

자율이동로봇 상호간의 무선통신시스템

(Wireless Communication System of Interaction between Autonomous Mobile Robots)

元榮鎮*, 柳熙三**

(Young-Jin Won and Hee-sahm Ryou)

요 약

본 논문에서는 자율분산로봇의 무선 통신시스템에 관하여 연구하였다. 이동로봇 사이의 협조 동작을 위하여 통신의 구현이 필요하다. 따라서, 우리는 이동로봇에 무선통신시스템을 적용하여 실험하였다. 그리고, 여러 이동로봇 사이의 상호작용을 연구하기 위하여 분산된 제어구조의 개념과 실험적 구조를 설명한다.

Abstract

In this paper, we discuss about implementation of a wireless communication system for a distributed autonomous robotic system. In order to achieve cooperative behavior among mobile robots, it is required to perform communication. Based on this requirements, we examined to the application in a wireless communication system used by mobile robots. This paper describes a conceptual and experimental framework which provides a distributed control architecture for the study of interactions between multiple mobile robots.

I. 서 론

기술혁명과 산업사회가 발전함에 따라 인간의 복지를 향한 욕망은 지속적으로 증가하고 있다. 이에 대한 해결책으로 예상되는 것 중의 하나가 로봇이다. 이들 중에서도 자율이동로봇은 많은 서비스의 이용과 산업 응용이 기대된다. 그러나, 아직까지 대부분의 환경에 대한 동작에 여러가지 미해결 문제가 있다. 예를 들어, 로봇의 현재 위치 결정이라든지 동적으로 변화하는 주위환경에 대하여 순차적으로 대응해야 하는 것과 같은 다양한 문제가 존재한다.

기존의 주 프로세서가 전체(혹은 대부분)의 프로세서들'중앙에서 제어하는 단일 시스템으로는 이와 같은 문제를 해결하는데 한계가 있다. 그리고, 현재의 컴퓨터 기술이 발전함에 따라 컴퓨터 통신 분야가 활발히 연구되는 경우에서와 같이, 로봇 기술의 발전 방향에 따라 컴퓨터 통신기술을 융합한 연구가 활발히 진행될 것으로 예측된다. 따라서, 로봇의 작업 효율을 높이고 보다 복잡한 업무를 수행하기 위해서는 프로세서간의 통신에 관한 연구가 필수적이라 할 수 있다. 이와 같이, 통신을 이용한 로봇의 작업 효율은 동일한 숫자의 로봇이 개별적으로 동작하는 것보다 효율적이며, 작업을 보다 빠르게 수행해야 하는 목적으로 연구된다.

이와 같은 개념에서 Tomas Laengle^[1] 등은 보다 효율적이고 다양한 서비스를 받기 위해서는 로봇을 작업의 보조 역할이 아닌 인간과 팀을 이루어 작업하는 대등한 위치에서 다루어야 한다는 주장도 나타나고 있다. 1997년 G. S. VirR은 "산업이동로봇의 미래"라는

* 正會員, 富川大學 電子制御系列

(Dongseoul College Dept. Computer Engineering)

** 正會員, 동서울大學 電子計算機科

(Bucheon College Group. Electronics & Computer Control)

