

## 승객 위치정보 기반 지하철 분산대피 안내 시스템

김남문<sup>1</sup>, 김영억<sup>\*</sup>  
<sup>1</sup>광운대학교 전자공학과

### Distributed evacuation guide system based on positioning information of passengers in the subway station

Nammoon Kim<sup>1</sup>, Youngok Kim<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University

**요약** 본 논문은 승객 위치정보 기반의 지하철 분산대피 안내 시스템을 제안하고자 한다. 최근 지하철 역사는 지하철 승강장 역할 뿐만 아니라, 환승, 쇼핑물, 영화관 등의 다양한 편의 시설과 결합하여 대형화, 복잡화 되어 가고 있다. 이러한 지하철 역사의 복잡도 증가에 비해서 비상시를 대비한 대피경로, 대피안내 등의 대비체계는 부족한 실정이다. 이를 해결하기 위하여 현재 지하철에 설치되어 있는 Access Point(AP)와 실제 통계 자료를 이용하여 지하철 각 객차의 전체 승객 수를 추정하고, 추정된 승객 수와 지하철 역사의 출구 정보를 기반으로 각 객차의 승객 대피 경로를 방향 지시등과 스마트폰의 Push 알람을 통해 제공함으로써, 비상 시 가장 위험한 지하철 승객의 신속하고 안전한 대피시스템을 제안하였다. OpenWrt 임베디드 OS가 설치된 AP를 이용하여 접속자 수를 추정하는 실험을 수행하였으며, 시뮬레이션을 통해 승객 수를 추정한 결과 신뢰구간 파라미터  $1\sigma$ ,  $2\sigma$ ,  $3\sigma$ 에서 15%, 17% 그리고 23%의 평균 에러율을 갖는 것을 확인하였다. 이를 통해 본 시스템의 가능성을 확인하였다.

**Abstract** In this paper, a distributed evacuation system based on the positioning information of subway passengers is proposed. Recently, the subway station is becoming complicated by combining with shopping malls, and movie theaters. Compared to the increasing complexity of subway stations, evacuation systems are less complex(ed note: Please check.). Subway passengers in each cell were estimated to use the access point in the subway cells and statistics information. The evacuation route is provided through a direction indicator and push alarm of a smart phone based on estimated the number of passengers and exit information of the subway station. Based on this schemes, a quick and safe evacuation system of subway passengers was proposed. The number of connection passengers was estimated using AP with OpenWrt embedded OS installed. The average error rate of the number of passenger was confirmed to be 15%, 17% and 23% at the confidence parameter of  $1\sigma$ ,  $2\sigma$ , and  $3\sigma$ , respectively, through a simulation. The possibility of the system through a simple experiment was examined.

**Key Words** : Access point, Distribution evacuation system, Emergency, Subway passengers

### 1. 서론

미국에서 발생한 9.11 테러 이후, 테러에 대한 불감증은 급증하였으며, 2003년 대구지하철 화재참사는 화재로 대피로 확보 문제와 연기 등의 다양한 문제들로 인하여 많은 희생자가 발생하였다. 최근의 지하철 역사는 단순

한 지하철 이용을 위한 역할 뿐만 아니라, 철도, 버스의 환승역 기능과 쇼핑물, 영화관 등의 다양한 편의시설과의 결합을 통하여 대형화, 복잡화 되어가고 있다. 이로 인해서 지하철 역사 내에서 승객의 이동 경로는 복잡해지고 있으며, 길을 찾기 위해 소비되는 시간도 증가하고 있다[1]. 이러한 안전 불감증과 지하철 역사의 복잡도 증가

본 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2013R1A1A2005157).

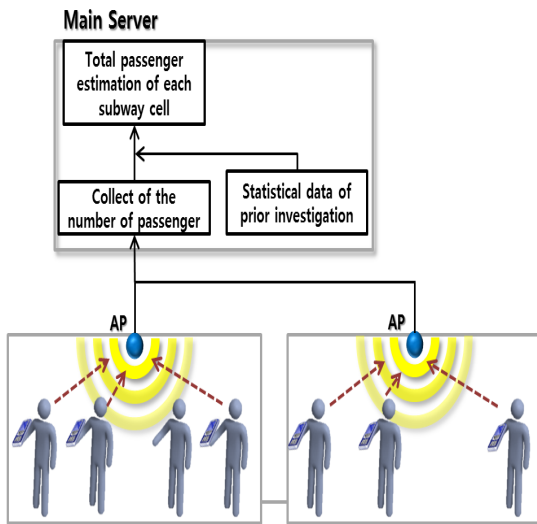
\*Corresponding Author : Youngok Kim(Kwangwoon Univ.)

