

화재수신기 기반의 화재감시로봇을 위한 프로토콜 설계

*, **

Protocol Design for Fire Receiver - based Fire Detection Robots

Jong-Cheon Lim*, Jae-Min Lee**

요약 기존의 화재 관련 소방로봇들은 원격조종기로 제어되어 화재현장에서 화재 상황을 감시하거나 화재를 진압하는데 사용되고 있다. 그러나 이러한 방식은 화재 발생 후 골든타임 안에 로봇을 준비하고 투입하는데 많은 시간이 소요되어 소방로봇으로서의 역할을 충분히 다하지 못한다는 문제점을 가지고 있다. 자율 주행 화재감시로봇을 활용하면 화재수신기와 연동하여 화재 신호 발생 시 출동한 로봇이 화재 현장의 동영상을 촬영하여 방재 담당자에게 영상을 전달함으로써 실제로 화재가 발생했는지 또는 오보인지를 확인 할 수 있도록 정확하고 빠른 판단 기회를 제공하고 동시에 화재를 초기 진압함으로써 대형 사고로 확산되는 것을 방지할 수가 있다. 본 논문에서는 자율이동 화재감시로봇의 구성과 이 로봇이 화재수신기와 연동하는데 필요한 통신 프로토콜을 제안한다. 실시간으로 다수의 화재감시로봇을 제어할 수 있는 통신 프로토콜을 설계하며 화재수신기와의 통신을 무선 Wi-Fi를 이용하여 이더넷 네트워크의 인터페이스 역할을 수행하도록 계층적 네트워크로 구성한다. 설계하는 화재감시로봇과 화재수신기간의 무선통신을 구현하고 필드시험을 통하여 동작의 유효성을 확인한다.

Abstract Conventional fire fighting robots are controlled by a remote control to monitor the fire scene or to suppress the fire. However, this method has a problem that it takes a long time to prepare robot and input it to fire place in the golden time after the fire, so that it can not sufficiently serve as a fire fighting robot. Using the autonomous driving fire monitoring robot, when a fire signal is generated, in conjunction with a fire receiver a moving robot takes a video of the fire scene and delivers the image to the fire department, so that the fire fighter can decide if it is real fire or not. Thereby it is possible to prevent a sudden spread of an accident by providing a quick judgment opportunity and at the same time suppressing the fire early. In this paper, we propose an architecture of the autonomous mobile fire monitoring robot and the communication protocol required for the robot to work with the fire receiver. A communication protocol is designed to control multiple fire monitoring robots in real time, and a communication with a fire receiver is designed as a hierarchical network to serve as an interface of an Ethernet network using wireless Wi-Fi. The fire monitoring robot and the wireless communication of the fire receiving period are implemented and the effectiveness of the operation is confirmed through the field test.

Key Words : Fire monitoring robot, Fire receiver, Fire fighting robot, Autonomous driving, Communication protocol

1.

대형건물 및 생산 공장 등에 화재가 발생했을 때 이를 진압하는 과정에서 초기에 골든타임을 놓칠 경우 대형화재로 확산되어 큰 피해가 발생할 수 있다. 골든타임에 효

과적으로 대응하는 방법으로서 소방로봇 개발에 대한 인식이 높아져 이에 대한 연구와 활용이 활발히 이루어지고 있다. 기존의 소방 보조로봇들은 소방관서에 배치되어 불확실성과 위험성이 높은 화재현장에서 소방관을 보조하거나 대체하는 수단으로서 사용 되어 왔다. 그러나 소방 보

*Department of Electronic Engineering Catholic Kwandong University

**Corresponding Author : Department of Electronic Engineering Catholic Kwandong University (leejm@cku.ac.kr)

Received July 26, 2018

Revised August 03, 2018

Accepted August 12, 2018

조 로봇들은 초기 작동 준비시간이 과도하게 소요되며, 현장에 투입된다고 하더라도 이미 화재가 확산 되어 있어 진압에 실패할 가능성이 높고 단순히 현장 탐색용으로만 이용하거나, 화재 확산 후 진압용 소방로봇을 현장에 투입시키는 것은 진압로 확보의 어려움 등이 있어 실용적이지 못하다.[1] 따라서 화재 현장에 신속히 대처하고 화재의 확산을 예방하기 위해서는 위험요소를 효과적으로 감지할 수 있는 중앙 집중적 원격화재 모니터링 시스템인 화재수신기와 연동하여 화재의 진위를 확인하고 상황에 대응할 수 있는 화재감시로봇이 필요하다.[2,3]

