

재난 감시 디지털 트윈을 위한 UWB 실내 측위 및 실시간 원격제어 시스템 구현

유다송[†], 김원석^{**}

Implementation of UWB Indoor Positioning and Real-time Remote Control System for Disaster Monitoring based on Digital Twin

Da-Song Yu[†], Won-Suk Kim^{**}

ABSTRACT

Digital Twin, one of the core technologies of the Fourth Industrial Revolution, is attracting attention as a very suitable technology for disaster monitoring such as fires and earthquakes. In this paper, we implement a system equipped with UWB RTLS(Ultra-Wideband Real Time Location System), real-time remote control, and video streaming, which are element technologies for disaster monitoring digital twin. Since the proposed system structure is based on a cloud server, the actual location of the UWB indoor positioning-based client is transmitted to the user device in real time and stored on the cloud server for statistical and data analysis. In addition, we demonstrate through experiments that outliers occurs when the value of RSSI(Received Signal Strength Indicator) decreases due to communication collisions between UWB Tags, and propose an RSSI outlier correction algorithm to solve this problem.

Key words: Ultra Wideband, Real Time Location System, Digital Twin, Streaming

1. 서 론

디지털 트윈은 현실과 가상세계를 융합하는 핵심 매개 역할로, 한국판 뉴딜 실현을 위해 중요하게 여겨지는 기술이다. 또한, 가트너(gartner)가 2017년 기업들이 주목해야 할 10대 전략 기술 중 하나로 디지털 트윈을 선정함에 따라 다양한 분야에서 연구가 이루어지고 있다. 이와 관련된 연구들은 대부분 개념 정의 및 아이디어 제시 수준에 그쳤으며, 전문가 의존도가 매우 높아 구축에 큰 비용과 시간이 소요된다 [1,2].

디지털 트윈 기술은 화재, 지진과 같은 재난 감시 분야에 매우 적합한 기술로 각광받고 있다. 디지털 트윈은 작업자가 직접 들어가기 위험한 장소에 원격 로봇을 투입하거나, 24시간 모니터링을 통한 화재, 산불 등에 선제적으로 대응할 수 있는 시스템의 핵심 기술로 활용될 수 있다. 즉, 감시 대상 장소를 3D 모델링을 통해 가상 공간으로 옮겨놓은 후, 감시 카메라가 실제 설치된 공간과 동일한 위치에 카메라 모델을 배치한 후 좀 더 직관적인 모니터링이 가능하게 한다. 감시 카메라가 RC(remote control) 차량과 같은 이동형 모니터링 클라이언트에 탑재된 경우, 원하

※ Corresponding Author : Won-Suk Kim, Address: (36729) Gyeongdong-ro 1375, Andong-si, Gyeongsangbuk-do, Korea, TEL : +82-54-820-7968, FAX : +82-54-820-6257, E-mail : wonsukkim@anu.ac.kr

Receipt date : Nov. 2, 2021, Revision date : Dec. 16, 2021
Approval date : Dec. 20, 2021

[†] Dept. of Multimedia Engineering, Andong National University (E-mail : gjffod0826@naver.com)

^{**} Dept. of Multimedia Engineering, Andong National University

※ This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (Development of Open Source based Digital Twin System).

는 곳을 감시하기 위해 가상공간에서 차량을 움직여 실제 차량의 위치를 조작하는 등 더욱 효율적인 모니터링이 가능하게 한다. 이를 위해서는 실내의 측위 기술과 저 지연 원격제어 및 영상 스트리밍 기술이 요구된다.

최근 IT 기기의 보급이 증가하였으며, 특히 스마트폰과 같은 스마트 기기들을 활용한 위치 기반 서비스(location based service, LBS)가 사용자에게 제공되고 있다. 위치 기반 서비스를 구현하는 방법으로는 GPS(global positioning system)와 이동 통신망 등이 있으며, 이를 기반으로 위치 정보나 위치 기반 금융 혜택 등 우리 생활에 편의성을 제공하고 있다[3].