Tel: +82-2-940-5404 email: kimyoungok@kw.ac.kr

Received April 25, 2014

Revised (1st June 9, 2014, 2nd June 26, 2014)

Accepted July 10, 2014



[Fig. 1] System description for passenger estimation

에 비해 승객들의 피난과 안전을 확보하기 위한 대비체계는 요구되어 지고 있다[2-4]. 이와 같은 요구를 만족시키기 위하여, IT기술과의 결합을 통한 효율적인 승객 분산대피 안내 시스템에 대한 연구가 필요하다.

2009년 말 애플의 아이폰 출시 이후 국내 스마트폰 사용자의 수는 급격하게 증가하였으며, 2013년 7월 3,595만 명을 넘어섰다. 이것은 국민의 약 72%가 스마트폰을 사용하는 것이다. 2013년 모바일 인터넷 이용 실태 조사에 따르면 이동 중인 교통수단에서 모바일 인터넷을 이용하는 이용자의 수가 86.6%로 가정에 이어 두 번째로 높은 이용율을 보였다. 또한, 전체 모바일 인터넷 이용자 중의 73.4%의 이용자는 무선랜(Wi-Fi)을 이용하여 인터넷에 접속하는 것으로 조사되었다[5]. 현재, 지하철의 모든 객차와 역사에는 서로 다른 통신사의 Access Point(AP)들이 설치되어 사용자들이 많이 이용하고 있다.

본 논문에서는 지하철의 AP와 승객들이 소지하고 있는 스마트폰을 이용하여 객차 별 승객의 수를 추정하고, 추정된 승객의 수를 기반으로 비상시 승객에게 대피 경로 안내를 통해 승객을 적절하게 분산하여 대피시킬 수 있는 시스템을 제안한다.

## 2. 지하철 승객 및 역사 승객 분포추정

승객 분산대피를 위해서는 현재 객차에 승차하고 있

는 승객의 인원 수 파악과 역사에 머물고 있는 승객의 분포 파악이 가장 중요하다. 비상시에 추정된 객차별 전체 승객 수와 역사내의 승객의 분포를 기반으로 역사 내의 다양한 대피경로로 승객을 분산 시킨다면 승객을 신속하게 대피시킬 수 있다. 하지만 지하철 객차 내에서 AP와 접속을 통해서 인터넷을 사용하는 인원은 전체 승객 수와는 많은 차이를 보인다. 그렇기 때문에, AP를 이용하여 인터넷을 사용하는 인원을 통해 초기 승객수를 추정하고, 이를 기반으로 통계적 기법을 적용하여 전체 인원을 추정하는 알고리즘은 필요하다. 또한, 지하철 역사내의 승객 분포 또한 중요하기 때문에, 기존에 설치되어 있는 AP를 이용하여 역사 내에 머물고 있는 승객의 분포 정보를 알아야 한다. 이것은 지하철 승객을 추정하는 방식과 동일한 방식으로 진행되기 때문에, 본 절에서는 지하철 승객추정 방식만을 설명 하도록 한다.

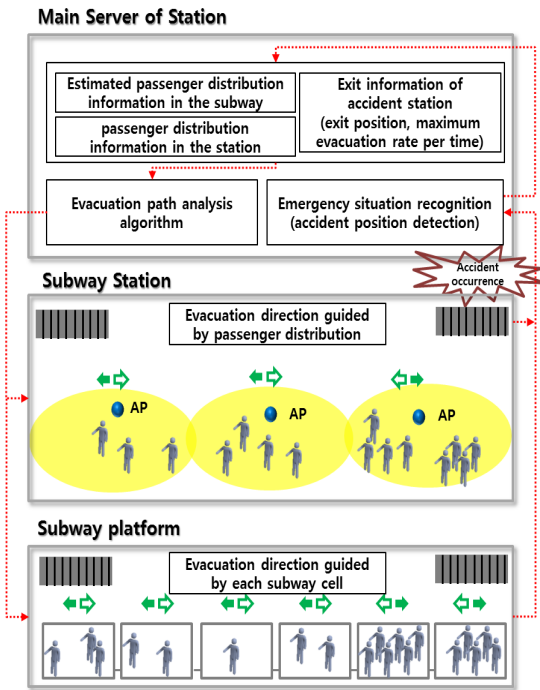
### 2.1 승객 추정 시스템

지하철 객차의 전체 승객 수 추정을 위한 시스템은 그림 1과 같다. 지하철의 각 객차에서 AP접속을 통해 무선 인터넷을 사용하는 승객의 수를 추정한다. 수집된 정보는 유·무선을 통해 전체 지하철 승객 수에 대한 정보를 수집하기 위한 메인 서버로 전송되고, 수집된 정보와 사전에 수집된 통계 데이터를 기반으로 추정된 승객의 수를 저장하게 된다. 저장된 정보는 비상시 승객 대피 안내를 위한 정보로 사용되어지게 된다.

