

IEEE 802.11 Proberequest를 활용한 공간 상에서의 혼잡도 추정 프로그램 개발

권순호*, 이승찬*, 김호숙*

*한국과학기술원 부설 한국과학영재학교

e-mail: percy3368@gmail.com, leesc030720@naver.com, khosook@kaist.ac.kr

Development of congestion estimation program utilizing IEEE 802.11 Proberequest

Soon-Ho Kwon*, Seung-Chan Lee*, Ho-Sook Kim*

*Korea Science Academy of KAIST

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11 규격을 사용하는 Wi-Fi 망이 구축된 환경에서 기기와 AP 간에 주고받는 Proberequest 신호를 수집하여 이때 감지된 디바이스의 수를 사용하여 공간 상에 머무르고 있는 사람의 수를 추정하는 방법으로 해당 공간의 혼잡도를 제공하는 것을 목표로 한다. 신호에 포함되어 있는 MAC 주소를 활용하여 디바이스를 구별한 후, 서버로 디바이스 수 집계를 전달하는 비콘이 사람 수를 도출한다. 혼잡도와 평균치 등의 정보를 웹 사이트를 통해 제공하기 위해 서버에 정보를 저장한다. 제안된 방법을 교내 3곳에 적용한 결과, 성공적으로 혼잡도를 계산, 웹 사이트를 통해 학생들에게 실시간으로 제공할 수 있었다.

▶ Keyword : IEEE 802.11, Proberequest, 혼잡도, 디바이스

I. Introduction

코로나바이러스-19로 인한 사회적 거리두기 조치 이후, 대부분의 공공기관이나 음식점, 대형마트 등의 수용인원에 제한이 생기면서 특정 시간대에 사람들이 물리면 공용시설을 이용할 수 없는 경우가 빈번하게 발생하고 있다.

예시로 한국과학영재학교의 급식실은 사회적 거리두기 조치로 인해 수용인원이 260명으로 줄어들었다. 이는 전교생의 절반을 조금 넘는 수준으로, 점심 시간이나 저녁 시간에 사람이 몰려 사용할 수 없는 경우가 많이 발생하였으며, 이에 따라 특정 장소의 사람 수를 세어 공개적으로 알 수 있게 하는 시스템의 필요성이 대두되었다.

특정 공간에 위치하는 사람의 수를 세는 것은 지금

까지 다양한 방법이 시도되어 왔다. 고전적으로는 놀이공원에서처럼 물리적으로 입구와 출구를 나누어 개찰구 등의 기구를 사용해 직접 들어오고 나가는 사람의 수를 세는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 출입구를 제한할 수 없는 개방된 공간에서 사용이 불가능하며 이동 속도를 저하시킬 수 있어 바람직하지 않다. 이후에는 발전한 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 사람의 수를 세는 시도 또한 이루어졌으나, 연속적인 인식과 추적, 구별이 어려우며 이에 따른 정확성 문제와 높은 비용, 카메라의 시야각 등의 한계로 인해 폭넓게 활용되지는 않고 있다[1].

본 연구는 대부분의 학생들이 스마트폰 등의 전자기기를 들고 다닌다는 점에 착안하여 공간에서의 사람 수를 세는 문제를 전자기기의 수를 세는 문제로 환원하여 해결하고자 한다.

II. Preliminaries

1. 이론적 배경

1.1 IEEE 802.11

흔히 WiFi라고 칭하는 기술은 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 LAN, PAN 프로토콜 중, 802.11 (무선 LAN) 표준을 채택한 무선 인터넷 기술이다. 해당 기술은 1997년 6월 IEEE 802.11, Legacy라는 이름으로 처음 표준화되었으며, 2.4GHz 대역의 주파수를 사용하는 규격이 2003년 제정되고 이후 Apple의 iPhone을 비롯한 이동통신 기기가 지원을 시작하면서 대중화되었다.[2] 기본적으로 유선 인터넷망과 연결되어 무선 인터넷을 제공하는 AP(Access Point)와 AP에서 제공하는 망에 접속하여 인터넷을 사용하는 디바이스 두 가지로 구성되어 있다. 표준만 준수한다면 어떠한 장치라던지 인터넷 망에 접속할 수 있으며, AP를 중심으로 하는 1대다 무선통신을 지원한다[2].

1.2 Probe Request

WiFi는 1.1에서 명시하였듯이 AP와 디바이스 간의 연결이 이루어지는데, 이때 디바이스는 가까운 AP를 찾기 위해 Probe Request라는 신호를 주변으로 전 주파수 대역에 대하여 송출한다. 이 신호에는 찾으려고 하는 AP의 SSID(이름), 단말기의 MAC 주소 등의 정보가 담겨 있다[3].

