

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제24권 제3호, 2019년 5월 (JBE Vol. 24, No. 3, May 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.3.395>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

신뢰성 있는 재난경보 방송을 위한 지능형 이동 로봇의 협업 기법

장석진^{a)†}, 이용태^{b)}

A Collaborative Technology of Intelligent Mobile Robots for Reliable Emergency Alert Broadcast

Sekchin Chang^{a)†} and Yong-Tae Lee^{b)}

요 약

이동통신 시스템과 T-DMB는 재난경보 방송을 위한 CBS와 AEAS 기능이 정의되어 있다. 그러나 재난 발생으로 실내 공간의 통신 인프라가 불능이 될 경우 실내 공간의 거주자들은 재난경보 수신에 불가능할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 지능형 이동 로봇의 협업 기법을 제안한다. 재난경보 메시지 수신에 성공한 지능형 이동 로봇들은 협력통신 방식을 이용하여 수신에 실패한 지능형 이동 로봇들에게 재난 메시지를 재전송한다. 협력통신의 성능을 높이기 위하여 지능형 이동 로봇들은 각자의 위치 정보를 이용한다.

Abstract

The CBS and the AEAS functionalities are defined in cellular systems and T-DMB systems, respectively. In the case that communication facilities are disabled in indoor environments, it is impossible for the residents to receive the emergency messages. In this paper, a novel collaborative technology of intelligent mobile robots is proposed, which relies on cooperative communications among the intelligent mobile robots. In order to improve the performance, the intelligent mobile robots exploit their location information. Simulation results confirm that the proposed method is very suitable for reliable emergency alert broadcast.

Keyword : Collaborative Technology, Emergency Alert Broadcast, Intelligent Mobile Robot

a) 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(Department of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

b) 한국전자통신연구원(ETRI)

† Corresponding Author : 장석진(Sekchin Chang)

E-mail: schang213@uos.ac.kr

Tel: +82-2-6490-2342

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1546-3799>

※ 이 논문은 2018년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 지원되었음.

※ This work was supported by the 2018 Research Fund of the University of Seoul.

· Manuscript received March 16, 2019; Revised May 7, 2019; Accepted May 7, 2019.

1. 서론

이동통신 시스템과 T-DMB(Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting) 시스템은 재난 발생 시 각각 CBS(Cell Broadcast Service)와 AEAS(Automatic Emergency Alert Service)를 이용하여 재난경보 방송을 수행할 수 있다^[1]. 특히 수신 환경이 열악한 실내의 경우 중계기나 WiFi 등을 이용하여 재난 문자를 재전송할 수 있다^[2]. 그러나 심각한 재난이 발생할 경우 실내 환경에 설치된 통신 인프라의 불능이 초래될 수 있다. 이 경우 실내 환경 거주자 또는 생존자는 재난방송 서비스를 수신할 수 없으며 이는 긴급을 요구하는 경우에 심각한 상황을 초래할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 실내 환경에서도 신뢰성 있는 재난방송 서비스를 지속하기 위하여 지능형 이동 로봇의 협업 방식을 제안한다. 지능형 이동 로봇은 AI(Artificial Intelligence)를 기반으로 협업 수행이 가능한 이동 로봇이다. 이러한 지능형 이동 로봇은 재난 발생 시 건물이나 지하 구조물 등에 투입되어 신속한 정보 전송 등의 역할을 수행할 수 있다^[3]. 심각한 재난 발생 시 실내 공간은 통신 인프라의 불능 등으로 재난 메시지 수신이 불가능할 수 있다. 이 경우 실내 공간에 갇힌 생존자들은 CBS 또는 AEAS 등으로 전송되는 대응 등의 후속 메시지를 수신할 수 없게 된다. 실내 공간에 투입된 지능형 이동 로봇들은 장착된 근거리 통신 기능을 이용하여 CBS/AEAS 메시지를 실내 공간 생존자들에게 재전송할 수 있다. 그러나 실내 공간 거주자/생존자들이 재난 메시지 수신에 실패한 지능형 이동 로봇 근처에 있을 경우 여전히 재난 메시지 수신이 불가능하다. 이를 극복하기 위하여 협업기법을 이용하여 수신에 성공한 로봇으로부터 수신에 실패한 로봇까지 재난 메시지를 재전송 한다. 협업기법에 이용되는 근거리 통신의 성능을 높이기 위하여 지능형 이동 로봇들은 협력통신을 수행한다. 본 연구에서는 심각한 재난 발생으로 실내 공간의 수신 시설 등 통신 인프라가 완전히 불능이 된 경우를 가정한다. 이 경우 지능형 이동 로봇의 근거리 통신 기능을 이용하여 재난 메시지를 수신하게 된다. 재난 발생 시 지능형 이동 로봇들은 사람의 접근이 어려운 지하 구조물 등에 투입되므로 본 논문에서는 지능형 이동 로봇들 간의 협업을 가정