### 2.2 AP기반 승객 수 추정

현재 모든 지하철 객차에는 무선 랜 서비스를 제공하기 위하여 각 통신사의 AP가 설치되어 있다. 이것은 각 통신사 가입자들에게 무료로 Wi-Fi서비스를 제공하기 위한 것으로, 대부분의 승객들은 설치된 AP를 이용하여 무선 인터넷 서비스를 사용하고 있다. 그렇기 때문에, 현재 지하철의 각 객차마다 설치되어 있는 AP의 접속자 수 정보를 이용한다면, 지하철의 전체 승객뿐만 아니라 객차별 승객 수의 파악이 가능하다. 이때, 무선 신호의 특성으로 인하여 Line of Sight (LOS)가 확보되지 않은 경우에는 신호의 세기가 현저하게 감소하게 된다. 또한 스마트폰에서 무선 AP에 접속할 때는 AP의 Received Signal Strength (RSS)를 기준으로 접속하기 때문에, 분리된 인접한 객차의 AP에 접속할 가능성은 낮다.

이러한 내용을 기반으로 AP기반 승객 수 추정 방식은



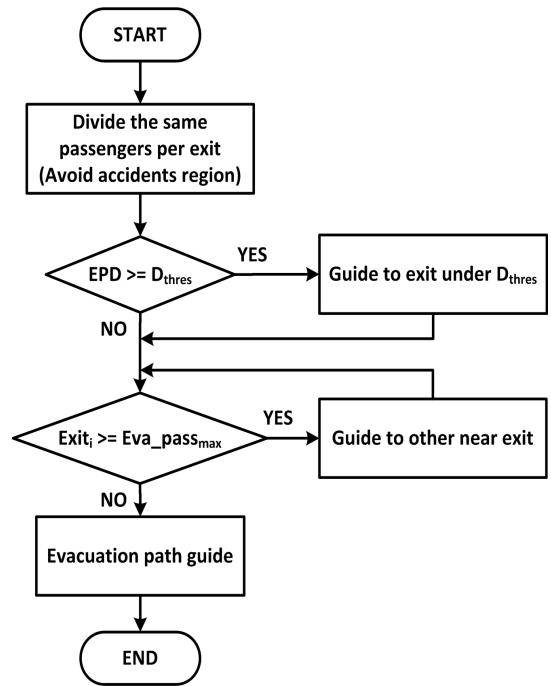
[Fig. 2] System description for emergency situation

지하철 각 객차에서 무선 랜을 사용하고 있는 사용자의 수를 측정한다.

### 2.3 통계를 이용한 전체 승객 수 추정

AP기반 승객 수 추정 방식을 이용하여, 지하철 각 객차에서 무선 랜을 사용하는 승객의 수를 추정하는 것은 가능하다. 하지만 지하철 내의 모든 사용자가 지하철에 설치된 AP를 이용하여 인터넷 서비스를 사용하지 않기 때문에, 실제 지하철 객차의 승객 수와는 많은 오차가 발생할 수 있다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 통계적 기법을 사용하여 각 객차별 전체 승객 수를 추정하게 된다.

통계적 기법에서 가장 확실한 방법은 모든 객차와 역사내의 승객 수를 조사하는 전수조사 방식이지만, 이 방식은 현실적으로 불가능 하며, 비효율적인 방식이다. 반면에, 모집단의 신뢰구간 추정에 의해 대략적인 전체 승객 수 추정방식을 이용한다면, 효율적으로 전체 승객의 수를 추정할 수 있다. 전체 승객 수의 신뢰 구간은 통계적 데이터와 실제 AP를 이용하는 승객의 수에 대해 조사한 내용을 바탕으로 얻은 샘플비율을 사용하여 계산이 가능하다.



