

디지털 기술을 활용한 바이러스 확산 방지 시스템 설계 및 구현에 관한 연구

A study on the design and implementation of a virus spread prevention system using digital technology

유 지 현^{*★}

Ji-Hyun Yoo^{*★}

Abstract

Including the COVID-19 crisis, humanity is constantly exposed to viral infections, and efforts are being made to prevent the spread of infection by quickly isolating infected people and tracing contacts. Passive epidemiological investigations that confirm contact with an infected person through contact have limitations in terms of accuracy and speed, so automatic tracking methods using various digital technologies are being proposed. This paper verify contact by utilizing Bluetooth Low Energy (BLE) technology and present an algorithm that identifies close contact through analysis and correction of RSSI (Received Signal Strength Indicator) values. Also, propose a system that can prevent the spread of viruses in a centralized server structure.

요 약

COVID-19 사태를 비롯하여 인류는 지속적인 바이러스 감염에 노출되고 있고 감염자를 신속하게 격리하고 접촉자를 추적하여 감염 확산을 방지를 위한 노력이 진행되고 있다. 연락을 통해 확진자 접촉을 확인하는 수동적인 역학조사는 정확성과 신속성 측면에서 한계가 있어 다양한 디지털 기술을 활용한 자동적인 추적 방법이 제안되고 있다. 본 논문에서는 저전력 블루투스 BLE (Bluetooth Low Energy) 기술을 활용하여 접촉을 확인하고 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 값에 대한 분석과 보정을 통해 밀접 접촉을 식별하는 알고리즘을 제시하고, 중앙집중형 서버 구조의 바이러스 확산을 방지할 수 있는 시스템을 제안하고자 한다.

Key words : Digital Contact Tracing, BLE, RSSI, RTLS, App.

1. 서론

COVID-19 대유행으로 감염성 바이러스의 확산 방지에 대한 중요성이 더욱 증대되었다. 접촉 추적은 감염성

바이러스에 걸린 사람의 근처에 있었던 사람들을 식별하고, 자가 격리를 통해 감염 확산을 방지한다. 확진자는 증상이 나타나기 며칠 전부터 접촉을 기억하도록 요청받지만, 이러한 수동 접촉 조사는 시간이 오래 걸리고 항상

* Dept. of Software Convergence, Jangan University
Corresponding author

E-mail : jihyun_yoo@jangan.ac.kr, Tel : +82-31-299-3024

※ Acknowledgment

This work was supported by Jangan University Research Grant in 2022.

Manuscript received Dec. 8, 2022; revised Dec. 16, 2022; accepted Dec. 20, 2022.

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.

완전한 추적이 어려워서 디지털 기술의 지원은 큰 도움이 될 수 있다.

디지털 추적 기술을 사용하여 개인은 모바일 단말에 앱을 다운로드하여 위치 및 증상 정보를 기록하거나, 장치에서 Bluetooth 통신기술 또는 GPS와 같은 측위 기술을 사용할 수 있다. 사용자가 감염되면 이 기술은 가까운 접촉 또는 이차 감염을 식별하고 접촉자들에게 알림을 보내고 감염 확산을 줄이는 데 효과적으로 동작한다.

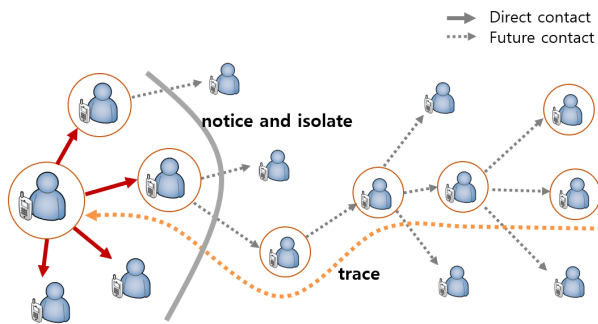


Fig. 1. Infection spread chain network.
그림 1. 감염 확산 연쇄 네트워크

예로 코로나19 관련 접촉기록 추적 기술은 해외에서 선행되어, 싱가포르는 응용 프로그램을 무료로 배포하고 위치 정보 등의 데이터를 분석하여 감염자와 밀접 접촉 가능성이 있는 사람에게 자동으로 알림이 가는 구조를 구축했으며, 일본에서도 Code For Japan(CFJ)이라는 개인 스마트폰의 기록을 이용한 추적 시스템이 개발되었다. 미국에서도 노출 알림시스템을 구축하기 위한 프레임워크 및 프로토콜을 애플과 구글이 공동개발하였다.