본 논문에서는 이러한 기존 화재로봇 기술의 단점을 해결하기 위하여 화재 발생 시 화재감시로봇이 정해진 이동경로를 따라서 자율적으로 주행하여 화재 발생 현장으로 이동하여 촬영한 영상정보를 당직자에게 실시간으로 제공하는 로봇시스템의 구성 방법과 시스템의 화재수신기와 화재감시로봇간의 통신을 Wi-Fi 무선 네트워크를 통하여 이루어지도록 설계하고 다수의 화재감시로봇 요청에 응답할 수 있도록 메모리 Map 기반 멀티캐스팅을 할 수 있는 프로토콜을 제안한다. 제안하는 통신 프로토콜과 함께 자율주행 시 장애물을 회피하기 위한 엔코더와 초음파 센서[4,5], 레이저센서[6], Bumper Sensor Module, Camera Module[5] 및 무선통신모듈 등을 이용하여 화재감시로봇과 화재수신기를 구축한 후 시험을 통하여 프로토콜의 유용성을 검증한다.

2.

2.1

기존의 소방로봇은 화재 발생 후 소방관이 출동하여 작업하기 힘든 극한 지역에 우선적으로 투입하기 위해서 소방로봇과 함께 원격사용자를 위해 그림 1과 같은 데이터 통신과 영상통신 시스템으로 구성된다. 데이터 통신 시스템은 양방향으로 통신하며 소방로봇의 상태정보, 주위 환경정보 등을 원격사용자에게 전달한다. 영상통신 시스템은 소방로봇 주위의 영상정보를 획득하여 원격사용자에게 전달하는 기능을 담당한다.

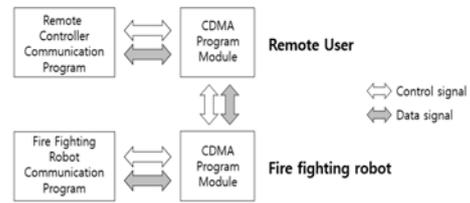


Fig. 1. Communication system structure of conventional fire fighting robot.

소방로봇과 원격 사용자간의 통신 시스템은 양방향 통신을 하며 소방로봇은 자신의 내,외부온도, 축전지 상태, 소화포의 위치, 로봇의 이동속도 및 방위 등 원격사용자가 필요로 하는 상태 정보를 전송하고 원격사용자는 이를 바탕으로 소방로봇에게 각종 명령을 내리게 된다. 소방로봇의 모든 상태 정보 및 명령은 패킷 형태로 전송이 되도록 설계되어 있다. 그림 2는 원격사용자와 소방로봇간의 통신 프로그램 흐름을 나타낸 것이다. 소방로봇과 원격사용자간의 신뢰도 높은 통신을 위하여 CDMA (Code Division Multiple Access) 통신모듈 등을 사용하고 원격제어장치를 이용하여 통신모듈과 프로그램을 제어하고 소방로봇과 통신모듈 간에 제어 신호가 송수신된 시점부터는 데이터를 원격사용자와 소방로봇이 서로 주고받도록 제어 프로그램을 구성한다.[7,8] 그러나 소방관이 화재 현장에 도착 후 소방로봇을 전개하는 준비 시간이 지나치게 소비되어 진압로 확보의 어려움이 발생하거나, 화재가 확산되면 소방로봇의 투입이 물리적으로 어려워지고 소방로봇의 기능도 제한된다.

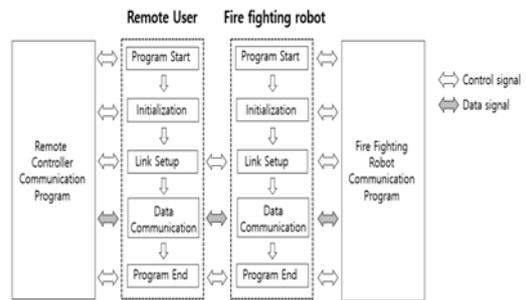


Fig. 2. Data communication flow scheme between fire fighting robot and remote users.

