

# 통신시스템을 이용한 자율이동로봇군의 협조행동 및 제어

이 동 옥°, 김 대 준, 심 귀 보

로보틱스 및 지능제어 시스템 연구실  
중앙대학교 공과대학 제어계측공학과

Tel : 820-5319, Fax : 817-0553, E-mail : dwlee@jupiter.cie.cau.ac.kr, kbsim@juno.cie.cau.ac.kr

## Cooperative Behavior and Control in a Collective Autonomous Mobile Robots using Communication System

Dong-Wook Lee°, Dae-Joon Kim, Kwee-Bo Sim

Robotics and Intelligent Control System Lab.  
Dept. of Control and Instrumentation Engineering Chung-Ang University  
Tel : +82-2-820-5319, Fax : +82-2-817-0553  
E-mail : dwlee@jupiter.cie.cau.ac.kr, kbsim@juno.cie.cau.ac.kr

### Abstract

In this paper, we propose a new method of the communication system for cooperative behavior and control in a collective autonomous mobile robots. A communication function among the collective robots is essential to intelligent cooperation. In general, global communication is effective for small number of robots. However when the number of robot goes on increasing, this becomes difficult to be realized because of limited communication capacity and increasing amount of information to handle. And also the problems such as communication interference and improper message transmission occur. So we propose local communication system based on infrared sensor to realize the cooperative behavior and control as the solution of above problem. It is possible to prevent overflow of information and exchange of complex information by combining sign-board model which transmits the information to unspecified robots and message passing model which communicate a specific robot. At last we verify the effectiveness of the proposed communication system from example of cooperative behavior.

### 서 론

자율분산로봇시스템은 여러 대의 자율이동로봇으로 구성된 시스템이다. 전체의 로봇이 공유하는 메모리나 동기 클럭, CPU 등이 없고 단지 자율적인 로봇의 행동에 의해서 시스템이 운영된다. 이 경우 로봇 하나하나에 명령을 내릴 관리자가 존재하지 않으므로 로봇의 대수가 증가하더라도 시스템의 복잡도는 별로 증가하지 않게 된다. 또한 시스템의 변경에 유연하게 대처할 수 있으며 몇 대의 로봇이 고장나더라도 강건하게 유지된다.

복수의 자율이동로봇이나 마이크로 로봇 등이 협조에 의해 시스템의 목적을 달성하기 위해서는 주변의

환경을 인식하고 그에 맞는 행동을 취할 수 있어야 한다. 따라서 개개의 로봇은 기본적인 센싱 능력과, 이동 능력, 작업 수행 능력을 갖추어야 하고 또한 복잡한 일에 대하여 협조적인 행동을 하기 위해서는 통신의 기능도 필요로 하게 된다.

Brandeis대학의 Mataric 등<sup>[1][2]</sup>은 통신의 기능은 사용하지 않고 센서만을 사용해 주위환경을 인식하고 행동을 취하는 시스템에 대하여 연구하였으며 이에 의해 여러 가지 군행동을 실현하였다. 또한 신경망과 유전 알고리즘, 유전 프로그래밍 등 진화 연산을 이용하여 로봇의 행동을 진화함으로써 협조행동을 구현하는 연구도 행하여지고 있다<sup>[3-5]</sup>.

한편, J. Wang 등<sup>[6][7]</sup>은 주파수 및 채널 할당을 통해 전역적인 통신방법으로 사인보드(sign-board) 모델과 정보교환(message passing) 모델을 제시하였는데

로봇의 수가 많을 경우에 주파수 및 채널의 자원 한정으로 인해 로봇의 대수가 증가할 경우 많은 문제점이 있으며 T. Arai, H. Asama 등<sup>[8~11]</sup>은 지역적인 통신을 이용한 팀의 구성방법과 정보가 전파되는 모델에 대하여 연구하였다.

