

교육용 소형 로봇을 이용한 군집로봇 시스템 구현

유영대[○] 장선아 양재군 박지현 배재학

울산대학교 컴퓨터·정보통신공학부

{z2822, koala}@mail.ulsan.ac.kr, {hyuny93, jgyang, jhjbae}@ulsan.ac.kr

An Implementation of A Multi-Robot System Using Educational Mini-Robots

Young-Dae Yoo[○], Seon-Ah Jang, Jae-Gun Yang, Ji-Hyun Park, Jae-Hak J. Bae
School of Computer Engineering and Information Technology, University of Ulsan

요 약

본 논문에서는 교육용 소형 로봇으로 구현한 군집로봇 시스템을 소개한다. 각 로봇에 내장된 블루투스 무선통신으로 군집로봇 네트워크를 구성하였다. 실험에 사용한 로봇은 LEGO[®] MINDSTORMS[®] NXT이다. 여러 로봇이 라인으로 표현한 대형 미로를 동시에 탐사하는 환경을 가정하였다. 이런 상황에서 각 로봇은 주어진 임무를 수행하면서 센서로 주변 환경 정보를 측정해서 대표 로봇에게 보낸다. 여기에 필요한 메시지 구조를 군집로봇에 적절하도록 설계하였다. 이렇게 군집로봇을 구현하고 실험한 결과, 그룹 대표 로봇이 통신을 중계하는 방법으로 통신거리 제약을 해소할 수 있었다.

1. 서 론

여러 대의 로봇을 이용한 탐사로봇[1]은 지형, 기후, 위험인자 등 관찰자가 접근하지 못하는 경우에 사람을 대신해서 탐사를 수행하는 로봇을 말한다. 예로써 남극을 탐사하는 노마드나 화성탐사로봇 소저노를 들 수 있다. 과거에는 우주나 극지방 탐사처럼 제한된 분야에서만 사용됐으나 로봇 기술이 발달함에 따라서 점차 산업 전반으로 응용 범위가 넓어지고 있다.

군집로봇[2,3,4]은 다수의 이동 로봇을 이용하여 넓은 범위를 효율적으로 경비하고 탐색하며 다수의 로봇을 효율적으로 운용하는 것이 목적이다. 최근 군집로봇에 대한 관심이 높아짐에 따라 군집로봇의 중요 기술인 로봇간 네트워크 구성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 군집로봇간의 통신을 위해 무선랜 기반의 매쉬 네트워크(Wireless Mesh Network)[5]를 활용하고 있다. 고정형 AP에서 무선랜이 도달하지 않는 거리의 로봇을 중계로봇이 중계하여 통신을 수행함으로써 로봇 네트워크를 구성하고 있다.

카네기멜론대학의 멀티로봇연구소[6]에서는 사람과 로봇들이 서로 역할 분담하여 보물을 찾도록 하는 로봇을 개발하고 있으며, 또한 사람과 로봇이 서로 협조하여 목표물을 추적하는 연구도 하고 있다. 서던캘리포니아대학교 인터랙션연구소[7]에서는 실세계를 시뮬레이션한 환경을 기반으로 로봇 상호간의 통신과 협업에 대한 연구를 하고 있다. 통신을 이용하여 조합된 정보는 각 로봇의 행동을 결정하는 알고리즘을 제안하는데 사용하고 있다. 한편 GRASP 연구소[8]에서는 서로 다른 형태의 로봇간

협조행동을 구현하는 것이 특징이며 상대방을 인식해서 협조행동과 Localization[9]에 대한 프로젝트를 진행 중이다. 이 연구의 최종목적은 선형적 지식이 없는 환경을 탐색하는 멀티로봇 플랫폼의 개발이다. 그러나 이러한 방법들은 고가의 매쉬 네트워크 장비를 구입해야 하며 특정상황에 맞는 로봇과 플랫폼을 개발해야 한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 LEGO[®] MINDSTORMS[®] NXT[10]를 사용하여 군집로봇을 구성하였다. LEGO에서 만든 LEGO MINDSTORMS는 로봇의 기초 및 응용을 위한 교육용 로봇이다. 로봇간 네트워크 구성을 위해 NXT에 내장된 블루투스[11]를 사용하였다. 단거리 무선통신방식인 블루투스는 크기가 작고, 가격이 저렴하면서도 전력 소모가 적은 장점이 있다.