接受日字:1999年2月4日, 수정완료일:1999年5月20日

기고에서 통신의 목적은 서로 협력하여 작업하는 것으로 이동로봇에서의 통신에 발전을 예고하였으며^[2], 같은 해 일본의 Sugawara K.^[3] 등은 여러 대의 로봇을 한 작업장에서 동시에 동작시켰을 경우의 작업 효율을 시뮬레이션하였다. 실제로, Salvatore Cavaliere 등은 공장에서 작업 로봇 시스템 사이의 Fieldbus를 이용한 유선통신시스템을 구현 발표하였다.^[4] 그리고, 무선통신분야로는 1995년 일본의 Koichi Ozaki^[5] 등이 컴퓨터와 RS232C로 연결된 449MHz의 모뎀을 사용하여 1024bps로 이동로봇을 제어하는 실험을 하였다. 자율이동로봇에 관한 연구로는 A. Meystel^[6]이 자율이동로봇에 관한 알고리즘을 설명하였고, 1993년 P. Lundquist^[7] 등은 레이저로 주위 환경을 인식하여 이동하는 자율이동체의 실험을 발표하였으며, 95년 가을에 발표된 Joe Christopher와 Rick Watson의 보고서에는 MC68000으로 컴파일하여 DUART를 이용하여 자율이동로봇을 동작시키는 내용과 모터 구동 부분에 관하여 나타내었다^[8]. 97년 Matthias O. Berger^[9] 등은 이동로봇에서의 실시간 무선통신의 모델을 제시하였으며, Olaf Kubitz^[10] 등은 정하여진 경로를 자율운행하는 로봇에게 무선 주파수를 이용하여 운행을 보조하는 기법에 대하여 설명하였다. Michailidis A. 등은 신경망을 통한 통신모드와 운행체의 동작모드에 대하여 설명하였다.^[11] 그리고, K. Hansen 등은 무선통신시스템을 위한 RF 수신기의 대역폭 및 파장 등에 관한 연구를 하였다.^[12] 1997년 이동욱 등은 자율이동로봇에서의 적외선 센서를 이용한 무선통신을 시뮬레이션하였다^[13]. 그러나, 적외선 센서를 이용하는 경우 방향성 및 잡음, 통신거리 등의 문제가 있어 실제로 자율이동 로봇에 적용하기에는 제한이 따른다.

현재의 자율이동로봇의 운항(navigation)은 GPS방식과 같은 절대위치측정이나 지도(MAP), Landmark 방법과 같은 상대위치측정을 사용하여 중앙에서 통제하거나 위치를 알려주는 방법 등을 사용한다. 이러한 자율이동로봇들의 효율성을 높이기 위하여 각각의 자율이동로봇에게 통신에 의한 자율성을 적용하려면, 기존의 음성이나 저속 데이터에 적용되고 있는 무선통신이 필수적이며, 이에 적용하는 프로토콜 분야는 흥미 있는 연구가 될 것으로 본다. 여기서, 우리는 자율이동로봇에서 분산된 프로세서들 사이의 통신시스템을 구

현하기 위한 기본적인 시스템을 연구한다.

II. 자율이동로봇 시스템의 구조

이동로봇간의 상호 협조 동작을 위하여 상호 이동하는 두 물체 사이에서 서로의 위치를 인식하기에는 많은 문제점이 따른다. 이러한 문제를 간단히 해결할 수는 없겠지만, 로봇 상호간의 무선 통신을 이용하여 자체적인 위치 인식을 추구하기 위하여 본 연구에서는 자율이동로봇에 무선 모뎀을 적용하였다. 우리가 제작한 자율이동로봇 시스템은 크게 두 부분으로 구성된다. 하나는, 기존의 마이크로마우스와 같이 주프로세서와 센서부, 모터구동부로 이루어져 있는 자율이동로봇이고, 이 로봇들 사이에 데이터를 전송하기 위해 보조 프로세서와 송수신모뎀, 인터페이스로 구성된 무선통신 부분으로 구성하였다. 그림 1에 제작한 실험 시스템의 모형을 나타내었다. 두 시스템 모두 실시간으로 동작한다.

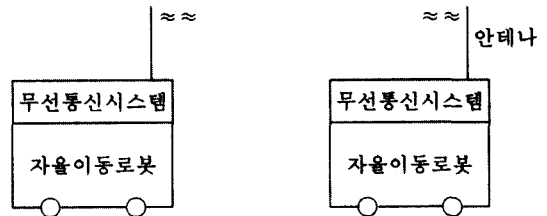


그림 1. 무선통신로봇의 실험 모형도

Fig. 1. Experiment model of wireless communication robot.

