

논문 2014-09-29

자율주행 이동로봇의 실시간 장애물 회피 및 안드로이드 인터페이스 구현

(Real-Time Obstacle Avoidance of Autonomous Mobile Robot and Implementation of User Interface for Android Platform)

김 준 영, 이 원 창*

(Jun-Young Kim, Won-Chang Lee)

Abstract : In this paper we present an real-time obstacle avoidance technique of autonomous mobile robot with steering system and implementation of user interface for mobile devices with Android platform. The direction of autonomous robot is determined by virtual force field concept, which is based on the distance information acquired from 5 ultrasonic sensors. It is converted to virtual repulsive force around the autonomous robot which is inversely proportional to the distance. The steering system with PD(proportional and derivative) controller moves the mobile robot to the determined target direction. We also use PSD(position sensitive detector) sensors to supplement ultrasonic sensors around dead angle area. The mobile robot communicates with Android mobile device and PC via Ethernet. The video information from CMOS camera mounted on the mobile robot is transmitted to Android mobile device and PC. And the user can control the mobile robot manually by transmitting commands on the user interface to it via Ethernet.

Keywords : Autonomous mobile robot, Android platform, User interface, Ultrasonic sensor

I. 서 론

2013년 안드로이드 운영체제는 세계 모바일 디바이스 운영체제 시장에서 약 70%에 육박하는 점유율을 차지하고 있다[1]. 안드로이드에 기반을 둔 모바일 디바이스의 빠른 보급으로 인해 이동로봇에 모바일 디바이스를 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이런 흐름에 맞추어 본 논문에서는 자율주행 이동로봇을 구현하고 이를 안드로이드 모바일 디바이스와 연동하여 자율주행 이동로봇의 제어 및 주변영상 정보 획득 방법을 소개하고자 한다.

자율주행 이동로봇의 장애물 회피 기술 및 경로 계획은 많은 연구가 진행되어 왔으며[2-7], 1980대에 이동로봇과 산업용 매니퓰레이터의 실시간 장

애물 회피 알고리즘으로 Potential Field 개념이 처음 도입된 이후 이에 격자 개념을 추가한 VFF (Virtual Force Field) 방법으로 확산되었다. VFF 알고리즘은 이동로봇의 목적지로부터 끌어당기는 인력과 이동로봇 주변의 장애물들로부터 밀어내는 척력을 이용하여 장애물에 충돌하지 않고 목적지로 이동하는 방법이다[8-11]. 본 논문에서는 VFF 알고리즘의 가상반발력을 이용한 장애물 회피 알고리즘을 탑재하여 제한된 실내상황에서 자율주행이 가능한 이동로봇을 구현하고 이를 안드로이드 모바일 디바이스와 연동하여 필요시 이동로봇을 원격지에서 모니터링하고 제어할 수 있는 시스템을 제안하고자 한다.

II. 시스템 구성 및 인터페이스

1. 시스템 구성

시스템은 장애물을 회피 주행하는 자율주행 이동로봇과 이를 제어하고 모니터링하는 PC와 안드로이드

*Corresponding Author(wlee@pknu.ac.kr)

Received: 15 Jan. 2014, Revised: 6 Feb. 2014,

Accepted 7 Mar. 2014.

J.Y. Kim, W.C. Lee: Pukyong National University

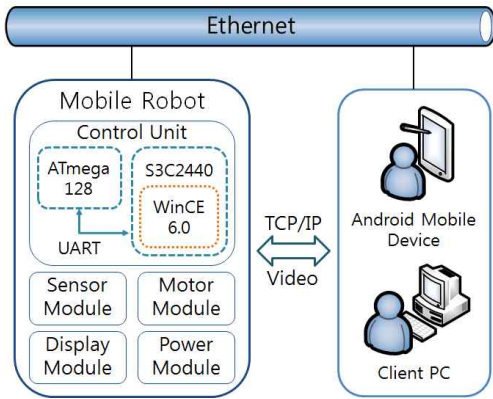


그림 1. 시스템 개요
Fig. 1 System overview

이드 모바일 디바이스로 구성된 클라이언트 디바이스로 나뉘어진다. 자율주행 이동로봇은 무선 랜을 이용하여 인접한 AP에 접속하고 라우터를 통하여 이더넷 망에 연결한다. 클라이언트 디바이스들은 무선 또는 유선으로 이더넷 망에 연결되고 이들 사이에 데이터 교환은 TCP/IP기반의 소켓통신을 이용한다. 그림 1은 이를 도식화 한 것이다.

