

실내외 통합 환경에서 위치기반 모니터링 시스템

김 정 민*, 권 대 현*, 신 수 용^o

Location-Based Monitoring System in an Indoor and Outdoor Integrated Environment

Jung Min Kim*, Dae Hyeon Kwon*, Soo Young Shin^o

요 약

현대사회에서 위치정보는 일상생활에서 소비자 원하는 제품 유추, 터널 및 건설 현장에서 충돌 방지, 전염병 확산 예방 등 다양하게 활용될 수 있다. 위치 정보를 얻는 방법으로는 GPS(global positioning system)가 널리 이용되지만, 실내와 같은 음영 지역에서 동작하지 않고, 오차가 크다는 문제가 있다. 또한, GPS 정보는 사용자가 의도적으로 조작할 수 있어 신뢰성이 낮다. 따라서 본 논문에서는 GPS와 UWB(ultra-wide band)로 실내외 통합 환경에서 측위 하며 블록체인을 사용하여 위치 기록 조작을 방지하는 모니터링 시스템을 제안하고 구현한다. 성능을 검증하기 위해 실내, 실외 환경에서 거리를 측정하며 GPS 오차를 UWB로 보완하며 서버 컴퓨터에서 위치정보 모니터링 및 블록체인으로 변환하여 저장한다.

키워드 : 초광대역, 위성항법시스템, 모니터링 시스템, 실내외 측위, 블록체인

Key Words : Ultra-wideband, satellite navigation system, monitoring system, indoor and outdoor positioning, blockchain

ABSTRACT

In modern society, location information can be used in a variety of ways, such as inferring products desired by consumers in daily life, preventing collisions in tunnels and construction sites, and preventing the spread of infectious diseases. Although GPS(global positioning system) is widely used as a method of obtaining location information, there is a problem that it does not operate in shaded areas such as indoors and has a large error. In addition, GPS information is unreliable because a user can intentionally manipulate it. Therefore, in this paper, we propose and implement a monitoring system that measures location in an indoor/outdoor integrated environment with GPS and UWB(ultra-wide band) and prevents manipulation of location records using blockchain. To verify the performance, the distance is measured in indoor and outdoor environments, GPS errors are supplemented with UWB, and location information is monitored on the server computer and converted to blockchain and stored.

※ 이 논문은 2022년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2018R1A6A1A03024003)

• First Author : Department of IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, 20216106@kumoh.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Department of IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, wdragon@kumoh.ac.kr, 중신회원

* Department of IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, dh0708@kumoh.ac.kr, 학생회원
논문번호 : 202211-278-D-RU, Received November 17, 2022; Revised January 13, 2023; Accepted January 19, 2023;

I. 서론

현대사회에서 위치정보는 지도, 내비게이션, 대중교통, 위치 추적 등의 앱 서비스뿐만 아니라 인터넷 주문, 배달, 검색엔진 등을 포함하는 일상생활에서도 활용되고 있다. 과학 기술이 발전함에 따라 위치 정보는 단순히 위치 값을 의미하는 것을 넘어, 소비자의 위치를 통해 관련된 정보와 서비스를 제공하는 위치기반 서비스 (Location-based service) 기술과 같은 다양한 활용법이 등장하였다. 이처럼 다양한 환경에서 활용이 가능한 위치 정보는 4차 산업에 필수적이다. 최근에는 IoT, 자율주행, 로봇 등 미래 산업에서의 위치정보의 활용은 전 산업 분야로 적용되고 있다^[1]. 대규모 건설 현장이나 터널, 지하철 공사 등의 작업할 때는 충돌사고 방지를 위해 내부 인원의 위치 파악이 필수적이다. 건물 내 화재 상황과 같은 재난 상황에서 내부에 있는 사람들의 위치를 파악하는 것이 중요하다^[2]. 또한 감염병의 전염 예방효과를 기대할 수 있다. 신종 코로나바이러스감염증(코로나19)의 경우에는 감염자의 이동 경로를 확인하기 위하여 필요성이 커지는데, 현재 격리 방식의 경우 환자 한 명이 건물에 출입된 것이 확인되면 건물 전체를 폐쇄하는 비효율적인 방법을 사용한다^[3,5]. 하지만, 감염자의 건물 내부 이동 동선 기록이 가능하다면 감염자가 이동한 층만 폐쇄해도 확진을 막을 수 있으므로 효율적인 통제와 전염 예방효과가 기대된다^[6].