본 논문에서는 WIFI, BLE 등 디지털 접촉 기술을 활용하여 데이터를 수집하고, 확진자와 접촉자를 분류해 감염 확산을 방지하는 시스템에 관한 연구를 진행하였다. 사용자의 모바일 단말이 개인별 대인 근접 접촉 여부를 판단하여 자동으로 접촉자 리스트를 확보하고 확진 경우에 중앙 서버로 접촉자 리스트를 전송한다. 개인 간 밀접접촉 여부의 판단은 BLE의 무선신호세기 기반의 거리측정 알고리즘을 통한 근접거리 접근 여부를 이용한다. 애플리케이션 설치 후 부여받은 ID 정보만을 이용하여 개인정보는 일절 사용하지 않고, 개인별 접촉자 내역은 모바일 단말의 로컬 저장소에 일정기간(바이러스의 잠복기간) 저장된다. 확진자 판정 이후 감염자의 모바일 단말에 저장된 밀접접촉자 리스트를 중앙 서버에 전송하고, 감염병관리위원회의 서버와 연계하여 관리를 수행할 수 있다.

II. 관련 연구

1. 디지털 접촉 추적 아키텍처

디지털 접촉자 추적은 스마트폰이 동일한 접촉자 추적 앱을 실행하여 다른 스마트폰과 밀접 접촉을 등록하는 프레임워크이다. 접촉 추적 아키텍처는 중앙집중형과 분산형 구조로 나눌 수 있다. 중앙 집중식 접촉 추적에서 모바일 단말은 익명 ID를 중앙에 공유하고, 서버는 중앙 집중식 데이터베이스를 유지 관리하고, 접촉 추적, 위험 분석 및 경고 알림을 사용자에게 수행한다. 반면에 분산형에서는 모바일 단말에서 서버로부터 접촉 데이터베이스를 다운로드하여 접촉 매칭과 알림을 수행한다. 그림 2에서와 같이 분산형 구조에서는 각 사용자 모바일 단말은 감염된 개인의 데이터만 중앙 서버와 공유하는 로컬 서버 역할을 한다.

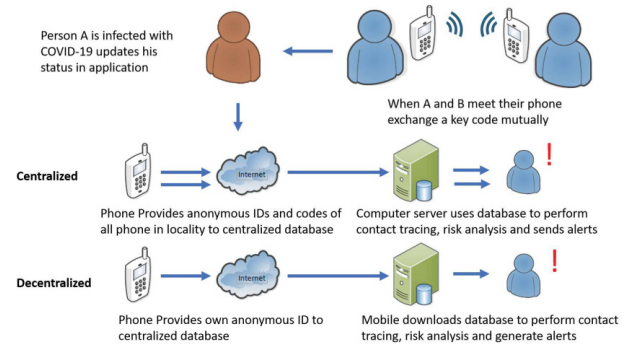


Fig. 2. Two types of contact-tracing architecture[1].
그림 2. 접촉 추적 아키텍처

2. RSSI를 활용한 디지털 접촉 추적

기술 중심의 사회적 거리두기를 가능하게 하고 디지털 접촉 추적의 효과를 높이기 위해 WiFi, Bluetooth, GPS, QR 코드 및 Zigbee와 같은 솔루션과 같은 다양한 통신 기술이 채택되고 있다.

모바일 단말을 이용한 접촉 추적은 BLE 기술을 활용할 경우 근접한 다른 단말들을 식별할 수 있고, 블루투스 신호의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 송신기와 수신기 사이의 거리를 환산할 수 있다. RSSI의 단위인 dBm 값은 0에서 -100dBm으로 표시되며 0에 가까워질수록 신호가 강해지고 음수 값이 커질수록 신호가 약해진다. RSSI 신호를 활용한 거리를 측정하는 알고리즘은 다양한 제안들이 활용되고 있다.