자율분산로봇시스템에서는 사실상 모든 로봇의 정보를 알 필요가 없으며 자신의 로봇이 처한 주변의 상황만 인식하여 행동하면 된다. 따라서 지역적 통신방법을 사용함으로써 불필요한 정보의 범람을 막을 수 있으며 정보의 간섭현상도 생기지 않는다.

본 논문에서는 적외선 발광부와 적외선 센서를 이용하여 펄스의 형태로 정보를 전달하고 이를 이용한 사인보드 모델과 정보교환 모델을 융합한 지역적 통신시스템을 제안한다. 그리고 제안한 시스템을 이용하여 로봇이 협조적으로 행동하는 예를 시뮬레이션을 통하여 그 유효성을 확인하고 검토한다.

## 통신 모델

로봇간의 통신은 특정한 로봇과 정보를 주고받는 정보교환(message passing) 모델과 특정한 수신자가 정보를 받을 것을 기대하지 않고 정보를 내보내는 사인보드(sign-board) 모델의 두 가지가 있다.

본 논문에서는 이의 두 가지 방법을 융합한 방법을 사용한 시뮬레이션을 보여서 본 모델의 유효성을 밝힌다.

### 1. 사인보드(sign-board) 모델

그림 1과 같이 각각의 로봇이 사인보드가 된다. 즉 자신이 가지고 있는 정보를 특정한 로봇에게 보내는 것이 아니라 주변의 어떠한 로봇에게도 전달될 수 있도록 퍼트리리는 방법을 말한다. 이 방법은 프로그램이 쉽고 방법이 단순하여 비교적 시스템에 쉽게 적용할 수 있다. 이때 주로 자신의 ID와 이동속도, 이동방향 및 그 외 특정한 데이터 등을 주변으로 내보내게 된다. 다른 로봇은 이 로봇의 주변으로 갔을 때 그 내용을 수신할 수 있다. 분산시스템에서 상호 위치나 속도 등의 정보를 알아낼 때나 기본적인 정보를 전파할 경우에 사용된다.

### 2. 정보전달(message passing) 모델

이 방법은 어떤 특정한 로봇과 정보를 직접 주고받는 방법이다. 그러므로 지역적 통신의 방법에서는 주변의 통신범위에 있는 로봇을 선택하여 그 로봇과 직접 정보를 교환하게 된다. 따라서 사인보드 모델보다 성숙한 방법이라고 할 수 있다. 로봇간에 주고받을 정보는 이미 규약된 정보만을 가지고 상호 의사소통을 하게 되고, 상대방에게 정보를 보내고 응답을 기다리게 되므로 시간적으로 많이 걸리게 된다. 또한 프로그

램도 쉽지 않게 된다. 주로 dead lock 상황의 해결이나 하나의 로봇이 다른 로봇에게 명령을 내려 일을 수행하는 경우에 유용하다.

그림 2는 특정 로봇과 통신을 하는 정보전달 모델의 예이다.