자율주행 이동로봇의 전장시스템은 제어부, 센서부, 모터부, 전원부로 나누어진다. 제어부는 Atmel사의 ATmega128과 SAMSUNG의 S3C2440 두 종류의 MCU로 구성된다. ATmega128은 8bits 기반의 16MIPS 연산 속도를 가진 MCU로서, ADC와 외부 인터럽트를 이용하여 센서 값을 받아오고 처리한다. 처리된 결과는 조향 장치의 각도 및 주행 모터의 속도를 결정한다. S3C2440은 32bits 기반

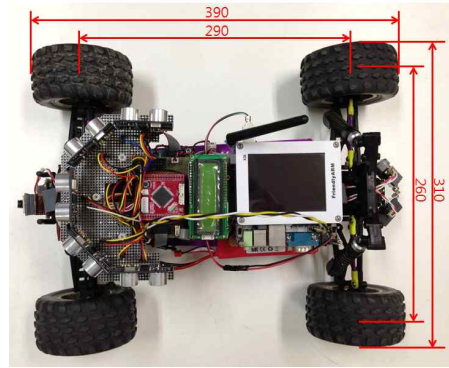


그림 2. 자율주행 이동로봇
Fig. 2 Autonomous mobile robot

의 ARM920T Core를 가지고 있으며 400MHz에서 동작한다. S3C2440의 운영체제로 Microsoft WinCE 6.0을 사용하여 카메라 영상 획득 및 전송, 이동로봇의 사용자 인터페이스를 제공한다. ATmega128과 S3C2440은 UART를 사용하여 조향 명령어와 센서 값을 주고 받는다. 센서부는 초음파 센서와 적외선을 이용한 PSD 센서로 주변 물체와의 거리 정보를 제어부로 전달하고 모터부는 제어부에서 처리된 값을 받아 DC 서보 모터와 DC 엔코더 모터를 구동한다. 전원부는 DC-DC 컨버터 (Buck Converter)와 11.1V 리튬폴리머(Li-Po) 배터리로 구성된다.

그림 2는 제작된 이동로봇의 외형이다. 로봇은 4륜을 이용하여 이동하며 전륜에 조향 장치를 가진다. 로봇의 전방에는 1개의 PSD 센서와 CMOS 카메라 센서, 5개의 초음파 센서를 배치하고 후방에