디바이스는 Wi-Fi 기능을 내부적으로 완전히 끄지 않는 한 주기적으로 Probe Request 신호를 송출한다. 또한 이는 지향성이 있는 신호가 아니기 때문에 주변의 802.11 패킷을 읽어들이 수 있는 장치라면 해독하여 관련 정보를 얻을 수 있다.

2. 연구 목적

본 연구에서는 Probe Request 프레임에 담겨 있는 신호 중 장치의 식별자라고 할 수 있는 MAC 주소를 사용해 디바이스를 서로 구별한 뒤 공간에 있는 것으로 추정되는 사람의 수를 추정하여 사용자에게 제공하는 서비스를 구현하는 것을 목적으로 한다.

3. 연구 환경

Table 1. System Environment

Item	Value
Python Interpreter	3.8.5
Libraries	Scapy, Netaddr
Beacon H/W	Raspberry Pi 4B+
WiFi Adapter	TP-Link T4U
Server Frontend	nginx 1.19.7
Server Backend	php 8.0.7
DBMS	MariaDB 10.5.9

본 연구에서 작성한 서비스를 구성하는 요소는 비콘과 서버로 이루어져 있으며, 각 항목의 개발 환경은 상기한 표와 같다.

운용상에 제한 조건은 인구수를 측정하고자 하는 공

간에 WiFi AP가 설치되어야 한다는 점이다. 그러나 대한민국은 대부분의 공공시설이나 다중이용시설에 통신사 또는 지자체에서 제공하는 공용 WiFi 망이 개설되어 있기 때문에 문제가 되지 않으며, 본 연구에서는 학교 내에 개설된 공용 WiFi 망을 활용했다.

또한 연구에 사용된 저가의 WiFi 어댑터로도 폭 60m 상당의 급식실 등의 넓은 공간의 사람들을 감지할 수 있었다.

III. The Proposed Scheme

서비스의 전체 구조는 다음과 같다. 각각의 장소에서 디바이스의 수를 수집하는 Beacon과, 각각의 Beacon에서 송신하는 인원수 데이터를 모아 저장하고 사용자에게 전달해 주는 서버 사이드로 이루어져 있다.

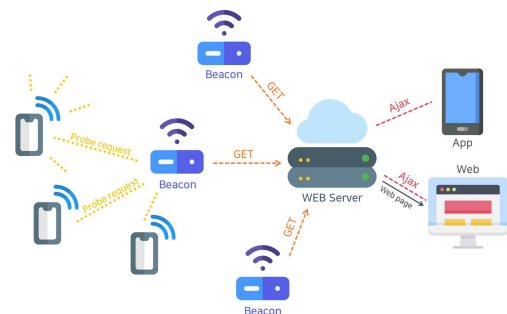


Fig. 1. Overall Architecture

1. Beacon 구조 및 작동 방식

1.1 Probe Request 감지 시스템

이론적 배경에서 설명하였듯이, WiFi 연결이 가능한 디바이스는 적절한 프로그램을 통해 주변에서 송출되고 있는 Probe Request 신호를 해독할 수 있다. 따라서 파이썬의 Scapy 라이브러리를 활용해 송신된 Probe Request 패킷을 복호화하였다.

복호화 후 생성된 packet 오브젝트에서 우리가 1차적으로 접근할 수 있는 정보는 장치의 Organization, SSID, MAC Address, RSSI Value 등이 있다. Organization은 장치의 Vendor 이름을 나타내며, 제조사에 따라 값이 빠져 있는 경우가 있어 크게 의미가 없다. SSID는 장치가 목표로 하고 있는 AP의 SSID를 말하며, MAC Address는 장치의 물리적 식별 주소, RSSI Value는 수신감도이다. 이중 디바이스를 구별하고 기록하는 것에 의미 있는 값들은 MAC Address이다.

MAC Address는 디바이스에 1대1 대응되는 물리적 주소값으로 중복되는 경우가 없어 디바이스간 구별에 이용하였다. Python의 딕셔너리 자료형을 사용해 기

존에 등록된 디바이스인지 확인, 갱신 또는 신규 등록을 진행하고 시간을 기록한다.

또한 주기적으로 마지막으로 보고된 시간에서 특정 시간이 지난 경우 그 디바이스를 목록에서 삭제한다. 잔류 시간 정도로 정의할수 있는 시간 간격은 장소와 군중의 특징에 따라 적절한 값을 사용해야 한다.

