

WPAN기반 원격 조종로봇 유효통신거리 확장을 위한 다 개체 로봇 추종주행기법

Multi-Robot Following Navigation Method for Valid Communication Distance Extension of WPAN Based Remote Control

김 윤 구¹, 김 영 덕¹, 안 진 응[†], 김 경 동², 허 지 광², 이 석 규²

Yoon-Gu Kim¹, Young-Duk Kim¹, Jinung An[†], Kyoung-Dong Kim²,
Zhi-Guang Xu², Suk-Gyu Lee²

Abstract An increasing number of researches and developments for personal or professional service robots are attracting a lot of attention and interest industrially and academically during the past decade. Furthermore, the development of intelligent robots is intensively fostered as strategic industry. Until now, most of practical and commercial service robots are worked by remotely operated controller. The most important technical issue of remote control is a wireless communication, especially in the indoor and unstructured environments where communication infrastructures might be destroyed by various disasters. Therefore we propose a multi-robot following navigation method for securing the valid communication distance extension of the remote control based on WPAN(Wireless Personal Area Networks). The concept and implementation of following navigation are introduced and the performance verification is performed through real navigation experiments in real or test-bed environments.

Keywords: Following navigation, Multi-robot, WPAN, Unstructured environment, Communication extension

1. 서 론

최근 다양한 형태의 전문적 또는 개인적 서비스를 제공 해줄 수 있는 서비스 로봇들의 개발과 출시가 활기를 띠고 있다. 이러한 로봇들이 자율 이동성(Mobility)을 가지는 서비스를 제공해주기 위한 위치인식, 지도작성, 경로계획 등을 통한 자율주행 지능을 가지는 지능형 이동로봇 및 다 개체 로봇으로의 연구개발을 오랜 기간 해오고 있지만, 현재까지도 무인화 자율주행 성능은 실용적 수준에는 미치

지 못하고 있고 대부분 실용로봇들은 원격 조종에 의해 운용되고 있는 실정이다^{1,5}. 이러한 원격 조종 서비스 로봇은 유무선 통신을 통한 원격 조종에 의해 운전되고 있고 특히 무선통신은 통신성능에 매우 의존적이다. 다양한 무선통신 기술로 원격 조종이 가능하지만, 통신인프라가 없거나 소실된 실내환경이거나 소방방재 및 재난환경 등의 비 구조화된 환경 (Unstructured environment)에서는 무선통신 고유의 전파 특성적 결함에 의해 원격 조종에 아주 많은 제약을 받고 있다. 무선통신 RF 파형의 고유한 특성이 일으키는 어려운 문제들은 다중경로 설정, 충돌, 간섭 및 신호 전송 성능의 불안정과 약화를 초래하는 전달 경로 등이 있으며, 이러한 문제를 극복하기 위해 다양한 연구가 있었지만 RF 파형의 고유한 특성 문제가 여전히 남아 있다^{6,7}.

이에 본 논문에서는 이러한 비 구조화된 환경, 특별히

Received : Jul.16.2010; Reviewed : Oct.28.2010, Accepted : Nov.12.2010

※ 본 연구는 “지식경제부”, “한국산업기술진흥원”, “대구경북광역경제권 선도산업지원단”의 광역경제권 선도산업 육성사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[†] 교신저자: 대구경북과학기술원 실용로봇연구소 소장

¹ 대구경북과학기술원(DGIST)

² 영남대학교 전기공학과

소방방재 및 재난환경에서의 화재진압, 구조 및 인명탐색, 재난환경 모니터링 등의 전문서비스를 지원하는 원격 조종로봇의 원격 조종 시 요구되는 통신 신뢰성을 보장하고 유효통신거리를 확장해줄 수 있는 WPAN 기반 다 개체 로봇 추종주행기술을 설계, 구현하고 실제 모바일 로봇에 적용하여 그 성능을 검증하고자 한다. 이를 위해 우선적으로 원격 조종 유효통신거리 확장을 위한 다 개체 로봇 기반 추종주행기법의 개념과 시나리오를 2장에서 설명하고, 3장에서는 WPAN 무선통신 모듈의 설계와 구현과정을, 4장에서는 모바일 로봇 적용, 테스트 결과를 수집하여 그 성능을 분석하였다. 5장에는 본 연구의 결론으로 마무리하였다.