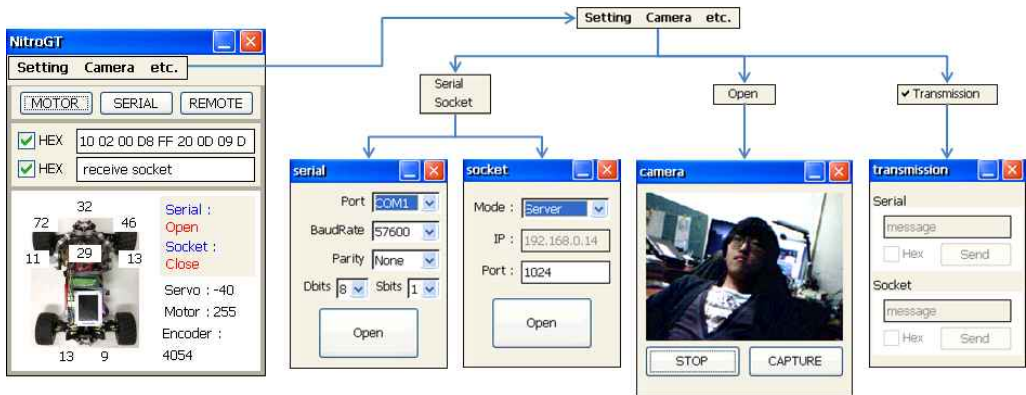


그림 3. 자율주행 이동로봇의 사용자 인터페이스
Fig. 3 User interface for autonomous mobile robot

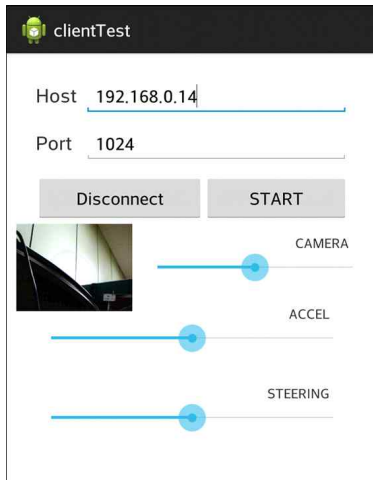


그림 4. 안드로이드 사용자 인터페이스

Fig. 4 User interface for Android

2개의 PSD 센서를 배치하였다. 상단의 4.3" 터치 LCD를 통하여 사용자 인터페이스를 제공한다.

2. 이동로봇 인터페이스

그림 3은 이동로봇의 WinCE 6.0 어플리케이션을 전개한 것으로 어플리케이션의 메뉴는 "Setting", "Camera", "etc."로 구성되어 있다. "Setting"은 센서 값의 처리를 담당하는 ATmega128과 S3C2440의 UART 통신을 위한 설정 및 클라이언트 디바이스와 소켓 통신을 위한 설정이 가능하다. "Camera"는 CMOS 카메라의 활성화와 200*150 해상도의 프리뷰 영상을 제공한다. CAPTURE 기능을 이용하여 한 프레임의 이미지를 PNG 포맷으로 메모리에 저장할 수 있다. 그리고 "etc." 메뉴는 정의되지 않은 임의의 명령을 UART 및 소켓으로 전송이 가능하다.

어플리케이션의 메인 화면에는 모터 시작 및 통신 시작, 원격조종으로 모드 변경 버튼이 있고 UART와 소켓으로 수신 되어지는 데이터가 표시된다. 하단에는 설정된 통신 상태 및 로봇의 상태를 가시화 하여 부착된 센서의 거리 값, 조향을 담당하는 DC 서보 모터의 각도 값, 구동 DC 엔코더 모터의 PWM 상태, 엔코더 값을 표시한다.

3. 클라이언트 디바이스 인터페이스

이더넷을 이용하여 이동로봇에 접속하는 클라이언트 디바이스는 안드로이드 기반의 모바일 디바이

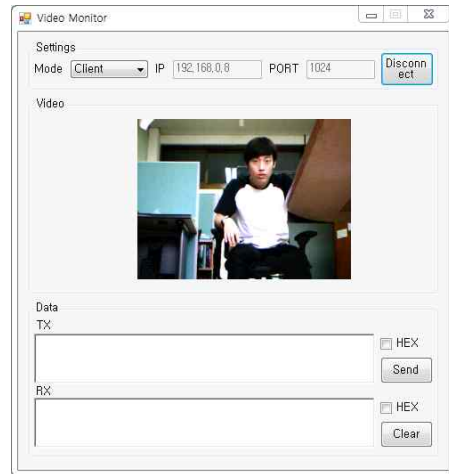


그림 5. PC 사용자 인터페이스
Fig. 5 User interface for PC

스와 윈도우 기반의 PC가 있다. 안드로이드 어플리케이션은 안드로이드 4.3을 대상 플랫폼으로 한다. 그림 4는 안드로이드 어플리케이션의 GUI 화면이다. 메인 화면 상단에 자율주행 이동로봇의 IP 주소와 포트를 입력하고 "Connect" 버튼을 통해 로봇에 접속하게 된다. 서버와 소켓 연결이 이루어진 후 "START" 버튼을 눌러 이동로봇의 이동을 시작한다. 이동로봇으로부터 전송 받은 카메라 영상은 화면 중앙 좌측에 지속적으로 표시한다. 자율주행 이동로봇이 원격조종 모드일 경우 3개의 Seek Bar를 조절하여 전방 카메라의 지향각, 구동 모터의 출력, 조향 장치의 각도를 각각 변화시킬 수 있다.