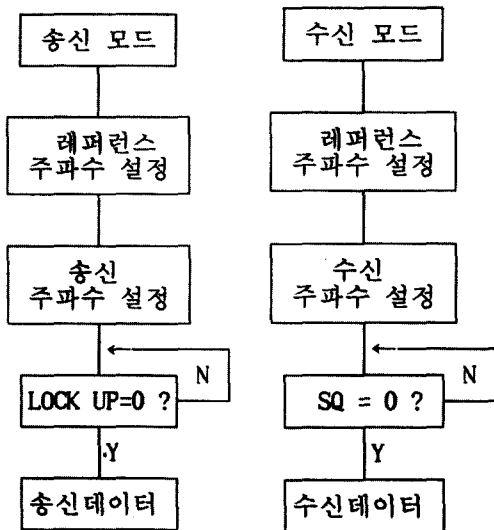
이동로봇의 프로세서는 마이크로 칩사의 PIC16C84, 적외선(infrared) 센서는 EL-7L/ST-7L을 사용하였고, 모터 구동 IC는 SLA7024를 사용하였다. 또한, 무선통신시스템에도 별도의 프로세서 PIC16C84를 사용하였고, 송수신 모듈은 반송 주파수 447MHz대를 사용하였으며, 데이터 전송은 4800bps로 하였다.

1. 자율이동로봇 구조

자율이동로봇은 장애물을 감지하였을 경우 좌회전 혹은 우회전을 무작위로 수행하도록 하였으며, 세 방향이 모두 막혔을 경우 후진하도록 하여 동적인 장애물에 대하여도 피하면서 운항할 수 있도록 설정하였다. 장애물 감지를 위한 센서는 적외선 센서를 사용하여 종폭회로의 조절로 약 10cm전방의 장애물을 감지하도

록 하였으나, 장애물이 흰색 계통인 경우 동작 감도가 높아진다. 모터는 펄스 수로 회전 속도를 조절할 수 있는 스텝핑 모터를 사용하여 전압 12V 정도에서 동작하게 하였다. 이동로봇의 크기는 10cm × 10cm × 12cm 정도로 제작하였으며, 바퀴의 지름은 5cm를 사용하였다. 복잡한 기능은 통신으로 대신할 수 있다는 가정에 따라 이동로봇에서는 기본적인 운항 기능 만을 수행하도록 하는 경우 프로그램 메모리 번지를 1K 이내에서 작성할 수 있기 때문에 PIC로 설계가 가능하였다. 먼저, 송신을 하며 이동하는 로봇의 자체 검사를 위하여 좌회전이나 우회전에 200회(1.8° × 200 = 360°)의 펄스를 주어 동작오차 확인을 하였다.

2. 무선통신모듈의 초기화 과정



(a) 송신모드 초기화 (b) 수신모드 초기화

그림 2. 송수신 모드의 초기화 과정
Fig. 2. Initiation of transmission and receive mode.

최근 5 - 10년 사이에 무선통신분야는 셀룰라 통신의 상업화에 따라 급속히 발전하여 왔다. 이동로봇에 사용할 무선송신 모듈은 소형이고 저전력을 소모하여야 하기 때문에, 이를 위하여는 수백 MHz대가 적당하다. 여기서 사용한 모듈은 송신 주파수 범위가 447.2635MHz이며, 동작 전원 전압 범위가 3.0-5.5V 이고, 출력전력이 10mW이다. CPU와 모듈 사이의 인터페이스를 사용하여 송수신 모듈에 신호를 입력하였다. 이 모듈에서 송수신은 반이중 통신(half-duplex)이 가능하지만, 여기서는 단방향(simplex)방식을 적용

하였으며, FSK방식으로 4800bps의 전송속도를 적용하였다. 송신 모드와 수신 모드의 초기화 과정은 그림 2와 같다.

모듈의 초기화는 먼저, 비교주파수를 12.5kHz로 정하기 위한 데이터의 코딩을 설정하여, 비교주파수가 설정된 상태에서 Tx나 Rx의 분주비를 코딩한다. 즉, 비교주파수가 12.5kHz로 설정되어 PLL이 Lock되면 Tx 주파수가 447.2625MHz로 된다. 다음으로, 프로세서의 한 포트를 이용하여 모듈에 송신이나 수신모드를 설정한다. 송신 초기화의 신호는 그림 3과 같다. 그림 3에서 채널1의 파형은 클럭펄스이며, 채널 2의 파형은 송신 초기화 신호를 나타낸다. CPU는 클럭과 송신 초기화 펄스의 시간 간격을 고려하여 최소 176μs 이상 초기화의 클럭 신호를 발생시켜 주었다.