2. WPAN 기반 다개체 로봇 추종주행기술

본 연구의 궁극적 목적을 위한 WPAN기반 다 개체로봇 추종주행제어기술은 로봇-원격 조종기 간 또는 로봇-로봇 간 유효통신거리를 유지하면서 선두로봇의 주행을 추종하여 주행하기 위한 제어 기술로 정의한다. 이에 필요한 기술로는 센서 노드 간 고정밀 거리정보기반 유효통신거리 유지기술, 탐색 및 정보수집 범위확장, 로봇간 근간격유지, 장애물회피, 선두로봇 추종기술 등이 필요하다. 추종주행 제어 알고리즘 개발의 목적은 극한환경에 투입되어 임무 수행하는 로봇의 유효통신거리 확보를 통하여 로봇과 로봇, 또는 로봇과 원격 조종기 간 제어정보 및 환경정보의 송수신 신뢰성을 보장하고 중계형 로봇 기반의 멀티로봇을 운용하여 협업을 통한 임무 완수를 그 목적으로 한다.

2.1 Leader로봇 추종주행기술의 운용시나리오

WPAN기반 다 개체 로봇 추종주행제어기술의 개념적 운용시나리오를 설정하고 그 구체적인 구현방안을 강구한다. 우선적으로 운용시나리오는 Leader 로봇의 주행정보에 의존하여 추종주행하는 방법과 Leader 로봇과 근접주행하며 추종주행하는 방법으로 설정하였다. 그림 1과 2에서는 운용시나리오를 개념도화하였다. 전자의 선두로봇 주행정보 의존형 추종주행은 아래의 절차에 따라 운용된다.

- ① Leader 로봇(선두로봇)과 원격 조종기 간 통신 인터페이스 후 투입
- ② 원격제어조종 기반의 Leader로봇 주행, Follower로봇과의 유효통신거리유지(Auto-Spacing)
- ③ 원격 조종기와 Leader로봇간 유효통신거리를 벗어나는 경우 Follower 로봇(중계로봇)투입

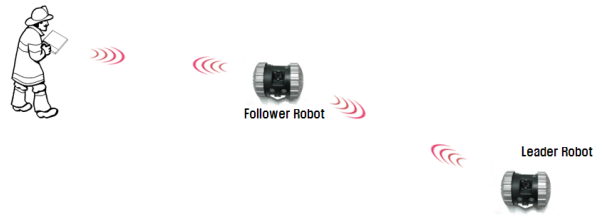


그림 1. Leader로봇 주행정보 의존형 추종주행



그림 2. Leader로봇 근접주행형 추종주행

- Leader 로봇과의 유효통신거리유지, Follower 로봇의 자율추종주행 (로봇추종주행기술)
- 통신중계 노드 및 주변 모니터링 역할 수행
- ④ Leader 로봇은 Follower 로봇과의 유효통신거리를 유지하면서 계속 주행
 - 탐색범위 확장 및 환경정보수집 계속 수행

후자의 선두로봇 근접주행형 추종주행은 아래의 절차에 따라 운용된다.

- ① Leader 로봇과 Follower 로봇을 동시 투입
- ② 원격 조종 기반 Leader 로봇의 선두주행, Leader 로봇과의 근간격 유지 Follower 로봇의 자율추종주행
- ③ 원격 조종기와 로봇 간 유효통신거리를 벗어나는 경우 Follower 로봇이 통신중계 노드 역할 수행
 - 현 위치에서 주행을 멈추고 Leader 로봇과의 통신중계 및 주변 모니터링 역할 수행
- ④ Leader 로봇은 Follower 로봇과의 유효통신거리를 유지하면서 계속 주행
 - 탐색범위 확장 및 환경정보수집 계속 수행.

2.2 Leader 로봇 추종주행기술

Leader 로봇 주행정보 의존형 추종주행을 위해서는 그림 3에서 보듯이 선두로봇의 주행정보를 상대적 좌표 또는 Grid 지도정보로 생성하여 Follower 로봇에게 전달한다. Follower 로봇은 선두로봇의 주행정보에 의존하여 Leader 로봇을 추종하여 주행하게 되며 이때 현재의 주행정보를

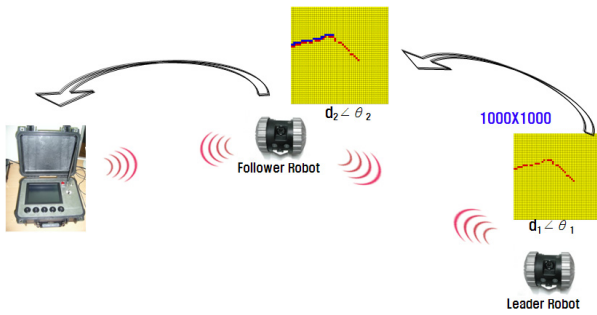


그림 3. 선두로봇 주행정보 의존형 추종주행기술

갱신하여 원격 조종기에 전달하게 된다. 원격 조종기에서는 수신된 좌표정보 또는 지도정보를 기반으로 투입된 로봇들의 현재위치 및 주행정보를 파악할 수 있으며, Leader 로봇으로부터 중계 전송되어온 영상 및 센싱 정보를 통해 화재 및 재난 환경에서의 상황정보 수집 및 재난 대응의사 결정지원정보를 제공해주게 된다. 더불어 재난환경 내 통신신뢰성을 보장하고 유효통신거리를 확장하기 위한 후속 Follower 로봇의 투입을 판단하게 된다.