PC 어플리케이션은 그림 5와 같이 구성 되어 있다. 상단에는 자율주행 이동로봇과의 네트워크 연결 설정이 가능하고 중간에는 이동로봇으로부터 수신한 영상을 표시한다. 하단에는 사용자 임의의 데이터를 송수신할 수 있게 되어 있다.

4. 통신 프로토콜

S3C2440과 ATmega128 사이의 UART 통신 패킷의 형태는 그림 6과 같다. 패킷의 시작과 끝에 DLE (Data Link Escape), STX (Start of Text), ETX (End of Text)를 두어 패킷 사이의 시작과 끝을 구별 한다. 하나의 패킷을 수신하면 패킷의 크기와 전체 패킷 바이트 수를 비교하여 일치하는 경우에는 Queue에 적재하고 그렇지 않은 경우에는 다음 패킷에 대한 크기 검사를 한다. Queue에 적재된 값은 추출하여 각 요소별로 파싱 후 사용한다.

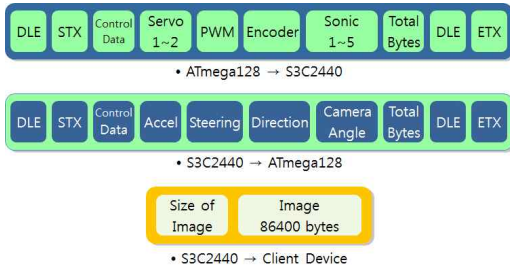


그림 6. 패킷 구성
Fig. 6 Packet configuration

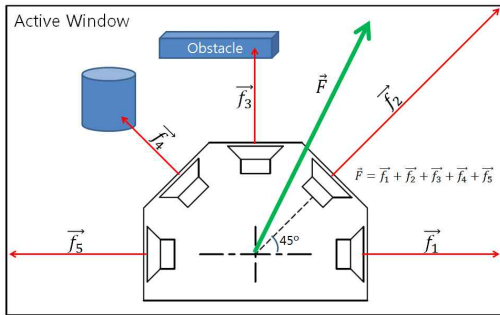


그림 7. 초음파 센서 구성
Fig. 7 Configuration of ultrasonic sensors

S3C2440의 카메라 데이터는 240*180 해상도의 RGB565 포맷으로 한 프레임의 크기는 86,400 바이트이다. 이미지 전송 시 먼저 전송할 이미지의 크기를 담은 4 바이트를 송신하고 앞서 보낸 크기만큼의 이미지 데이터를 송신한다. 초기 4 바이트를 수신한 클라이언트 디바이스는 해당 크기만큼의 버퍼를 할당하고 이미지 데이터를 수신한다.

III. 장애물 회피 알고리즘 및 실험 결과

1. 장애물 회피 알고리즘

자율주행 이동로봇의 주행 방향은 5개의 초음파 센서로부터 획득한 장애물의 거리 정보에 VFF 알고리즘의 가상반발력을 적용하여 결정된다. 그림 7은 초음파 센서의 배치와 각 센서 벡터의 합을 나타낸다. 각 초음파 센서는 센서 그룹의 중심에서 6cm 떨어져 있으며 센서들 사이의 각도는 45°로 배치한다. 센서 그룹의 중심으로부터 앞, 좌, 우 각각 80cm를 활성 영역(Active Window)이라 칭하고 센서의 탐지 거리를 제한한다. 최소 회전 반경은 자율주행 이동로봇이 최대 조향각으로 회전 시 의

표 1. process 함수 목록
Table 1. List of functions in process

No	함수
1	sensorActive limitDistance (signed int* data)
2	sensorSonic separateVector (sensorActive data)
3	sensorVector addVector (sensorSonic data)
4	double directionAngle (double x, double y)
5	void directionProcess (signed int outputPD)

측 앞바퀴 궤적의 반경이다. 활성영역을 최소 회전 반경보다 크게 설정함으로써 활성영역 내에 장애물 탈출이 가능하게 한다. 활성 영역 내에 탐지되는 장애물은 가상 반발력으로 작용하여 각 센서 벡터의 크기를 변화 시킨다. 각 센서 벡터들의 합으로 구해진 벡터의 방향은 자율주행 이동로봇의 나아갈 방향이 된다.