본 논문에서 구현한 군집로봇의 특징은 다음과 같다. 각각의 로봇은 주어진 고유 임무를 수행하면서 각종 센서로 주변 환경을 측정된 결과를 그룹 대표 로봇에게 보낸다. 그룹 대표 로봇은 여러 구성원 로봇들에게서 받은 데이터를 PC에게 전달한다. 수집된 데이터는 탐색지형이나 주변 상황을 동적으로 이해하는 자료로 활용된다. 만일 특정 로봇이 더 이상 임무를 수행할 수 없는 경우에는 수행 가능한 임무를 재지정하여 문제가 발생한 로봇의 활용도를 높일 수 있다.

2. LEGO MINDSTORMS NXT

NXT는 LEGO[®] MINDSTORMS[®]에서 개발한 프로그래밍이 가능한 인텔리전트 브릭이다. 이는 다양한 형태

로 변형이 가능하며 여러 실험에서 다양하게 사용할 수 있다. NXT는 32비트 ARM7 마이크로프로세서(256 Kbytes FLASH, 64 Kbytes RAM)를 장착한 소형 컴퓨터이다. NXT는 주변 환경을 인식하고 인터페이스 할 수 있도록 4개의 센서 입력 포트(1,2,3,4)를 갖고 있다. 상단 부에는 3개의 출력 포트(A,B,C)를 갖고 있으며, 각각 독립적으로 모터 또는 램프의 구동이 가능하다. 또한 USB 또는 Bluetooth를 사용하여 PC 또는 NXT 사이에 유무선 통신이 가능하다. 내장 블루투스는 최대 3개의 발신용 연결을 체결할 수 있지만 수신용 연결은 하나만 할 수 있다[10].

2.1 프로그래밍 환경

NXT 프로그래밍을 위해 기본으로 제공하는 NXC는 C언어와 비슷한 프로그램 언어이다. leJOS NXJ[12]는 NXT에서 자바로 프로그래밍 할 수 있게 하는 환경이다. leJOS는 NXT 펌웨어이고 NXJ는 자바기반의 프로그래밍 도구이며 JAVA 표준을 따르지만 Class 라이브러리는 훨씬 작다. 본 논문에서는 leJOS NXJ와 이클립스를 사용하여 군집로봇용 프로그램을 개발하였다.

프로그램 구동 방식의 관점에서 NXT 프로그래밍을 두 가지로 구분할 수 있다. NXT 내부에서 프로그램이 이미 정해진 로직에 따라서 작동하는 방식과 외부에서 제어하는 방식으로 나눌 수 있다. 외부에서 제어하는 방식은 언어에 상관없이 Bluetooth 통신을 이용하여 NXT의 표준 명령을 전달할 수 있으면 된다. NXT가 임무를 수행하면서도 통신을 유지 하고자 한다면 두 가지 방법을 병행해야 한다. 우리는 자바의 스레드 기법을 이용해서 구현하였다. leJOS 스레드 스키마는 안정적이면서 동시에 동기화와 인터럽팅을 지원한다. 최신 leJOS의 스레드는 다음 스레드가 실행되기 전에 최대 128개의 명령어를 수행하는 것을 허락한다. 이 크기는 군집로봇을 구성하고 확장하는데 부족하지 않다.

2.2 센서 실험

군집로봇을 구성하기 위해서 NXT와 NXT간 그리고 컴퓨터와 NXT간에 통신으로 측정된 센서 값을 전달하도록 실험하였다. 우선 두 로봇의 역할을 각각 master와 slave로 구분하고 master NXT가 slave NXT에게 특정 센서로 측정해서 전송하도록 요청한 후 slave NXT가 데이터를 제대로 보내는지 확인하였다.

라인 트레이싱에 사용한 라이트센서는 간접조명용 붉은 LED에서 나간 빛이 피사체에 반사되어 돌아온 양을 포토트랜지스터로 받아 흑백 명암 값으로 광량을 인식한다. 간접조명 LED는 프로그램에서 키거나 끌 수 있으며

측정 환경의 주변광에 따라 측정값이 달라질 수 있다. 어두운색은 25 ~ 32사이로 측정되었으며 밝은색은 55 ~ 79 사이였다. 두 사이의 경계는 40정도였다.

터치센서는 장애물에 대한 물리적 접촉에 대해서 true 또는 false값을 반환한다.

사운드센서는 주변 음량의 변화를 감지한다. 출력 단위는 데시벨이다. 측정결과, 조용한 사무실은 20dB, 청소기 소리는 80dB, 비행기 소리는 150dB이 측정되었다.