Follower 로봇이 선두로봇을 추종하기 위해 제공되는 Leader 로봇의 주행정보로 로봇 간 상대적 거리정보는 로봇에 탑재되는 RF 통신모듈에서는 제공하는 Ranging 기능으로 거리 측정이 가능하며, 방위정보는 Leader 로봇의 지자기 센서와 자이로 센서로 보정된 방위정보를 전달받아 추종하게 된다.

2.3 IEEE 802.15.4a 기반 Ranging 기능

IEEE 802.15.4a 는 기존 15.4의 실제 필드에서 제시한 문제점들을 해결하기 위한 표준이다. 보다 정확한 거리 측정, 통신 범위의 안정성 (50 ~ 100 meter), multi path의 영향 고려, 기타 다른 무선통신으로부터의 영향 고려, mobility 강화 등을 해결하고자 하였다. Ranging 기능을 위해 802.15.4a 에서는 수십 cm 급의 정밀도를 요구하고 있으며, 주로 TOA, TDOA 및 TWR ranging (Round-Trip Time을 이용)방식이 사용된다. [8] 본 연구에서 사용하는 nanoLOC^[9] Ranging 기능을 위한 Symmetrical Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR)기법은 Time of Flight(ToF)에서 클락 동기화의 개선을 위해 RTT (Round Trip Time) 기법을 사용한다고 했는데, SDS-TWR은 Chirp Spread Spectrum(CSS) 변조기술을 이용해 이 부분을 한 단계 더 보완함으로써 RF 신호의 다중경로 전파나 노이즈 문제 등에 대한 확실한 해결책을 제시한다. 결과적으로

SDS-TWR은 일반적으로 Ultra Wide Band(UWB)에서나 가능한 1미터 수준의 정밀도를 갖는 위치계산을 가능하게 해준다. [10] 그림 4에서는 nanoLOC Ranging 기능의 개념적 흐름도이다. 그림에서와 같이 Peer A에서 Peer B 사이의 거리측정과 Peer B에서 Peer A로의 거리측정이 대칭적 (Symmetrical)으로 이루어지며, 거리측정이 쌍방의 2개 Peer 디바이스에 의해 실행되므로 양면적(Double-sided) 특성을 가진다. 또한, Data packet과 자동 H/W Ack packet이 각각 거리측정을 위한 시간값(Time Value)을 제공하므로 양방향성(Two-Way)이다. [9]

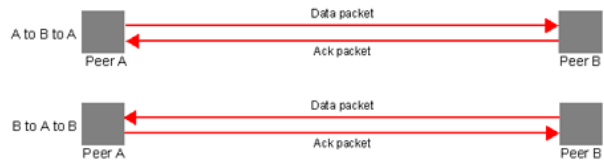


그림 4. nanoLOC Ranging^[9]

3. WPAN 무선통신 모듈의 설계와 구현

원격 조종을 위한 영상정보의 수신과 제어정보 및 센싱 정보의 송수신을 담당하는 IEEE802.15.4a 기반 WPAN 무선통신 모듈개발은 하드웨어와 소프트웨어의 설계 및 구현으로 진행하였다.

3.1 RF통신 모듈 개발

개발된 RF 통신모듈 보드는 범용적으로 실전 배치가 가능하고 기존의 802.15.4/Zigbee 모듈과 호환성 및 상호 운용성이 우수하며, 높은 Radio Range, 높은 Reliability, Ranging/localization 지원, 낮은 전송지연 및 이동성 지원, 저렴한 비용 등의 특징을 가지는 IEEE802.15.4a 무선통신 방식을 채택하였다. 이 무선통신방식의 RF 통신모듈 구현을 위해 nanoPAN 5375 RF 모듈(Nanotron Technologies^[9])을 사용하였으며, MCU 및 ETHERNET 통신을 위한 PHY CHIP을 포함하였다. 또한, 디버깅을 위한 UART 0, 제어 신호 통신을 위한 UART 1 포트를 제공하도록 하였다. 그림 5에서는 RF 통신모듈의 시스템 구성 블록 다이어그램을 보여주고 있다. RF통신모듈의 MCU와 외부 영상모듈(로봇 측) 또는 UMPC(원격 조종기 측) 간에는 UDP 프로토콜을 사용하여 클라이언트/ 서버 환경의 영상송수신이 가능하다. RF통신모듈과 로봇 간에 UART TTL 레벨로 상

