

LoRa 기반 피난 유도 체계의 설계 및 구현

신재준¹ · 은성배² · 소선섭³ · 김병호^{4*}

Design and Implementation of LoRa-based Emergency Exit Guide System

Jaejun Shin¹ · Seongbae Eun² · Sun-Sup So³ · Byungho Kim^{4*}

¹Department of Information and Communication, Hannam University, Daejeon 34432, Korea

²Department of Information and Communication, Hannam University, Daejeon 34432, Korea

³Department of Computer Science, Kongju National University, Kongju 32588, Korea

^{4*}Department of Computer Science, Kyungsung University, Busan 48434, Korea

요 약

본 논문에서는 동적으로 설정되는 피난 유도 표지에 실시간 화재 상황을 반영한 최적의 피난 경로를 제시하는 LoRa 기반 피난 유도 체계를 설계하고 구현한다. 각 피난 유도 표지는 전후좌우를 나타내는 4개의 LED 지시등으로 구성되고 화재 발생 시 실시간으로 계산된 최적의 대피 경로를 화살표로 표시한다. 제안 알고리즘의 검증에 위해 동적인 화재 상황을 모의 생성하는 시뮬레이션 환경을 구축하여 다양한 지점에서 화재가 발생했을 때 각각의 피난 유도 표지가 정확한 피난 경로를 안내하는지 여부를 검증하였다. 또한 LoRa 기반 무선통신의 성능 확인을 위해 실내, 실내 대 실외, 실외 환경에서 데이터 전송률을 측정하였다. 제안하는 시스템은 다수의 피난 유도 표지 설치 외에는 시스템 운영을 위한 추가 설비가 필요 없다는 측면에서 대형 건물은 물론 중소형 건물에도 쉽게 적용할 수 있다.

ABSTRACT

This paper proposes and implements a LoRa-based emergency exit guide system which can direct the optimal refuge path accounting for the real state of the fires. Each 4-way emergency exit guide sign presents a right direction through one of four LED signs toward the possible exit dynamically calculated by the shortest path algorithm. We constructed a simulation environment with 8 spots of the emergency exit guide signs and 2 exits, which can simulate variant cases of fire accidents, and showed that the proposed algorithm can presents the right guidance for each emergency exit guide sign. We also evaluated the performances of LoRa-based wireless communications using a self developed communication module in the various indoor and outdoor environments. The proposed system can be applied to small and medium sized buildings as well as larger ones in terms of cost efficiency, in which there's no needs to invest for the complex equipments except only sensors and emergency exit guide signs.

키워드 : 화재, 피난 유도, 피난 유도 표지, LoRa, 최단 경로 알고리즘

Keyword : Fires, Emergency Exit Guide(EEG), EEG Sign, LoRa, Shortest Path Algorithm

Received 8 January 2018, Revised 8 February 2018, Accepted 2 April 2018

* Corresponding Author Byungho Kim(E-mail:bkim@ksu.ac.kr, Tel:+82-51-663-4787)

Department of Computer Science, Kyungsung University, Busan 48434, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2018.22.4.569>

pISSN:2234-4772

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

2003년 2월 대구 지하철 화재, 2014년 5월 고양 시외 버스터미널 화재, 같은 해 장성 요양병원 화재, 최근 2017년 12월 제천 스포츠센터 화재까지 화재로 인한 인명 피해가 끊이지 않고 있다. 특히 이와 같은 대형 화재에서의 인명 피해는 대피 경로를 제 시간에 찾지 못해 발생하는 경우가 대부분이다.

화재 발생 시 대피 경로를 안내하는 소방시설에는 피난 유도선, 유도등, 유도 표지, 비상조명등 및 휴대용 비상조명등이 있다. 대피 유도등은 빛으로 유도하는 것이고 유도 표지는 그림이나 기호로 대피 방향을 알리는 표지판이다. 최근에는 지하 공간처럼 연기로 인해 유도등이나 유도 표지를 제대로 볼 수 없는 상황을 보완하기 위해 소리로 대피 정보를 제공하는 피난 유도음의 도입도 검토되고 있다[1].