위치 정보를 얻기 위해 위성항법 시스템 (global positioning system, GPS)이 흔하게 사용된다. GPS는 위도, 경도, 고도의 3차원 위치 정보를 수집할 수 있지만 크게 2가지 문제가 있다.

첫 번째는 음영지역의 문제이다. 실내 및 터널, 주차장, 울창한 숲과 산악 지역과 같은 위성까지의 시야 (Line-of-sight)가 확보되지 않는 환경에서 오작동 확률이 높다. GPS의 음영지역을 보완하기 위해 초광대역 (ultra-wide band, UWB)을 이용할 수 있다. UWB는 근거리 무선통신으로 주파수를 가장 효율적으로 사용할 수 있는 기술이다^[7]. 무선 반송파를 사용하지 않고 기저대역에서 넓은 주파수를 사용하는 방식의 무선 기술이다. 기존 이동통신, 방송, 위성 등의 통신 시스템과의 간섭 영향 없이 사용할 수 있다.

두 번째는 데이터 신뢰성의 문제이다. 측량에 사용되는 대부분의 네트워크 기술은 중앙 집중식 시스템이며 CORS(Continuous Operating Reference Station)의 중앙 서버 데이터도 중앙 집중식 시스템이다^[8]. 이 과정에서 사용자는 모든 데이터를 위조하여 보낼 수 있

다^[9]. 중국에서는 불법 무기, 마약을 실은 대형 선박은 제재를 피하기 위해 GPS를 조작하는 사례^[10], 범법자가 경찰의 수사를 교란하기 위해 조작한 사례^[11]가 있다. 이처럼 위치정보는 사용자가 의도적으로 조작할 수 있다. 따라서 데이터의 신뢰성과 무결성에 한계가 있다. 위치 데이터의 보안성과 무결성을 보완하기 위해 블록체인을 적용한다.

본 논문에서는 실내의 통합 환경에서 위치 측위를 하기 위해 UWB와 GPS를 사용하며 블록체인 기반 위치 기록을 강화한 모니터링 시스템 구현한다.

본 논문의 구성은 2장에서 제안하는 시스템 모델과 실시간 위치 모니터링 시스템을 설명하고, 3장에서는 제안하는 시스템의 실내의 실험 환경에서 성능을 검토하고 실험 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서 결론을 서술한다.

II. 본론

본론의 내용은 실내의 통합 환경에서 위치 기록 강화 시스템을 설명한다. GPS와 UWB를 통해 계산되는 위치 정보를 저장한다. 단일 센서를 쓰지 않고 이중 센서를 통해 거리 감지 성능을 향상시킨다. 또한 블록체인을 사용하여 위치 기록의 변조 불가능성과 데이터 무결성을 보장한다.

2.1 시스템 모델

그림 1은 전체적인 시스템 구성을 보여주는데, User1, 2가 위치 측위 모듈을 소지한다. 그림 2는 위치 측위 모듈 구성도이며 GPS, LTE(long term evolution), UWB를 임베디드 보드에 연결하여 구성한다. 위치 측정 모듈은 사용자의 위치 정보를 LTE 통신을 이용하여 서버로 전송한다. 이때, 가상사설망 (virtual private network, VPN)을 사용하여 외부인이 정보에 접근할 수 없도록 한다. 서버에서 받은 사용자