[Fig. 3] Block diagram for evacuation path decision

그러나 실제 승객 수의 신뢰구간 추정에서는 실제 AP 접속 승객의 비율을 알 수 없기 때문에, 불편 추정량인  $\hat{p}$  과 표본 비율  $s_{\hat{p}}$  을 이용한다.

$$s_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{\hat{n}}} \quad (1)$$

여기서,  $\hat{n}$  은 지하철에서 AP를 이용하여 인터넷 서비스를 이용하는 승객의 평균 샘플 수이다. 이를 기반으로 모집단 비율의 신뢰 구간은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{\hat{n}}} \leq p \leq \hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{\hat{n}}} \quad (2)$$

여기서  $Z$ 는 표준 정규분포의 확률변수를 나타내며,  $\alpha$ 는 0과 1 사이의 신뢰구간 파라미터이다. 이것을 이용한 전체 승객의 추정 신뢰구간은 식(3)과 같다.

$$\frac{U_s}{\hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{\hat{n}}}} \leq \frac{U_s}{p} \leq \frac{U_s}{\hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{\hat{n}}}} \quad (3)$$

여기서,  $U_s$ 는 AP를 이용하여 인터넷을 이용하는 승객의

수를 나타낸다.

식(4)는 추정된 전체 승객 수의 에러 율을 보여준다.

$$error\ rate(\%) = \frac{|P_A - P_E|}{P_A} \quad (4)$$

여기서,  $P_A$ 와  $P_E$ 는 실제 전체 승객 수와 통계적 기법을 이용하여 추정된 승객의 수를 나타낸다[6].

### 3. 비상시 대피 알고리즘

지하철 혹은 지하철 역사에 화재, 테러 등의 비상 상황이 발생할 경우 지하철 승객과 역사내의 승객들이 특정 지역으로 몰리는 현상으로 인하여, 출구별 시간당 최대 대피인원 수를 초과 하는 일이 발생하게 된다. 이러한 문제로 인하여 대피시간 지연 및 대피 중 승객들 간의 부딪힘으로 인하여 더 많은 인명 피해를 유발할 수 있다[7,8]. 이러한 문제를 막기 위해서 승객들의 효율적인 분산 대피는 필요하다. 이를 위해서는 지하철 각 객차의 승객 수 정보, 지하철 역사의 승객분포 정보 및 출구 정보, 출구별 시간당 최대 대피 가능인원 등 다양한 정보들이 필요하다.

그림 2는 비상 상황 발생 시 지하철 및 역사내의 분산 대피를 위한 시스템 구조도이다. 지하철역에서 비상 상황 발생 시, 지하철역 비상 시스템을 운영하고 있는 메인 서버에 비상 상황의 발생 정보를 보내게 된다. 메인 서버에서 사고 발생을 인식 하게 되면, 역사 내에서 수집된 다양한 정보와 제안된 알고리즘을 토대로 대피 경로를 결정하고, 지하철 역사와 승강장에 설치되어 있는 시스템을 이용하여 승객들에게 최적의 대피경로를 안내하게 된다.

#### 3.1 대피경로 분석 알고리즘

승객의 대피경로를 결정하기 위해서는 역사에 있는 객차의 추정된 승객의 수, 역사 내에 머물고 있는 승객의 분포, 역사의 출구 정보 그리고 출구별 시간당 최대 대피 가능인원을 기반으로 대피 경로를 분석하게 된다. 그림 3은 대피경로 결정을 위한 블록 다이어그램이다.

비상 상황 발생 시 대피하는 승객들의 혼잡도를 최소화하기 위한 방법은 사고 발생 지역을 피하면서, 모든 출구를 통해 동일한 수의 승객이 대피하는 방법이다. 하지만 승객의 역사 내 위치에 따라 대피시간이 상이하기 때문에 이러한 방식은 비효율적인 방법이다. 또한 승객이

특정 지역에 밀집되어 있는 경우 승객 분산을 통해 대피할 때 이동 거리 혹은 이동 시간이 길어지는 것 또한 신속한 대피를 위해서는 해결해야할 문제이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 다음과 같은 과정을 거쳐 최종 대피 경로를 선정하게 된다. 우선, 역사내의 다양한 센서 데이터를 기반으로 파악된 사고 발생 지역을 제외하고 출구별 동일 인원을 할당하여 대피경로를 설정한다. 설정된 대피 경로에서 이동 거리(EDP)가 기준( $D_{thres}$ )이상인 승객의 무리가 발생하게 된다면 기준치를 초과하지 않는 출구 쪽으로 경로를 변경한다. 이때, 출구별 예상 탈출 인원을 파악할 수 있는데, 만약 특정 시간에 특정 출구(Exit)로 대피 가능한 최대 인원수( $Eva_{pass,max}$ )를 초과하는 상황이 예상 될 때 일부 승객의 대피 경로를 이동거리가 최소인 근처의 다른 출구로 안내한다.

이러한 과정을 통해서 지하철 역사내의 사고 발생 시 신속하게 역사내의 승객을 효율적으로 분산하여 대피시킬 수 있다.