한편 무선 센서네트워크나 사물인터넷과 같은 IT 기술을 활용하여 보다 효율적이고 신속한 대피를 유도하는 시스템 개발에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다 [2]. 무선 센서네트워크 기반 화재 발생 인지 및 피난 유도에 관한 연구는 크게 두 분야로 분류할 수 있다. 센서의 오동작이나 데이터의 신뢰성 문제 해결과 같이 화재 발생 인지 자체를 목표로 하는 연구와[3-5] 피난 유도 제안과 안내를 주목적으로 하는 연구이다[6-8]. 첫째, 화재 발생 인지 중심의 연구에서는 온도 센서는 물론 인지의 신뢰성 향상을 위해 가스 밀도나 열 추적 센서 등을 추가로 설치해야 하는 부담으로 인해 시스템이 복잡해진다는 단점이 있다[5]. 둘째, 피난 유도 제안 위주의 연구에서는 건물 내부 구조에 익숙하지 않은 사람들이 이용하기가 쉽지 않다거나[6] 대피자의 현재 위치나 상황을 고려하지 않은 대피 경로 제시 등의 문제가 있다[7]. 또한 건물의 평상 시 구조를 바탕으로 대피 경로를 제시하기 때문에 실제 화재 발생 시의 상황과 맞지 않을 수 있다는 한계도 있다[8].

본 논문에서는 동적으로 설정되는 피난 유도 표지에 화재 상황을 실시간으로 반영한 최적의 피난 경로를 제시하는 LoRa 기반 피난 유도 체계를 설계하고 구현한다. LoRa(Long Range)[9]는 저전력 장거리 무선통신기술인 LoRaWAN의 물리적 통신 기술로써 스타 토폴로지 기반의 알로하 프로토콜을 사용하고 전파 도달 거리는 최대 20km이다. LoRa의 저전력 장거리 통신은 화재

발생 시의 전력 상황이나 건물 규모에 무관하게 상대적으로 안정된 통신 환경을 제공할 수 있다. 제안하는 피난 유도 체계의 피난 유도 표지는 전후좌우를 나타내는 4개의 LED 지시등으로 구성되고 화재 상황에 따라 실시간으로 계산된 최적의 대피 경로를 화살표로 표시한다. 제안하는 시스템은 화재 발생 시 사람들이 별도의 사전 지식이나 모바일 기기 없이 오로지 피난 유도 표지들이 지시하는 방향으로 이동하기만 하면 비상구에 도달할 수 있도록 한다는 측면과 다수의 피난 유도 표지 설치 이외에 시스템 운영을 위한 추가 설비가 필요 없다는 측면에서 기존 연구들과 차별화될 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 화재 발생 시 피난 유도 체계의 개념과 피난 유도 설비의 분류에 대하여 살펴보고 실제 소방 현장에서 사용되고 있는 주요 스마트 소방 시스템들의 특징과 장단점을 분석해본다. 3장에서 본 논문에서 제안하는 LoRa 기반 피난 유도 체계의 설계와 구현에 대해 통신 모듈 개발, 피난 유도 표지 개발, 알고리즘 개발로 구분하여 설명하고 4장에서 결론 및 활용방안으로 마친다.

II. 관련 연구

2.1. 피난 유도 체계

피난 설비는 화재 등의 재해가 발생하였을 때 피난을 위해 쓰이는 기계, 기구 및 설비로서 피난을 위한 기계 기구나 설비, 유도등 및 유도 표지, 인명구조기구, 비상조명등으로 구분한다[1]. 특히 유도등 또는 유도 표지는 비상구의 방향을 알려주는 대표적인 피난 유도 안내 설비로서 식별하기 쉽고 멀리서도 구별 가능해야 한다.

피난 유도등의 종류를 살펴보면 아래와 같다[10].

- 비상구 유도등: 비상구 또는 피난 경로로 사용되는 출입구를 표시하여 피난을 유도
- 통로 유도등: 피난 통로를 안내하기 위한 유도등으로써 비상구의 방향을 표시
- 복도통로 유도등: 피난 통로가 되는 복도에 설치하는 통로유도등으로써 비상구의 방향을 표시
- 계단통로 유도등: 피난 통로가 되는 계단이나 경사로에 설치
- 객석 유도등: 객석의 통로, 바닥 또는 벽에 설치 특히 비상구 유도등과 통로유도등이 대표적인 유도

표지으로써 비상구 유도등의 경우 설치장소는 불특정 다수가 출입하는 화재대상물로부터 옥외 혹은 비상구에 설치하며 설치 높이는 바닥으로부터 1.5m 이상이다. 비상구 유도등은 상용 전원으로 켜는 경우 30m, 비상 전원으로 켜는 경우 20m의 거리에서 문자와 색채를 식별할 수 있어야 한다[10].