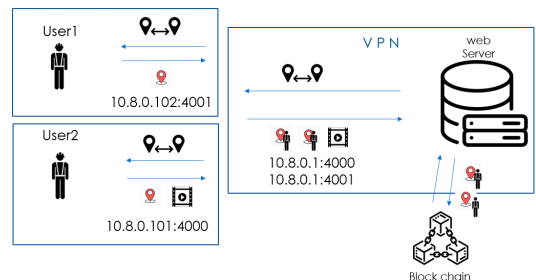


그림 1. 전체적인 시스템 구성
Fig. 1. System model

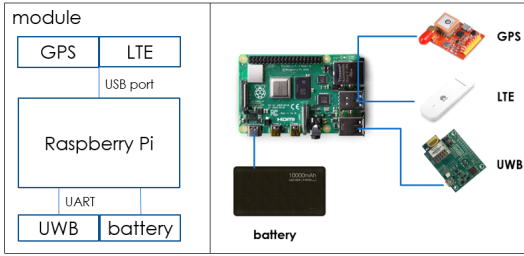


그림 2. 위치 측위 모듈 구성도
Fig. 2. Positioning module configuration diagram

들의 위치 정보는 블록체인에 의하여 암호화 후 저장된다.

UWB의 송수신 시간과 GPS의 위치 정보를 통해 정확한 위치를 생성한다. GPS의 좌표 정보를 얻으면 실외 환경으로 판단하고 UWB는 사용자 사이의 거리를 구한다. GPS의 좌표 정보를 얻지 못하면 실내 환경으로 판단하여 UWB로 측위 한다. 그림 3은 위치 모니터링 시스템 알고리즘을 나타낸다. DD가 0인 경우, 모니터링한 위치 정보를 서버로 송신한다. UWB의 거리 측정과 GPS의 위치의 정보를 동시에 사용하여 전파 방해로 인한 UWB의 위치 오류를 GPS로 보정한다. DD가 1인 경우, 앵커와 태그의 거리가 위험 수준에 있다고 판단하고 앵커의 카메라로 영상을 녹화하는 명령을 보낸다.

2.2 VPN 서버 구성

그림 4처럼 오픈소스소프트웨어 중 하나인 OpenVPN^[12]을 사용하여 앵커와 태그에 VPN client를 설치한다. 원격 액세스가 필요한 소프트웨어는 서버에 VPN server를 설치하여 IP 주소 변경과 서버로 들어오는 불필요한 트래픽을 제거한다. VPN client는 VPN server에 액세스해야 하는 인증서와 키를 설치하고 터

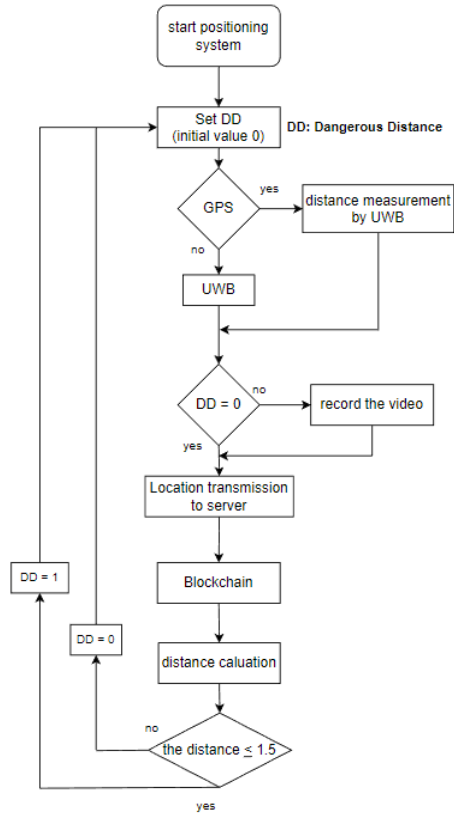


그림 3. 위치 모니터링 시스템 알고리즘
Fig. 3. Location monitoring system algorithm

널에서 키 파일을 SHA256으로 암호화하여 데이터를 보호한다. 추가적인 기능으로 설정한 IP 주소 또는 설정 프로토콜 이외의 트래픽을 차단한다. 실시간으로 정보를 송수신하기 위해 소켓 통신 방법을 사용한다.