표 1은 주행 방향 결정과 관련한 구현된 함수 원형이다. limitDistance를 사용하여 각 센서 벡터의 크기를 활성영역에 맞게 제한한다. separateVector를 사용하여 각 센서 벡터를 x, y 좌표계로 분리한 후 addVector를 통하여 분리된 센서 벡터들의 각 성분끼리 더함으로써 합 벡터를 구한다. 구해진 합 벡터는 directionAngle을 사용하여 주행 방향각으로 반환한다.

자율주행 이동로봇의 이동은 그림 8의 흐름도에 따라 진행된다. 장애물에 대한 가상반발력으로 결정된 주행방향과 더불어 예외적인 상황의 판단요소로 자율주행 이동로봇의 현재 전후진 방향, 전방 PSD 센서의 물체 탐지 여부, 후방 PSD 센서의 물체 탐지 여부, 조향 반대방향 초음파 센서의 물체 탐지 여부, 이전 후진 거리와 비교, 이전 진행 방향과 일치 여부가 있다. 위 판단 요소의 결과에 따라 전 후진 방향을 결정하고 조향각을 조절하여 이동한다.

자율주행 이동로봇의 조향 방향과 반대로 지향하고 있는 초음파센서를 통해 이동 중에 조향각의 한계로 충돌 위험이 있는 장애물을 탐지하고 주행 방향을 변경한다. 전방으로 탈출할 수 없는 장애물에 고립된 상황에서 전후진시의 동일한 주행패턴을

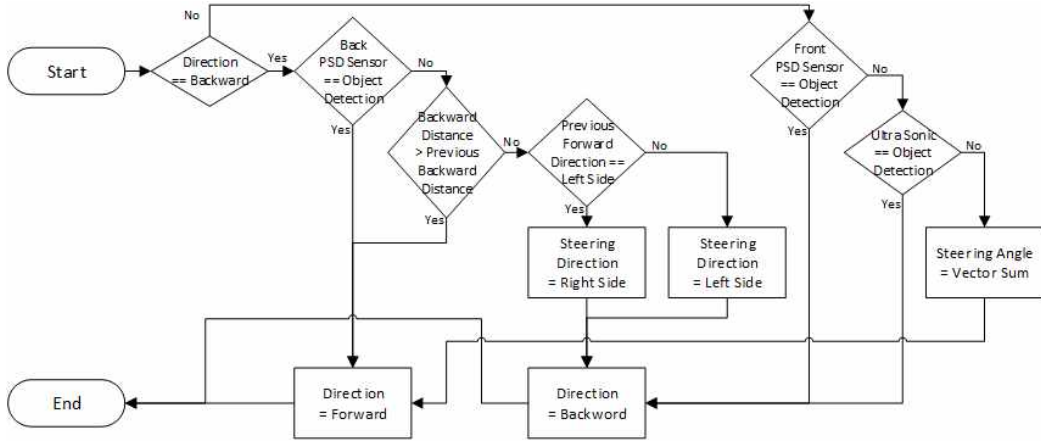
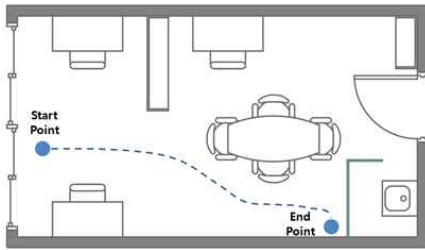
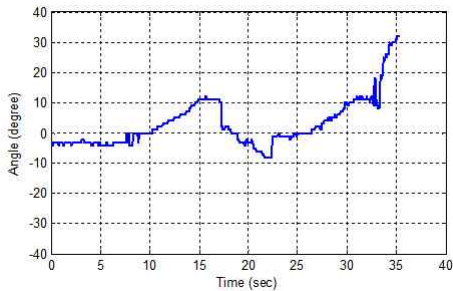


그림 8. directionProcess()의 흐름도
Fig. 8 Flow chart of directionProcess()