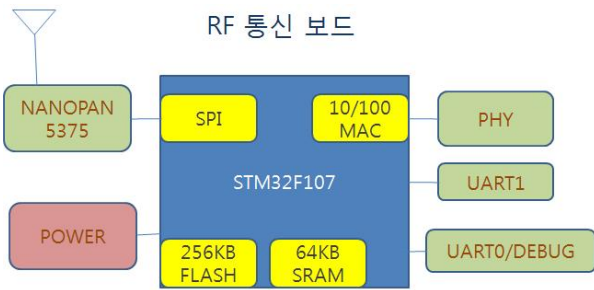


그림 5. RF통신모듈의 시스템 구성

호 연결하며 모든 데이터처리는 Request 방식을 사용하여 통신모듈에서 데이터 Request 요청이 있을 때에만 영상모듈 및 로봇, UMPC 각각에서 데이터를 통신모듈로 전송할 수 있도록 하였다.

3.2 통신모듈 H/W 설계 및 구현

통신모듈의 H/W는 CPU Block, PHY Block, RF Module Block, Power Block으로 구성된다. CPU Block에서는 Cortex-M3의 핀맵(Pin Map)을 정의하고 Reset 버튼과 Programming jumper를 구현하였다. 또한, SPI host, USART 2 port, Ethernet MAC의 기능을 정의하였다. MCU의 메인 전원은 3.3V를 사용하며 전원 안정화를 위하여 Bypass capacitor를 사용하였다. Digital power와 Analog power를 Ferrite bead를 통하여 분리하였으며, 25MHz main Crystal, 32.768 RTC Crystal을 적용하였다. PHY Block에서는 Ethernet PHY 기능을 구현하고, MCU의 MAC과 MII 인터페이스를 제공하며, RJ45 Connection 및 Transceiver 기능을 동시에 갖춘 RJ54 Connector를 선정하여 구현하였다. 또한 Link LED와 Status LED 기능을 제공하고, 25 MHz의 메인 클럭을 제공한다. RF Module Block에 사용한 nanoPAN 5375 RF Module은 표 1과 같은 기술 사양을 지원하고 있다. 그림 6은 개발된 RF 통신모듈을 로봇에 연결한 상태의 작동 및 성능시험을 보여주고 있다.

표 1. nanoPAN 5375 Specification 설명

Item	Description
Ranging 정밀도	2m(실내)/1m(실외)
Data rates	최대 2 Mbps
SPI interface	27 Mbps/ slave모드
Receiver sensitivity	Up to -97 dBm
Output power	-33 to 0 dBm
Modulation	CCS(Chirp Spread Spectrum)



그림 6. 개발 RF통신모듈 보드의 성능시험

3.3 통신모듈 S/W 설계 및 구현

로봇 측 RF통신모듈은 원격 조종기로부터 CMD(0x4e4f)를 수신하면 RF 통신모듈은 카메라와 로봇 쪽으로 CMD(0x0003) 신호를 보내어 카메라의 영상정보와 로봇의 센싱 정보를 요청한다. 로봇 주변 영상과 센서 데이터를 수신한 RF통신모듈에서는 영상 및 센서 데이터와 Ranging 정보를 포함해서 전체 데이터 Frame을 구성하고 CMD(0xffd8)를 통해 원격 조종기의 RF통신모듈로 전송하게 된다. 한편, 원격 조종기로부터 CMD(0x4353)을 수신하게 될 경우 RF 통신모듈에서 카메라 쪽으로는 CMD(0x0003)을 보내고, 로봇 쪽으로 로봇제어정보가 포함된 전체 데이터 프레임을 보내고 다시 CMD(0x0003)을 보내 센서 데이터를 요청한다. 마찬가지로, 요청 CMD를 수신한 카메라에서는 영상 데이터를 RF 모듈로 전송하고, 로봇에서는 수신한 데이터에 포함된 로봇 주행제어를 수행 후, 센서 데이터 RF 모듈로 전송하게 된다. 이러한 일련의 메시지 교환과정은 그림 7에 도식화 되어 있다. 그림 8에서는 영상과 센서 데이터를 모두 수신한 원격 조종기 측 RF 통신모듈에서의 데이터 흐름도를 보여주고 있다. 원격 조종기의 RF 통신모듈에서는 CMD(0xffd8)를 통해 영상 데이터 및 센서 데이터를 수신하게 된다. 이러한 데이터 수신 시 RF Payload가