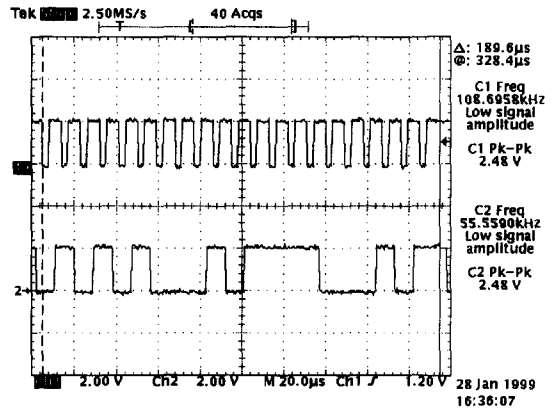


그림 3. 송신 초기화 신호 파형
Fig. 3. The initial waveform of transmission.

모듈이 초기화를 완료하면 Lock이나 SQ 신호를 발생한다. 이 때부터 일정시간을 지연한 후 데이터를 전송하거나 수신하기 시작한다.

III. 자율이동로봇의 동작

1. 무선 송수신 데이터를 통한 상호 동작

무선통신시스템은 송수신이 가능하지만, 본 연구에서는 하나의 이동로봇은 송신기능 만을 다른 하나의 이동로봇은 수신기능 만을 하도록 분리하였다. 송신부에서 송신 초기화를 완료한 후 한 바이트의 데이터 정보를 4800bps로 전송하며, 수신부에서는 수신 초기화를 완료한 후 4800bps로 수신된 비트를 한 바이트 단위로 해석하여 그에 해당하는 동작을 수행한다. 즉, 송

신할 때 데이터의 한 비트는 208 μ s마다 CPU에서 인터럽트 방식으로 발생하며, 수신 측에서도 208 μ s 마다 인터럽트를 발생하여 한 비트씩 데이터를 취하여 저장한다. 송수신 프로세서는 이동로봇의 프로세서와 분리하여 사용하였기 때문에 이동로봇 프로세서 포트 중에 한 개의 데이터 수신 포트가 필요하며, 상호간의 데이터 전송은 직렬전송으로 이루어진다. 자율이동로봇은 센서에서 들어오는 신호에 따라 주행하는 동작모드가 우선이며, 프로세서 사이에 연결된 제어포트의 인터럽트에 의해 송수신 모드로 동작한다. 그 과정은 그림 4와 같다.

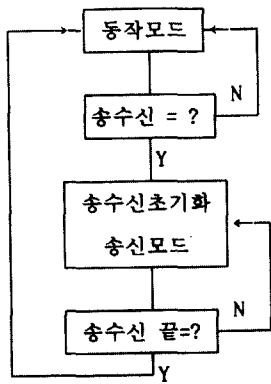


그림 4. 자율이동로봇의 동작 순서
Fig. 4. Flow chart of autonomous mobile robot.

송수신 초기화를 나타내는데 2바이트를 사용하였고, 한번 초기화 한 후 송신 모듈에서 스텝핑 모터에 인가한 펄스의 수를 송신할 경우 오차의 위험과 복잡성 때문에, 본 실험에서는 전체 동작 영역을 X(가로), Y(세로)좌표로 구분하여 현재 위치 변화를 주기적으로 전송하도록 하였다. 즉, 모듈 사이의 송수신을 위한 프로토콜에는 스타트(start) 비트나 패리티(parity) 비트의 사용없이 한 번에 8비트를 기본으로 니블(nibble) 크기의 4비트씩 X, Y좌표값을 전송한다. 따라서, 동작 영역은 가로의 X축과 세로의 Y축으로 각각 16좌표씩으로 이동 가능하다.

전원을 on한 경우 프로그램 상에서 초기화를 하는데 420 μ s와 각각의 송수신 대기시간 50ms이상을 고려할 때 송신을 위한 지연시간은 300ms정도로 나타났다.