#### 3.2 대피경로 안내

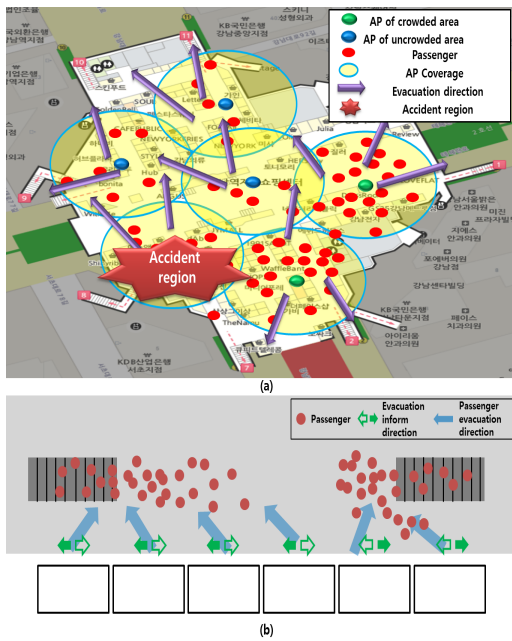
최종적으로 선택된 대피경로에 따라 효율적으로 대피하기 위해서는 승객들에게 대피 경로에 대한 정보는 정확하게 전달되어야 한다. 이를 위해서 두 가지 방식으로 대피경로를 안내하고자 한다.

첫 번째 방식은 방향 지시등을 통한 대피 방향 안내이다. 지하철 승강장에서 지하철 객차구역과 지하철 역사의 이동통로마다 대피방향을 나타내는 조명을 설치하고, 이를 통해 승객들에게 대피 방향을 안내함으로써 효율적인 대피를 유도하는 방법이다.

또 다른 방식은 지하철과 역사에 설치된 AP를 이용하는 방식이다. AP의 신호가 도달하는 범위에서 접속된 사용자들에게 그림 3에 표시된 것과 같이 Push 알림을 통해 대피 경로에 대한 정보를 제공함으로써, 승객들의 대피를 유도할 수 있다.

이와 같은 대피 방향 안내를 통해 비상 상황 시 혼잡한 상황에서도 승객들에게 대피 경로의 안내를 통해 승객의 쏠림 현상을 제거하고, 신속하게 대피할 수 있도록 한다.

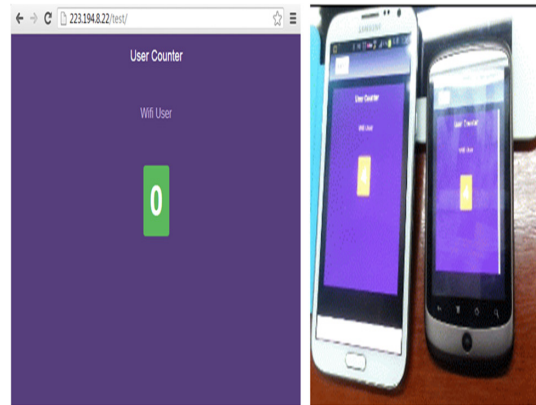
그림 4와 5는 제시된 안내 방식을 통해 승객들의 대피를 유도하는 예시와 스마트폰을 통한 Push알림을 나타낸다.



[Fig. 4] Example of evacuation guide in subway station and platform  
(a) Subway station (b) Subway platform



[Fig. 5] Example of evacuation guide of smart phone



[Fig. 6] Display of the number of connected persons

#### 4. 실험 결과

제안된 시스템의 가능성을 확인하기 위하여 간단한 실험을 진행하였다.

##### 4.1 AP기반 승객 수 추정

기준에 설치되고, 판매되는 AP는 사용자의 AP접근에 제한을 두고 있기 때문에, 본 과정을 수행하기 위해서는 AP컨트롤이 가능하도록 임베디드 리눅스의 한 형태인 OpenWrt를 사용하였다. OpenWrt는 오픈소스 프로젝트의 하나로써 액세스 포인트 장비 개발에 최적화된 형태이다. OpenWrt를 사용할 경우 전체 접속자수 파악은 물론 각 사용자별 신호 세기 및 다양한 정보들을 획득할 수 있다.

실험에서는 DIR사의 DIR-825제품을 사용하였으며, 소켓 통신을 이용하여 AP의 접속자 정보를 획득하였고, 서버에 전송하여 데이터베이스에 현재 접속자수의 정보를 입력하였다. 실제 환경에서의 실험은 불가능하기 때문에, 간단한 실험을 통해 가능성을 확인하였다. 그림 6는 실제 실험을 통해서 접속자수가 파악된 그림을 보여준다. 이를 통해 AP에 접속한 승객의 수를 파악할 수 있음을 확인할 수 있었다.