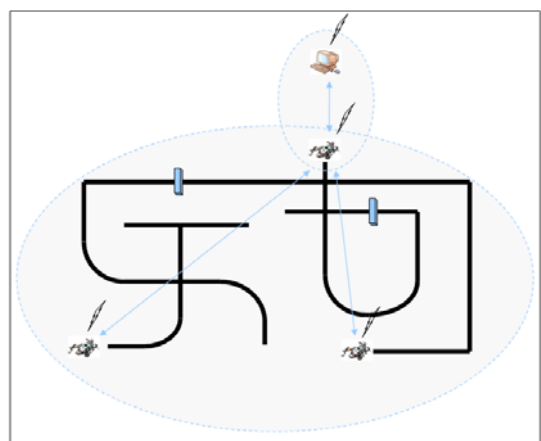
초음파센서는 초음파를 발생시켜 물체에 부딪혀 돌아온 파장을 분석해서 거리를 측정한다. 단위로는 센티미터와 인치를 사용할 수 있다. 실험 결과 1미터 이하의 거리에서는 비교적 정확하게 측정되었다.

3. 군집로봇의 구현

본 논문에서는 3대의 로봇으로 블루투스 기반의 통신망을 구축하여 군집로봇을 구성하였다. 우리가 목표하는 군집로봇 구성의 기본전제는 다음과 같다. 첫째, NXT에서 내장 블루투스로 사용하는 무선통신의 제한을 극복할 수 있는 시스템이어야 한다. 둘째, 확장가능하면서 가장 단순한 형태의 모델이어야 한다. 셋째, 다른 로봇의 메시지를 전달하는 중계기 역할을 해야 한다.

3.1 미로탐색 임무

NXT는 라이트센서, 터치센서, 초음파센서, 사운드센서 등 4개의 센서를 장착하고 있다[13]. 이들에게 주어진 임무는 이 센서들을 이용하여 미로를 탐색하고 주변 환경에 대한 정보를 수집하는 것이다. 실험에 사용된 미로환경은 (그림 1)과 같다.



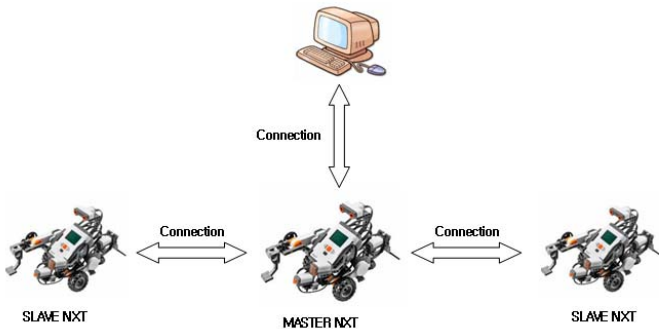
(그림 1) 미로탐색

수행 절차를 살펴보면 각 로봇들은 바닥에 그려진 라인을 따라 미로를 탐색한다. 이 과정에서는 라이트센서를 이용한다. 라인 위의 장애물을 터치센서로 감지할 수 있다. 거리센서는 로봇들의 충돌방지와 장애물 회피에 사용할 수 있다. 로봇이 센싱한 거리값이 점차적으로 작아

진다면 충돌할 가능성이 높음을 시사하므로 사전에 충돌을 방지할 수 있다. 사운드센서의 경우에는 주변의 소음을 측정하는데 사용된다.

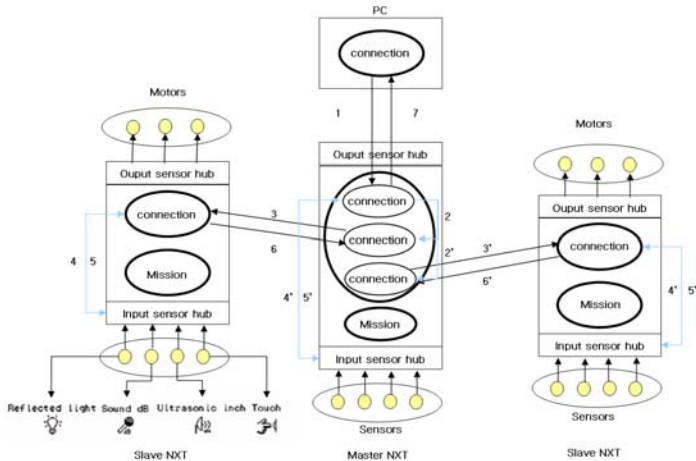
3.2 시스템 구성

본 논문에서는 master 역할에 한 대 slave 역할에 두 대의 NXT를 할당하여 군집로봇 시스템을 구성하였다. 이 구성은 전체 트리 토폴로지를 구성하는 가장 기초가 되는 단위 그룹이다(그림 2).