- 2. 적외선 센서의 감지에 의한 상호 동작
- 2대 이상이 작업 영역내에서 동작할 경우 장애물과

다른 운항체를 구분하는 방법이 필요하다. 이를 위해 새로운 개념을 도입하였는데, 장애물을 감지하기 위한 운항체 각각의 적외선 센서에 발진 주파수를 다르게 설계하였다. 그리고, 각 운항체에서의 적외선 센서 수신부에 고역통과필터와 저역통과필터를 추가로 설계함으로써 상대방의 주파수와 장애물에 의해 반사되는 자신의 주파수를 구분하도록 하였다.

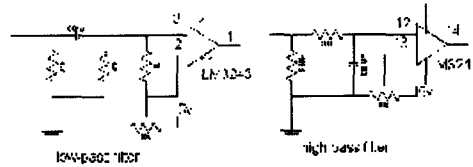


그림 5. 필터회로
Fig. 5. Filter circuit.

장애물과 상대 로봇을 검출하기 위한 필터회로를 그림 5에 나타내었다. 저역통과필터는 3kHz 이하를 통과시키도록 설계하였으며, 고역통과필터는 100kHz 이상을 통과시키도록 설계하였다. 저역통과 필터의 임계 주파수를 낮게 설정하는 경우 현광등과 같은 잡음에 동작하게 되며, 고역통과 필터의 주파수를 보다 낮게 설정하는 경우 주파수 구분을 하기 어려운 문제점이 있었다.

IV. 실험결과

각각의 독립된 자율이동로봇들이 장애물을 피하여 운항함과 동시에 상대방의 운항체를 인식할 수 있는 시스템을 실험하였다. 자율이동로봇 상호간의 인식은 두 이동로봇의 적외선 센서 주파수를 100kHz 및 3kHz로 차이를 주어 사용한 결과 장애물과 다른 운항체를 구분할 수 있었다.

그림 6과 7은 적외선 센서에서의 장애물에 대한 센서의 신호이다. 채널1은 NE555를 이용한 발진 파형이고, 채널 2는 적외선 센서의 수신 신호이다. 위의 신호 같은 경우 약 14.6kHz에서 실험하였으며, 이 신호는 발신센서와 수신센서 핀의 신호를 검출한 결과이다. 장애물이 검출된 경우에 수신센서의 신호(그림 7 참조)는 그림 6의 신호보다 약 2.4V 상승하여 검출되었음을 알 수 있다. 이 신호는 콘덴서를 거쳐 버퍼를 통하여 CPU로 입력된다. 실험에서는 신호가 콘덴서를 거치기 전에 콘덴서와 고역 통과 필터를 병렬로 설계

하여 저역과 고역을 필터링하였다.

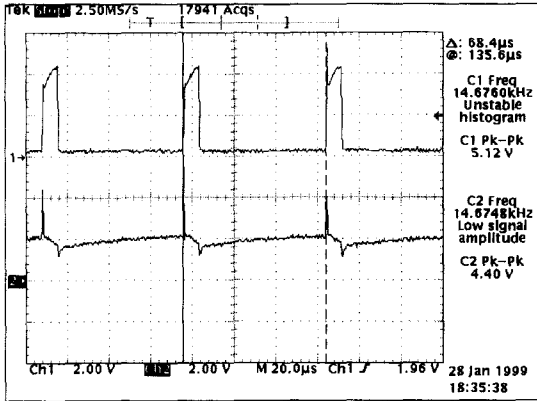


그림 6. 장애물이 없을 경우의 센서 신호
Fig. 6. The signal when isn't obstacles.

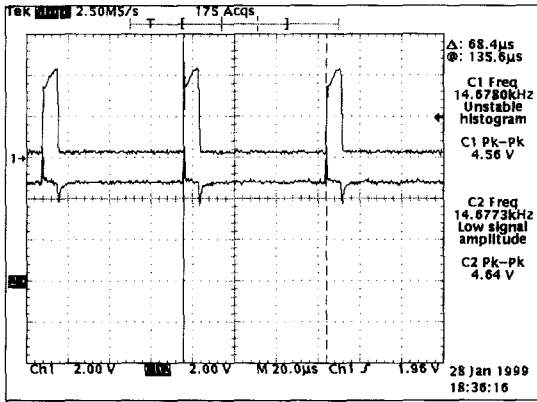


그림 7. 장애물이 있을 경우의 센서 신호
Fig. 7. The signal when is obstacles.

