IEEE 802.15.4a 기반 다중 이동 로봇용 원격제어 플랫폼 설계

남영진*, 박영균*, 남민석*, 김창훈*, 김종완*, 이상철**, 강진규**, 이동하**
*대구대학교 컴퓨터·IT공학부
**대구경북과학기술원
e-mail:yjnam@daegu.ac.kr

Design of an IEEE 802.15.4a-based Remote Control Platform for Multi-Robots

Young Jin Nam*, Young Gyun Park*, Min-Seok Nam*, Chang-Hoon Kim*, Jong-Wan Kim*, Sang-Chul Lee**, Jin-Gyu Kang**, Dong-Ha Lee**
*School of Computer and Information Technology, Daegu University
**Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.4a 근거리 무선 네트워크를 이용하여 다중 이동 로봇을 사용자 휴대 단말을 이용하여 실시간으로 편리하게 제어하기 위한 플랫폼을 설계하고 그 기본기능을 검증한다. 제안한 원격제어 플랫폼은 IEEE 802.15.4a 기반의 최초의 원격제어 플랫폼으로서 그 의의를 가지며, 자동 스페이싱(auto-spacing)을 기반한 다중 로봇 그룹이동과 IEEE 802.15.4a의 거리측정 기능과 초음파 및 자이로센서를 이용한 상대각측정 기능을 이용한 협동위치인식(cooperative localization) 기능을 제공하는데 기존 기법들과의 차별성이 존재한다.

1. 서론

다수의 이동 로봇(이하 다중 이동 로봇)이 상호 협력을 통해 하나의 로봇이 수행할 수 있는 한계 이상의 작업을 수행할 수 있다. 예를 들어, 다중 이동 로봇은 전혀 혹은 부분적으로 알려져 있지 않는 지역에 대한 3차원 지도 작성, 인명구조작업, 혹은 위험공간(생화학테러, 식중독, 조류인플루엔자 확산공간 등)작업 등을 사람을 대신해 효율적으로 수행할 수 있다. 하지만, 다중 이동 로봇들이 효과적으로 작업을 수행하기 위해서는 정보교환 및 명령 송/수신을 위한 통신 능력과 원하는 장소로의 위치 이동을 위한 위치인식능력 및 로봇 간 협업을 위한 협동위치인식(cooperative localization: CL) 능력 등이 필수적이다[1].

주위 환경을 인식하고 특정 작업을 수행하기 위해서 스스로 주행하는 로봇(자율주행로봇)에 대한 많은 연구들이 진행되었다. 이와 별도로 사용자가 원격에서 직접 이동로봇을 제어하는 기법은 그 신뢰성 때문에 실제 현장에서 많이 이용되고 있다. 최근 예로, 2009년 9월 29일부터 화재현장진압을 위해서 실전 배치된 소방관 로봇도 이러한 원격제어 기능을 이용하는 것으로 알려져 있다. 로봇을 이용한 작업의 효율성을 제고하기 위해서는 하나 이상의 이동 로봇을 이용하는 것이 일반적이다. 하지만, 작업에 참여하는 다수의 이동 로봇에 대한 각각의 원격제어는 매우 힘든 작업 중에 하나이며, 이러한 문제점을 극복하기 위한 실질적인 연구는 매우 미약한 것이 현실이다.

이동 로봇 원격 제어를 위해 FM, 블루투스, 지그비(IEEE 802.15.4), WLAN 기반의 근거리 무선 통신 기술이 사용되었다. 최근, 안정된 SDS-TWR 방식의 거리측정기능을 제공하는 근거리 무선 통신 IEEE 802.15.4a[2]이 상용화되었으나, 이를 이용한 원격제어는 시도되지 않았다. 다중 이동 로봇을 위한 CL은 지역감시, 탐색 및 구조 작업 등 다방면으로 사용되고 있다. CL은 이러한 작업들을 수행하기 위해 협업에 참여하는 각 로봇이 정확한 위치와 방위를 갖도록 Odometer, 카메라, GPS 등을 이용하여 제어한다. Odometer는 그 오차로 인해 단독으로 사용되지 않고, 기본적으로 타 기법과 혼용해서 이용되고 있다. 카메라 기반 비전 기법은 정확도는 높으나, 영상처리를 위한 계산량이 높다는 문제가 존재한다. GPS의 경우에는 그 측정 오차가 크며, 실내에서는 그 기능을 사용할 수 없다는 문제점이 존재한다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a에서 제공하는 거리 측정 기능과 로봇에 장착되어 있는 자이로(gyro)센서와 초음파를 이용한 상대 각(angle) 측정 기능을 이용하는 새로운 CL 기법을 제공한다.