(그림 2) 군집로봇 시스템

(그림 2)에서 각 slave NXT가 측정된 센서 데이터는 master NXT를 통해서 PC에게 전송되고, PC로부터 명령은 master NXT를 거쳐서 말단의 slave NXT에게 전달된다. 모든 센서의 데이터는 중계기 역할을 하는 master NXT를 통해 PC로 전송된다(그림 3).



(그림 3) 군집로봇 내의 메시지 흐름

(그림 2)와 같이 여러 대의 NXT로부터 수집된 센서 값이 최종적으로 PC에 전달되는 절차는 다음과 같다.

연결단계

1. PC가 MASTER NXT에게 연결을 요청한다.
2. MASTER NXT는 PC로부터 연결 요청을 받으면 연결을 수락하고 SLAVE NXT와의 연결을 준비한

다.

3. MASTER NXT는 자신의 임무를 수행하면서 동시에 SLAVE NXT에게 연결을 요청한다.
4. SLAVE NXT는 연결을 수락하고 자신의 임무를 수행한다.

전송단계

5. slave NXT는 센서로 광량 등의 값을 측정한다.
6. slave NXT는 측정된 센서 값을 Master NXT에게 보낸다.
7. Master NXT는 slave NXT들에게서 수집한 데이터를 PC에게 전달한다.

조작단계

- a. 환경적인 요소나 NXT 자체 장애로 인한 문제 발생
- b. 해당 NXT의 임무수행을 종료시킨다.
- c. 임무를 재할당 시키거나 원격조작을 한다.

3.3 전송 메시지

군집로봇에서 로봇끼리 주고받는 메시지 구조를 설계하였다. 전달하는 메시지를 구성하는 주요 내용은 명령과 측정 데이터이다. 트리 토폴로지에서 하향 메시지는 주로 명령을, 상향 메시지는 주로 데이터를 내포한다. 명령 메시지는 명령어와 인자로 구성된다. 데이터 메시지는 데이터 종류와 값으로 구성된다. 명령 메시지의 경우에는 해당 명령을 수행할 대상이 누구인지를 명시한다. 모든 메시지는 누가 보냈고 누구에게 도착해야 하는지의 정보를 가지고 있어야 한다. 명령 메시지와 데이터 메시지를 따로 구분하지는 않았다. 메시지는 클래스 형태로 구현하여서 메시지 구성 항목에서 클래스 유형을 활용할 수 있도록 하였다(표 1).

(표 1) 군집로봇용 메시지 구성요소

번호	항목	내용	자료형
1	출발지	NXT이름, 블루투스 MAC 어드레스	문자형
2	도착지	NXT이름, 블루투스 MAC 어드레스	문자형
3	유형	메시지 유형: 데이터메시지(1), 명령메시지(2)	정수형
4	데이터	센서종류, 측정 값	객체
5	명령	명령, 인자	객체
5	라우팅	라우팅 경로	객체
6	수신 대상	단일(1), 그룹(2), 전체(3)	정수형

3.4 실험 결과

군집로봇을 구성하는 NXT들은 주어진 고유의 임무를 수행하면서 동시에 다른 NXT와 교신해야 한다. 이 필요성은 자바의 스레드 기법을 이용하여 해결하였다.

첫 번째 실험으로 PC와 NXT의 쌍방향 무선통신 하에서 임무수행과 교신이 동시에 원활하게 진행됨을 확인하였다.

두 번째 실험에서는 군집을 구성할 NXT간의 통신 연결을 확인하였다(그림 2).

세 번째 실험으로 여러 대의 NXT로부터 수집된 센서 값을 동시에 PC로 전달하는 실험을 하였다. 측정 데이터가 어느 곳에서 왔는지 판별하기 위하여 센서에 측정된 값을 전달하는 메시지에 NXT 별로 고유번호를 할당하였다. 중계기를 거쳐 통신을 함에도 불구하고 비교적 실시간으로 동시에 여러 값을 받아 볼 수 있었다.