(a) 이동로봇 주행 궤적
(a) navigation trajectory



(b) 조향각 변화
(b) change of steering angle

그림 9. 주행 시험 결과

Fig. 9 Experimental result of navigation

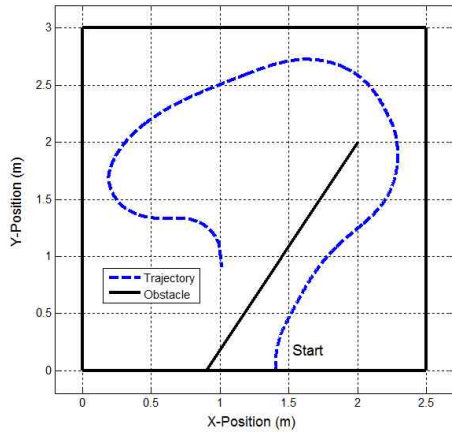
피하기 위하여 모터의 엔코더로부터 얻은 이동 거리 정보를 이용한다. 동일 패턴의 짧은 전후진이 반복되면 앞서 전진시의 조향 방향과 반대 반향의 조향, 전진 거리 보다 긴 후진 거리를 할당하여 불규칙한 움직임으로 장애물을 탈출한다.

2. 실험 및 결과

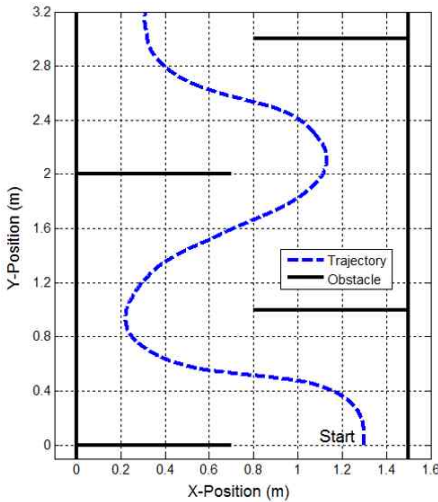
본 논문에서 구현한 자율주행 이동로봇을 검증하기 위해 임의의 환경에서 주행 시험을 하였다. 자율주행 이동로봇은 가구들이 놓여있는 4m x 7m 크기의 생활공간을 가정한 실험 환경에서 주행한다. 그림 9(a)는 자율주행 이동로봇의 이동 경로와 실험 환경을 도식화 한 것이고 표시된 경로를 주행할 때 자율주행 이동로봇의 조향각 변화는 그림 9(b)의 그래프와 같다. 그래프의 y축은 조향각으로 양의 값은 우측을 음의 값은 좌측을 나타낸다. 초기 직선 구간에서 0에 가까운 일정한 값을 가지다가 우측으로 진행하면서 양의 값을 보인다. 이를 통해 자율주행 이동로봇의 장애물 회피 주행을 확인할 수 있다.

그림 10의 (a)와 (b)는 자율주행 이동로봇의 장애물 주파 성능을 확인하기 위해 각기 다른 두 가지 환경을 구성하고 실험한 결과이다. 그래프의 점선은 로봇의 이동 경로를 나타내고 실선은 장애물을 의미한다.

자율주행 이동로봇의 이동경로 측정은 각가속도를 측정하는 자이로 센서를 이용하였다. 자이로 센서로부터 주행 중에 변화하는 yaw 값에 대한 오일러 각을 측정한다. 이를 이동로봇의 이동속력과 함께 계산하여 주행 시작 위치에 대한 상대경로를 획득한다. 그림 10의 (a)는 0.12m/s의 속력으로 2.5m x 3m 크기에 사선으로 장애물이 놓여있는 공간을 이동한 것이다. 사선으로 놓여있는 장애물 활성영역에 근접할수록 방향의 변화가 큰 것을 확



(a) 이동경로 I
(a) trajectory I



(b) 이동경로 II
(b) trajectory II

그림 10. 장애물 회피를 위한 로봇 이동경로
Fig. 10 Navigation trajectories for obstacle avoidance

인할 수 있다. (b)는 1.5m x 3m의 공간에 1m간격으로 측면에 70cm의 장애물을 배치하였다. 자율주행 이동로봇은 0.12m/s 속력으로 이동하며 그래프로부터 연속된 장애물 주파를 확인할 수 있다.