2. 이동로봇 원격제어 제안 플랫폼 설계

제안된 플랫폼은 아래 그림1과 같이 휴대단말 기반의 원격제어 사용자 I/F와 이동체 원격제어 모듈로 구성된다.

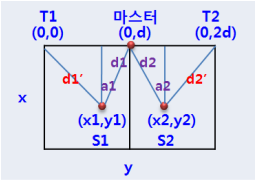
(그림 1) IEEE 802.15.4a 기반 다중 이동 로봇용 원격 제어 플랫폼 개략 구조

사용자 I/F는 사용자 UI 프로그램과 원격제어 모듈과의 통신을 위한 원격제어 스터브(stub) 모듈을 포함한다. UI 프로그램은 사용자가 최대 3대의 이동 로봇을 동시 제어 가능하도록 하며, 그룹이동/협동위치인식 등의 다양한 기능을 제공한다. 원격제어 스터브 모듈에는 Atmega128 MCU, IEEE802.15.4a 하드웨어 모듈을 포함하며, TinyOS 및 관련 MAC이 기본 탑재되어 있다. 이동체 원격제어 모듈은 각 이동 로봇의 이동체 제어기에 UART를 통해 부착된다. 본 모듈은 사용자 휴대단말 혹은 타 이동 로봇으로부터 수신된 명령 전처리 모듈, 이동 로봇 실시간 제어 모듈, 정밀거리측정 모듈, 협동위치인식 모듈, 그리고 자동 스페이싱(auto-spacing) 모듈로 구성되어 있다. 본 제안 플랫폼의 특징은 아래와 같이 요약된다. 첫째, IEEE 802.15.4a를 기반으로 한 최초의 다중 이동로봇 원격 제어 플랫폼이다. 둘째, 다중 이동 로봇에 대한 그룹이동 및 협동위치인식 등의 편리한 원격제어 기능을 제공한다. 셋째, IEEE 802.15.4a의 거리측정 및 상대 각 측정기능을 이용한 새로운 협동위치인식 제어 기법을 제공한다. 단, 본 플랫폼에서는 원격 영상전송은 다루고 있지 않으며, 로봇에서 제공하는 FM 방식 영상전송을 이용한다.

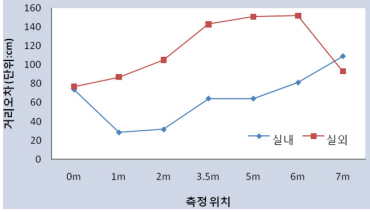
제안 플랫폼 구성요소 중에서 핵심적인 설계사항들만 간략하게 살펴보면 다음과 같다. 정밀거리측정 모듈은 IEEE 802.15.4a 모듈을 기반으로 동작하며, SDS-TWR[3] 기법을 이용한다. 본 모듈은 이동 로봇간의 일정거리를 유지하는 자동 스페이싱 모듈과 협동위치인식 모듈에 의해서 사용된다. 자동 스페이싱 모듈은 사용자 UI 프로그램으로부터 다중 이동체에 대한 그룹이동 명령 요청시 동작하는 모듈이며, 사용자가 그룹이동 명령을 일련번호가 낮은 로봇(마스터)에 전송함으로 동작을 시작한다. 다음으로, 마스터는 사용자가 정해준 진행각도로 진행각도(나침판)를 조정한 후에, 나머지 로봇(슬레이브)으로 진행각도를 송신하여 진행각도를 동일하게 맞추도록 한다. 끝으로, 마스터는 정해준 방향으로 진행하게 되며, 각 슬레이브는 정밀거리측정 모듈을 통하여 마스터와의 거리측정을 실시하면서 마스터로부터 수신된 거리 유지값(d)를 넘지 않도록 한다. 일정 거리 유지를 위해 d 값에 두 경계치 값(HWM, LWM)을 부가적으로 이용한다 (d≫HWM>LWM). 마스터와 슬레이브 사이의 거리가 (d-LWM) 보다 커지면 슬레이브는 마스터 방향으로 이동을 시작하며, 둘 사이의 거리가 (d-HWM) 보다 작아지면 움직임을 멈춘다. 협동위치인식 모듈은 다중 이동 로봇들이 사용자가 요구한 특정 위치형태(간격이 k 미터인 일렬횡대)를 사용자의 추가적인 조작없이 갖추도록 한다. 본 논문에서는 기존 협동위치인식 기법과 달리 이동 로봇간의 거리 정보와 상대 각 정보를 이용하여 동작한다. 그림 2에서 2차원 좌표(0,d)에 존재하고 있는 마스터는 (x1, y1), (x2, y2)에 위치하고 있는 슬레이브 S1, S2에 마스터에 대한 상대 각 및 거리를 구해달라는 명령을 전송한다. 각 슬레이브는 자이로 센서와 초음파(마스터로 향한 초음파 발생 후, 자이로를 이용한 방향감지)를 이용하여 상대 각을 구하고 IEEE 802.15.4a를 이용하여 거리를 구한 뒤에 마스터로 그 값을 전송한다. 마스터는 이를 기반으로 각 슬레이브들이 이동해야할 목적지 T1과 T2를 잘 정의된 알고리즘(알고리즘 생략)에 따라 결정하고, S1 및 S2가 이동할 각과 방향을 수식을 이용하여 최종결정(수식 생략)하여 각 슬레이브에게 알려줌으로써 실질적인 이동을 시작하도록 한다.