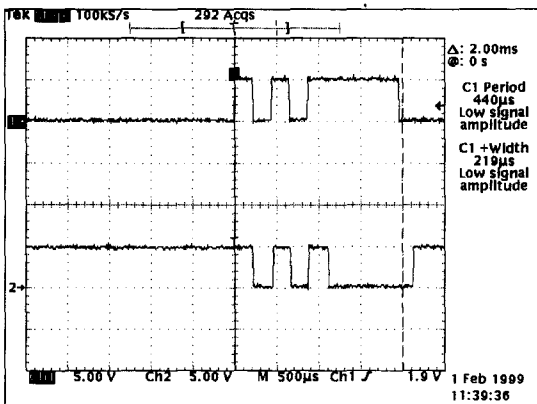


그림 8. 송수신 데이터 파형
Fig. 8. Transmission and receive waveform.

그림 8은 416µs마다 인터럽트 방식으로 발생하는

송신 신호(채널 1)와 수신 신호(채널 2)이다. 수신 신호는 인버트 되었다. 그림 9의 채널 1은 송신 신호의 듀티가 218µs로 1개 펄스를 확대하여 나타낸 그림이다. 그림 9의 채널 2의 수신신호는 약 50µs 정도 지연되고 반전되었으며 송신신호보다 폭이 짧게 나타난다. 이와 같이, 무선통신으로 한 운항체의 이동 정보를 다른 운항체에게 정확히 송신함으로써, 자율이동로봇의 자체 운항과 동시에 서로의 정보 교환을 실현하였다. 각각의 송수신 데이터는 인터럽트 처리함으로써 자율이동로봇의 운항을 정지함이 없이 운항과 송수신을 동시에 할 수 있었다.

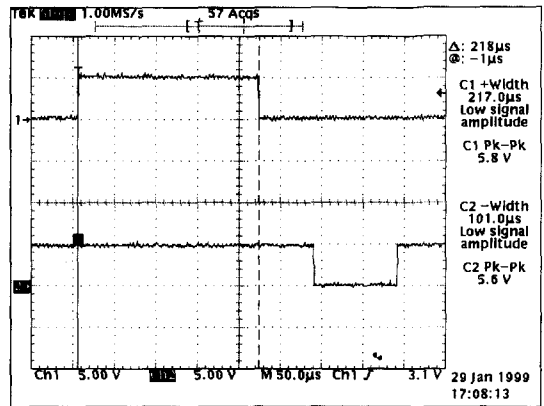


그림 9. 송수신 신호 중 한 펄스
Fig. 9. A pulse of trans. and receive signals.

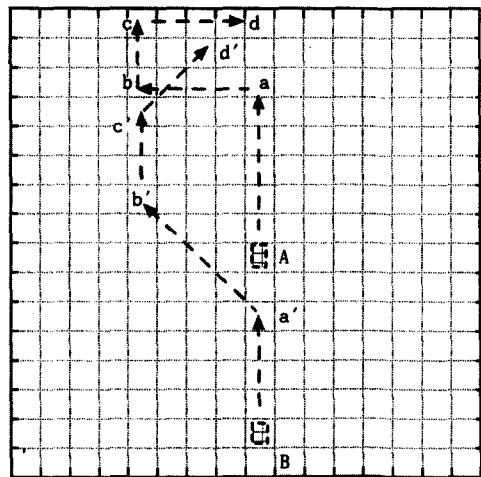


그림 10. 상호 동작에 의한 실행 경로
Fig. 10. Execution of path using cooperative behavior.

그림 10에 로봇의 운항 진로를 나타내었다. A와 B

는 자율운항로봇을 나타낸다. A로봇은 임의로 90° 썩을 회전하며, A로봇의 위치좌표 정보는 무선송신시스템을 통하여 B로봇에게 전달된다. A로봇은 출발위치에서 a-b-c-d 위치로 이동할 때, B로봇은 A로봇과 동시에 출발하여 A로봇의 현재 좌표에 가장 가까운 거리로 이동하기 위하여 a'-b'-c'-d' 위치로 추적하며, 두 로봇이 10cm 정도로 근접하였을 때 상대로봇임을 인식하여 정지하도록 하였다. 또한, 로봇은 16개 좌표로 동작영역을 제한 하였기 때문에 한계 영역에 도착할 경우 회전하며, 한계 영역에 장애물이 있을 경우 우선적으로 장애물을 피하여 운항한다.

