유비쿼터스 화재 대피 시스템: 구조 설계 및 프로토타입 개발

엄주명*, 윤주성*, 정수호*, 서석환*
*포항공과대학교 산업경영공학과
**포항공과대학교 u-Manufacturing 연구센터
e-mail:umju@postech.ac.kr

Ubiquitous system for fire escape: architecture and prototype

Jumyung Um*, Joo-Sung Yoon*, Suho Jeong*,
Suk-Hwan Suh**
*Dept of Industrial and Management Engineering, POSTECH
**Center for Ubiquitous Manufacturing, POSTECH

요 약

최근 화재, 수해, 테러 등의 안전사고가 증가하면서 건물 안전 시스템 구축을 위한 관심이 높아지고 있다. 이러한 시스템을 개발하는데 있어 유비쿼터스 컴퓨팅은 핵심 기술로 떠오르고 있다. 특히 화재 시 건물 내 생존자를 안전한 경로로 대피하기 위한 시스템은 이미 여러 프로젝트에서 시범으로 보이고 있다. 이에 필요한 기능은 사용자 위치 인식, 화재 감지, 안전 경로 안내로 구성된다. 각 기능을 구현하기 위해 사용되는 장비는 생존자의 개별 인식에 이용하는 RFID 태그, 건물 내 각 방의 화재 상황을 감지하기 위한 센서네트워크 그리고 사용자 이동을 확인 할 수 있는 카메라로 구성되어 있다. 본 논문은 화재 상황에서 생존자를 대피하기 위한 안전 경로 시스템을 설계하고, 센서 네트워크와 RFID를 활용하여 프로토타입을 구축하며, 시뮬레이션을 통해 제안된 시스템의 유효성을 검증한다.

1. 서론

국내 소방 안전 유비쿼터스 서비스가 크게 성공을 거두면서 안전에 분야에서 유비쿼터스 컴퓨팅이 큰 관심사로 떠오르고 있다. 좋은 예로 맞춤형 핸드폰 의료 서비스가 2006년 9월 12만 명이 등록하였다 [1]. 안전에 관한 서비스 중 비상 상황 대처분야는 외국에서 이미 연구가 진행되어 왔다. 비상 상황 대처란 사고에 의한 인명 피해나 다른 재해를 최소화하기 위한 노력을 의미 한다. 이 중에서도 화재 대처 시나리오가 유비쿼터스 컴퓨팅 프로젝트로 많이 다루어 졌다. 터널 내부 화재 상황 대처 시스템이 개발되고 있으며[3], GPS를 장착한 무선 센서 네트워크로 산불을 조기에 감지하는 연구도 진행되었다 [4]. 또한 화재 건물내 생존자의 생체 신호와 위치를 수집하는 센서 네트워크도 개발되었다 [5].

본 연구에서 건물 내에서 화재발생시 건물 내 생존자를 안전한 경로로 대피 시키는 u-Escape system을 제안한다. 이 시스템은 건물 내 개별 생존자들에게 안전한 경로를 실시간으로 안내한다. 이를 위해 사용자 인식, 화재 감지, 안전 경로 추천의 기능으로 구성되어 있다. 비상 상황 대책 시뮬레이션 프레임워크 [2]를 기반으로 시나리오 별로 분석을 하였으며 제안된 시스템의 실효성을 검증하기 위한 프로토타입 u-Escape system를 구축하였다.

본 논문은 2장에서 u-Escape system의 아키텍쳐를 기술을, 3장에서는 실제 구현 시 고려사항과 개발 부분을 설명하고, 4장에서 정량적 분석을 통해서 시스템의 실효성을 분석한다.

2. u-Escape system

u-Escape system은 화재 발생 시 유비쿼터스 기술을 적용하여 건물 내 사람(사용자)에게 탈출 경로를 제공해주는 시스템이다. 화재 시 생존자의 침착한 대응을 위해서는 대처 방안을 알려주는 시스템이

필요하다. 그 중 화재 발생 초기에 생존자를 탈출시키는 것이 최우선 대처 방안이다. 생존자에게 탈출 경로를 제공하기 위해서는 생존자의 위치와 화재 위치를 실시간으로 얻을 수 있어야 한다. 일반 건물에 설치된 유선 센서는 화재 지역이 확산되면서 손상되므로 무선 센서를 이용해야 한다. 이에 따라 온도와 RFID를 감지하는 무선 센서 네트워크를 건물 내 설치함으로써 화재 시에도 안정적인 정보 수집을 할 수 있다.