이상적인 RSSI 값과 거리와의 관계식은 식 (1)과 같이 로그함수 형태로 나타낼 수 있다[2].

$$RSSI = -10n * \log(d) + TxPower \quad (1)$$

$$d = 10^{(TxPower - RSSI)/(10n)} \quad (2)$$

식(1), (2)에서 d는 송수신기 사이의 거리(미터), n은 전파손실을 의미하며, TxPower는 송신전력 레벨을 나타낸다. 따라서, RSSI는 출력 전력에서 거리에 따른 손실을 차감한 것이다. 실내환경에 의해 영향이 크지 않은 자유공간에서 n=2, 노이즈를 동반한 실내환경에서는 n=3~10으로 설정할 수 있다. 송수신기 사이에 장애물이 없고 거리가 1m이며, RSSI가 69dBm이라고 가정한다면 전파손실이 없는 실내 공간에서 n=2이며 송신전력값은 -69dBm임을 알 수 있다. 이와 같이 1m, 3m 등 기준 거리에서 송신전력값 측정이 필요하다.

III. 제안 시스템의 설계 및 구현

모바일 단말의 BLE 센서를 이용하여 주변기기의 정보를 수집하고 수집된 정보를 기반으로 사용자에게 알람을 보내는 애플리케이션을 구현하였다.

BLE를 지원하는 디바이스들은 기본적으로 Advertise (Broadcast)과 Connection이라는 방법으로 외부와 통신한다. Advertise 방식은 한 번에 한 개 이상의 단말과 통신할 수 있는 유일한 방법이다. 주로 단말이 자신의 존재를 알리거나 적은 양(31Bytes 이하)의 User 데이터를 보낼 때도 사용된다. 한 번에 보내야 하는 데이터 크기가 작다면, 오버헤드가 큰 Connection 과정을 거쳐서 데이터를 보내기보다는, Advertise를 이용하는 것이 더 효율적이기 때문이다. 게다가 전송할 수 있는 데이터 크기 제한을 보완하기 위해 Scan Request, Scan Response를 이용해서 추가적인 데이터를 주고받을 수 있다. 31bytes 보다는 크지만, Connection까지 맺어서 보내기는 오버헤드가 큰 데이터가 있을 때, Scan Request, Scan Response를 이용하면 두 번에 걸쳐서 데이터를 나눠 보낼 수 있게 된다. Advertising Packet을 받은 Scanner는 추가적인 User Data(예를 들어, 단말의 이름)를 얻기 위해 Scan Request를 보내게 된다. Scan Request를 받은 Advertiser는 나머지 데이터를 Scan Response Signal에 담아서 보낸다.

애플리케이션이 설치된 모바일 단말들로부터 정보 수집하고, 수집된 정보로 근접도를 산출하여 접촉 리스트와 추적 알고리즘 적용한 중앙 서버를 설계하였다. 개인 식별자로 random MAC 주소는 사용이 적절치 않아 이를 해결하기 위해 중앙 서버에서 ID를 생성하여 부여한

다. 애플리케이션이 설치된 스마트폰은 고유한 ID를 부여받고, 스마트폰의 BLE 센서는 다른 스마트폰을 식별하는 ID를 수집한다. 중앙 서버는 스마트폰으로부터 정보를 수집하고, WHO의 밀접 접촉 기준을 따라 밀접 접촉을 판단하는 알고리즘에 적용하여 RSSI 기반 근접도 계산을 통해 확진자에 대한 밀접접촉 리스트를 생성한다.

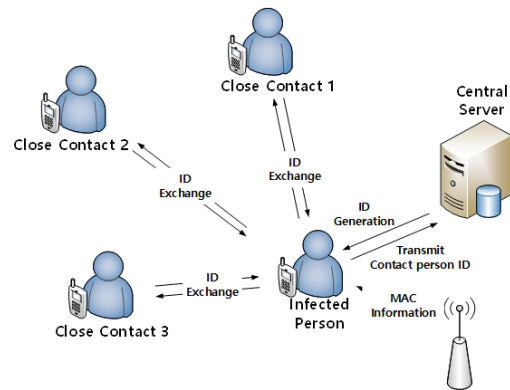


Fig. 3. Contact tracing system works.