2.2

화재 발생 시 초기에 화재 발생 여부와 신속한 현장 출동을 통한 화재 진압 기능이 충분하지 않은 기존 소방로봇에 한계를 극복하기 위하여 그림 3과 같은 자율주행로봇을 제안한다. 제안하는 자율주행로봇은 화재 발생 시 화재 발생 현장의 화재감지기로부터 화재 발생 정보를 받은 화재수신기가 화재감시로봇에 화재 발생 현장 관련 정보를 송신하면 화재감시로봇은 화재수신기로부터 화재에 관련된 정보를 받아 자율 주행으로 화재 발생 지점으로 이동한다. 각종 장애물과 Map에 등록된 구조물에 관련된 정보를 화재수신기와 정보를 공유한다. 또한 영상을 촬영하여 화재 발생 현장에 관련된 영상정보를 실시간으로 담당자에게 제공하는 로봇으로서 화재수신기와 화재감시로봇을 연동시키는 통신 프로토콜을 제시한다. 화재감시로봇은 화재수신기의 통신 명령을 수신 후 화재장소로 이동하여 영상을 촬영하고 화재수신기에 영상정보를 송신한다.[9] 화재감시로봇과 화재수신기 사이에는 2.4G 대역폭을 제공하는 무선 LAN 통신환경으로 구축하고 화재수신기가 다수 로봇의 요청에 응답할 수 있도록 메모리 Map 기반 멀티캐스팅을 사용하여 통신 프로토콜을 설계한다.

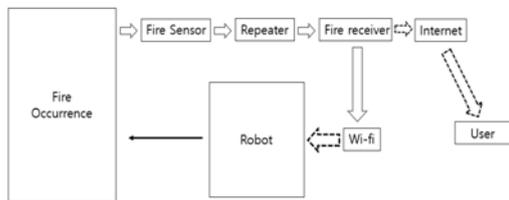


Fig. 3. Communication system structure of proposed fire monitoring and fighting robot.

그림 3의 화재수신기 기반 자율 주행 화재감시로봇 시스템에서 화재수신기와 자율 주행 화재감시로봇 사이에 신뢰성 높은 통신 기능이 반드시 필요하다. 그림 4는 설계할 프로토콜을 위한 화재수신기와 자율주행 화재감시로봇 사이의 통신요소들을 나타낸 것이다. 평시에는 화재수신기는 화재감시로봇에게 상태 정보와 위치정보를 500ms 마다 요청하여 이에 응답하도록 한다. 또한 화재 발생 시 화재수신기에서 화재발생 정보를 화재감시로봇에

전송을 하여 화재감시로봇이 출동 대기 상태에 들어가고 이어서 위치 정보 및 장애물 정보를 전송받아 화재가 발생한 장소로 이동하도록 한다. 이때 화재수신기는 화재감시로봇에게 위치정보를 요청하여 화재가 발생 한 곳으로 이동하는지를 화재수신기에서 확인하고 이동이 완료되면 영상정보를 요청하여 영상을 확인하도록 한다.

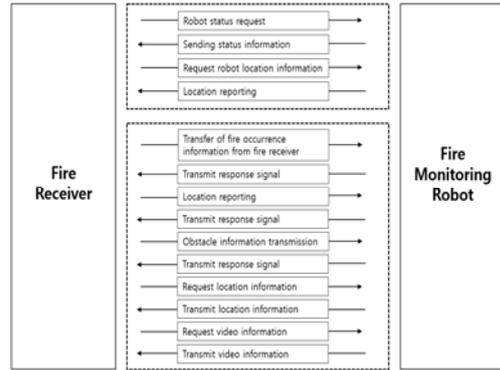


Fig. 4. Fire receiver and fire monitoring robot communication.