2.1 u-Escape Service

u-Escape system이 제공하는 서비스는 감시, 화재 발생, 경로 안내의 프로세스로 운영된다. 화재 발생 프로세스는 화재 신고, 화재 지역 위치 추적, 생존자 추적을 동시에 수행한다.

2.2 시스템 아키텍처

u-Escape service를 제공하기 위해 생존자 인식 시스템과 화재 감지 시스템, 안전 경로 안내 시스템으로 구성된다.

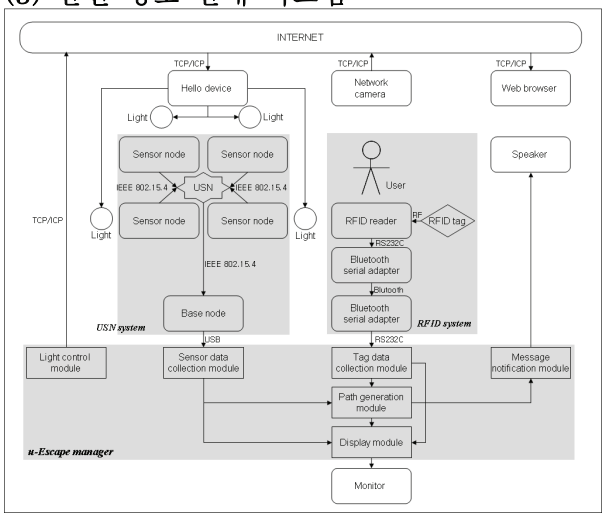
(1) 생존자 인식 시스템

생존자의 신분, 위치나 건강 상태 정보를 수집하여 원격지에 있는 서버로 전송하는 시스템이다. 이 정보는 생존자나 건물에 부착된 센서를 통해 수집되어 서버로 보내진다. 화재에도 통신이 가능하도록 무선 통신을 이용한다.

(2) 화재 감지 시스템

건물 내에 부착된 센서를 통해 건물 각 부분의 온도를 수집하여 화재가 발생한 위치를 추적하는 시스템이다. 이 시스템 또한 화재 상황을 감안하여 무선 센서 네트워크를 이용한다.

(3) 안전 경로 안내 시스템



(그림 1) u-Escape system의 프로토타입 시스템의 구현 구조도

생존자 인식 시스템과 화재 감지 시스템으로부터 받은 정보를 기반으로 건물 내 생존자가 현재 위치에서 탈출하기 위한 경로를 계산한다. 계산된 안전 경로 휴대용 기기나 건물 스피커를 통해 생존자에게 전달된다. 이 시스템은 원격지 서버에서 가동한다.

3. 프로토타입 시스템 구현

본 논문에서 제안한 u-Escape 시스템을 검증하기 위한 프로토타입 시스템을 개발하였다. 이는 화재 발생 시나리오를 바탕으로 단순화하여 설계하였다.

3.1 시나리오

프로토타입 시스템은 가로, 세로 4칸의 미로 탈출 체험관으로 제작되었다. 총 16개의 방을 가지고 있는 미로는 16개 중 임의의 3개의 방에 화재가 발생한다. 방의 조명으로 화재의 유무를 구분하였다. 조명이 켜진 방을 거치지 않고 생존자가 미로를 빠져나가면 탈출한 것으로 한다. 다른 방의 조명을 확인할 수 없도록 하여 화재가 난 방을 파악할 수 없게 하였다. 시스템의 효용성 평가를 위해 생존자는 두 가지 시나리오를 따른다. 첫 번째는 생존자는 어떤 정보도 없이 직감에 의해서만 미로를 통과하는 경우, 두 번째는 u-Escape system이 제공하는 탈출 경로를 따라 미로를 통과 하는 경우이다. 생존자는 두 가지 시나리오에 의해 미로를 통과한다.