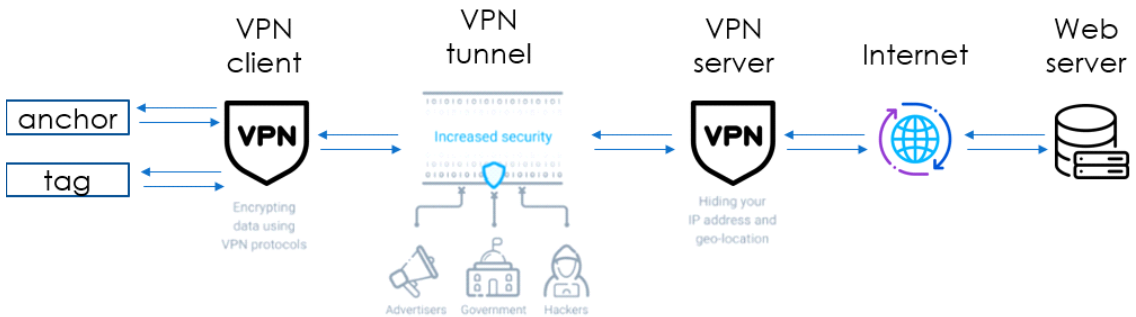


그림 4. 앵커, 태그와 서버의 데이터 송수신 과정
Fig. 4. Data transmission/reception process between anchor, tag and server

2.3 블록체인

VPN은 외부에 정보를 접근하지 못하도록 막아주지만 정보의 위변조에 대해서는 보안을 유지할 수 없다. 이러한 부분을 블록체인의 보안성으로 데이터 위변조를 막고 데이터의 일관성을 보장해 주는 무결성과 발생한 데이터 기록의 타당성을 검증한다¹³⁾.

본 논문에서는 멀티 체인을 사용하였다. 멀티 체인은 생성하는 블록체인 수에 제한받지 않으며, 단일 서버에서 여러 네트워크가 동시에 작동하여 다양한 체인을 유지하는 데 도움을 준다. 추가 작업 없이 데이터를 직접 저장할 수 있으며 자산 소유권 수명 주기도 매우 쉽게 처리할 수 있기에 관리가 용이하다. 멀티 체인을 사용하여 서버로 전송한 데이터는 암호화 저장한다.

III. 실험

3.1 실험 방법

그림 5는 제안하는 시스템을 실험하기 위한 시나리오로 사용자 1, 사용자 2는 모듈을 소지한다. 실내외로 구분하여 거리 측정 성능을 실험하고 거리는 10, 5, 3, 1.5, 1, 0.3m 구간에서 측정한다. DD로 설정한 거리 1.5m를 기준으로 5초간 영상을 촬영하여 서버 컴퓨터에 전송 및 알림 메시지를 출력하여 충돌 사고를 대비한다. 표 1은 제안하는 시스템을 위한 장비의 상세 스펙을 정리한다.

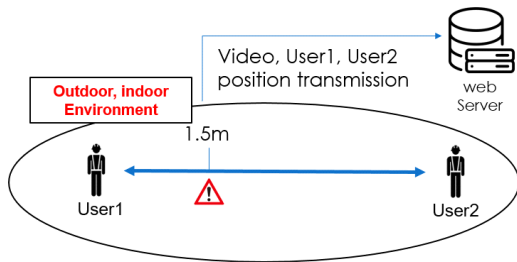


그림 5. 실험 시나리오
Fig. 5. Experimental Scenario

표 1. 실험 장비
Table 1. Laboratory equipment

| System | LTE 모듈 | GPS | UWB | SBC | Server Laptop |
|------------|-----------|---------|-------------|---------|---------------|
| Model Name | 화웨이 E3372 | EZ-0048 | DWM1001-dev | 라즈베리파이4 | i5-6300 HQ |

3.1.1 실외 환경 및 실험 결과

실외 환경은 그림 6과 같이 운동장과 대학 캠퍼스를 선정하고 운동장에서는 GPS만을 사용하여 위치를 측정하고 대학 캠퍼스에서는 제안하는 시스템을 사용하여 위치를 측정하였다.

표 2와 3은 실외 환경에서의 줄자를 사용하여 측정 한 실측 거리를 기록하고 오차 범위는 실측 거리와 비교하여 계산하였다. GPS의 오차 범위는 1~2m이며 가장 가까운 실측 거리인 0.3m에서 더 큰 오차를 보여 준다. 반면에 제안하는 시스템의 경우, 오차 범위가 0.3m 이내이며 1m 이하 구간에서 오차 범위가 작음을 보여준다.