화재수신기에서 화재감시로봇에 패킷을 전송하면 화재 감시로봇은 패킷을 수신했다는 응답신호를 화재수신기에 보내고 화재수신기에서 응답신호를 받지 않은 경우에는 화재감시로봇은 패킷을 재전송하여 응답신호를 기다리게 한다. 이러한 통신기능을 위해 표 1과 같은 구조로 화재수신기와 화재감시로봇 사이의 Packet 구조를 설계한다. Start Packet은 통신 패킷의 시작을 의미하며 16진수로 0x02의 값이 되며 Length는 패킷의 길이를 나타내는 기능으로 로봇 ID 부터 CRC까지의 바이트 수이다.

Table 1. Packet structure of fire receiver and fire monitoring robot

1	1	1	1	Variable	2	1 (byte)
Start Packet	Length	Robot ID	Command	DATA0 ~ DATA n	CRC	End Packet

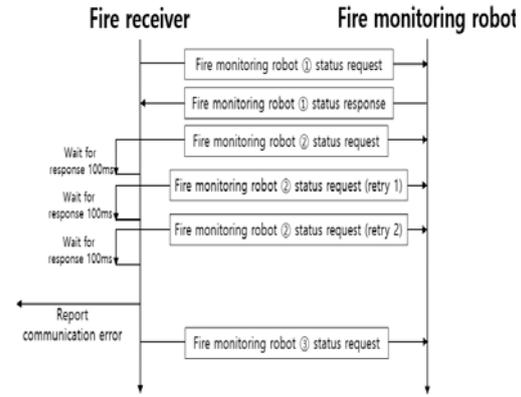
로봇 ID는 화재감시로봇의 주소 값을 나타내며 Command는 패킷의 기능을 나타낸다. DATA0~DATA n은 데이터가 들어가는 곳으로 바이트 수는 가변적이며 CRC는 2바이트의 크기로서 패킷의 유효성 여부를 판단한다. En

d Packet은 통신 패킷의 마지막 필드를 의미하며 16진수로 0x03의 값이 된다. 화재수신기의 데이터가 정상적으로 동작하기 위해서는 최소 3ms 이상의 수신 신호가 되도록 하며, 0과 1의 비율이 1:1인 경우 노이즈 발생률이 낮으므로 이를 고려하여 패킷 신호를 구성한다. 무선 통신 시 발생하는 통신 오류를 줄이기 위해서 CRC(Cyclic Redundancy Checking) 부호를 사용한다.[10] 신뢰성 보안을 위하여 자동화 기기 사이에 end-to-end 보안기기를 적용하여 데이터를 보안 한다.[11] 표 2는 화재수신기와 화재감시로봇 통신 제어 명령어를 나타낸 것이다. 화재수신기와 화재감시로봇 사이의 통신은 일정 시간마다 화재수신기의 메뉴에 의한 화재감시로봇의 상태 및 위치 정보 요청을 하여 화재감시로봇의 상태 확인 할 수 있게 한다. Packet에 명령어를 부여하여 명령어의 종류에 따라 화재감시로봇에서 응답해야 될 정보를 화재수신기로 전송한다. 화재수신기와 화재감시로봇 사이의 통신은 화재수신기는 Master로 그리고 화재감시로봇은 Slave로 동작이 이루어지고, 화재수신기에서 명령을 전송하면 화재감시로봇에서 응답을 하도록 설계한다. 화재수신기는 여러 개의 화재감시로봇을 폴링(Polling)하면서 화재감시로봇에서 발생하는 위치 정보 및 영상 정보를 가져온다. 사용자에게 의한 명령은 폴링을 잠시 중단하고 명령어를 처리한 후 폴링을 계속하며, 그림 5와 같이 수신기와 화재감시로봇 사이의 통신 이상으로 통신 실패 시 2회 재시도 후 응답이 없으면 통신에 이상이 있음을 표시하도록 한다.

2. Command.

Table 2. Communication control command of fire receiver and fire monitoring robot

Command	Execute command	Route
0x01	Request status information of fire monitoring robot	robot receiver
0x02	Request location information of fire monitoring robot	robot receiver
0x03	Transfer of fire occurrence information of fire receiver	robot receiver
0x04	Location information transmission to fire monitoring robot	robot receiver
0x05	Obstacle information transmission to fire monitoring robot	robot receiver
0x06	Requesting video information of fire monitoring robot	robot receiver
0xA0	Response signal	robot receiver



5. Communication error between fire receiver and fire monitoring robot.

3.