그림 3. 접촉 추적 시스템 동작

애플리케이션은 BLE 센서를 통해 주변기기의 정보를 수집하여 스마트폰의 로컬 DB에 저장하고, 중앙 서버와 통신을 통해 데이터를 전송한다. 중앙 서버로부터 접촉 알림 수신 시에 사용자에게 즉시 알리고, 취해야 하는 행동 절차를 설명한다.

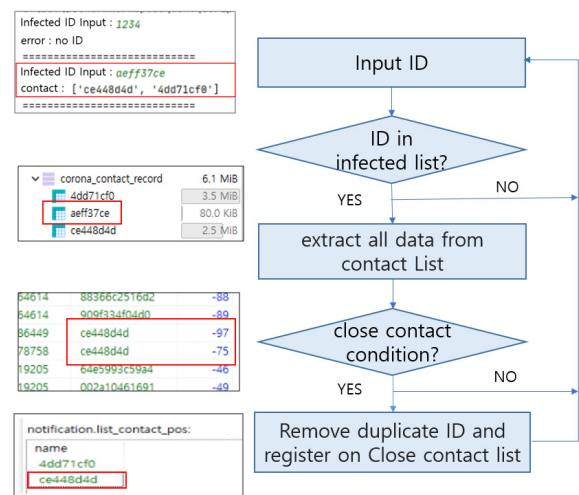


Fig. 4. Close contact extraction flowchart.

그림 4. 밀접접촉자 추출 순서도

밀접접촉자 리스트를 추출하는 알고리즘은 그림4에서 설명하고 있다. 확진자는 본인의 ID를 중앙 서버의 확진자 리스트에 등록하게 되면, 중앙 서버에서는 데이터베이스

이스 존재 여부를 확인하고 해당 ID의 접촉자 리스트를 모두 추출하게 된다. 추출된 데이터는 중복을 제거하여 접촉 추적 알고리즘에 따라 밀접접촉자 리스트를 생성하고 애플리케이션을 통해 알람을 보낸다.

IV. 제안 시스템의 분석

안드로이드 4.3부터 BLE를 사용할 수 있는 API를 제공하여 안드로이드 단말기 간의 BLE 신호 송수신이 가능하다. BLE 신호로 안드로이드 단말기 간의 거리를 측정하기 위하여 두 개의 안드로이드 단말기에서 동시에 송수신한 BLE 신호를 식(2)를 사용하여 분석하였다. 두 개의 단말기 사이의 거리를 일정한 비율로 정하고 일정 시간 동안 각각 기기에서 BLE 송신과 수신을 동시에 진행하였다. 실제 거리가 늘어남에 따라 RSSI 값이 작아지지만, 계산한 거리와 실제 거리와 차이가 있다. 이를 보정하기 위해 적용 단위시간 동안 수신된 전체 RSSI 값의 합을 수신된 RSSI 값의 개수만큼 나눈 평균값을 사용하는 평균값 필터링을 적용하였고 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$RSSI_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n RSSI_i \quad (3)$$

RSSI 값을 이용하여 송신자와 수신자 사이의 거리를 정확하게 추정하려는 연구는 다양하게 시도되고 있고, 현재 제안하는 시스템에서도 좀 더 정확하게 밀접 접촉을 판단하는데 RSSI 값 보정은 의미가 있다. 확진자와 밀접 접촉을 판별하기 위해 일정 시간(예로 잠복기간 1주일) 동안 수집된 접촉 리스트의 정보를 모두 수집하여 RSSI 값으로 근접도를 계산하고, 일정 시간 이상(예로 30분) 지속적인 접촉을 추출하여 중복을 제거하고 최종 밀접 접촉 리스트에 추가하게 된다.

V. 결론

BLE 기술은 10m 이내의 근접 감지를 위한 알고리즘을 만드는 데 필수적인 기반을 제공한다. RSSI 보정 알고리즘을 적용하여 거리 계산이 좀 더 정확해진다면 밀접접촉자를 식별하는 정확도를 향상시킬 수 있다. 제안한 시스템은 확진자의 밀접 접촉을 판단하기 위해 사용자 단말에 애플리케이션을 실행해야 한다는 한계가 있지만, 개인 정보 보호를 위한 최소한의 데이터를 수집하고 중앙서버를 통해 체계적으로 정보가 분석되고 관리된다

면 인류를 위협하는 바이러스 확산 방지에 유용하게 활용될 수 있다.