1.2 Server Side와의 데이터 통신

Server Side에는 Beacon 역할을 하는 라즈베리파이 컴퓨터에서 데이터를 수신할 수 있게 하였다. 라즈베리 파이에서는 Python의 Requests 라이브러리를 사용하여 주기적으로 현재 디렉터리에 들어있는 디바이스의 수를 세어 서버에 전달하였다.

2. Server Side 구조

Server Side는 각 beacon에서 전달되는 데이터를 수신하는 데이터를 처리하고, 사용자에게 웹 형식으로 정보를 전달할 수 있는 웹 서버를 개발하였다.

2.1 데이터 수신

각 장소에 설치된 Beacon으로부터 집계된 디바이스 수를 전달받게 된다. 각각의 장소의 Beacon은 고유한 id를 가지며, 이는 서버와의 통신을 가능하도록 하는 private key의 역할을 동시에 하게 된다. 서버는 Beacon으로부터 수신한 raw 데이터를 일련의 처리 과정을 거쳐 데이터베이스에 저장하게 된다.

2.2 데이터 처리 및 입/출력

2.2.1 Beacon request 시(inbound)

Beacon에서 수신한 디바이스 수 데이터를 통해 아래와 같은 수식을 이용해 해당 장소에 있는 사람의 수를 산출할 수 있다.

$$(\text{사람 수}) = \frac{(\text{디바이스 수}) - (\text{해당 장소의 기본 디바이스 수})}{(\text{해당 장소의 사람 당 평균 이용 기기 수})}$$

여기에서 ‘해당 장소의 기본 디바이스 수’는 그 장소에 기본적으로 설치된 Probe request를 송신하는 디바이스(장소에 기본적으로 설치된 컴퓨터 등)의 수를 의미하며, ‘해당 장소의 사람 당 평균 이용 기기 수’는 평균적으로 한 사람이 이용하는 기기의 수를 의미한다. 일반적인 경우에서 한 사람이 이용하는 디바이스는 휴대 전화가 대부분이므로 1의 값을 가지겠지만, 한국과학영재학교의 도서관 및 자습실과 같이 특별한 환경의 경우에는 각 학생이 평균적으로 휴대폰과 노트북, 두 개의 전자기기를 사용하므로 이 값을 2로 설정했을 때 실제 인원수에 더 가까운 정확한

값을 얻을 수 있다.

위와 같은 과정을 통해 얻은 인원수 데이터를 수신한 시간의 Timestamp 값과 함께 데이터베이스에 저장한다.

2.2.2 Client Request 시(outbound)

앱 클라이언트 또는 웹에서 request 시에는 데이터베이스에 저장된 데이터를 바탕으로 데이터를 리턴한다. 각각의 시점에 수신되는 인원수 데이터에는 어느 정도 편차가 존재하기 때문에 request 시점으로부터 일정 시간 이내의 데이터의 이동 평균을 사용하며, 이 값을 각각의 장소를 key 값으로 하고 그 장소의 인원 수(int)를 value로 가지는 json 형태로 리턴한다.

2.3 예외 처리

각각의 beacon이 정상적으로 동작하는 경우 이동 평균을 내는 시간 간격이 각 beacon이 데이터를 송신하는 시간 간격보다 훨씬 길기 때문에 client request 시 항상 데이터를 리턴할 수 있다. 그러나 beacon 동작 오류, beacon과 server 사이의 네트워크 오류 등으로 데이터 업데이트가 이루어지지 않아 리턴할 데이터가 존재하지 않는 경우(즉, client request 시간과 마지막 데이터 update 시간이 일정 시간 이상 차이가 나는 경우), 인원수를 나타내는 int가 아닌 exception이 발생했음을 나타내는 특정 value를 리턴한다.

3. Client Side

3.2 데이터 수신

클라이언트는 각 장소의 인원을 서버로부터 json 형태로 받게 된다. 통신은 Ajax(Asynchronous JavaScript And XML)을 통해 이루어지게 되며, 일정한 주기로 계속 request를 진행함으로써 user interface에서 새로고침을 하지 않아도 백그라운드에서 지속적으로 데이터가 갱신되도록 한다.