대표적인 측위 기술인 GPS는 오차가 5~50 m이고 위성에서 보내는 신호가 실내에는 도달하지 않기에 실내에서는 사용이 불가능하다. 또한, 이동통신 기지국 기반 측위 기술은 실내 환경에서 최대 200 m에 달하는 오차가 발생하며, 이로 인해 실내 측위 기술로 활용되기에는 한계가 있다[3]. 이러한 문제로 실내 환경에서의 위치 기반 서비스를 제공할 수 있는 측위 기술에 대한 연구들이 진행되고 있다[4,5]. 이러한 연구는 근거리 무선 통신 기술이 발전함에 따라, Wi-Fi, UWB(ultra-wideband), Bluetooth 등의 기술을 실내 환경에서의 위치 기반 서비스에 적용하기 위한 연구 등으로 응용되었다[6,7,8].

본 논문에서는 다양한 무선 통신 기술 중에서 UWB를 활용한 실내 측위 시스템을 구현한다. UWB는 다른 실내 측위 기술과 비교하여 500 MHz 이상의 넓은 대역폭을 사용하기 때문에, Wi-Fi 등의 다른 신호에 간섭을 받지 않는다는 특징이 있다. 또한, UWB를 활용한 실내 측위 기술은 오차율 20 cm 내외의 위치 추적 정확도를 제공하며, 장애물에 대한 높은 투과율을 가지고 있다. 이러한 장점으로 실내 측위 시스템에서 UWB를 활용하는 연구가 폭넓게 이루어지고 있다[3,9,10].

본 연구에서는 디지털 트윈을 쉽고 빠르게 구현할 수 있는 UWB RTLS(real time location system)와 실시간 원격제어 시스템을 구현한다. 저 지연 원격제어와 영상 스트리밍 기술을 탑재하여, 실제 공간과 가상공간 간의 양방향 제어가 가능하고, 다양한 정보를 주고받는 형태로 설계하였다. 또한, 다수의 UWB Tag 사용 시 통신 충돌로 인한 이상치(Outlier)가 발

생하는 현상을 해결하기 위해 수신 신호강도(received signal strength indicator, RSSI)의 측정값을 비교하는 Outlier 보정 알고리즘을 제안한다.

2. 관련 연구

2.1 실내 측위 시스템

실내 측위 시스템(indoor psitioning system) 기술과 관련하여 다양한 연구들이 진행되었으며, 핑거프린트에 기반한 위치추적 연구, vSLAM과 UWB를 활용한 거리 측정 연구 등이 존재한다. 먼저, 핑거프린트에 기반한 위치추적 시스템[11]은 기존의 핑거프린트를 이용한 Wi-Fi 위치 측정방식에 RFID를 결합한 위치 측정 시스템을 제안했다. 해당 논문에서는 UHF RFID 리더기와 무선 랜카드를 이루어진 위치 단말기를 이용해 주변 RFID 신호와 무선 AP의 신호를 읽어와 신호지도를 제작하여 물품의 위치를 파악한다. 제안된 위치 측정 시스템은 평균 90.03%의 높은 위치 정확도 성능을 보여주었다. 하지만 RFID 특성상 구역 내에 위치 추적 대상이 있는 것을 판별할 수 있으나, 구역 내 대상의 정확한 위치를 파악하는데 상당한 시간이 소요된다는 한계가 있다.

vSLAM과 UWB를 활용한 거리 측위 시스템[12]도 존재한다. vSLAM이란 카메라를 이용해 이미지에서 특징점을 추출하고 이를 기반으로 한 연속적인 위치 변화를 통하여 대상의 위치를 추적하는 기술이다. 해당 논문에서 제안하는 시스템은 vSLAM의 카메라 흔들림, 저조도 등의 이유로 추적 손실(Tracking Loss)이 발생하였을 때, UWB 태그 상대 측위 시스템을 이용하여 복구한다. 사용하는 태그의 개수를 1개, 2개, 4개 이상의 경우로 나누어 복구 방법을 정의했다. 제안된 방법을 통해 Tracking Loss 상황에서 단말의 상대적 위치를 복구할 수 있으며 정확도 또한 높일 수 있다는 장점이 있으나, 이는 단말 기준의 상대적인 위치를 정의하기 때문에 절대적인 위치를 파악하기에는 어려움이 있다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 UWB 기술을 바탕으로 한 실내 측위 기법을 사용한다. UWB의 고속 데이터 전송 기술을 사용해 위치 파악에 소요되는 시간이 짧고, 좌표 상에서 정확한 대상의 위치를 추출하여 사용자에게 제공한다.