2.2. 스마트 소방 시스템

재난 관리에 IT 기술 도입이 확대되면서 화재 예방 및 소방 분야에서도 IT 기술 기반의 스마트 소방 시스템 개발이 활발하다. 대표적인 스마트 소방 시스템의 특징 및 장단점은 아래와 같다[11].

- 스마트 화재 감지 시스템(현대인프라코어): 광 멀티트립 네트워크 방식의 화재 탐지시스템으로 경보 벨과 스마트폰, 문자알림(SMS)을 이용하여 상황을 전파한다. 배선연결을 줄일 수 있어 좁은 공간에도 설치 가능한 것이 장점이지만 화재 감지 및 통보가 주 기능으로써 화재 진압이나 대피에 도움을 주지는 못한다.
- 지능형 화재감지 통합시스템(엑스파크): 무선 센서네트워크 기반 지능형 소방영상 관제시스템으로써 화재 발생 상황을 녹화할 수 있고 화재 발생을 초기에 감지하여 SMS로 통보한다. 하지만 관제상황실에 관리자 상주가 필요하고 화재진압이나 대피를 돕지는 못한다.
- Eagle Quantum Premier System(Detronics): 화염 검출기와 가스 검지관 기반의 소방시스템으로 통신망을 통해 유해 가스를 감시할 수 있다.
- Fire and Gas Video Surveillance System(ABF Security): 댁내에 설치된 이산화탄소 감지 시스템을 24시간 감시한다. 화재 발생 시 자동 소화 장치를 작동시키고 지역 소방서에 자동으로 연락한다.

결과적으로 감지 시스템의 경우 화재 발생 인지 자체에만 중점을 두고 있어 인명피해를 줄이기 위한 대피 작업에는 도움이 되지 못하고, 피난 유도 설비의 경우 대부분의 비상구 안내가 고정되어 있어 화재 상황 변화에 능동적으로 대처할 수 없다는 문제점이 있다. 또한 이러한 스마트 소방 시스템들은 주로 대형 건물이나 문화재 등 주요 시설물 위주로 적용되고 있는 것이 현실이다. 따라서 일반 중소형 건물에서 상대적으로 저렴한 비용으로 화재 발생 시 인명 피해를 줄일 수 있는 실용

적 해결책이 필요하다.

III. 피난 유도 체계의 설계 및 구현

본 논문에서 제안하는 피난 유도 체계는 화재 상황을 실시간으로 고려하여 비상구 유도 표지를 통해 최적의 피난 경로를 안내하는 시스템으로써 시스템의 효율성과 단순성에 주안점을 두고 설계하였다. 화재 발생 시 제안 시스템의 작동 과정을 요약하면 1) 건물 내 설치된 감지 센서로부터 실시간 화재 상황을 무선으로 수집, 2) 수집된 데이터를 분석하여 유도 표지가 설치된 각 구역에서 탈출구까지의 최적의 피난 경로를 계산, 3) 계산된 경로에 근거하여 각 유도 표지의 방향 표시 LED의 작동이다. 이를 위한 설계 고려 사항을 정리하면 아래와 같다.

- 건물에 설치된 화재 감지 센서들의 데이터 전송 신뢰성 확보를 위해 저전력 장거리 통신 채택
- 최적 피난 경로를 구하기 위해 경로 계산 알고리즘은 탈출구로의 단순 거리뿐만 아니라 연기의 농도, 경로의 단절 여부, 경로의 용량 등을 고려
- 경로 계산 알고리즘의 목표는 피난 시간의 최소화와 안전 확보

이러한 설계 고려사항을 반영한 시스템 구현은 통신 모듈 개발, 피난 유도 표지 개발, 알고리즘 개발로 구분할 수 있다.

3.1. 통신 모듈의 설계 및 성능시험

LoRa는 저전력 장거리 통신 기술으로써 통신 구조는 스타 토폴로지 기반 알로하 프로토콜 방식이며 전파 도달 거리는 최대 20km, 통신 속도는 0.3kbps에서 50kbps 이다[9]. 주파수는 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역을 사용하고 반경 2km 범위에서 주로 사용된다[12]. 원격 데이터 획득, 도시 조명 제어, 날씨 및 토양 상태 모니터링과 같은 IoT 응용 분야는 측정 및 제어를 위한 데이터가 상대적으로 적고 변화가 느리지만 센서 노드들이 넓은 영역에 분포되어 있어 통신 거리가 길어야 하는데 저전력 장거리 통신인 LoRa가 이러한 요구 사항에 가장 적합하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 화재 현장 및 현장 주변까지 피난 경로를 안내하기 위한 무선통신으로 LoRa 기술이 적합한

지를 검증하기 위해 실험을 하였다. 실험 방법은 서로 다른 세 가지 실내의 환경에서 1초에 1회씩 100회 데이터 전송 시의 전송 성공률을 측정하였다.