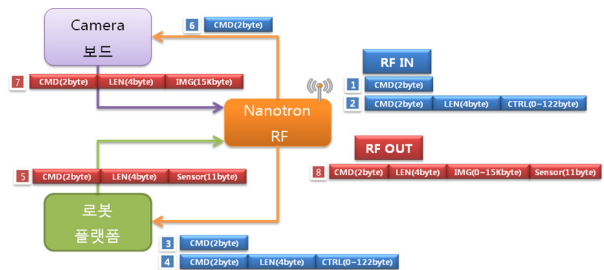


그림 7. 로봇 측 Data & Control 요청 흐름도

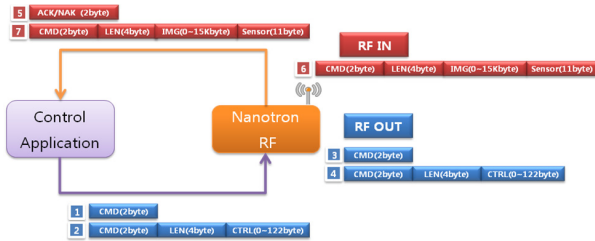


그림 8. 원격 조종기 측 Data & Control 요청 흐름도

128 Byte이므로 한번에 전송이 불가능하기 때문에 RF Payload 최대 사이즈인 128 Byte씩 잘라서 전체 데이터를 수신하게 된다. 원격 조종기의 RF 모듈로부터 수신된 데이터 Frame은 UDP(User Datagram Protocol)를 통해 원격 조종기 User Program으로 데이터를 전송되기 때문에 에러 유무를 검증하기 위한 CRC16체크섬(Check Sum) 정보를 추가하였다. 표 2와 3에서는 통신모듈의 구현 S/W Function 과 로봇-원격 조종기 간 Command 들을 설명하고 있다.

표 2. S/W Function 설명

Function	Description
Lwip	STM32 TCP/IP Stack
SPI	NanoLOC 5375 제어 드라이버
UDP	영상 데이터 송/수신
Uart Ch1	Robot 센서데이터 및 제어신호 송/수신
Uart Ch0	디버깅 & 테스트
NanoLoc Driver	NanoLoc 5375 제어 코드
Timer 2	NanoLoc Delay / SPI Delay
Application	원격 조종기 & ROBOT 간 영상 및 제어 신호 송/수신 명령제어

표 3. 로봇-원격 조종기 간 Command 설명

Command	Description
0x4e4f	영상 센서 데이터 요청 (원격 조종기>RF통신모듈)
0x4353	로봇 제어 및 영상/센서 데이터 요청 (원격 조종기>RF통신모듈)
0x0003	영상 및 센서 데이터 요청 (RF통신모듈>영상모듈/로봇)
0xffd8	영상 및 센서 데이터 전송 (RF통신모듈>원격 조종기)

4. 성능검증 및 분석

개발된 RF 통신모듈기반 원격 조종로봇의 Leader-

Follower 로봇 간 추종주행성능 검증 및 분석을 위해 본 연구에서는 AVR Mobile 로봇플랫폼(㈜호야로봇^[11]) 과 P1 로봇플랫폼(MobileRobots Inc.^[12])을 각각 Leader 로봇과 Follower 로봇으로 사용하여 실험하였다. 본 연구에서 개발한 무선통신모듈의 IEEE 802.15.4a 방식에서 제공한 Ranging 기능을 사용하여 로봇 간 거리 값을 추출하였고, 그 거리 값의 오차를 보정하기 위해 Kalman Filter를 적용하였다. 그리고 Follower 로봇의 보다 안정적 주행제어를 위해 PD 제어를 사용하여 보다 정확하고 부드러운 추종주행이 가능하도록 구현하였다.

그림 9에서는 Follower 로봇이 Leader 로봇을 추종주행하여 로봇 간 등(等)간격 유지하면서 통신유효거리 확장해 나가는 실험을 위한 실험환경의 시스템의 구성을 보여주고 있다. 실험을 위한 원격 조종기는 노트북에서 우선 구현하여 통신모듈을 통한 영상수신 및 Leader 로봇의 주행 제어와 센싱정보의 송수신 기능이 가능하도록 하였고, Follower 로봇은 통신중계 노드 역할수행과 자율추종주행을 담당하도록 구현하였다. Leader 로봇은 원격 조종기의 가감속 및 조향 제어정보에 따른 주행기능과 온도 및 산소, 유독가스, 온도, CO, 배터리 잔량, 자이로 센서의 자체정보 등을 원격 조종기로 전송하는 기능을 구현하였다. 또한, Leader 로봇에는 WPAN 기반 영상 전송을 위한 Camera 영상 Data 압축 Board 개발하여 통신모듈과 인터페이스하여 영상 Data 획득, 압축, 전송을 제어하는 H/W 플랫폼으로 작동하고 있다.