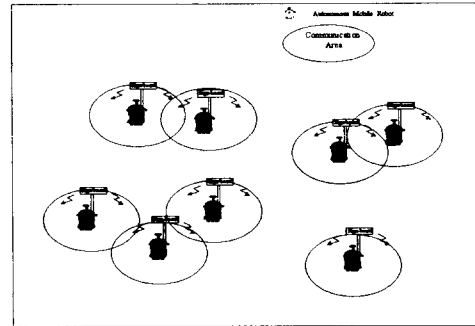


그림 1. 사인보드(sign-board) 모델

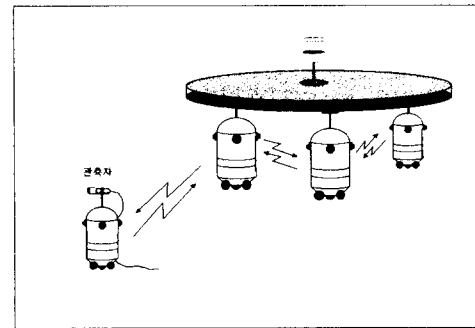


그림 2. 정보전달(Message passing) 모델

## 로봇의 구조

본 논문에서 제안한 지역적 통신을 위한 로봇의 통신시스템은 그림 3과 같은 구조로 되어있다. 로봇 주위의 8방향에 데이터의 출력을 위한 LED와 센서가 각각 하나씩 쌍을 이루어 배치되어 있고 그림 3의 (b)와 같이 LED에서 보낸 신호를 센서에서 곧바로 받아들인다. 이때 LED와 센서간의 정보는 펄스형태의 비트 데

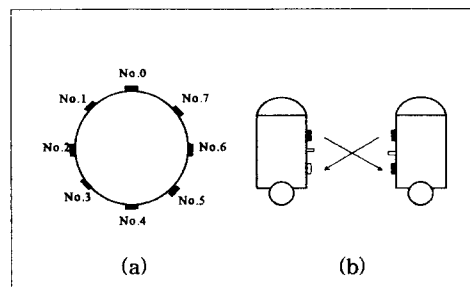


그림 3. 로봇의 센서계

이타로 바꾸어 전송을 한다. 여기서 적외선의 특성상 일정거리 이상은 감쇠에 의해 신호가 잘 도달하지 않으므로 일정한 통신범위 안의 로봇만이 통신이 가능하게 된다. 각 센서는 45도 범위의 데이터를 받아들이므로 결국 주변의 모든 데이터를 받아들일 수 있게 되는 것이다.

## 시뮬레이션에 의한 검토

### 1. 물체 모으기 작업(foraging)

위에서 제안한 통신모델을 검증하기 위한 로봇군의 작업으로서 그림 5와 같이 30대의 로봇이 물체(또는 먹이)를 목표지점 까지 옮기는 것으로 한다. 이때 물체는 하나의 로봇이 운반 할 수 있는 경우와 두 대의 로봇이 함께 운반하는 경우의 두 가지 경우로 설정하였다. 로봇은 사인보드 모델로서 시스템 내의 다른 로봇에게 물체가 있는 곳의 정보를 전파하여 많은 수의 로봇이 작업에 참여하도록 하며 정보전달 모델로서 로봇간의 교섭에 의해 팀을 구성하도록 한다.

### 2. 통신 방법 및 데이터 형식

로봇은 그림 4와 같이 기본적으로 8방향으로 로봇의 ID, 센서 번호, 물체의 위치와 함께 교섭을 위한 정보를 출력한다.

Information(정보)은 로봇이 물체가 모여있는 곳의 정보를 알고 있을 때 그 곳의 위치가 되며 message는 교섭을 위한 미리 정해진 것으로 사용한다. 본 실험에서는 message로서 다음의 8가지를 사용하였다.

- ① YES, OK
- ② NO
- ③ GO, CONTINUE
- ④ STOP, WAIT
- ⑤ RIGHT TURN
- ⑥ LEFT TURN
- ⑦ HELP
- ⑧ FREE

Header	로봇ID	센서No.	Information	Message	Tail
--------	------	-------	-------------	---------	------

그림 4. 통신 데이터 형식

두 번째의 경우 로봇이 물체까지 이동한 후 주변에 감지된 로봇에게 HELP로서 도움을 요청하면 그 로봇이 YES로서 응답을 하고 이때 도움을 요청한 로봇이 주(main)가 되고 응답한 로봇이 부(sub)가 되어 함께 움직이게 된다. 이때 부 로봇은 주 로봇의 명령에 따라 함께 움직이게 되며 부 로봇은 자신의 앞에 장애물이 놓여있을 경우에만 주 로봇에게 명령을 내릴 수 있으며 서로 명령이 교차하게 되면 위의 message 우선순위에 따라 실행한다.