3.2 시스템 구현 구조

프로토타입 시스템은 그림 1과 같이 생존자 위치 추적을 위한 RFID system, 조도 감지를 위한 USN system, 조명 제어 및 원격 모니터링을 위한 부가 시스템, 그리고 main server의 역할을 하는 u-Escape manager로 구성된다. 프로토타입 시스템의 구동 프로세스는 다음과 같다. 먼저 u-Escape manager에서는 Light system을 이용하여 네 개의 조명 장치 중 세 개를 랜덤하게 작동시키면 화재가 발생되고 생존자는 입구로 진입하게 된다. RFID system을 통해 인식되어 u-Escape manager에 전달되는 tag 데이터로부터 생존자의 위치를 구해내고, USN system을 통해 u-Escape manager에 지속적으로 전달되는 조도 센서 데이터로부터 화재 발생 지역을 찾아낸다. 이러한 생존자 위치 정보와 화재 발생 지역 정보를 바탕으로 u-Escape manager에서는 생존자가 탈출해야 할 출구 정보를 추천해 준다. 이와 같은 상황은 네트워크 카메라를 통해 원격지에서 웹브라우저를 통해 모니터링 할 수 있다.

(1) RFID system

RFID system은 RFID tag, RFID reader, Bluetooth 통신모듈로 구성된다. RFID tag는 16개의 방을 구별할 수 있도록 고유한 ID 정보를 갖는 passive 타입의 read-only형을 사용했다. RFID reader는 생존자가 휴대하는 장치로서, 60(cm)x60(cm)x200(cm) 크기의 각 방에 부착된 tag를 서로 간섭 없이 읽어 들일 수 있도록 인식 거리가 10cm 안팎인 13.56MHz 주파수 대역으로 선택했다. 선택된 리더의 통신 인터페이스는 RS232C로서 유선 연결을 통해 데이터 전송을 하게 되는데, 본 프로토타입에서는 생존자가 휴대해야 하기 때문에 무선 데이터 전송이 가능해야 하므로 Bluetooth 통신 모듈을 사용하였다. 사용된 Bluetooth 통신 모듈은 주파수 대역 2.4GHz, 통신 거리 100m인 Bluetooth specification V1.2 규격의 장치로서, 한 쌍의 Bluetooth serial adapter를 사용하여 각각 RFID reader와 u-Escape manager에 COM port로 직접 연결됨으로써 adapter 간 무선으로 Bluetooth 통신을 통해 RFID reader가 인식한 signal을 u-Escape manager에게 전달하게 된다. RFID reader와 Bluetooth serial adapter에는 무선으로 이용하기 위해 독립적인 전력 공급을 하였다.

(2) USN system

USN system은 센서노드, 베이스노드로 구성된다. 센서노드는 조명 장치의 조도를 감지하는 조도센서와 데이터를 전송하는 모트로 구성되어 있고 베이스노드는 데이터를 전송받는 모트와 이를 수집하는 게이트웨이로 구성되어 있고 u-Escape manager와는 USB port로 연결되어 수집된 데이터를 전달한다. 모트 간 통신을 위해서 주파수 대역 2.4GHz의 802.15.4 프로토콜을 사용하는 노드를 사용하였으며, 센서 노드 간 ad-hoc으로 네트워크를 형성하여 1초에 한 번 씩 데이터가 전송되도록 nesC 프로그래밍하여 각 센서 노드에 다운로드하였다. 센서 노드도 무선으로 이용하기 위해 별도의 전력을 공급했다.

(3) 부가 시스템

프로토타입 시스템을 실행시키기 위해서는 먼저 화재 발생 상황이 재현되어야 하기 때문에, 조명 장치와 이를 웹 환경에서 제어하는 hello device를 사용하여 화재 발생 상황을 구현했다. u-Escape manager에서 조명에 대한 제어 명령을 인터넷을 통해 hello device에 내리면 hello device와 연결된 조명 장치의 스위치가 on/off 되도록 하였다.