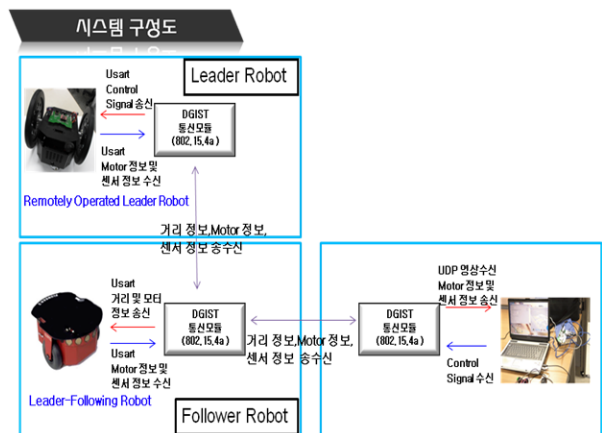


그림 9. 추종주행기술 구현을 위한 시스템 구성

4.1 Kalman Filter를 이용한 Ranging 불확실성 추정

본 실험에서는 로봇 간 거리정보의 불확실성 추정을 위

해 Kalman Filter를 적용하였다. 로봇 간 거리정보(d)는 엔코더 정보와 이동속도입력 정보에 의해 추정하며, RF통신 모듈의 Ranging 측정정보를 이용하여 엔코더 정보에 의해 추정된 거리정보를 업데이트하는 방식으로 Kalman Filter를 적용하였다. 이 Kalman Filter의 적용은 1차원 동적 시스템 모델로 정의가 가능하며 다음의 Kalman Filter 식들로 간략화 정리하였다.

$$\hat{x}_{k+1}^- = \hat{x}_k + u_k + w_k, \quad (1)$$

$$d_{k+1} = d_k - \sqrt{(\Delta t v_k \cos \theta_k)^2 + (\Delta t v_k \sin \theta_k)^2}, \quad (2)$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \frac{\Delta t v_k \tan \phi_k}{L}, \quad (3)$$

$$P_{k+1}^- = P_k + \sigma_{w_k}^2, \quad (4)$$

$$K = \frac{P_{k+1}^-}{P_{k+1}^- + \sigma_{RF_{k+1}}^2}, \quad (5)$$

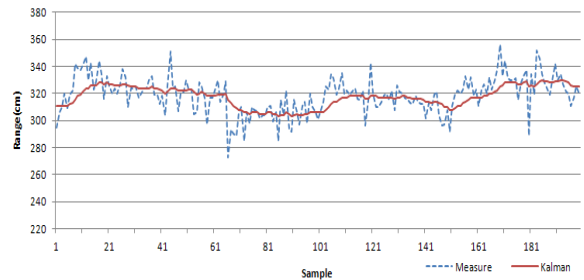
$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + K(z_{k+1} - \hat{x}_{k+1}^-), \quad (6)$$

$$P_{k+1} = P_{k+1}^- (1 - K). \quad (7)$$

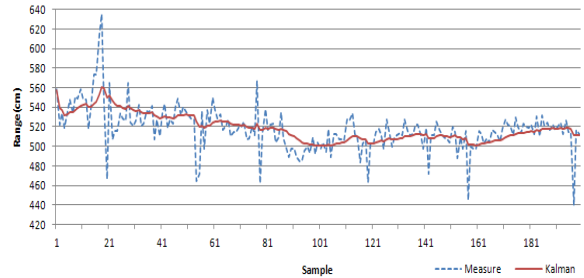
상태방정식 (1)의 x_k 는 선두로봇과의 거리(d_k)이고 u_k 는 선두로봇이 이동하는 거리의 입력정보, w_k 는 이동거리 공정오차이다. 선두로봇과의 거리(d_k)를 구하기 위한 식 (2)와 (3)은 차동형 로봇의 일반적인 모션 모델이다. 여기서 v_k 는 로봇의 이동속도, ϕ_k 는 로봇의 회전각, L 은 로봇의 양쪽 바퀴 간 거리이다. 또한, z_k 는 측정방정식으로 RF 통신모듈에서 측정된 거리이고 측정오차 RF_k 를 포함한다. P_k 는 상태추정오차 공분산이다. 식 (1)를 의해 다음 상태를 예측하고 상태방정식의 공정오차 분산 $\sigma_{w_k}^2$ 과 RF Ranging 측정정보 오차 분산 $\sigma_{RF_{k+1}}^2$ 의해 조절되는 칼만이득(Kalman gain) K 를 구하고 최종적으로 식(6)와 (7)을 이용하여 예측한 상태를 보상하며 시스템 상태를 업데이트 하는 과정을 거친다. 이러한 순환적 예측과 수정 과정을 거

치며 Ranging 정보의 불확실성을 줄여가도록 구현하였다.