세 가지 환경별 실험 결과는 아래와 같다.

- 실내 대 실내 I: 송신 모듈을 한남대학교 공과대학 건물 지하 1층에 설치하고 수신 모듈을 같은 건물 지하 1층에서 12층까지 이동했을 때 실험 결과는 승강기 내부를 제외하고는 통신 원활.
- 실내 대 실내 II: 송신 모듈을 한남대학교 56주년 기념관 지하 1층에 설치하고 수신 모듈을 건물 내부에서 이동했을 때 실험 결과는 40%~50%, 송신 모듈을 지상 2층에 설치했을 때 실험 결과는 건물 전체에서 송수신 원활.
- 실내 대 실외: 송신 모듈을 실내에 설치하고 수신 모듈을 실외에서 이동했을 때(그림 1의 왼쪽) 실험 결과는 반경 115m 이내에서 송수신 원활. 반대로 수신 모듈을 실내에 설치하고 송신 모듈을 실외에서 이동했을 때(그림 1의 오른쪽) 실험 결과는 반경 185m 이내에서 송수신 원활.
- 실외 대 실외: 송신 모듈을 충북대학교 중앙도서관 입구에 설치하고 수신 모듈을 직선으로 이동했을 때 실험 결과는 600m까지 전송률 90%, 1,250m까지 전송률 60%, 1,440m까지 전송률 20% 이하, 이후 통신 불가.



Fig. 1 Performance Tests Environment: 1) from Indoor to Outdoor and 2) from Outdoor to Indoor.

실험을 통해 실제 화재 현장과 유사한 환경에서의 LoRa 통신의 유효 통신범위는 1) 실내에서는 단일 건물 내부 및 반경 100m 이내의 건물 주변, 2) 실외에서는 600m 이내임을 확인하였다.

3.2. 피난 유도 표지 개발

기존 피난 유도 표지와 비상구 안내 표지는 안내 방

향이 고정되어 있는 것이 대부분이다. 이와 같은 표지는 화재 발생 시 유독 가스 확산 등으로 해당 피난 경로 이용이 실질적으로 불가능해지면 대피자에게 오히려 더 큰 위험을 초래할 수 있다.

본 논문에서는 그림 2와 같이 지시 방향을 실시간으로 설정할 수 있는 LED 기반 피난 유도 표지를 제작하였다. 그림의 왼쪽은 평상 시 상태이고 오른쪽은 화재 발생 시 상태의 예이다. 벽에 부착할 때는 좌우 지시등이 주로 사용되며 바닥면이나 교차로 지점에서는 좌우 전후의 네 방향을 가리킬 수 있다. 방향 지시등의 점등은 피난 경로 계산 알고리즘에 의해 결정된다.

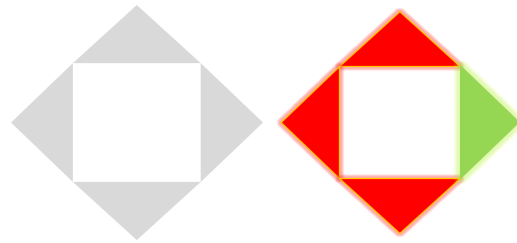


Fig. 2 Design of 4-Way Emergency Exit Guide Sign

3.3. 피난 경로 알고리즘 개발

피난 경로 알고리즘은 화재 발생 시 최적의 피난 경로를 계산하기 위한 것으로서 다익스트라 최단 경로 알고리즘을 사용한다[13, 14].

피난 경로 알고리즘은 아래와 같다.

N : 노드들의 집합

$c(u, v)$: 두 인접 노드 u 에서 v 로의 비용

$D(v)$: 노드 u 에서 노드 v 로 가는 최소비용

$p(v)$: 현재의 최소비용경로에서 노드 v 의 직전 노드

N' : 최소비용경로에 포함된 노드들의 집합

초기화:

$$N' = \{u\}$$

모든 노드 v 에 대하여 노드 v 가 노드 u 의 인접 노드이면

$$D(v) = c(u, v)$$

그렇지 않으면

$$D(v) = \infty$$

반복:

$D(w)$ 가 최소이면서 N' 에 없는 노드 w 를 N' 에 추가.