IP 주소가 할당된 네트워크 카메라를 설치하여 웹 브라우저에 접속이 가능한 원격지 어디에서나 화재 발생 상황과 탈출 상황을 모니터링할 수 있도록 하였다. u-Escape manager를 실행시키는 동시에 네트워크 카메라에 접속하면 실제의 상황과 시뮬레이션 상황을 비교해 볼 수 있다.

(4) u-Escape manager

u-Escape manager는 main server 컴퓨터에 구현된 소프트웨어 애플리케이션으로서, Visual C++ 6.0 언어로 개발되었다. 다음과 같이 6개의 모듈로 구성된다. 점등할 전구를 랜덤으로 선택하여 hello device를 통해 전구 스위치를 제어하는 1) Ligth control module, Bluetooth serial adapter를 통해 RFID reader로 인식된 tag 정보를 수집하여 인식 위치를 찾아내는 2) Tag data collection module, 센서가 감지한 값을 받아 와서 조명이 켜진 위치를 파악하는 3) Sensor data collection module, 생존자의 위치와 불이 켜진 위치 정보를 바탕으로 대피 경로를 계산하는 4) Path generation module, 감지된 정보가 업데이트될 때마다 생존자의 위치와 불이 켜진 위치를 출력해 주는 5) Display module, 계산된 경로에 따라 탈출해야 할 비상구를 방송해 주는 6) Message notification module이 있다.

3.3 시스템 구축 및 실행 결과

프로토타입 시스템은 60(cm)x60(cm)x200(cm) 크기로 16개의 방을 미로로 구성하여 4개의 방에 조명 장치를 설치하고 조명 주위에 센서 노드를 달았다. 각 방의 바닥 중앙에는 RFID tag를 설치하고 사방의 벽면 중 출입구에는 표시를 하여 출입구를 인지할 수 있도록 하였다. 생존자의 신발에 RFID reader와 bluetooth serial adapter를 장착하여 방에서 바닥에 부착된 tag를 인식할 수 있게 하였다. 네트워크

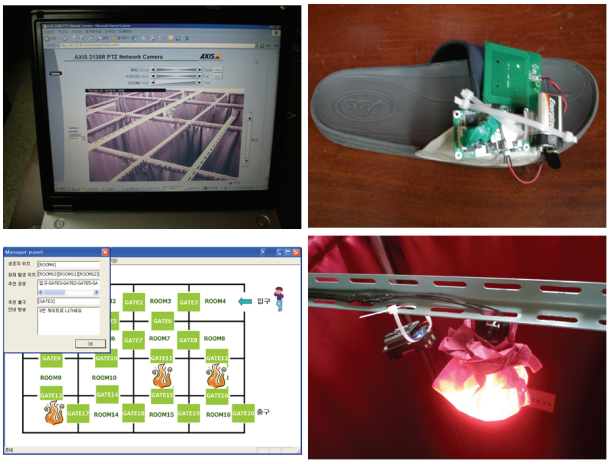


그림 2 (그림 2) u-Escape manager 실행 결과

카메라는 천정에 장착하여 상황 모니터링에 사용했다. 하드웨어 장비들을 모두 장착하고 전원을 켠 후, main server에서 u-Escape manager를 실행시키면 미로의 모습을 보여 주는 메인 화면이 나타난다. 초기화 메뉴에서 화재를 발생시키고 RFID 리더의 초기값을 설정하고, 조도 센서 값을 받아 올 수 있도록 한다. 초기화를 마치고 경로 추천 서비스를 실행시키면 화재 발생 지역이 표시되고, 생존자가 움직임에 따라 생존자의 위치 변화가 업데이트 된다. 이러한 상황을 요약하여 다이얼로그 박스에서 출력해 주고 추천 경로와 안내 메시지도 함께 표현되며, 안내 메시지는 스피커를 통해 생존자에게 전달된다. 구현된 프로토타입은 그림 2와 같다.