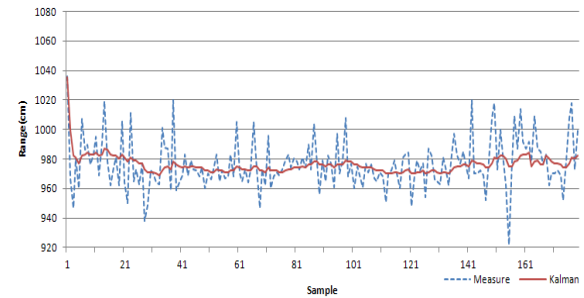
그림 10에서는 일정 등간격 3m, 5m, 10m를 유지하면서 Leader 로봇을 추종하며 주행하는 Follower 로봇의 등간격 유지 주행성능을 유효통신거리 오차 보정 전후의 결과로 비교하였다. 거리오차 보정 전 각 등간격 주행시험에서는 12.7cm, 22.5cm, 17.1cm의 등간격 유지 편차를 보였고, 이를 Kalman Filter로 오차 보정 후에는 각각 7.7cm, 13.0cm, 6.7cm 편차로 개선된 성능결과를 보였다. 이러한 실험결과는 실험 환경이 실내 복도환경으로 모바일 로봇의 이상적 주행 조건이었기에 가능하리라 판단되며, 실제 재난환경에서의 비정형적이고 돌발적인 상황이 많은 지형에서는 추종주행 성능이 보다 큰 편차의 등간격 유지성능을 보일 것



(a) 3m



(b) 5m



(c) 10m

그림 10. 등간격 유지 추종주행 성능비교

으로 예상된다. 또한, 유효통신거리의 유지는 통신모듈의 자체성능뿐만 아니라 통신성능에 영향을 미치는 주변환경적 요소들에 많은 영향을 받을 것으로 예상되므로 보다 강한 유효통신 보장기술과 신속한 추종주행 제어기술이 Follower 로봇에 요구된다.

4.2 선두로봇 주행정보기반 추종주행제어

최초 투입 선두로봇의 통신 신뢰성을 최우선 보장하기 위해 선두로봇과 원격 조종기 간 통신두절이 잦아지는 임계 거리(범위)에서는 Follower 로봇을 투입하여 통신 중계 노드로서의 역할을 수행토록 한다. 이에 통신이 두절되는 상황은 각 통신모듈 노드간 Ranging 정보를 기반으로 미리 예측할 수 있고 추종중계로봇은 선두로봇과의 유효 통신거리 유지기능(Auto-spacing)을 통해 유효 통신거리를 벗어나지 않는 범위 내에서 주행을 하도록 하고 있다. 더불어, 추종로봇은 원격조종에 의한 주행이 아닌 유효통신 범위 내에서 자율적 주행을 하므로 가능한 범위를 벗어나지 않도록 제한되어있다.

그림 11에서는 선두로봇의 주행정보기반의 Leader-Follower 로봇 간 등간격 유지 추종주행중인 Leader 로봇과 Follower 로봇을 보여주고 있다. 추종주행을 위한 속도 제어의 경우 등간격 거리유지 오차에 따른 목표 속도값이 결정되어 PI 제어만으로도 목표값으로 제어가 가능하지만, 일정한 시간(시정수)가 필요하다. 이때 시정수가 크면 외란이 있을 때의 응답 성능이 나빠지는 경향이 있다. 본 시스템의 추종주행 제어에 있어서 응답성능의 저하는 유효통신거리를 보장하는 데 치명적 영향을 미치는 것이 실험적으로 판단되었다. 이러한 주행 특성을 고려하여 주행정보



[그림 11] Leader-Follower로봇 간 추종주행

의 엔코더 값을 일정하게 해서 목표 속도값에 보다 안정적이고 빠르게 응답하는 PD 속도제어 함수를 구현하였다.

5. 결론

본 연구에서는 비구조화된 환경, 특별히 소방방재 및 재난환경에서의 화재진압, 구조 및 인명탐색, 재난환경 모니터링 등의 전문서비스를 지원하는 원격 조종로봇의 원격 조종 시 요구되는 통신 신뢰성을 보장하고 유효통신거리를 확장해줄 수 있는 WPAN 기반 다 개체 로봇 추종주행기술을 설계, 구현하고 실제 모바일 로봇에 적용하여 그 성능을 검증하였다. 원격 조종 유효통신거리 확장을 위한 다 개체 로봇 기반 추종주행기법의 개념과 시나리오를 정리하고, WPAN 무선통신 모듈의 설계와 구현을 통한 모바일 로봇 적용, 테스트 결과를 수집하여 그 성능을 분석하였다. 향후 연구로는 실제 재난현장에서의 실험적 적용을 위해서 보다 강한 실내 통신성능과 추종로봇의 자율적 주행 성능향상이 요구되므로 이를 위한 지속적인 연구가 필수적이다. 또한, 보다 넓은 범위의 탐색 및 환경 모니터링을 위해서는 유효통신거리 확장이 필수적이며 이를 위해서는 다수 로봇이 투입되어 공동임무를 수행하는 멀티로봇 기반 협업 알고리즘 및 군집지능 연구가 수반되어야 보다 실용적 로봇운용이 가능하리라 판단된다.