3. 성능시험 주요결과 요약

본 시험에서 사용한 이동 로봇은 2개의 바퀴를 장착하고 있으며, 로봇 제어를 위해 ATmega128 MCU를 기반한 펌웨어가 동작하고 있다. 제안한 원격 제어 플랫폼(특히, 원격제어 (스터브) 모듈)은 독립적인 ATmega128 MCU 및 Nanotron사의 IEEE 802.15.4a모듈 하드웨어를 이용하며 TinyOS 및 관련 MAC(nanoLOC)을 이용한다. 로봇 내 제어기/사용자 휴대단말과 원격 제어기 플랫폼은 보드레이드 38,400의 UART로 연결된다. 첫째, 정밀거리측정 모듈(자동 스페이싱/협동위치인식) 성능측정결과에 따르면 실내(양측에 3~4m 간격으로 철문이 있는 폭이 3m정도의 복도)에서의 평균오차는 64.6cm, 실외에서의 평균오차는 115.4cm정로도 파악되었다. 본 로봇 제어기의 주요 사용 용도가 실외환경임을 고려할 때, 오차가 다소 높음을 확인할 수 있다. (오차를 줄이기 위한 필터 및 보정 엔진 개발을 현재 진행 중이다.)

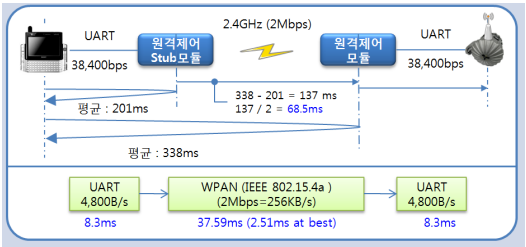


(그림 2) 협동위치인식 동작



(그림 3) 정밀거리측정 성능결과

위험지역에서 동작하는 이동 로봇 제어를 위해 요구하고 있는 실시간성은 약 100msec 정도로 파악하고 있다. 플랫폼 설계시, 제어를 위해 소요되는 최악의 시간은 약 54.19msec로 분석 되었다(분석 모델 생략). 실제 실험을 통하여 측정된 값은 약 338msec로 확인되었다. 무선통신을 위해 소요되는 시간은 68.5msec 미만인 반면, UART 모듈을 통과하는데 소요되는 시간의 200msec를 넘는 것으로 파악되었다. 이는 TinyOS에서 사용하고 있는 프로그래밍 모델 및 장치 구동기 구조로 인한 오버헤드로 판단되며 향후 성능 최적화가 필수적이다.



(그림 4) 실시간 제어 성능 분석 결과

4. 결론 및 향후계획

IEEE 802.15.4a기반의 다중 이동 로봇 원격제어를 위한 플랫폼을 최초로 제안하였으며, 사용자 원격제어의 편의성을 위한 그룹이동 및 협동위치인식 등의 기능을 제공한다. 향후연구로 보다 다양한 협동위치인식 기능 지원과 실시간성을 향상시키기 위한 소프트웨어 구조의 최적화 작업이 남아 있다.

Acknowledgement

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2009-C1090-0902-0045)

참고문헌

[1] L. Parker, "Current state of the art in distributed autonomous mobile robotics," Distributed Autonomous Robotic Systems, vol.4, pp.3-12, Springer, 2000.
[2] IEEE 802.15.4a, "Part 15.4 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network(LR-WPAN)," IEEE Society, 2007.
[3] R. Hach, "Symmetric double side-two way ranging," IEEE 802.15 WPAN documents, 15-05-0334-r00.