4. 결과 분석 및 토의

4.1 화재 발생 상황 모델링

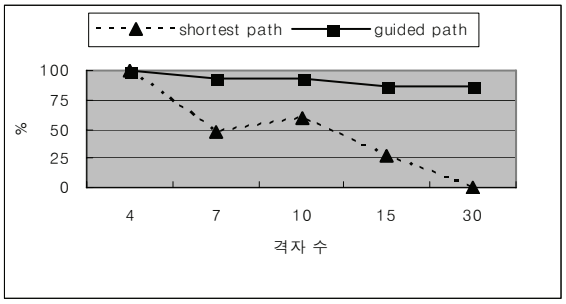
개발된 u-Escape의 유효성을 판단하기 위하여 화재상황을 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 생존자의 초기위치를 시작지점으로, 출구를 도착지점으로 정해 세 가지 알고리즘으로 경로를 생성하였다. 이를 반영하여 생존자는 임의의 방향으로 이동하는 경우, 출구까지 최단거리로 가는 경우, 그리고 u-Escape의 안전경로로 이동하는 경우가 있다. 단순화된 화재 시나리오를 바탕으로 격자형 미로의 방의 수를 늘리면서 생존율을 비교한다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

미로의 크기를 늘려가며 3가지 경우에 있어 각각 15번씩 실행하였다. 난수 발생적으로 이동하는 생존자의 경우 거의 출구에 도달하지 못했으나 최단 경로로 이동한 경우에는 미로의 크기에 영향을 많이 받았다. 그림 3에서 보는 것과 같이 격자수가 작은 4x4에서는 99%의 성공률을 보였으나 7x7과 10x10에서는 50% 정도의 수치를 기록하였다. 미로가 30x30이상으로 커지면서 거의 도착지점에 도달하지 못하였다. 이와 반대로 안전 경로 추천을 받은 생존자는 90% 정도의 생존율을 보였다. 10%의 실패는 알고리즘 개선으로 가능한 수치로 여겨진다. 본 결과로 미루어 보아 건물이 복잡하고 커질수록, 화재 발생 지점이 많을수록 안전경로 추천이 더욱 필요하다는 것을 의미한다.

5. 결론 및 추후 연구 방향

본 연구에서는 u-Escape system의 아키텍쳐에 대해 기술하고, 가능한 기술을 활용하여 구현하고 그



[그림 3] 최단경로와 추천경로의 생존율 비교

유효성을 검증하였다. 실제 구현에 필요한 기술적 이슈는 다음과 같다.

서버에서의 정보 저장: 서버의 용량이 제한되어 있으므로 시스템은 USN의 활용 목적에 따라 일정 기간 정보만을 유지하거나 이벤트 발생 시만 정보를 저장하는 등의 전략을 취한다.

모트의 정보 전송 빈도: 모트의 전송 빈도는 전력 소모와 연관되어 있다. u-Escape system의 경우 평상시는 전송 빈도를 낮게 유지하다 화재 시 높이는 방법을 취할 수 있을 것이다.

생존자 위치 인식 알고리즘: 실제 건물에서는 방, 계단, 통로 등 다양한 구역으로 구성되어 있기 때문에 다양한 센서를 통해 정확한 위치를 추적할 수 있어야 한다.

경로 추천 알고리즘: 생존자의 화상뿐만 아니라 질식사도 고려해야 하므로 연기의 이도 방향도 고려해 할 수 있어야 한다.

참고문헌

[1] u-119. http://blog.korea.kr/u119

[2] Jaim, S., McLean, C., “A framework for modeling and simulation for emergency response”, Proc. Simulation Conference, Vol. 1, pp. 1068-1076, Dec., 2003.

[3] Asztalos, D., Lawson, K., Hailes, S., Lesley, H., Kruger, I., “Application Scenario Building/Definition”, FP6 IP RUNES D2.1, Mar., 2005.

[4] Doolin, M., Sitar, N., "Wireless sensors for wild re monitoring", Proc. SPIE Symposium on Smart Structures & Materials/ NDE, San Diego, California, Mar., pp. 6-10, 2005.

[5] Lorincz, K., Malan, J., et al., "Sensor Networks for Emergency Response: Challenges and Opportunities", Pervasive computing, Vol. 3, No. 4, pp. 1536-1268, 2004.