3.1 User Interface

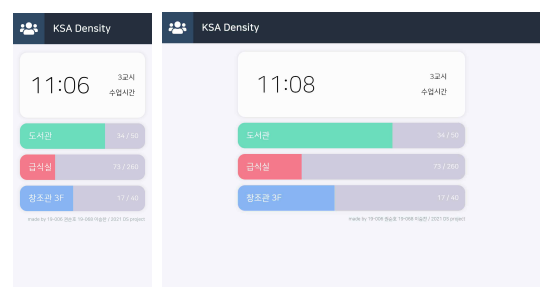


Fig. 2.1(left) Mobile App User Interface
Fig. 2.2(right) Web User Interface

각 장소의 혼잡도를 사용자에게 보여주는 모바일 앱 및 웹 User Interface는 위 그림(Fig. 2.1, Fig. 2.2)과 같다. 각 장소에서의 인원 수가 Linear graph와 텍스트로 표시되며, 일정 주기마다 자동으로 갱신된다. 웹과 앱의 UI형태 및 작동 방식은 완전히 동일하다.



Fig. 3 Exception display in user interface

‘2.3 예외 처리’에서 언급한 것과 같은 exception이 발생하여 이를 나타내는 value를 서버로부터 리턴받은 경우, User interface 화면에 Fig 3과 같이 표시된다.

3. 작동 및 데이터

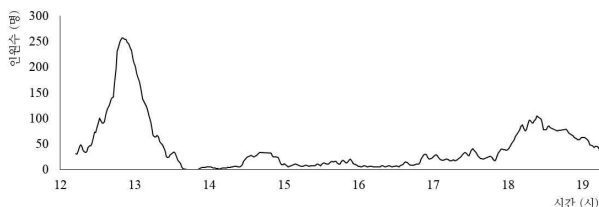


Fig. 4 Obtained people density data in cafeteria(sample data)

위 그래프는 약 7시간 동안 한국과학영재학교의 급식실에서 Beacon의 데이터 수집 및 처리를 통해 얻은 인원수 데이터이다.

급식실이라는 특성상 점심과 저녁 시간에 인원수가 많은 것이 수집된 데이터에서 정확하게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 어떤 시간에 몇 명이 있었는지 또한 정확하게 나타나고 있다. 점심 시간에는 짧은 시간 동안 사람들이 많이 몰리는 반면, 저녁 시간에는 넓게 퍼져 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 쉬는 시간 사람들의 이동 등 작은 규모의 인원수 변화 또한 정확하게 측정되는 것을 확인할 수 있었다.

IV. Conclusions

본 연구의 목적은 WiFi Proberequest 신호를 수집하여 공간에 존재하는 디바이스의 수를 수집하고 이

를 통하여 혼잡도를 계산해 웹 사이트를 통해 사용자에게 이 정보를 제공하는 것이다.

실제 교내에서의 서비스 테스트 결과 급식실과 도서관, 자습실 모두 오차범위 5~10% 이내에서 체류하고 있는 인원수를 측정하여 웹 사이트에서 표출할 수 있었으며, 데이터가 축적되고 나서는 시간대별로 혼잡도에 어떤 변화가 생기는지 관찰할 수 있었다.

코로나바이러스-19 때문에 많은 장소에는 인원수 제한이 생겼으며, 본 연구에서 제안하는 비접촉식이고 인구의 흐름을 제한하지 않는 방식의 혼잡도 집계 서비스는 사람들의 시간과 동선을 절약하는 것에 큰 도움이 될 것으로 사료되며, 실시간 정보 제공을 통해 불필요한 인구 밀집을 최소화할 수 있다는 점에서 방역 면에서도 큰 효과를 볼 수 있다.

향후에는 넓은 공간의 경우 비콘 여러 대의 공조를 통한 조금 더 정확하게 공간의 혼잡도를 수집하고, Proberequest의 간격이 기기마다 다르게 정해져 있는 것을 활용하여 노트북/스마트폰 등의 기기 종류를 구별하는 것 등을 추가하려고 한다.

References

- [1] J. S. Kim, Y. S. Choi, "Performance improvement of real-time person tracking on moving cameras using face recognition and GAN", KCC journal, pp 1041-1043, Aug. 2019
- [2] Y. S. Chung, Y. J. Kim, J. D. Huh, "Trend of IEEE 802.11e Wireless MAC Technology and Standardization", ETR journal, Vol. 22, No. 4, pp 156-168, Aug. 2007
- [3] C. Y. Yeoh and A. A. Abdul Rahman, "Implementing 802.11 probe request scanner using WARP platform," 2014 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), pp 307-311, Dec 2014.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부의 지원을 받아 KAIST 부설 한국과학영재학교의 프로그램의 일환으로 수행되었습니다.