한다. 이러한 지능형 이동 로봇은 이동 기능과 근거리 통신 기능, 위치 추정 기능 등이 필수적으로 장착되어 있다. 특히 이동 로봇은 장착된 엔코더(encoder)와 IMU(Inertial Measurement Unit) 등의 관성 장치를 이용하여 자신의 위치를 추정할 수 있다^[4].

제안된 협업 기법은 지능형 이동 로봇들 간의 협력 통신을 기반으로 한다. 협력통신은 하나의 제공원(source), 다수의 릴레이(relay), 다수의 수신원(destination)으로 구성된다. 본 기법에서 지능형 이동 로봇들은 재난 메시지 수신 여부에 따라 릴레이 그룹과 수신원 그룹으로 구분된다. 수신원 그룹의 지능형 이동 로봇들은 각 위치 정보를 이용하여 릴레이 그룹에서 최적의 릴레이 로봇들을 선택한다. 수신원 이동 로봇은 릴레이 그룹에서 자신과 위치가 가장 가까운 지능형 이동 로봇을 최적의 릴레이 로봇으로 선택한다. 경로손실 모델에 따라 송수신 간의 거리가 가까울수록 수신원은 수신 강도가 높은 신호를 수신할 수 있기 때문이다. 이는 수신 성능을 향상시키는데 크게 기여한다. 선택된 릴레이 로봇들은 Alamouti 기법을 이용하여 수신원 로봇에게 재난 문자를 재전송한다. 수신원 로봇이 재전송된 재난 문자 수신에 실패할 경우 위치 정보를 이용하여 새로운 릴레이 로봇들을 선택할 수 있다. 제안된 방식은 고정 릴레이를 이용하는 기존의 협력통신 기법^[5]과 달리 위치 정보와 릴레이 그룹 분포에 따라 릴레이를 변경할 수 있는 가변 릴레이를 이용한다. 기존 협력통신은 이미 고정된 릴레이 그룹 과 고정된 수신원 들을 이용한다. 고정된 수신원은 고정된 릴레이 그룹에서 수신 강도가 높은 릴레이를 최적 릴레이로 선택하여 협력통신을 수행한다. 따라서 한번 선택된 릴레이는 최적 릴레이로 계속 이용된다. 그러나 본 연구 환경에서는 재난경보 수신 성공 여부에 따라 릴레이 그룹과 수신원 그룹이 수시로 변한다. 이러한 변화에 효율적으로 대응하기 위하여 수신원 그룹에 속하게 되는 지능형 이동 로봇들은 각자의 위치 정보를 이용하여 변경된 최신티 릴레이 그룹으로부터 최적의 릴레이를 계속하여 선택한다. 이는 재난경보 방송을 위한 협력통신의 성능을 향상시킨다. 또한 모의실험을 통하여 제안된 지능형 이동 로봇의 협업 기법이 신뢰성 있는 재난경보 방송에 적합함을 입증한다.