### 3. 시뮬레이션 결과

로봇은 5cm×5cm의 크기이고 환경은 가로 세로 각각 450cm의 정사각형의 영역이다. 로봇은 30대 이며, 물체는 200개를 그림 5와 같이 배치하였고 목적지는 중앙 하단부분이 된다. 목적지의 정보가 없는 로봇은 임의의 방향(전방)으로 움직이며 정보를 알고 있거나 다른 로봇에게 정보를 얻은 경우에는 목적지를 향해 이동한다.

[ case 1 ] 한 대의 로봇이 하나의 물체를 운반할 수 있을 때

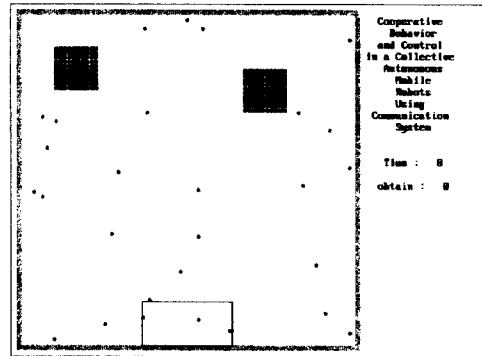


그림 5. 초기 상태

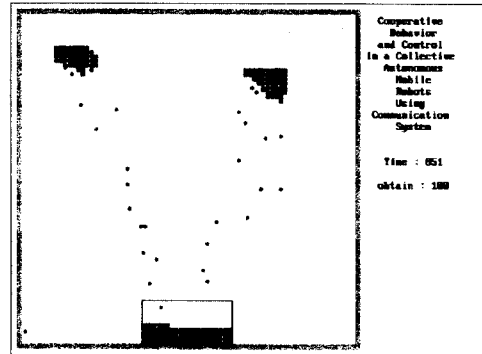


그림 6. 851초 후 (100개의 물체 획득)

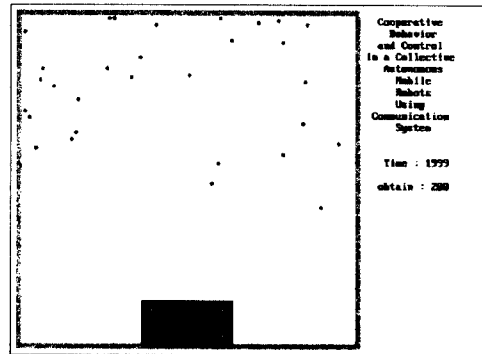


그림 7. 최종 상태 (1999초 후)

[ case 2 ] 두 대의 로봇이 하나의 물체를 운반할 수 있을 때 (팀을 구성하여 물체를 운반하는 경우)

개발할 예정이며, 이 시스템을 이용한 로봇 측구에의 적용도 계획하고 있다.

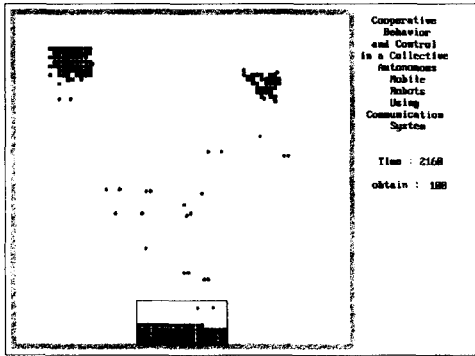


그림 8. 2160초 후 (100개의 물체를 획득)

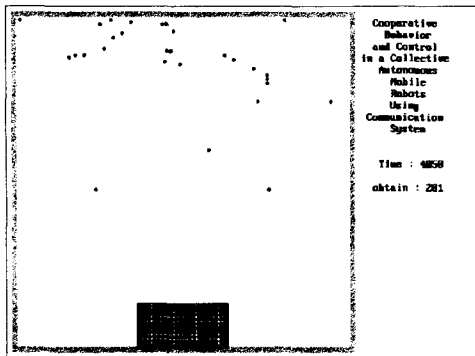


그림 9. 최종 상태 (4050초 후)