##### 4.2 전체 승객 수 추정

전체 승객의 수는 실제 측정 데이터를 기반으로 추정하였다. 샘플 데이터는 지하철 1~6호선 라인으로부터 출퇴근 시간과 낮 시간 동안 수집하였다.

표 1은 1호선에서 측정된 샘플 데이터와 전체 호선의 평균 데이터를 보여준다. 스마트폰 사용자의 비율은 요일과 시간에 따라 다르게 나타났으며, 오전 시간에 전체 라인의 스마트폰 사용자 비율은 38.8%로 나타났다. 점심 시간에는 31.6% 그리고 오후 시간에는 36.8%로 나타났으며 전체 평균 사용자 비율은 35.8%로 나타났다.

표 2,3,4는 신뢰구간 파라미터  $\sigma$ 에 따라 68.27%(1 $\sigma$ ), 95.45(2 $\sigma$ ), 99.73%(3 $\sigma$ )구간에서의 추정 승객 수 정보를 보여준다. 그리고 주어진 구간에서 요일, 시간에 따라 실제 승객과 비교하여 1호선과 전체 라인으로부터 평균 추정 승객 수와 에러율을 보여준다.

에러율과 신뢰 구간은 신뢰 구간 파라미터  $\sigma$ 의 증가와 함께 증가한다. 그리고 추정된 전체 승객의 평균 에러율은 1 $\sigma$ , 2 $\sigma$ , 3 $\sigma$ 에서 15%, 17% 그리고 23%의 에러율을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문에서 비상 상황 시 승객 위치 정보를 기반으로 하는 승객 분산 대피 시스템을 제안하고, AP기반 승객 추정 방식과, 수집된 샘플과 통계적 기법을 적용하여 전체 승객 수를 추정하는 간단한 실험을 통하여 시스템의 가능성을 확인하였다.

임베디드 리눅스 기반의 OpenWrt를 이용하여 AP로부터 접속자 수 정보를 확인하였고, 지하철 1~6호선의 실측 자료를 기반으로 하여 신뢰구간 파라미터에 따른 전체 승객 추정 신뢰 구간과 평균 전체 승객 수를 추정하여 오차율 분석을 하였다. 이를 통하여 본 논문에서 제안된 시스템의 승객 수 추정의 가능성을 확인하였다.

앞으로 서버와 지하철 대피 안내 시스템과의 연계를 통하여 비상 상황 시에 승객의 대피 방향등 및 AP와 스마트폰의 Push 알림기능 실험을 통해 구현을 할 예정이다. 전체 시스템을 구성하여 본 논문에서 제안된 지하철 승객의 분산대피 모의실험을 수행할 것이다.

[Table 1] Survey data

Line1									Average of total line										
time	08:00 ~ 09:00			12:00 ~ 13:00			18:00 ~ 19:00			time	08:00 ~ 09:00			12:00 ~ 13:00			18:00 ~ 19:00		
list	sampler	user	rate	sampler	user	rate	sampler	user	rate	list	sampler	user	rate	sampler	user	rate	sampler	user	rate
MON	203	72	0.355	54	27	0.500	150	80	0.533	MON	165.5	72.0	0.435	83.2	24.7	0.297	141.7	60.0	0.424
TUE	200	80	0.400	60	25	0.417	180	70	0.389	TUE	167.7	71.8	0.428	65.0	18.8	0.290	158.3	53.3	0.337
WED	180	75	0.417	50	15	0.300	180	90	0.500	WED	174.0	80.3	0.462	71.8	23.2	0.323	161.3	69.0	0.428
THU	200	90	0.450	55	22	0.40	170	60	0.353	THU	178.3	71.7	0.402	78.0	26.7	0.342	168.3	70.8	0.421
FRI	184	92	0.500	50	15	0.300	180	70	0.389	FRI	180.3	76.7	0.425	113.5	29.5	0.260	181.7	78.3	0.431
SAT	142	48	0.338	74	25	0.338	102	32	0.314	SAT	104.7	30.7	0.293	107.3	40.7	0.379	209.5	58.0	0.277
SUN	112	35	0.313	120	48	0.400	132	41	0.311	SUN	95.2	25.7	0.270	152.7	49.7	0.325	192.0	50.2	0.261
Average	174.42	70.3	0.396	66.14	25.3	0.379	156.28	63.3	0.398	Average	152.23	61.3	0.388	95.92	30.5	0.316	173.26	62.8	0.368