II. 신뢰성 있는 재난경보 방송을 위한 협업 기법

그림 1은 실내 환경에서 재난경보 방송의 재전송을 위하여 제안된 지능형 이동 로봇들의 협업 구조를 보여준다. 하나의 지능형 이동 로봇은 실내 구조물 입구에서 다른 지능형 이동 로봇들과의 협업을 위한 제공원 역할을 한다. 나머지

지 지능형 이동 로봇들은 실내 공간에 투입되어 제공원 로봇과의 협업 통신을 위한 릴레이 또는 수신원을 담당한다. 그림 1의 지능형 이동 로봇 제공원은 기지국(Base Station) 또는 T-DMB 방송국에서 방송하는 CBS/AEAS 재난 메시지를 수신하여 실내 공간의 다른 지능형 이동 로봇들에게 재방송(rebroadcast) 하는 게이트웨이(gateway) 역할을 수행한다. 그림 2는 재난경보 방송의 재전송을 위해 그림 1에

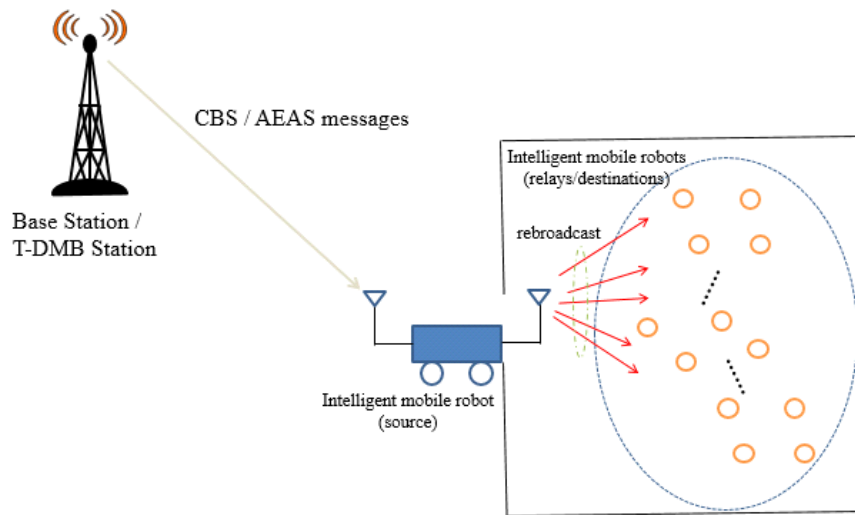


그림 1. 실내 환경에서 재난경보 방송의 재전송을 위한 지능형 이동 로봇들의 협업 구조
 Fig. 1. The collaborative structure of intelligent mobile robots for re-transmission of emergency alert broadcast in indoor environments

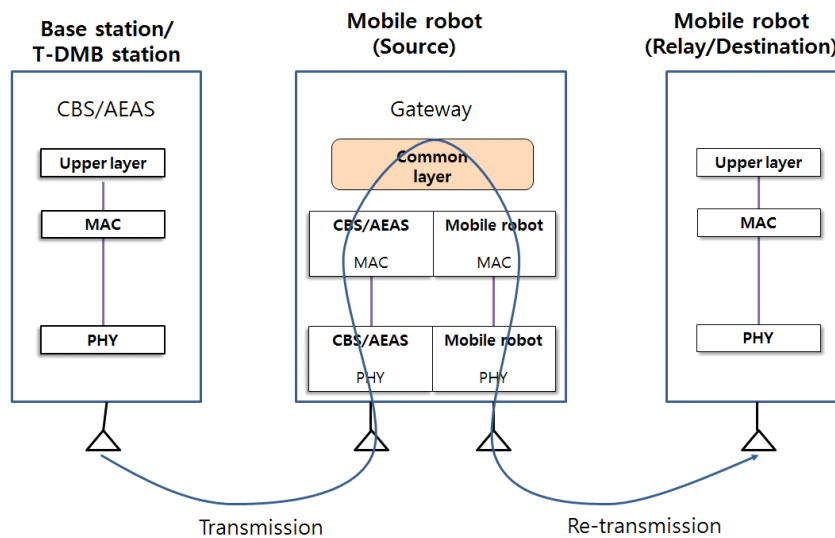


그림 2. 재난경보 방송의 재전송을 위한 지능형 이동 로봇 제공원의 게이트웨이 구조
 Fig. 2. The gateway structure of the intelligent mobile-robot source for re-transmission of emergency alert broadcast

서 이용된 지능형 이동 로봇 제공원의 게이트웨이 구조를 보여준다. 그 게이트웨이는 CBS/AEAS 프로토콜과 이동 로봇용 근거리 통신 프로토콜을 포함하고 있다. 또한 그 게이트웨이는 CBS/AEAS 프로토콜과 이동 로봇용 근거리 통신 프로토콜 사이의 변환을 위해 공통 계층(common layer)을 이용한다. 즉, 그림 2의 게이트웨이는 그 공통 계층을 사용하여 이동통신 기지국 또는 T-DMB 방송국으로 부터 수신한 CBS/AEAS 재난경보 메시지를 실내공간에 투입된 지능형 이동 로봇들에게 재전송 한다.