참고문헌

- [1] Patrick McDowell, Brian Bourgeois, Pamela J. McDowell, S. S. Iyengar, and Jianhua Chen, "Relative positioning for team robot navigation", *Autonomous Robots*, Vol.22, No.2, pp.133-148, February 2007.
- [2] Alejandro R. Mosteo, Luis Montano, and Michail G. Lagoudakis, "Guaranteed-Performance Multi-robot Routing under Limited Communication Range", *Distributed Autonomous Robotic Systems* 8, pp.491-502, May 2009.
- [3] Sebastian Thrun and Yufeng Liu, "Multi-robot SLAM with Sparse Extended Information Filters", *Springer Tracts in Advanced Robotics, Robotics Research*, Vol.15 / 2005, pp.254-266, August 2005.
- [4] L. Chaimowicz, A. Cowley, D. Gomez-Ibanez, B. Grocholsky, M. Hsieh, H. Hsu, J. Keller, V.

Kumar, R. Swaminathan, and C. Taylor, "Deploying Air-Ground Multi-Robot Teams in Urban Environments", Multi-Robot Systems, From Swarms to Intelligent Automata Vol.III, pp.223-234, December 2005.

[5] Kyung-Sik Choi, Yoon-Gu Kim, Jinung An, and Suk-Gyu Lee, "Enhanced Mapping of Multi-robot Using Distortion Reducing Filter Based SIFT", Lecture Notes in Computer Science, Advances in Swarm Intelligence, Vol.6145 / 2010, pp.651-658, June 2010.

[6] Y. Kim, H. Kim, S. Lee, and K. Lee, "Ubiquitous Home Security Robot based on Sensor Network," The 2006 IEEE - WIC - ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2006), Hongkong, December 2006.

[7] 이문구, "실시간 무선 원격 제어 시스템에 관한 연구", 전자공학회논문지-CI편 제46권 제6호, pp.63-69, 2009.11.

[8] 허환, 안효성, "Chirp Spread Spectrum 방식의 전파 신호를 이용한 거리측정 회로 설계," 2008 정보통신분야학회 합동학술대회 논문집, 2008.11.

[9] nanoPAN 5375 RF Module, http://www.nanotron.com/EN/PR_nL_nPAN5375_module.php

[10] "RTLS 솔루션 분석(1) - 위치계산 시스템", 월간 시큐리티월드 통권 제131호

[11] 호야로봇(주), <http://www.hoyarobot.com/>

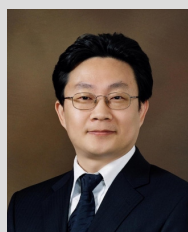
[12] MobileRobots Inc., <http://www.mobilerobots.com/>



김영덕

2004 성균관대학교 컴퓨터교육과(이학사)
 2006 포항공과대학교 정보통신학과(공학석사)
 2006~현재 대구경북과학기술원 선진임연구원

관심분야: 로봇통신시스템, 소방방재로봇, 무선센서네트워크



안진웅

1997 KAIST 기계공학과 (공학석사)
 2005 KAIST로봇공학과 (공학박사)
 2005~2008 광운대학교 정보제어공학과 교수

2008~현재 DGIST 실용로봇연구소 소장
 관심분야: Brain Robot Interface, Biomimetics, Human-Robot Interaction, Haptics, USN, Green IT
 Email : robot@dgist.ac.kr



김윤구

2005 영남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 2008 영남대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 2008~현재 대구경북과학기술원 선진임연구원

관심분야: 지능로봇, 자율주행로봇, 지능형 무인자동차, 자동제어



김경동

2010 영남대학교 전자공학과 (공학사)
 2010~현재 영남대학교 로봇공학과 석사과정
 관심분야: 로보틱스, 자동화, 임베디드 제어



허지광

2009 Tianjin University of Science and Technology, China Electrical Engineering and Automatic (Bachelor of Engineering)

2009~현재 영남대학교 전기공학과 석사과정

관심분야: 자동제어, 자율주행로봇, 멀티로봇



이석규

1979 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1981 서울대학교 전기공학과 (공학석사)

1990 UCLA 제어공학과(공학박사)

1982~현재 영남대학교 전기공학과 교수

관심분야: 제어공학, 로봇공학