제안한 프로토콜로 설계된 자율 주행 화재감시로봇을 그림 6과 같이 구현하고 그림 8과 같은 테스트 환경을 통하여 동작과 성능을 검증하였다. 그림 6의 화재감시로봇은 Driving Module, 전면에는 장애물과 충돌 시 로봇을 보호하는 Bumper Sensor Module, DC24V Battery Module, 로봇을 제어하는 Control Module, 장애물 탐지를 위해 20mm~5.6m의 감지거리와 240도의 측정각을 갖는 Laser Range Finder Module, 3.5m의 탐지거리와 약 60도의 각도를 측정하는 Ultrasonic Sensor Module,[12.13] 영상을 촬영하는 Camera Module, 인공표식 기반 위치인식용 랜드마크 확인을 위한 Absolute

6.

Fig. 6. Implemented autonomous running fire monitoring robot.



Localization Sensor Module (Star Gazer) 및 화재 발생 시 화재 확산을 지연시켜 줄 수 있는 Fire Extinguisher[14] 등으로 구현하였다.

그림 7은 로봇의 위치인식을 위한 프로그램의 구조이며 화재위치까지 자율주행 하는 기능은 엔코더 정보(Odometry)에 따른 상대위치인식(Gyro3Axis)과 인공표식(StarGazer)에 따른 절대 위치인식을 병합하며 Gyro 3Axis는 로봇의 방향을 측정하여 Navigation 구현을 하며 외부에서 주어진 맵과 로봇이 만드는 맵을 비교하여 주행하도록 한다.

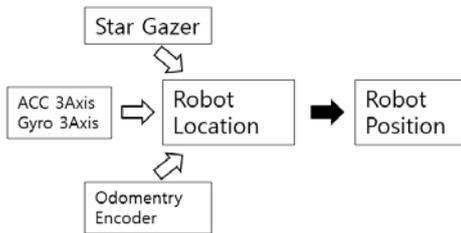


Fig. 7. Structure of robot position recognition software

동작 및 성능시험을 위한 환경으로서 그림 8과 같이 15M×12M 규모의 실내테마 테스트베드를 구축하여 사용하였다.

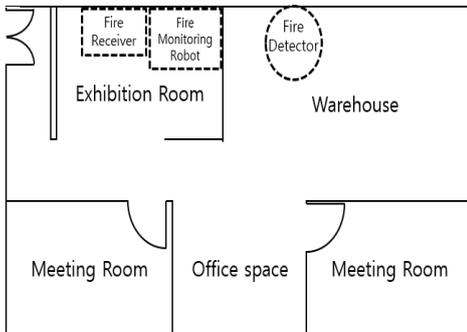


Fig. 8. Test environment for Verifying Performance of the proposed autonomous driving fire robot