그림 3은 지능형 이동 로봇들 간의 협업을 위한 제안된 협력통신 방식을 보여준다. 그림 3(a)에서 제공원 이동 로봇은 수신한 CBS/AEAS 재난 메시지를 실내 공간의 지능형 이동 로봇들에게 재방송 한다. 재방송된 재난 메시지 수신에 성공한 지능형 이동 로봇들은 릴레이 그룹에 속하게 되며 수신에 실패한 지능형 이동 로봇들은 수신원 그룹에 속하게 된다. 수신원 그룹에 속한 각 지능형 이동 로봇은 릴레이 그룹으로 부터 자신과 가장 가까운 릴레이들을 선택하여 협력통신을 수행한다. 그림 3(b)는 그림 3(a)의 협력통신이 수행된 후 변경된 릴레이 그룹을 보여준다. 협력통신으로 재난 메시지 수신에 성공한 수신원 이동 로봇은 새로운 릴레이 역할을 수행한다. 여전히 수신에 실패한 수신원 이동 로봇은 새로 구성된 최신의 릴레이 그룹에서 자신과 가장 가까운 릴레이들을 선택하여 협력통신을 다시 수

행한다. 이 경우 수신원은 변경된 릴레이를 사용할 수 있다 [그림 3(b) 참조]. 즉 그림 3의 제안된 협력 방식은 기존 방식과 달리 가변 릴레이를 이용한다. 이 가변 릴레이 방식은 릴레이 그룹의 변화된 후보군에 효과적으로 대응할 수 있어 협력통신의 성능을 높여준다.

그림 4는 제안된 협력통신을 위한 지능형 이동 로봇들의

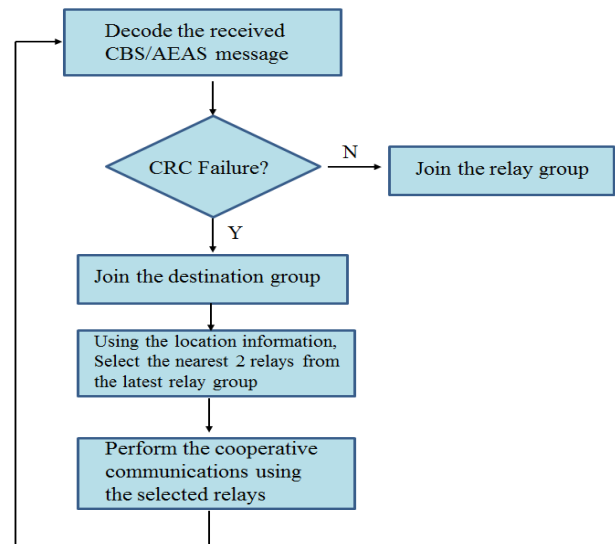


그림 4. 지능형 이동 로봇들의 협력통신을 위한 수행 절차
Fig. 4. The procedure for cooperative communications of intelligent mobile robots

