇은 실시간 환경 인지, 경로 계획, 정밀한 제어 명령의 수신 및 전달과 같은 다양한 복잡한 작업을 수행하기 위해 안정적인 네트워크 연결을 필요로 한다. 실내 환경에서는 WLAN 이 주로 사용되고, 실외 환경에서는 이동통신 네트워크가 사용된다. 로봇이 실내외 환경을 빈번히 오갈 때는 두 네트워크의 특성과 성능이 급격하게 변화하여 데이터 손실, 통신 지연 및 연결 단절과 같은 심각한 문제가 발생할 수 있어, 네트워크 간 전환 과정에서 안정적 핸드오버가 매우 중요하다[1].

버티컬 핸드오버는 WLAN 과 이동통신 네트워크 간 핸드오버 시 발생할 수 있는 통신 중단과 성능 저하를 최소화하여 로봇이 안정적으로 작동하도록 지원하는 기술이다. 이를 위해 기존 연구들에서는 핸드오버 시점 결정 시 신호 강도, 처리량, 네트워크 부하, 지연 시간 등 다양한 네트워크 파라미터를 고려하여 최적의 네트워크를 선택하는 알고리즘을 제안하였다[2]. 예를 들어 throughput 기반의 네트워크 전환 알고리즘이나 통합 무선 자원 관리(URRM) 기반의 효율적인 핸드오버 방식, 퍼지 제어와 다기준 의사결정(MCDM)을 결합한 알고리즘 등 다양한 접근이 시도되어 성능 개선이 이루어졌다.

하지만 기존의 대부분의 연구는 스마트폰과 같은 개인 모바일 기기 환경에 초점을 맞추고 있어, 자율 이동 로봇의 실시간 환경 인식, 작업 상태의 정밀 제어, 긴급 작업의 우선순위 반영과 같은 복잡하고 중요한 작업

요구사항을 충분히 반영하지 못하고 있다. 따라서 로봇이 수행하는 다양한 작업의 안정성과 효율성을 보장하기 위해서는 단순히 네트워크 파라미터만으로는 부족하며, 로봇의 고유한 작업 특성과 우선순위를 고려한 새로운 접근 방식의 핸드오버 기술이 요구된다.

II. 본 론

본 논문에서 제안된 알고리즘은 로봇의 미래 이동 경로를 예측하고, 그 경로를 따라 이동할 때 로봇이 경험하게 될 네트워크 상태를 정밀하게 분석하여 최적의 핸드오버 시점을 결정하는 것을 목표로 한다. 로봇이 실시간으로 위치를 이동하며 경로를 예측하는 과정은 센서 데이터를 수집하는 것에서부터 시작된다. 이를 위해 LiDAR 는 주변 환경을 정밀하게 3 차원 데이터로 수집하며, GPS 는 실외 환경에서의 로봇의 절대 위치를 제공하고, IMU 는 로봇의 움직임 상태를 추정하기 위한 가속도와 각속도를 제공한다. 속도 및 방향 센서는 로봇이 이동하는 방향과 속도 정보를 제공하여 예측 모델의 핵심 입력값이 된다.

로봇의 이동 궤적과 환경 특성을 포함한 데이터를 시간 순서로 구축하여 이를 기반으로 이동 경로를 확률적으로 모델링한다. 이후 예측된 이동 경로를 실시간 데이터와 결합하여 로봇의 즉각적인 미래 위치를 추정하거나, 장기적으로 이동할 경로를 시뮬레이션하며 예상 가능한 여러 경로에 대한 확률값을 산출하여 제공한다. 또한 로봇의 이동이 예상되는 경로를 지도 상에 매핑하여 실제로 이동 가능한 영역과 일치시킨다.

이를 통해 지도에서 장애물이나 이동 불가능한 지역을 피하여 정확하고 현실적인 이동 경로를 결정하게 된다.

이동 경로가 예측된 후에는 로봇이 이동할 경로에서 접근 가능한 네트워크 후보들을 사전에 식별하는 단계가 수행된다. 네트워크 상태 분석 단계에서는 각 후보 네트워크의 신호 강도 (RSRP)를 기준으로 실시간 네트워크 스캐닝 및 사전 구축된 네트워크 데이터베이스를 활용하여 로봇이 이동 중인 위치에서 사용 가능한 네트워크의 상태를 평가하며, 로봇의 작업에 적합한 네트워크 유형만을 선택하여 후보군을 좁힌다. 또한 로봇의 이동 궤적 상에서 미래의 네트워크 성능까지 예측하여 장기적으로 안정적 연결을 보장할 수 있는 네트워크를 선택하는 방식을 채택한다.