그림 7은 서버 컴퓨터에서 위치 측정을 위한 모니터링을 캡처한 것이다. 좌측 하단 빨간색 박스는 해당 데이터를 블록체인으로 변환한 값이며 위치 좌표 및



그림 6. 실외 실험 환경
Fig. 6. Outdoor laboratory environment

표 2. 실외 GPS 거리 측정 결과
Table 2. Outdoor GPS distance measurement results

| 실측거리[m] | GPS 측정 거리[m] | 오차범위[m] |
|---------|--------------|-------------|
| 10 | 6.7 ~ 8.5 | -3.3 ~ -1.5 |
| 5 | 4.2 ~ 5.3 | -0.8 ~ 0.3 |
| 3 | 3.7 ~ 4.3 | 0.7 ~ 1.3 |
| 1.5 | 1.2 ~ 2.1 | -0.3 ~ 0.6 |
| 1 | 1.2 ~ 3.8 | 0.2 ~ 2.8 |
| 0.3 | 1 ~ 4.5 | 0.7 ~ 4.2 |

표 3. 실외 UWB 거리 측정 결과
Table 3. Outdoor UWB distance measurement results

| 실측거리[m] | UWB 측정 거리[m] | 오차범위[m] |
|---------|--------------|------------|
| 10 | 9.7 ~ 10.2 | -0.3 ~ 0.2 |
| 5 | 4.7 ~ 5.1 | -0.3 ~ 0.1 |
| 3 | 2.8 ~ 3.0 | -0.2 ~ 0 |
| 1.5 | 1.3 ~ 1.5 | -0.2 ~ 0 |
| 1 | 0.9 ~ 1.0 | -0.1 ~ 0 |
| 0.3 | 0.2 ~ 0.3 | -0.1 ~ 0 |