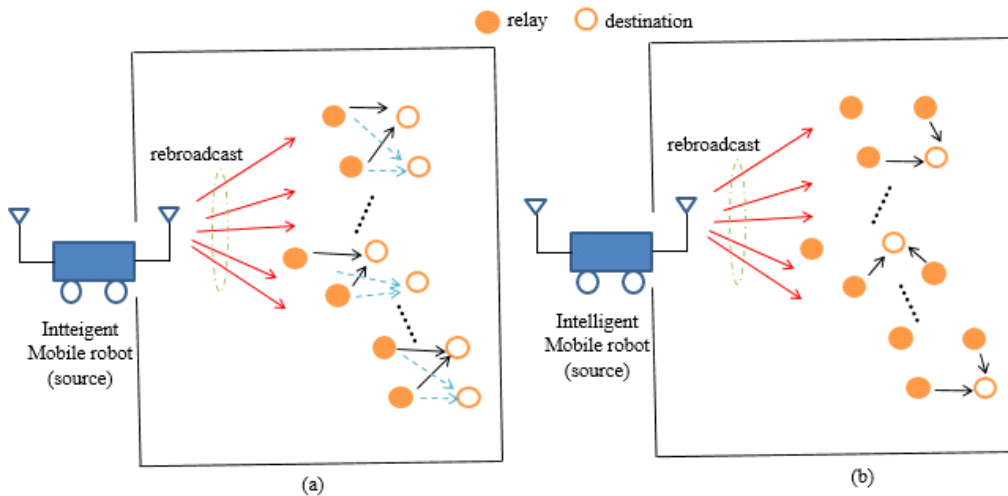


그림 3. 지능형 이동 로봇들 간의 협업을 위한 제안된 협력통신 방식
Fig. 3. The proposed cooperative communications for the collaboration of intelligent mobile robots

수행 절차를 보여준다. 수신된 CBS/AEAS 메시지 검출의 성공 유무를 결정하기 위하여 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 이용한다. CRC 성공 시 지능형 이동 로봇은 릴레이 그룹에 가입하며 CRC 실패 시 지능형 이동 로봇은 수신원으로 협력통신을 수행한다. Alamouti 협력통신에 필요한 2개의 릴레이를 선택하기 위하여 지능형 이동 로봇들의 현 위치 정보가 이용된다. 수신원 이동 로봇은 CRC 성공이 이루어질 때까지 이 협력 통신을 반복한다. 그림 3과 그림 4는 수신원 이동 로봇이 매 협력통신 수행 시 최신 릴레이 그룹에서 자신과 가장 가까운 2개의 릴레이를 이용함을 보여준다. 수신원 이동 로봇은 항상 최적 릴레이를 이용할 수 있어 협력통신이 반복될수록 CBS/AEAS 재난 메시지 수신 성공률이 높아진다.

III. 모의 실험

제안된 지능형 이동 로봇의 협업 기법에 대한 성능 평가 및 비교를 위해 다음과 같은 실험 환경을 가정 한다:

- 지능형 이동 로봇 간의 통신 프로토콜은 저전력/근거리 IoT 통신에 적합한 LR-WPAN(Low-Rate Wireless Personal Area Networks)^[6] 방식을 이용
- 실내 공간의 채널은 JTC 인도어(indoor) 채널^[7]을 이용
- 총 100개의 지능형 이동 로봇을 릴레이와 수신원으로 이용

표 1. 지능형 이동 로봇의 협업 기법에 대한 재전송 성능
 Table 1. The re-transmission performance for the collaborative techniques of intelligent mobile robots

Initial outage rate (%)	Maximum No. of re-transmissions for zero outage	
	Proposed	Conventional
20	1	1
40	2	10
60	4	57
80	5	∞

표 1은 지능형 이동 로봇의 협업 기법에 대한 재전송 성능을 보여준다. 이 표에서 초기 오수신율(outage rate)은 협업 시작 시 지능형 이동 로봇 제공원이 재방송한 재난 메시

지의 수신에 실패한 지능형 이동 로봇의 수를 전체 지능형 이동 로봇 수로 나눈 값이다. 오수신율이 20%일 경우 제안된 협력통신과 기존 협력통신^[5] 모두 한 번의 재전송으로 0의 오수신 값(모든 지능형 이동 로봇들이 재난 메시지 수신에 성공)을 얻었다. 제안된 협력통신 기반의 협업 기법은 초기 오수신율이 상승 할수록 협력통신 반복에 의한 최대 재전송 개수가 조금씩 상승함을 보인다. 그러나 기존 협력통신 기반의 협업 기법은 최대 재전송 개수가 급격히 상승함을 보였다. 또한 초기 오수신율이 80%일 경우 기존 방식은 0의 오수신 값에 도달하지 못했다. 이는 기존 방식이 고정 릴레이에 의존하는 관계로 초기 오수신율이 높을 경우 협력통신에 의한 수신율 상승에 한계를 가지기 때문이다. 따라서 기존 방식은 재난 메시지 수신에 음영지역을 가지거나 과도한 재전송에 의한 높은 지연시간(latency)을 보여 실내 공간에서 지능형 이동 로봇의 협업 기법에 적절하지 않다고 판단된다. 표 1은 제안된 방식이 기존 방식의 한계를 극복했음을 보여준다.