전시실에 설치한 화재수신기와 화재감시로봇은 창고에 설치된 화재감지기에서 발생된 화재 신호가 화재수신기에

입력되어 화재 발생 경보가 올리는 동시에 화재수신기에서는 화재감시로봇에 상태정보 및 위치 정보를 요청하면 화재감시로봇은 상태 및 위치정보를 응답한다. 화재수신기는 화재 발생 정보와 화재 위치 정보, 장애물 정보를 전송하고 영상정보를 요청하면 화재감시로봇은 응답 신호를 전송한다. 표 3, 표 4와 같이 성능검증을 위하여 화재를 발생시켜 화재수신기에서 화재경보의 발생 유무를 10회 실시하였는데 10회 모두 화재감지기가 감지 한 후 최대 5초 이내에 화재수신기에서 화재 발생되었음을 확인할 수 있었다. 또한, 화재감시로봇이 화재수신기에서 화재 발생 정보와 위치정보를 수신하여 화재 위치까지 10회 모두 정확히 이동하였다. 종점의 위치 오차는 평균 +/- 20 cm로 측정되어 정확히 화재 발생 지점으로 이동함을 확인하였으며 성능시험을 실시하여 표 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 기존 방식은 원격으로 로봇을 조정하는 것이 특징이지만 제안하는 화재감시로봇은 화재수신기에서 송신한 화재 신호와 화재발생지역의 정보가 연동하여 작동하도록 설계하였다. 기존에는 화재감지와 진압과정은 현장 상황에 따라서 탐색로봇과 진압로봇으로 구분하여 화재 현장에 투입하지만 제안하는 로봇은 두 가지 기능이 구분 없이 상황에 맞춰 연속적으로 수행되는 장점을 가지고 있다. 원격조종으로 이동하는 기존 로봇과 Absolute Localization Sensor Module, Laser Range Finder Module, 초음파센서 등 장애물 회피 기능 등을 이용한 자율 주행하는 화재감시로봇으로 구분되며 통신방식은 기존 로봇은 Bluetooth, Zigbee 및 CDMA 등을 사용하고 화재감시로봇은 이더넷 Wi-Fi 무선 네트워크 방식을 사용한다. 로봇의 운행수량은 기존 로봇은 1대이며, 다수의 원격조종자가 원격제어를 할 수 있고 영상전송은 데이터 전송이다. 화재감시로봇은 현장 상황에 따라서 통신두절 시 AccessPoint 2대를 사용하여 멀티캐스팅 방식으로도 화재수신기와 통신을 하면서 운행이 가능하고, RTSP 영상 모듈을 사용하여 당직자에게 화재의 진위 여부를 신속히 판단할 수 있게 한다.

3
Table 3. Test results of fire detector measurement

Fire Detector			
Test results	1st test	Detected	5 sec
	2nd test	Detected	5 sec
	3rd test	Detected	5 sec
	4th test	Detected	5 sec
	5th test	Detected	5 sec
	6th test	Detected	5 sec
	7th test	Detected	5 sec
	8th test	Detected	5 sec
	9th test	Detected	5 sec
	10th test	Detected	5 sec

4
Table 4. Test results of end point arrival error measurement

Robot Movement		
Test results	1st	20cm
	2nd	- 18cm
	3rd	2cm
	4th	- 20cm
	5th	17cm
	6th	- 15cm
	7th	- 17cm
	8th	18cm
	9th	- 10cm
	10th	17cm

5.
Table 5. Comparison of proposed technology and conventional technology

Factors for comparison	User robot (search robot / evolution robot)	Proposed fire monitoring & suppression robot
How to configure fire detection and suppression system	Remote control by man	Works in conjunction with a fire receiver
Fire detection and suppression process	Detection and dispatch are performed separately	Detection and suppression are performed continuously on one robot
How to move the robot	Remote control	Autonomous driving
Communication method	Bluetooth/Zigbee/CDMA	Ethernet Wi - Fi network
Configuring the communication protocol	Direction indication by remote control	Interlocked with fire receiver
Number of simultaneous operation of robot	1:1 control	1:1
Obstacle avoidance function	None	Yes (Ultrasonic sensor, etc.)
Video transmission method	Data transmission	RTSP image module

4.

본 논문에서는 화재수신기 기반의 화재감시로봇 구성과 로봇의 제어를 위한 통신 프로토콜을 제안하였다. 화재감시로봇의 통신시스템은 계층 구조적 방식으로 설계하였고 무선 통신은 Wi-Fi 이더넷 기반의 네트워크를 사용하였다. 또한 화재에 관련 된 위치 정보를 수신하고 다수의 화재감시로봇의 요청에 응답할 수 있도록 메모리 Map 기반 멀티캐스팅을 사용하였다. 기존의 원격조종 방식과는 달리 화재수신기와 연동하여 운영하므로 화재 발생 시 화재수신기로부터 제공 받은 정보를 수신한 후 목적지로 이동하면서 장애물을 회피하는 자율주행으로 화재 발생 현장에 접근하여 촬영한 정보를 관리자에게 RTSP 영상모듈로 영상을 전송하여 화재의 진위 여부를 확인할 수 있게 하였다. 이 방식을 사용하면 화재 초기에 골든타임을 확보하여 피해를 최소화할 수 있다. 제안한 내용을 이동로봇을 대형화하고 다수의 로봇을 멀티캐스팅하여 동시 다발적으로 화재 감시 및 초기진압을 할 수 있는 소방로봇으로 확대한다면 화재수신기와 연동하는 탐색과 진압용 로봇으로 인명 및 재산의 피해를 최소화하는데 크게 기여할 수 있을 것이다