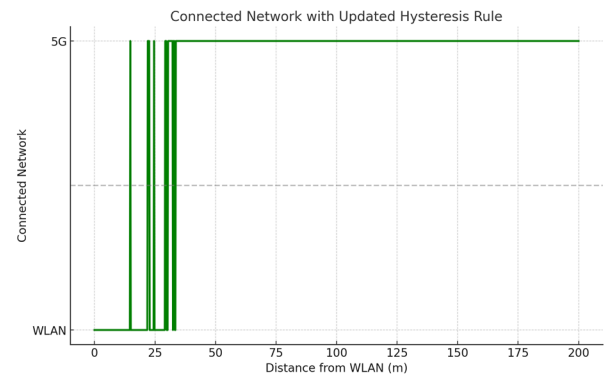
최종적으로 핸드오버 실행 단계에서는 사전 분석된 네트워크 품질과 로봇의 이동 궤적 정보를 결합하여 핸드오버 임계치를 설정하고 최적의 핸드오버 시점을 결정한다. 로봇이 네트워크 품질이 특정 임계치 이하로 떨어질 것으로 예상되는 시점을 정확히 판단하여, 사전에 새로운 네트워크와의 인증 및 연결 설정(pre-connection)을 진행함으로써 핸드오버 과정 중 발생할 수 있는 지연과 데이터 손실을 최소화한다. 또한, 다중 연결 상태를 일정 시간 유지하며 데이터를 버퍼링하고, 네트워크 전환 직후의 데이터 동기화를 통해 원활한 전환을 보장한다. 이후 핸드오버가 완료된 후에도 새로운 네트워크의 QoS 기준 충족 여부와 연결 상태의 안정성을 지속적으로 평가하여, 문제가 발생할 경우 즉각적인 재조정 및 추가적인 핸드오버를 수행하는 전략을 통해 연결의 연속성과 안정성을 확보한다.

실험은 실내에 위치한 WLAN 송신기와 실외 5G Base station 이 200m 거리를 두고 위치하고 있다고 가정한다. 자율 이동 로봇은 실내의 WLAN 송신기의 위치에서 WLAN 에 접속하고 있고, 실외 5G base station 방향으로 직선 이동 한다고 가정한다. 실내 WLAN 채널 모델은 ITU-R 경로 손실 모델에 Rician Fading 모델을 적용하였고, 실외 5G base station 의 채널 모델은 Hata 경로 손실 모델에 Rayleigh Fading 모델을 적용하였다.

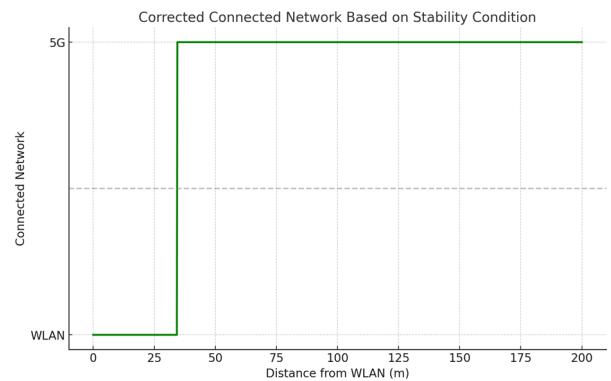
Fig. 1 은 자율 이동 로봇이 WLAN 에서 5G base station 으로 직선 이동하면서, WLAN 과 자율 이동 로봇과의 거리에 따라 접속 네트워크가 어떻게 변해가는지 보여준다. Fig. 1(a)는 RSRP 기준의 기존 핸드오버 접속 방식을 적용한 경우이고, Fig.1(b)는 본 논문에서 제안한 핸드오버 정책을 적용한 경우이다. 기존의 핸드오버 정책을 적용하면 channel fading 에 의해 RSRP 값이 빈번하게 변동하여 접속네트워크 또한 빈번하게 변경되는 것을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 핸드오버 정책을 적용한 경우, 이동 경로를 예측하여 접속 네트워크의 빈번한 변경을 방지하는 것을 볼 수 있다.

III. 결 론

본 논문은 자율 이동 로봇의 이동 경로 예측과 네트워크 상태 분석을 통해 최적의 핸드오버 시점을 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 다양한 센서를 활용하여 로봇의 이동 데이터를 수집하고, 미래 이동 경로를 예측한다. 예측된 경로는 실제 이동 가능 지역에 매핑 되며, 접속 가능한 네트워크 후보들을 미리



(a) RSRP 기준 핸드오버 정책 적용



(b) 제안한 핸드오버 정책 적용

Fig.1. WLAN 송신기와의 거리에 따른 접속 네트워크 변화

파악하고, 최적의 네트워크를 선정한다. 접속 네트워크 변경 이후에는 네트워크 연결 안정성을 위해 접속 네트워크의 상태를 지속적으로 모니터링 한다. 자율 이동 로봇이 WLAN 에서 5G 이동 통신 네트워크로 이동하면서, WLAN 과 5G 이동 통신 네트워크 간 전환 실험을 통해, 기존 핸드 오버 방식은 채널 페이딩에 따라 네트워크가 빈번히 변경되어 안정성이 떨어지는 반면, 본 논문에서 제안한 버티컬 핸드오버 방식은, 자율 이동 로봇의 이동 경로를 예측함으로써 WLAN 과 5G 이동통신 네트워크 사이에 안정적인 네트워크 전환이 이루어짐을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단, 무인이동체원천기술개발사업단의 지원을 받아 무인이동체원천기술개발사업을 통해 수행되었음. (NRF-2020M3C1C1A02086427)

참 고 문 헌

- [1] T. Luong et al., "Investigating the 5G Handover in Autonomous Mobile Robotic Applications," IEEE RAAI 2023, Singapore, Singapore.
- [2] A. Ahmed, L. M. Boulahia and D. Gaïti, "Enabling Vertical Handover Decisions in Heterogeneous Wireless Networks: A State-of-the-Art and A Classification," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 2, pp. 776-811, 2014.