IV. 결론

본 논문에서는 실내 환경에서 신뢰성 있는 재난방송 서비스를 위한 지능형 이동 로봇의 협업 방식을 제안한다. 제안된 협업 방식은 협력통신 기법을 기반으로 한다. 수신원 그룹의 지능형 이동 로봇들은 위치 정보를 이용하여 릴레이 그룹에서 최적 릴레이 로봇들을 선택한다. 수신원 로봇은 선택된 릴레이들을 이용하여 협력통신을 수행하며 재난 메시지 수신 실패 시 새로 형성된 릴레이 그룹에서 위치 정보를 이용하여 최적 릴레이들을 다시 선택한다. 수신원 이동 로봇은 협력통신 시 항상 최적 릴레이를 이용할 수 있어 협력통신이 반복될수록 재난 메시지 수신 성공률이 높아진다. 모의실험은 제안된 기법이 고정 릴레이를 이용하는 기존 기법보다 우수함을 보이며 실내 공간에서 신뢰성 있는 재난경보 방송에 적합함을 입증한다.

일반적인 상황에서는 머신러닝 등의 학습기법을 이용하여 이동 로봇들 간의 협업 성능을 향상시킬 수 있다. 그러나 실내 공간 정보 등 신뢰성 있는 학습 정보가 확보되어야만 학습에 의한 성능 향상을 기대할 수 있다. 본 논문에서는

재난 상황을 가정하고 있어 신뢰성 있는 공간 정보 등의 이용이 불가능할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 머신러닝 기법 등을 적용하지 않았다. 향후 협업 성능의 더 나은 향상을 위하여 일반적인 학습기법이 아닌 재난 상황에 적합한 인공지능 알고리즘의 연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] M. Song, K. Jun, and S. Chang, "An efficient multiplexing method of T-DMB and cell broadcast service in emergency alert systems," IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 60, no. 4, pp. 549-557, Nov. 2014.
- [2] M. Song and S. Chang, "A delivery scheme of CBS alert message for 3G cellular phone in indoor environment," Proc. of 2013 Broadcast Engineering Summer Conf., June 2013.
- [3] J. Wang, Y. Wu, N. Yen, S. Guo, and Z. Cheng, "Big Data Analytics for Emergency Communication Networks: A Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 18, No. 3, pp.1758-1778, Mar. 2016.
- [4] W. Seo, K. Han, and K. Baek, "A Positioning Method using Bluetooth and Odometry for a Mobile Robot," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, pp.53-59, vol. 23, no. 1, Jan. 2017.
- [5] A. Blestas, A. Khisti, A. Benyamin-Seeyar, D. P. Reed, and A. Lipman, "A simple cooperative diversity based on network path selection," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 24, no. 3, pp. 659-672, Mar. 2006.
- [6] IEEE Std 802.15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs), 2003.
- [7] Joint Technical Committee of Committee T1 R1P1.4 and TIA TR46.3.3/ TR45.4.4 on Wireless Access, Draft Final Report on RF Channel Characterization, Paper No. JTC(AIR)/94.0.1.17-238R4, Jan. 17, 1994.

저 자 소 개

장 석 진



- 1991년 : 고려대학교 전자공학과 학사
- 1993년 : 고려대학교 전자공학과 석사
- 2001년 : University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과 박사
- 1993년 ~ 1998년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2000년 ~ 2004년 : Motorola 선임연구원
- 2004년 ~ 현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-1546-3799>
- 주관심분야 : 이동통신, 재난경보방송

이 용 태



- 1993년 : 한국항공대학교 항공전자공학 학사
- 1995년 : 한국항공대학교 전자공학 석사
- 2007년 : 연세대학교 전기전자공학 박사
- 1995년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송 미디어연구소 미디어연구본부 스마트미디어연구그룹 그룹장
- 2009년 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교(UST) ICT-통신미디어공학 교수
- 주관심분야 : 디지털방송기술, 스마트미디어기술, 재난정보전달시스템, IoT응용시스템