RTLS로 약칭되는 실시간 위치 시스템은 WiFi, RFID, BLE Beacon 등 디지털 기술을 통해 무선 주파수가 적용되는 정의된 환경 내에 있는 모든 물체 또는 사람을 추적한다. 정확한 위치를 추적하는 기술은 구비된 격자 네트워크를 만들기 위해 협력하는 장비와 프로그래밍의 혼합이라고 할 수 있고, 밀접 접촉을 분리해 내고 확산을 방지하기 위한 관리를 하는 것과는 차이가 있다.

본 논문에서 현재는 BLE 정보만을 이용하는 시스템이나, 향후 Wi-Fi 정보를 활용하여 빅데이터 분석을 통한 방문 장소와 머문 시간까지 분석하여 밀접접촉 알고리즘을 개선하려고 한다.

References

- [1] M. Shahroz, F. Ahmad, M. S. Younis, N. Ahmad, Maged N. K. Boulos, R. Vinuesa, J. Qadir, "COVID-19 Digital Contact Tracing Applications and Techniques: A Review Post Initial Deployments," *arXiv e-prints*, 2021. DOI:10.1016/j.treng.2021.100072.2021.
- [2] P. Kumar, L. Reddy, and S. Varma, "Distance measurement and error estimation scheme for RSSI based localization in Wireless Sensor Networks," *Wireless Communication and Sensor Networks (WCSN), 2009 Fifth IEEE Conference*, pp.1-4, 2009. DOI: 10.1109/WCSN.2009.5434802
- [3] Jagoba Arias, Aitzol Zuloaga, JesusLazaro, Jon Andreu, Armando Astarloa, "Malguki : an RSSI based ad hoc location algorithm," *Microprocessors and Microsystems*, pp.403-409, 2004. DOI: 10.1016/j.micpro.2004.03.001
- [4] Santiago Ezpeleta, Jose M. Claver, Juan Jose Perez Solano, Jose V. Marti, "RF-Based Location Using Interpolation Functions to Reduce Fingerprint Mapping," *Sensors*, Vol.15, No.10, pp.27322-27340, 2015. DOI:10.3390/s151027322
- [5] Kim H., Seo Y., Kim J., Yeom C., Won Y., "Mechanism for Minimizing Positional Errors Using Bluetooth Packet Information," *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, vol.27, no.2, pp.769-772, 2020.

DOI: 10.3745/PKIPS.y2020m11a.769

[6] Su, Z., Pahlavan, K., Agu, E., "Performance Evaluation of COVID-19 Proximity Detection Using Bluetooth LE Signal," *IEEE Access*, vol.9, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3064323

[7] Z. Yan, J. Yang, and E. M. Tapia, "Smartphone Bluetooth based social sensing," *Proceeding of UbiComp*, pp.95-98, 2013.

DOI: 10.1145/2494091.2494118

[8] Gary F. Hatke, Monica Montanari, Swaroop Appadwedula, Michael Wentz, John Meklenburg, Louise Ivers, Jennifer Watson, Paul Fiore, "Using Bluetooth Low Energy (BLE) signal strength estimation to facilitate contact tracing for COVID-19," *arXiv*, 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2006.15711

[9] Lee H., Lee S., "Study on the Security Evaluations and Countermeasure of Exposure Notification Technology for Privacy-Preserving COVID-19 Contact Tracing," *Journal of The Korea Institute of Information Security & Cryptology*, vol.30, no.5, pp.929-943, 2020.

DOI: 10.13089/JKIISC.2020.30.5.929

[10] "android-How to improve Bluetooth distance measuring using RSSI?," *Stack Overflow* <https://stackoverflow.com/questions/27939719/how-to-improve-bluetooth-distance-measuring-using-rssi>

[11] "Exposure Notification Bluetooth Specification, Google," vol.1.2, 2020.

<https://covid19.apple.com/contacttracing>

BIOGRAPHY

Ji-Hyun Yoo (Member)



1995 : BS degree in Computer Science and Engineering, Hanyang University.
 2000 : MS degree in Computer Science and Engineering, Hanyang University.
 2012 : PhD degree in IT Service Management, Soongsil University.
 2014~ : Professor in the Department of Software Convergence, Jangan University