[Table 2] Estimated passenger data with 1 $\sigma$

Line 1												
time	08:00~09:00				12:00~13:00				18:00~19:00			
list	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound
MON	166.3	183.4	9.6%	200.6	61.5	73.0	35.2%	84.5	182.9	202.8	35.2%	222.7
TUE	184.8	203.8	1.9%	222.9	57.0	67.6	12.7%	78.2	160.0	177.4	1.4%	194.9
WED	173.2	191.1	6.2%	208.9	34.2	40.6	18.9%	46.9	205.7	228.1	26.7%	250.6
THU	207.8	229.3	14.6%	250.7	50.1	59.5	8.2%	68.8	137.1	152.1	10.5%	167.0
FRI	212.5	234.4	27.4%	256.3	34.2	40.6	18.9%	46.9	160.0	177.4	1.4%	194.9
SAT	110.9	122.3	13.9%	133.7	57.0	67.6	8.7%	78.2	73.1	81.1	20.5%	89.1
SUN	80.8	89.2	20.4%	97.5	109.4	129.8	8.2%	150.2	93.7	103.9	21.3%	114.1
Average of total line												
time	08:00~09:00				12:00~13:00				18:00~19:00			
list	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound
MON	168.5	187.6	13.3%	206.7	67.8	79.8	4.1%	91.7	148.2	164.5	16.1%	180.9
TUE	168.1	187.2	11.6%	206.2	51.8	60.9	6.3%	70.0	131.7	146.3	7.6%	160.8
WED	188.0	209.3	20.3%	230.6	63.7	74.9	4.3%	86.1	170.4	189.2	17.3%	208.0
THU	167.7	186.7	4.7%	205.7	73.3	86.2	10.5%	99.2	174.9	194.2	15.4%	213.6
FRI	179.4	199.7	10.8%	220.1	81.1	95.4	16.0%	109.7	193.4	214.8	18.2%	236.2
SAT	71.8	79.9	23.7%	88.0	111.8	131.5	22.5%	151.2	143.2	159.1	24.1%	174.9
SUN	60.1	66.9	29.7%	73.7	136.5	160.6	5.2%	184.7	123.9	137.6	28.3%	151.3



[Table 3] Estimated passenger data with  $2\sigma$

Line 1												
time	08:00~09:00				12:00~13:00				18:00~19:00			
list	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound
MON	153.2	188.4	7.2%	223.7	54.2	79.0	46.3%	103.9	167.8	208.9	39.3%	250.0
TUE	170.2	209.4	4.7%	248.5	50.1	73.2	21.9%	96.2	146.9	182.8	1.6%	218.7
WED	159.6	196.3	9.0%	233.0	30.1	43.9	12.2%	57.7	188.8	235.0	30.6%	281.2
THU	191.5	235.5	17.8%	279.6	44.1	64.4	17.1%	84.6	125.9	156.7	7.8%	187.5
FRI	195.7	240.8	30.8%	285.8	30.1	43.9	12.2%	57.7	146.9	182.8	1.6%	218.7
SAT	102.1	125.6	11.5%	149.1	50.1	73.2	1.1%	96.2	67.1	83.6	18.1%	100.0
SUN	74.5	91.6	18.2%	108.7	96.3	140.5	17.1%	184.7	86.0	107.1	18.9%	128.1
Average of total line												
time	08:00~09:00				12:00~13:00				18:00~19:00			
list	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound
MON	154.2	193.7	17.0%	233.1	60.0	85.7	3.0%	111.4	135.9	169.6	19.7%	203.4
TUE	153.9	193.2	15.2%	232.6	45.8	63.4	0.6%	85.1	120.8	150.8	4.8%	180.8
WED	172.1	216.1	24.2%	260.1	56.3	80.5	12.0%	104.6	156.3	195.1	20.9%	233.9
THU	153.5	192.8	8.1%	232.0	64.8	92.6	18.7%	120.4	160.4	200.2	19.0%	240.1
FRI	164.2	206.2	14.4%	248.2	71.7	102.5	9.7%	133.2	177.4	221.5	21.9%	265.5
SAT	65.7	82.5	21.2%	99.3	98.9	141.3	31.6%	183.6	131.3	164.0	21.7%	196.6
SUN	55.0	69.0	27.5%	83.1	120.7	172.5	13.0%	224.3	113.6	141.8	26.1%	170.0