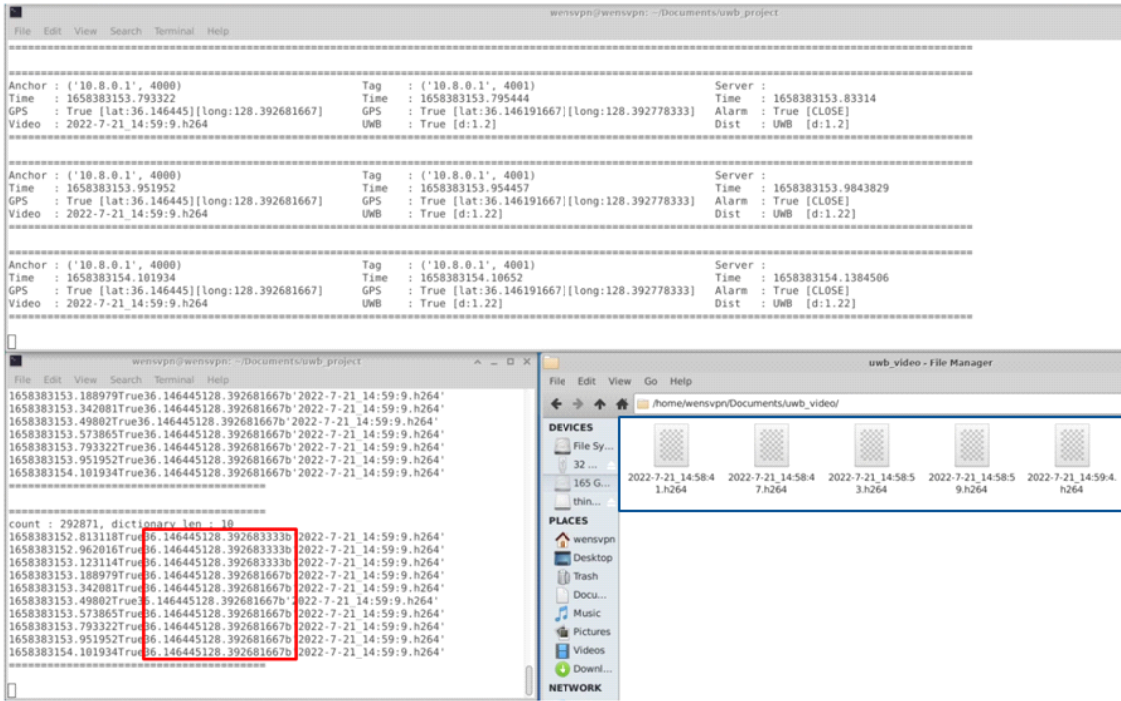


그림 7. computer서버 컴퓨터 모니터링 화면
Fig. 7. Server computer monitoring screen

거리를 암호화 한 부분이다. 사용자의 timestamp와 GPS 위치, UWB 위치를 확인할 수 있다. 우측 하단의 파란 박스는 DD를 기준으로 저장된 영상 파일들이다.

3.1.2 실내 환경 및 실험 결과

실내 환경은 그림 8, 그림 9와 같이 대학교 건물 내부 복도로 선정하고 UWB만을 사용하여 위치를 측정하였다. 앵커는 벽면 및 기둥에 부착하였으며 앵커 밑의 괄호(x, y, h)는 앵커 1을 기준으로 한 거리이다. x는 가로축, y는 세로축이다. h는 지면으로부터의 높이이다. 그림 9의 우측 이미지는 모니터링 된 화면이다.

표 4는 측정된 거리는 사용자들(태그) 간 거리이며

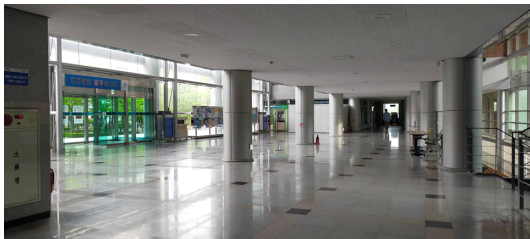


그림 8. 실내 실험 환경
Fig. 8. Indoor laboratory environment

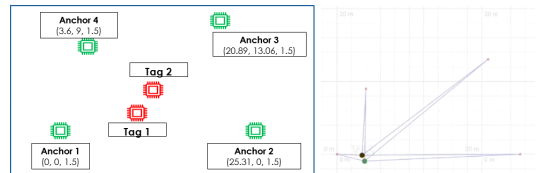


그림 9. 실내 실험 환경에서 앵커 설치 위치
Fig. 9. Anchor installation location in indoor laboratory environment

표 4. 실내 UWB 거리 측정 결과
Table 4. Indoor UWB distance measurement results

| 실측거리[m] | UWB측정 거리[m] | 오차범위[m] |
|---------|-------------|------------|
| 10 | 9.9 ~ 10.1 | -0.1 ~ 0.1 |
| 5 | 5.1 ~ 5.3 | 0.1 ~ 0.3 |
| 3 | 3.0 ~ 3.2 | 0 ~ 0.2 |
| 1.5 | 1.4 ~ 1.5 | -0.1 ~ 0 |
| 1 | 0.9 ~ 1.1 | -0.1 ~ 0.1 |
| 0.3 | 0.2 ~ 0.3 | -0.1 ~ 0 |

실내 환경에서의 줄자를 사용하여 측정된 실측 거리를 기록하고 오차 범위는 실측 거리와 비교하여 계산하였다. UWB의 오차 범위는 0.3m 이내로 실외에서

측정한 결과보다 0.3m 낮다. 또한, 실외 측정과는 다르게 10m 구간에서 높은 정확도를 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 실내외 환경 모두에서 적용 가능한 위치 모니터링 시스템을 제안하고 구현하였다. 실내 환경에서 UWB를 활용하여 GPS의 한계를 극복하였으며, VPN 을 통해 위치 정보를 보완한다. 추가로 블루투스 체인을 사용하여 위치 기록의 변조 불가 성과 데이터 무결성을 보장하였다. 본 시스템은 코로나와 같은 전염병의 2차 전파 예방을 위해 감염자의 동선을 파악하여 효과적으로 방역 정책을 수행할 수 있다. 본 시스템은 건설 현장 등 각종 환경에서 범용 적으로 사용이 가능할 것으로 예상된다. 추후에는 상황의 특성을 반영하여 활용성을 강화해야 한다. UWB와 GPS의 정보의 가중치를 주는 방법을 통해 성능을 보완하는 연구를 진행할 예정이다.