2.2 스트리밍 원격제어 차량

RC 차량의 원격제어와 스트리밍 기술을 결합한 연구는 다음과 같다. 먼저, 조감적 영상처리를 이용한 RC 차량[13]은 재난 현장 정보를 실시간 스트리밍으로 확인하며 RC 차량을 제어하고 음성통신을 구현해 의사소통이 가능하도록 설계했다. 해당 논문에서 제안한 시스템은 조감적 영상처리를 이용해 현재 차량의 위치를 예측할 수 있도록 구현하였으나, 음성 통신과 영상처리, 원격 제어를 구현하는데 부하가 커, 이로 인한 지연으로 위치 추정에 오차가 발생했다.

다음으로 라즈베리파이 기반 다기능 RC카 컨트롤러[14]는 Wi-Fi 환경에서 애플리케이션을 통한 RC 차량의 컨트롤을 주 목적으로 하며, 웹 캠의 스트리밍 기능을 추가하였다. 애플리케이션에서 RC 차량의 고유 IP를 입력하여, RC 차량의 화면을 실시간으로 시청하고, 애플리케이션 내의 Up, Left, Right, Down 버튼을 눌러 RC 차량을 주행한다. 제안된 다기능 RC 차량은 실시간 영상 정보를 눈으로 확인하며 차량 조종이 가능하다는 장점이 있으나, RC 차량을 4개의 버튼만으로 제어하기 때문에 좌우로 후진하거나 속도를 제어하는 등 정밀한 제어에 어려움이 있다.

본 논문에서는 RC 차량에 저 지연 원격제어와 영상 스트리밍 기술을 탑재한 양방향 클라이언트를 활용한다. UWB로 위치를 손쉽게 측정할 수 있기 때문에, 그에 대한 부하가 낮아 실시간 위치 추적이 가능하다. 또한, 애플리케이션에 탑재된 조이스틱을 사용해 전진, 후진, 좌회전, 우회전 등 자유롭게 조작되며 조이스틱의 위치에 따라 세밀한 속도 제어가 가능하다.

3. 본 론

3.1 UWB RTLS

본 논문에서 제안된 디지털 트윈을 위한 실내 측위 시스템의 구성은 다음과 같다.

Fig. 1과 같이 UWB Anchor 3개, Tag 1개와 측위 정보를 받아 거리를 계산하는 실내 측위 게이트웨이(gateway, GW), 클라우드 서버 그리고 측위 정보를 3D 가상공간에 매핑하는 모니터링 애플리케이션이 있다. Tag는 Fig. 2와 같이 RC 차량에 부착하였는데, 이는 가상공간의 조작을 실제 세계에 반영하여 양방

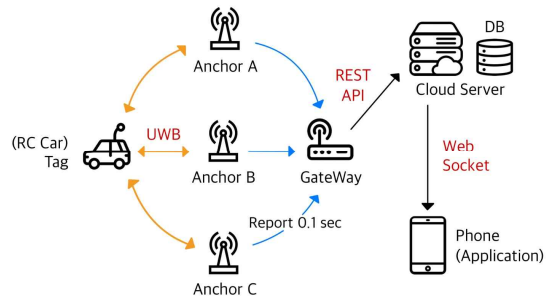


Fig. 1. System overview for UWB RTLS.



Fig. 2. Image of RC car with tag attached.

향 클라이언트를 구현하기 위해 사용하였다.

우선 3개 이상의 UWB Anchor는 0.1초 주기로 거리 값을 측정하여 GW에 전송한다. 실제 측위 GW는 수집한 거리 값을 종합하여 Tag의 위치를 2D 좌표로 변환하여 REST API를 통해 클라우드 서버로 전송한다. 그리고 클라우드 서버는 데이터베이스(database, DB)에 RC 차량의 위치를 시간별로 기록함과 동시에 WebSocket을 활용해 현재 접속되어 있는 모든 사용자 디바이스에 대상 위치를 전송한다.

본 논문에서는 디지털 트윈을 위한 실내 측위 시스템을 위하여 UWB 기반 모듈로 Decawave DWM 1000을 사용하였다. 실험을 위해 Fig. 3과 같이 가로 7 m, 세로 3.5 m 내 바닥에 UWB Anchor를 세 대 설치하였고 중앙에는 장애물로 사용할 의자를 배치하였다. UWB Tag는 RC 차량에 부착하였으며, 따라서 RC 차량의 실제 위치는 7×3.5 공간 상 2D 좌표 값으로 표현된다.