네 번째 실험으로 PC가 slave NXT를 직접 조작하기 위한 명령이나 임무를 종료시키는 명령을 전달 할 수 있는지 실험 하였다. 그 결과 원격조작 및 임무종료가 원활하게 작동됨을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 LEGO® MINDSTORMS® NXT를 사용하여 군집로봇 시스템의 기초적인 모습을 구현하였다. 각 로봇은 블루투스 무선통신 기능을 갖고 있어 군집로봇으로 통신망을 구성할 수 있었다. 블루투스의 송수신 거리는 약 10m 정도이다. 로봇에 있어서 통신 가능거리의 제약은 곧 임무수행 범위의 공간적 제약을 의미한다. 탐사로봇의 네트워크 구조를 트리 토폴로지 형태로 구성함으로써 이러한 거리상의 문제를 해결할 수 있었다. 전체 탐사로봇들은 트리 구조의 소그룹을 구성하며 각 소그룹은 다시 하위 그룹을 가질 수 있다. 여기서 그룹을 대표하는 로봇은 그룹 구성원 로봇과 상위 그룹 간의 메시지를 중계 한다. 이런 방식으로 무선통신의 거리 한계를 극복하여 멀리 떨어져 있는 로봇과도 메시지를 주고 받을 수 있었다.

세 대의 NXT로 구현한 군집로봇을 실험하였다. 실험 환경은 여러 로봇이 라인으로 표현한 대형 미로를 동시에 탐사하도록 설정하였다. 이 환경에서 각 로봇은 주어진 고유 임무인 라인 트레이싱을 수행하면서 각종 센서로부터 주변 환경의 여러 신호들을 수집하고 이를 그룹 대표 로봇에게 보낸다. 그룹 대표 로봇은 여러 구성원 로봇들에서 받은 데이터를 PC로 전송한다. 이 과정에서 주고받는 메시지 구조를 설계하였다. 수집된 데이터는 분석을 거쳐서 탐색지형인 미로와 주변 상황을 동적으로

이해하는 자료로 활용했다. 또한 수집된 정보로 로봇의 정상여부를 판단하였다. 이렇게 군집로봇의 구현과 실험을 통해서 기능이 단순한 로봇이라도 여러 대를 모아 서로 통신하는 방법으로 약점을 보완 할 수 있음을 확인하였다.

만일 특정 로봇이 더 이상 임무를 수행할 수 없는 경우에는 수행 가능한 임무를 재지정하면 문제발생 로봇의 활용도를 높일 수 있다. 그룹 대표 로봇의 통신기능에 문제가 생기면 전체 통신망에 영향을 준다. 따라서 그룹 대표 로봇의 임무를 다른 구성원 로봇이 대체할 수 있어야 한다. 다음 연구에서는 대표 로봇과 구성원 로봇이 서로 역할을 바꾸는 것에 대한 실험과 구현을 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-(C1090-0801-0039)).

[참고문헌]

- [1]D. P. Miller, Autonomous Rough Terrain Navigation: Lessons Learned, paper #AIAA-91-3813-CP in the Proceedings of Computing in Aerospace 8, AIAA, pgs 748-753, October, 1991.
- [2]R. Alami, S. Fleury, M. Herrb, F. Ingrand, and F. Robert. Multi-robot cooperation in the MARTHA project. Robotics and Automation Magazine, 5(1):36-47, 1998.
- [3]J. McLurkin. Stupid robot tricks: Behavior-based distributed algorithm library for programming swarms of robots. In M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [4]T. Balch and R. C. Arkin. Communication in reactive multiagent robotic system. Autonomous Robots, 1(1):27-52, 1995.
- [5]F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang, Wireless mesh network: a survey, ELSEVIER, Computer Networks, January 2005.
- [6]MultiRobot Lab, http://www.ri.cmu.edu/labs/lab_52.html.
- [7]Interaction Lab, <http://robotics.usc.edu/interaction/>.
- [8]GRASP Laboratory, <http://www.grasp.upenn.edu/>.
- [9]F. Dellaert, D. Fox, W. Burgard, S. Thrun, Monte Carlo Localization for Mobile Robots, IEEE International Conference on Robotics & Automation, 1999.
- [10]B. Bagnall, Maximum LEGO NXT Building Robots with Java Brains, Variant Press, 2007.
- [11]C. Bisdikian, An Overview of the Bluetooth Wireless Technology, IEEE Comm Mag, Dec 2001, pp. 89-93.
- [12]LEJOS Java for LEGO Mindstorms, <http://lejos.sourceforge.net/>.
- [13]mindsensors.com, <http://www.mindsensors.com/>.