노드 w 의 모든 인접노드 v 에 대하여 $D(v)$ 를 갱신.

$$D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w, v))$$

$N' = N$ 일 때까지 반복

위 알고리즘에서 노드들의 집합 N 은 피난 유도 표지와 비상구이며 u 는 피난 유도 표지, v 는 비상구이다. 계산 결과에 따라 각 유도 표지는 최소비용경로에 따라 다음 유도 표지가 위치한 방향을 가리키는 지시등을 점등한다.

알고리즘의 검증을 위해 그림 3 및 그림 4와 같이 가상의 화재 공간을 설정하여 실험하였다. 피난 유도 표지는 모두 6개이고 탈출구는 오른쪽 위와 왼쪽 아래의 2개이다. 즉 피난 유도 표지와 탈출구를 노드로, 통로를 링크로 대체하고 링크의 숫자는 화재 발생 시 연기의 농도를 비용으로 환산한 것을 가정한 것이다.

그림 3은 노드 8번 주변에서 화재가 발생했을 때(그림 왼쪽) 다른 노드들, 즉 각각의 피난 유도 표지가 어느 방향을 가리켜야 하는지(그림 오른쪽)를 계산한 결과이다.

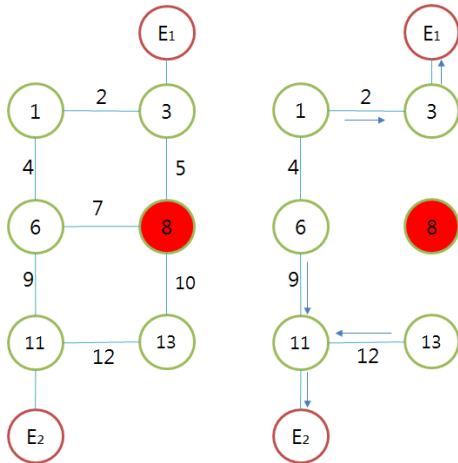


Fig. 3 Shortest Path Algorithm in case of Fire in Node 8

그림 4는 노드 6번과 8번 사이 통로에서 화재가 발생했을 때(그림 왼쪽) 다른 피난 유도 표지들의 지시등 표

시(그림 오른쪽)를 계산한 결과이다.

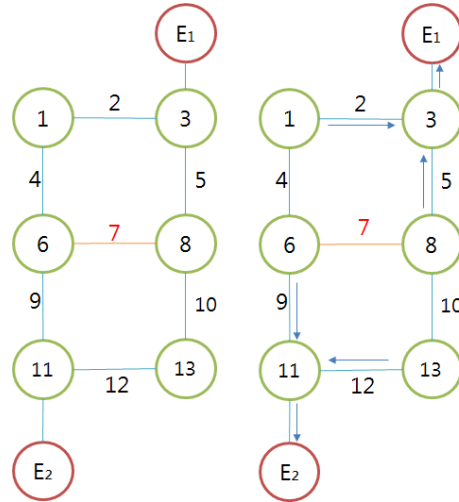


Fig. 4 Shortest Path Algorithm in case of Fire in the link between Node 6 and Node 8

IV. 결론 및 활용방안

본 논문에서는 동적으로 설정되는 피난 유도 표지에 실시간 화재 상황을 고려하여 최적의 피난 경로를 안내하는 LoRa 기반 피난 유도 체계를 설계하고 구현하였다. 각 피난 유도 표지는 전후좌우를 나타내는 4개의 LED 지시등으로 구성되고 화재 발생 시 실시간으로 계산된 최적의 대피 경로를 화살표로 표시한다. 제안 알고리즘의 검증을 위해 동적인 화재 상황을 모의 생성하는 시뮬레이션 환경을 구축하여 다양한 지점에서 화재가 발생했을 때 각각의 피난 유도 표지가 정확한 피난 경로를 안내하는지 여부를 검증하였다. 또한 LoRa 기반 무선통신의 성능 확인을 위해 실내, 실내 대 실외, 실외 환경에서 데이터 전송률을 측정하였다.