Tag와 Anchor 간의 거리를 측정하는, 즉 UWB 동작 방식으로는 TWR(two-way ranging) 방식을 채택하였다. 이는 ToF(time of flight) 개념을 적용하여, 무선 신호가 송신기에서 수신기로 전파되는데 걸

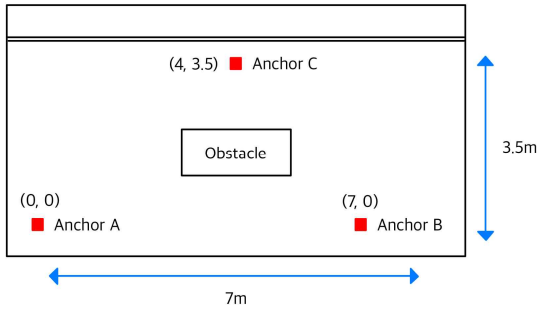


Fig. 3. Indoor environment for experiments.

리는 시간을 기반으로 작동한다. TWR은 다른 추정 방식과 대조적으로 송수신기 사이의 어떠한 시간 동기화도 요구하지 않으며, 구현이 용이하다는 장점이 있다[10].

Tag와 Anchor는 Fig. 4와 같이 Poll, Response, Final 3번의 메시지 교환으로 거리를 측정한다. Tag와 Anchor가 메시지를 송수신하며 걸린 시간을 타임스탬프로 기록하여, 최종적으로 Anchor에서 타임스탬프를 기반으로 거리를 계산한다.

Tag가 1개 일 때는 측정되는 위치 및 수신 신호강도(RSSI)의 변화량이 적어 안정적이나, Tag를 2대로 늘리면 RSSI Jitter 값이 크게 증가하는 현상이 발생하였고 이로 인해 측정 위치에 다수의 Outliers가 발생하는 결과가 나타났다. 제안 연구에서는 이 현상을 해결하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 제시한다.

Fig. 5는 UWB RTLS 시스템을 위한 RSSI Outlier 보정 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다. Anchor는 TWR 방식을 이용하여, Tag와 메시지를 송수신하며 거리와 RSSI를 측정한다. RSSI는 무선 수신기에서 수신된 신호의 세기로, 수치가 0에 가까울수록 신호의 세기가 강하다. 통신 충돌로 인해 RSSI의 수치가 급강하할 때, 타임스탬프 값이 부정확하여

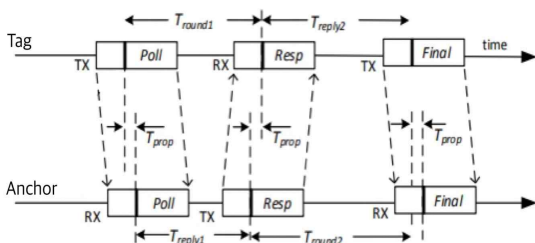


Fig. 4. Two-way ranging formula [15].

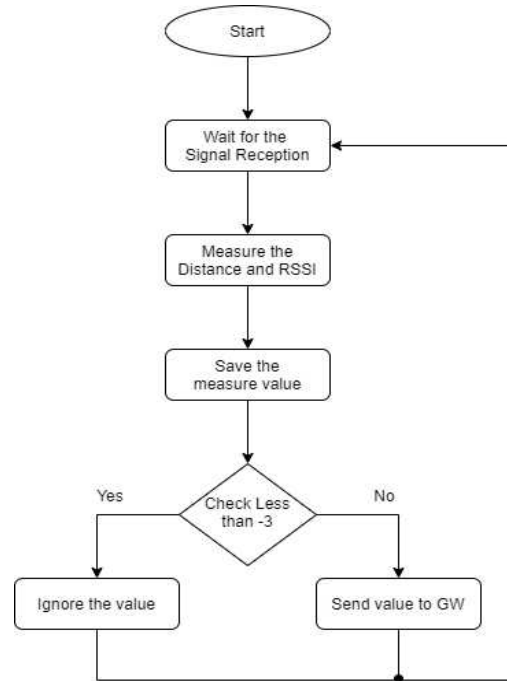


Fig. 5. Flowchart for RSSI outlier correction algorithm.

측정된 거리에 상당한 이상치(Outlier)가 발생함을 실험적으로 증명하였으며, 이는 Fig. 6에 나타나 있다. 제안 알고리즘은 이러한 현상을 완화하기 위해 매 주기 측정된 RSSI 값을 저장하여 이전 주기의 RSSI 값과 비교한 결과에 따라 해당 주기 데이터를 무시하는 방법을 제시한다.