References

[1] I. Hwang, "Protection of location information and activation plan for utilization," *Planning and Policy*, no. 451, pp. 13-18, May 2019. (<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08555744>)

[2] J. Park, *Time taken to search people*, Retrieved Nov. 19, 2021, from <https://m.fpn119.co.kr/167753>.

[3] H. Ahn, *Seoul 'LS Yongsan Tower' Corona 19 confirmed... building front closed*, Retrieved Feb. 25, 2020, from <http://www.safetimes.co.kr/news/articleView.html?idxno=79963>.

[4] H. Lee, *SK Telecom, Euljiro T-Tower employee Corona 19 1st positive reaction... 3 days building closed*, Retrieved Feb. 26, 2020, from <https://www.seoulfn.com/news/articleView.html?idxno=373207>.

[5] H. Lee and M. Kim, *Seoul City Hall closed... Staff on the 2nd floor of the main building confirmed COVID-19*, Retrieved Aug. 20, 2020, from https://m.health.chosun.com/svc/news_view.html?contid=2020082001520.

[6] G. Ahn, *Using 'real-time location tracking'... 'Effective in managing infectious diseases*

such as COVID-19", Retrieved Oct. 20, 2022, from <https://www.sedaily.com/NewsView/26CFA6Z5M4>.

[7] B.-J. Jang, "Principles and trends of UWB positioning technology," *J. Korean Inst. Electromagn. Eng. Sci.*, vol. 33, no. 1, pp. 1-11, Jan. 2022. (<https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2022.33.1.1>)

[8] R. A. Snay and T. Soler, "Continuously operating reference station (CORS): History, applications, and future enhancements," *J. Surv. Eng.*, vol. 134, no. 4, pp. 95-104, Nov. 2008. ([https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2008\)134:4\(95\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2008)134:4(95)))

[9] M. U. Iqbal and S. Lim, "Legal and ethical implications of GPS vulnerabilities," *J. Int. Commercial Law & Tech.*, vol. 3, no. 3, pp. 558-581, Jan. 2008. (<https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/jcolate3&div=21&id=&page=>)

[10] N. Kim, *Sanctions even if illegal weapons and drugs are loaded... Large ships with GPS*, Retrieved Sep. 6, 2022, from https://www.chosun.com/international/international_general/2022/09/06/FDR67KIEBGVRI5H5FTEPVP5GI/.

[11] S. Kim, *As a means of escape from catching Pokemon 'it'... What is the 'GPS operation app' used by Jeon Joo-hwan?*, Retrieved Sep. 21, 2022, from <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2022092009003542875>.

[12] M. Feilner, *Open VPN: Building and integrating virtual private networks*, Packt Publishing Ltd., 2006.

[13] A. Islam, A. Al Amin, and S. Y. Shin, "FBI: A federated learning-based blockchain-embedded data accumulation scheme using drones for internet of things," in *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 11, no. 5, pp. 972-976, May 2022. (<https://doi.org/10.1109/LWC.2022.3151873>)

김 정 민 (Jung Min Kim)



2021년 2월 : 금오공과대학교 전자 공학부 졸업
2021년 3월~현재 : 금오공과대학교 IT융복합공학과 석사과정
<관심분야> 전자공학, Localization
[ORCID:0009-0009-9767-0513]

신 수 용 (Soo Young Shin)



1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
2001년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
2006년 2월 : 서울대학교 전기공학부 박사
2010년~현재 : 국립금오공과대학교 전자공학부 교수
<관심분야> 차세대 무선통신 기술, 드론 응용, 블록체인, 머신러닝, 딥러닝, 혼합현실
[ORCID:0000-0002-2526-2395]

권 대 현 (Dae Hyeon Kwon)



2022년 2월 : 금오공과대학교 전자IT융합과 졸업
2022년 3월~현재 : 금오공과대학교 IT융복합공학과 석사과정
<관심분야> 드론 응용, 로봇 프로그래밍
[ORCID:0009-0005-8234-5049]