REFERENCES

- [1] K. R. Kim, J. T. Kim, "A Research of the Development Plan for a Hi-ghly Adaptable FSR (Fire Safety Robot) in the Scene of the Fire", Fire Science and Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 113-118, 2010.
- [2] J. C. Lim, J. M Lee, "Design of Fire Receiver -based Fire Detection Robot" Proceedings of 2018 Spring Annual Conference, The Korean Institute of Information Electron and Communication Technology, Vol. 11, No. 1, pp.175-177, 2018.
- [3] J. C. Lim, J. M Lee, "Design of Remote Video Monitoring System using RTSP Module", Proceedings of 2017 Fall Annual Conference, The Korean Institute of Information, Electron, and Communication Technology, Vol. 11, No.1, pp. 82-88, 2018.
- [4] B. H. Choi, B. S. Kim, "Location Estimation using IR Obstacle Detection using Scanner for Indoor Mobile Robots", Korean Institute of Intelligent Systems, Proceedings of 2011 Spring Annual Conference, pp. 51-52, 2011.
- [5] J. H. Kim, M. W. Seo, Y. j. Kim M. T. Lim, "Obstacle Recognition Method of Mobile Robot using an Ultrasonic and Vision Sensor", The Korean Institute of Electrical Engineers, Proceedings of 2003 Fall Annual Conference, pp. 2444-2446, 2003.
- [6] H. C. Moon, Y. J. Son, J. H. Kim, "Design of an Obstacle Detecting System for Unmanned Ground Vehicle Using Laser Scanner", Journal of Institute of Control Robotics and Systems, Vol. 14, No. 8, pp. 809-817, 2008.
- [7] J. H. Park, J. H. Jung, B. W. Kim, S. U. Park, D. J. Park, "Wireless Digital Packet Communication and Analog Image Communication Systems for Fire Fighting Robots", Journal of Control Automation and Systems Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 121-127, 2007.
- [8] W. J. Lee, J. K. Kim, J. H. Oh, B. S. Son, "Development of Teleoperated Fire Extinguishing and Life saving Technologies Using a Fire Fighting Robot", Korean Institute of Fire Science&Engineering, pp. 237-242, 2007.
- [9] P. H. Chang, K. B. Park, G. R. Cho, J. K. Kim, W. J. Lee, "Avision Enhancement Technique for Remote Control of Fire Fighting Robots", Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp.219 - 224, 2007.
- [10] K. J. Kim, "A Study on the Implementation of Digital Anti-fire Monitoring System with Multipoint Communication Protocol", Korean Institute of Electron Communication Science, Vol. 7, No. 6, pp. 1423- 1428, 2012.
- [11] H. S. Wi, J. H. Lee, O. Y. Yi, "Study on data security in industrial control system Through Modbus RTUprotocol vulnerability attack", Korean Institute of Communication Sciences, Proceedings of Symposium of the Korean institute of Communication and Information Sciences, pp.78-80, 2018.
- [12] D. W. Kim, Y. Lgor, E. S. Kang, S. Jung, "Design and Control of an Omni-directional Cleaning Based on Landmarks", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 23, No. 2, pp. 100-106, 2013.
- [13] M. S. Chae, T. K. Yang, "A study on Precise Localization for Mobile Robot Based on Artificial Landmarks in the Ceiling", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 9, No. 8, pp. 85-92, 2011.
- [14] K. S. Pil, H. G. Kim, H. J. Yoon, D. G. Shin, S. H. Sakong, "A study on the Mobile Robot for the Automation of the Performance Rating of Fire Extinguishers", Proceedings of 2009 Fall Annual Conference Korean Institute of Fire Science & Enginee - ring, pp. 26-33, 2009.

(Jong-Cheon Lim)

[]



- 2012 : ()
- 2014 : ()
- 2017: ()
- 2017 가

< >

(Jae-Min Lee) []



- 1979 :
()
- 1987 :
()
- 1990 ~ 1991 :
(Urbana-Champaign) Post-Doc.
- 2011 ~ 2013 :
,
- 2011 ~ 2013 :
,
- 1986 :가

< > , ,