## 결 론

자율분산로봇시스템에서 로봇은 주변 환경을 인식하고 그에 맞는 적절한 행동을 취하게 된다. 로봇은 센서만 가지고도 주변의 환경을 파악할 수 있지만 동적으로 변하는 다른 로봇의 상황에 대처하기 위해서는 다른 로봇의 행동을 예측하여야 한다. 따라서 센서를 이용하여 작업을 할 경우에는 행동 예측의 어려움으로 인해 시스템을 효율적으로 활용하지 못할 가능성이 많다. 따라서 통신시스템의 사용은 많은 이점을 가져올 수 있다. 그러나 기존에 연구된 지역적 통신모델은 정보의 범람이나 처리 시간 등에 문제가 많고 지역적인 통신 방법도 정보 전파 해석이나 충돌회피를 위한 간단한 목적이 대부분이었다. 본 논문에서는 실제적으로 적용이 가능한 지역적 통신 시스템과 통신 모델을 제안하였다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 제안한 모델은 정보의 전파 및 팀을 구성하는데 좋은 성능을 발휘함을 알 수 있었다. 앞으로 신경망 및 진화 알고리즘과 함께 제안한 통신 시스템을 적용시켜 보다 효율적이고 다양한 작업을 할 수 있는 시스템을

## 참고문헌

- [1] M. J. Mataric, "Designing Emergent Behaviors: From Local Interactions to Collective Intelligence," Proc. of 2nd Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior, pp. 432-441, 1993.
- [2] C. R. Kube and H. Zhang, "Collective Robotic Intelligence," Proc. of 2nd Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior, pp. 460-468, 1993.
- [3] 이동욱, 심귀보, "신경회로망과 유전 알고리즘을 이용한 자율이동로봇군의 창발 행동 실현," 제5회 인공지능, 신경망 및 퍼지시스템 종합학술대회 (JCEANF '96) 논문집, pp. 34-37, 1996. 10.
- [4] 이동욱, 심귀보, "분산유전알고리즘을 이용한 자율이동로봇군의 행동진화," 제5회 인공지능, 신경망 및 퍼지시스템 종합학술대회 (JCEANF '96) 논문집, pp. 127-130, 1996. 10.
- [5] 이동욱, 심귀보, "유전 프로그래밍에 의한 자율이동로봇군의 협조행동 및 제어," 제11회 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 1177-1180, 1996. 10.
- [6] J. Wang, "On Sign-board Inter-Robot Communication in Distributed Robotic systems," Proc. of Int Conf. on Robotics and Automation, pp. 1045-1050, 1994.
- [7] J. Wang et. al. "A Wireless Medium Access Protocol (CSMA/CD-W) for Mobile Robot based Distributed Robotic Systems," Proc. of Int Conf. on Robotics and Automation, pp. 2561-2566, 1995.
- [8] I. Endo et. al. "An Infra-Red Sensory System with Local Communication for Cooperative Multiple Mobile Robots," Proc. IEEE Int Conf. on Intelligent Robots and Systems, vol.1, pp. 220-225, 1995.
- [9] Y. Arai, I. Endo et. al. "Collision Avoidance among Multiple Autonomous Mobile Robots using LOCISS (LOcally Communicable Infrared Sensory System)," Proc. of Int Conf. on Robotics and Automation, pp. 2091-2096, 1996.
- [10] H. Asama, I. Endo, "Evaluation of Team Organization Method Using Communication in a Distributed Autonomous Robotic System," 日本機械學會論文集(C編), Vol. 61, No. 587, pp. 3039-3044, 1995. 7.
- [11] T. Arai, J. Ota, "A study on Local Communication of Multiple Mobile Robot System," 日本ロボット學會誌, Vol. 12, No. 6, pp. 886-892, 1994.