V. 결 론

본 논문에서는 두 대의 자율이동로봇으로 구성된 분산시스템에서 로봇의 상호 협조를 위한 기본적인 실험을 하였다. 통신을 이용한 로봇의 작업 효율은 동일한 숫자의 로봇이 개별적으로 동작하는 것보다 효율적이며, 작업을 보다 빠르게 수행할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 센서만을 이용하여 작업하는 경우에는 동적으로 변화하는 환경이나 다른 자율이동로봇과의 협조가 복잡하지만, 두 로봇간의 무선통신을 구현함으로써 작업 목적을 달성하기 위해 보다 시스템 전체의 효율을 향상시킬 수 있다. 그러나, 3대 이상의 이동로봇이 동작하는 경우 인식할 수 있는 새로운 알고리즘을 찾아야 하는 문제가 있다. 앞으로의 연구 내용은 반이중통신방식을 적용하여 자율이동로봇이 팀을 구성할 경우 각각의 로봇이 획득한 정보를 안정적이고 효율적으로 이용할 수 있는 알고리즘을 찾아낼 것이며, 실험을 통하여 여러 대의 자율분산로봇 동작에 관한 연구를 계속할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Thomas Laengle, Thomas Hoeniger, Lanjuan Zhu, "Cooperation in Human-Robot-Teams", Proc. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics - Vol. 3, pp1297-1301, 7/07/97.
 [2] G. S. VirR, "Industrial Mobile Robots : the future", Industrial Robot, Vol. 24, No. 2, pp102-105, 4/01/97.

[3] Sugawara K, Sano M., "Coperative Acceleration of Task Performance - Foragong Behavior of Interacting Multi-Robots System", Physica D., Vol. 100 No. 3-4, pp343-354, 2/01/97.
 [4] Salvatore Cavalieri, Antonella Di Stefano, Orazio Mirabella, "Impact of Fieldbus on Communication in Robotic Systems", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 13, No. 1, pp30-48, Feb. 1997.
 [5] 尾崎功, 淺間, 石田慶樹, 松元明弘, 遠藤 勳, "自律分散型ロボットシステムのための無線通信システムの開発", 精密工學會誌, Vol. 61, No. 8, pp1136-1140, 1995.
 [6] A. Meystel, 'Autonomous Mobile Robots', World Scientific Pub., pp236-325, 1991.
 [7] <http://idefix.ikp.liu.se/rames/publications/CD/ChangeDetect.html>.
 [8] <http://www.vuse.vanderbilt.edu/~jlc/tkbot.htm>.
 [9] Matthias Oliver Berger, Olaf Kubitz and Carsten Pils, "Modeling mobile robot wireless real-time communication", Proc. of the VTC'97 Vol. 3-B, pp2060-2064, 5/04/97.
 [10] Olaf Kubitz, Matthias O. Berger, Marcus Perlick, Rene Dumoulin, "Application of Radio Frequency Identification Devices to Support Navigation of Autonomous Mobile Robots", Proc. of the VTC'97 Vol. 1, pp126-130.
 [11] Michailidis, A. and Rada R., "Activities and communication modes", International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 46 No. 4, pp469-483, 4/01/97.
 [12] Ken Hansen and Alexis Noguerras, "Receiver RF Design Considerations for Wireless Communications Systems", 1996 IEEE International Symposium on Circuits and Systems(ISCAS'96), pp93-96.
 [13] 이동욱, 심귀보, "자율이동로봇군의 협조행동을 위한 통신시스템의 개발", 전자공학회지 제 34권, S편 제 3호, pp307-319, 1997. 3

저 자 소 개

元榮鎮(正會員) 第35卷 T編 第1號 參照
현재 부천대학 전자제어계열 부교수



柳熙三(正會員)
1961년 7월 5일생. 1986년 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1994년 ~ 현재 동서울대학 전자계산기과 조교수. 주관심 분야는 로보틱스, 컴퓨터통신(프로토콜)