한편 안드로이드 모바일 디바이스와의 연동을 확인하기 위한 실험에 사용한 기기는 안드로이드 4.3 버전의 태블릿 PC로 그림 4의 어플리케이션을 통해 영상 수신 및 주행 제어를 확인할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 과제

장애물에 대한 가상 반발력을 이용하여 실내 환경에서 장애물을 적절하게 회피하며 주행할 수 있는 자율주행 이동로봇을 구현하였다. 구현한 자율주행 로봇은 제한된 크기의 임의의 실험 공간에서 지속적인 주행이 가능함을 확인하였다. 또한 이를 안드로이드 모바일 디바이스와 연동하여 원격지에서 영상정보를 통해 주행환경을 확인할 수 있었으며 필요시 사용자에게 의해 수동으로 전환하여 이동로봇의 제어가 가능하다.

향후 구현한 시스템을 실생활에 적용하여 실내 무인 감시 서비스를 수행하게끔 자율주행 이동로봇의 주행 목표지점을 설정한 경로 계획을 추가하고 안드로이드 모바일 디바이스와의 통신 안정성, 사용자 인터페이스 등을 보다 개선할 계획이다.

References

- [1] M. Meeker, L. Wu, "KPCB Internet Trends 2013," Proceedings of D11 CONFERENCE, pp.1-7, 2013.
- [2] J.Y. Lee, W.C. Lee, "Position Calibration and Navigation of Mobile Robot Using Inertial Sensor and Fuzzy Rules," Journal of KIIT, Vol. 11, No. 5, pp. 25-31, 2013 (in Korean).
- [3] J.G. Kim, T.K. Yang, "Video and location information using the mobile robot obstacle avoidance and target tracking," Journal of KIIT, Vol. 8, No. 1, pp. 35-41, 2010 (in Korean).
- [4] T.H. Kim, G.L. Seo, J.Y. Lee, W.C. Lee, "Integrated Fire Monitoring System Based on Wireless Multi-Hop Sensor Network and Mobile Robot," Journal of ICROS, Vol. 16, No. 2, pp. 114-119, 2010 (in Korean).
- [5] J. Borenstein, Y. Koren, "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobilerobots," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 7, No. 3, pp. 278-278, 1991.
- [6] Y.G. Kim, K.D. Lee, "Development of an Autonomous Navigation System for Unmanned Ground Vehicle," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 3, No. 4, pp. 244-250,

- 2008 (in Korean).
- [7] I. Moon, W.K. Hong, J.T. Ryu, "Design of Ultrasonic Sensor Based Obstacle Recognition Mobile Robot," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 6, No. 5, pp. 327-333, 2011 (in Korean).
- [8] T.S. Jin, "Navigation Control of Mobile Robot based on VFF to Avoid Local-Minimum in a Corridor Environment," Journal of KIMICS, Vol. 15, pp. 759-764, 2011 (in Korean).
- [9] J. Borenstein, Y. Koren, "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 19, No. 5, pp. 1179-1187, 1989.
- [10] I. Ulrich, J. Borenstein, "VFH: Local Obstacle Avoidance with Look-Ahead Verification," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2505-2511, 2000.
- [11] V.O.S. Olunloyo, M.K.O. Ayomoh, "Autonomous Mobile Robot Navigation Using Hybrid Virtual Force Field Concept," European Journal of Scientific Research, Vol. 31, No. 2, pp. 204-228, 2009.

저 자 소 개

김 준 영



2014년, 부경대학교 전자공학과 학사.

현재, 부경대학교 전자공학과 석사과정.

관심분야: 임베디드 시스템, 지능 제어
Email: junyoung8934@pknu.ac.kr

이 원 창



1983년, 서울대학교 제어계측공학과 학사.

1985년, 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사.

1992년, 포항공과대학교 전자전기공학과 박사.

현재, 부경대학교 전자공학과 교수

관심분야: 로보틱스, 임베디드 시스템
Email: wlee@pknu.ac.kr