[Table 4] Estimated passenger data with  $3\sigma$

Line 1												
time	08:00~09:00				12:00~13:00				18:00~19:00			
list	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound
MON	142.0	197.4	2.8%	252.7	48.4	91.6	69.6%	134.8	155.1	220.0	46.6%	284.8
TUE	157.8	219.3	9.6%	280.8	44.8	84.8	41.4%	124.9	135.7	192.5	6.9%	249.2
WED	147.9	205.6	14.2%	263.3	26.9	50.9	1.8%	74.9	174.5	247.5	37.5%	320.4
THU	177.5	246.7	23.3%	315.9	39.4	74.6	35.7%	109.9	116.3	165.0	3.0%	213.6
FRI	181.4	252.2	37.1%	322.9	26.9	50.9	1.8%	74.9	135.7	192.5	6.9%	249.2
SAT	94.7	131.6	7.3%	168.5	44.8	84.8	14.6%	124.9	62.0	88.0	13.7%	113.9
SUN	69.0	95.9	14.3%	122.9	86.0	162.9	35.7%	239.7	79.5	112.7	14.6%	146.0
Average of total line												
time	08:00~09:00				12:00~13:00				18:00~19:00			
list	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound	lower bound	average	error rate	upper bound
MON	142.2	204.8	23.7%	267.3	53.8	97.8	17.6%	141.8	125.5	178.8	26.2%	232.2
TUE	141.9	204.3	21.8%	266.7	41.0	74.7	14.9%	108.3	111.5	159.0	0.4%	206.4
WED	158.7	228.4	31.3%	298.2	50.5	91.8	27.8%	133.2	144.3	205.7	27.5%	267.1
THU	141.5	203.8	14.3%	266.1	58.1	105.7	35.5%	153.3	148.1	211.1	25.4%	274.1
FRI	151.4	218.0	20.9%	284.6	64.3	116.9	3.0%	169.6	163.8	233.5	28.5%	303.2
SAT	60.6	87.2	16.7%	113.8	88.6	161.2	50.2%	233.8	121.3	172.9	17.5%	224.5
SUN	50.7	73.0	23.3%	95.3	108.2	196.9	29.0%	285.5	104.9	149.5	22.1%	194.2

References

[1] C. G. Kim, S. W. Lee, N. Hur, S. W. Nam, "A Numerical Study on Passenger Evacuation in a Subway Station in Case of Fire Occurrence", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, pp.509-514, 2010

[2] J. H. Canos, G. Alonso, J. Jaen, "A multimedia approach to the efficient implementation and use of emergency plans", MultiMedia, IEEE, Vol. 11, Issue 3, pp.106-110, 2004  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MMUL.2004.2>

[3] Daibaoqian, WangTong, Qinyueping, "Subway Station Evacuation Simulation System", Measuring Technology and Mechatronics Automation(ICMTMA), Vol. 2, pp.396-399, 2009

[4] S. J. Lee, S. H. Lee, "A Study on the Development of Emergency Evacuation Simulator Considering the Characteristic of the Behavior Pattern in Crowding", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation society, vol. 9, no. 5, pp.1319-1327, 2008  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.5.1319>

[5] J. M. Leem, J. Y. Yu, S. J. Jang, et al., 2013 Mobile internet use survey. p.1-94, Korea Internet & Security Agency, 12. 2013

[6] W. I. Choi, W. I. Kwak, S. J. Kim, M. J. Seo, Statistics using excel, p.136-146, Hackhyunsa Publishers, 2007.

[7] MASUDA, Hiroyuki, and Takeshi ARAI. "An agent-based simulation model of evacuation in a subway station." The

9th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM05). 2005.

- [8] Lei, Wenjun, et al. "Simulation of pedestrian crowds' evacuation in a huge transit terminal subway station." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 391.22 (2012): 5355-5365.

---

**김 남 문(Nammoon Kim)**

[준회원]



- 2011년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (전자공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 (석박 통합과정)

<관심분야>

ultra-wide band wireless communication systems, precise ranging and location systems, Indoor positioning system, INS

---

**김 영 역(Youngok Kim)**

[정회원]



- 1999년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (기계공학사)
- 2002년 2월 : Univ. of Texas at Austin (전기, 컴퓨터 공학 석사)
- 2006년 5월 : Univ. of Texas at Austin (전기, 컴퓨터 공학 박사)
- 2006년 7월 ~ 2008년 2월 : KT 인프라연구소 선임연구원

- 2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 부교수

<관심분야>

ultra-wide band wireless communication systems, OFDM-based systems, precise ranging and location systems, PAPR reduction techniques, diversity techniques for wireless systems, and multiple-access schemes in multicarrier systems