제안하는 시스템은 화재 발생 시 사람들이 별도의 사전 지식이나 모바일 기기 없이 오로지 피난 유도 표지들이 지시하는 방향으로 이동하기만 하면 비상구에 도달할 수 있도록 한다는 측면과 다수의 피난 유도 표지 설치 외에는 시스템 운영을 위한 추가 설비가 필요 없다는 측면에서 대형 건물은 물론 중소형 건물에도 쉽게 적용할 수 있다.

References

[1] E. Baek, G. Baek, H. Shin, M. Song, C. Kook, and S. Kim, "A Study on the Awareness of Fire Safety and Evacuation Guide System," *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*, vol. 24, no. 6, pp. 45-53, Dec. 2010.

[2] J. Yoon, Y. Jin, S. Park, and H. Lee, "Customized Evacuation Pathfinding through WSN-Based Monitoring in Fire Scenarios," *Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol.41 no.11, pp. 1661-1670, Nov. 2016.

[3] D. J. Cheon, D. Y. Jung, and D. K. Kwak, "A study on the implementation of zigbee sensor node for building USN using only transmission of fire sensing data," *Fire Science and Engineering*, vol. 23, no. 6, pp. 75-81, Dec. 2009.

[4] Y. Li, Z. Wang, and Y. Song, "Wireless sensor network design for wildfire monitoring," *WCICA 2006*, Dalian, China, 2006.

[5] J. H. Lee, W. J. Kim, and J. C. Lee, "A literature review on compartment fire temperatures during fully developed fire," *Journal of Architectural Institution of Korea Structure & Construction*, vol. 30, no. 10, pp. 21-28, Oct. 2014.

[6] M. Barnes, H. Leather, and D. Arvind, "Emergency evacuation using wireless sensor networks," in *Proceedings of 32nd IEEE LCN 2007*, pp. 851-857, 2007.

[7] H. Kang, "A Study on Analysis of Intelligent Video Surveillance Systems for Societal Security," *Journal of Digital Contents Society*, vol.17, no. 4, pp. 273-278, Aug. 2016.

[8] E. R. Cho, "Gyonggi with Safety: Reduction of Mobilization Time," *Issue & Analysis 2015*, no. 179, pp. 1-25, 2015.

[9] LoRa, LoRa Alliance [Internet]. Available: <https://www.lora-alliance.org/>.

[10] J. Choi, D. Park, and K. Chung, "A Study on Safety Design Colors of Evacuation Guidance Sign in Case of Fire - Focused on Exit Light," *Journal of Korea Society of Color Studies*, vol. 28, no. 3, pp. 39-47, Aug. 2014.

[11] J. Cho, "A Study of USN-based Smart Fire Protection System Design which Leads the Emergency Escape," *Journal of the Korean Society of Design Culture*, vol. 21, no. 4, pp. 648-660, Dec. 2015.

[12] J. H. Ko, D. K. Han, S. R. Lee, H. Y. Park, and D. H. Kim, "Implementation of GPS-based Wireless Loss Prevention System using the LoRa Module," *Journal of Digital Contents Society*, vol. 18, no. 4, pp. 761-768, Jul. 2017.

[13] S. Skiena, *The Algorithm Design Manual*, Springer, 2008.

[14] B. Kim and S. Eun, "Design and Implementation of On-line Instruction Manual System," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 3, pp. 411-417, Mar. 2018.

신재준(Jaejun Shin)



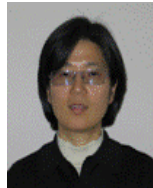
2012년: 한남대학교 정보통신공학과 입학
 2018년: 한남대학교 정보통신공학과 학사
 ※관심분야: 자바 인공지능 개발

은성배(Seongbae Eun)



1985년: 서울대학교 전산학과 학사
 1995년: KAIST 전산학과 석박사
 1995년-현재: 한남대학교 정보통신공학과 교수
 ※관심분야: 실시간시스템, 유비쿼터스 센서네트워크

소선섭(Sun-Sup So)



1986년: 이화여자대학교 전산학과 학사
 2001년: KAIST 전산학과 석박사
 1988년-1995년: 국방과학연구소 연구원
 1995년-현재: 공주대학교 컴퓨터공학부 교수
 ※관심분야: 소프트웨어 테스트, USN, IoT

김병호(Byungho Kim)



1990년: 연세대학교 전산학과 학사
 1992년: KAIST 전산학과 석사
 1997년: KAIST 전산학과 박사
 2007년-현재: 경성대학교 소프트웨어학과 부교수
 ※관심분야: 컴퓨터구조, 모바일 컴퓨팅, 인공지능