실험 결과에 따르면, RSSI의 값이 직전 주기에 측정된 값보다 3 dB 이상 감소하면 Outlier 발생 가능성이 급격하게 증가하게 된다. 따라서 제안 알고리즘은 RSSI 감소 허용치 값을 3으로 설정하였다. 해당 값이 3 이상이 되면, 즉, 직전 주기에 측정된 값보다 3 이상 감소하면 이는 충돌이 발생하였다고 잠재적으로 판단, 무시하게 된다. 거리 측정에 성공한 경우 Anchor에서 실내 측위 게이트웨이(GW)로 거리 값을 전송한 뒤, GW에서 삼변측량을 이용하여 2D 좌표로 변환한다. 삼변측량 기법은 Fig. 7에 나타나 있으며, 세 Anchor에게 받은 Tag와의 거리 값을 모아 각 Anchor를 중심으로 원을 그려, 교점을 계산하는 방식이다. 즉, P1, P2, P3으로부터의 상대적인 Tag의 위치를 추출한다[16]. 이렇게 계산된 원의 교점은 (x, y)의 좌표 형식으로 출력된다. 마지막으로 GW에서 REST API를 통해 클라우드 서버로 좌표를 전송하

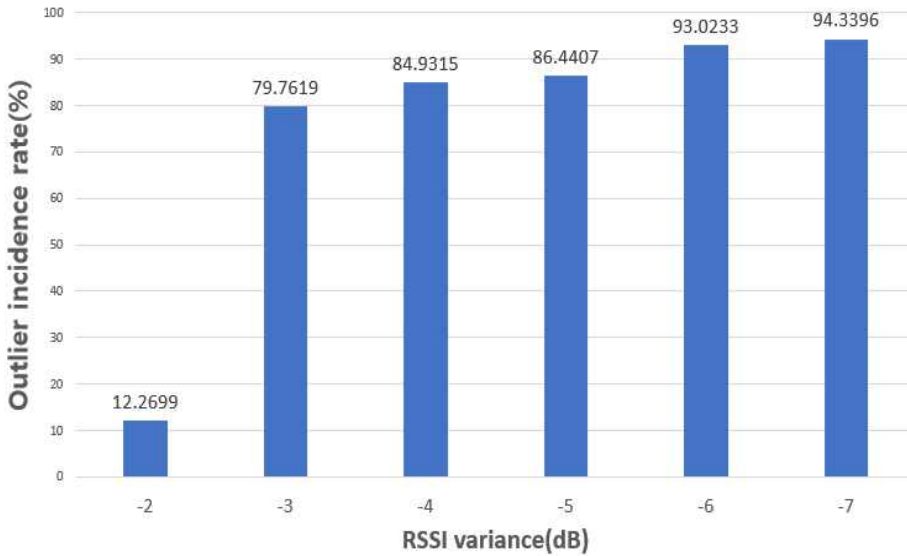


Fig. 6. Outlier incidence rate according to RSSI variance.

여 실시간 포지셔닝 및 기록이 가능하게 한다. 모든 측위 데이터는 클라우드를 기반으로 실시간 중계되며 이와 동시에 추후 통계 및 데이터 분석을 위하여 DB에 기록된다. 이를 통해 사용자는 실시간 모니터링과 애플리케이션 목적별 통계를 동시에 활용할 수 있다.

Fig. 8은 현재 접속한 사용자 디바이스에서 볼 수 있는 화면이다. 어플의 상단에는 RC 차량의 ID, 현재 위치 좌표가 표시된다. 좌표 값은 0.1초마다 갱신되

고, 가상공간 화면의 파란색 큐브는 실제 RC 차량과 매핑되어, 대상을 따라 움직인다.

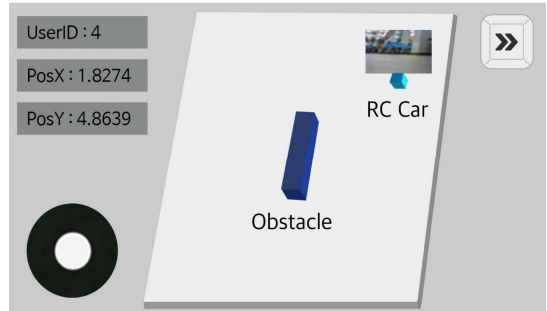


Fig. 8. Image of RC car mapped in virtual space.

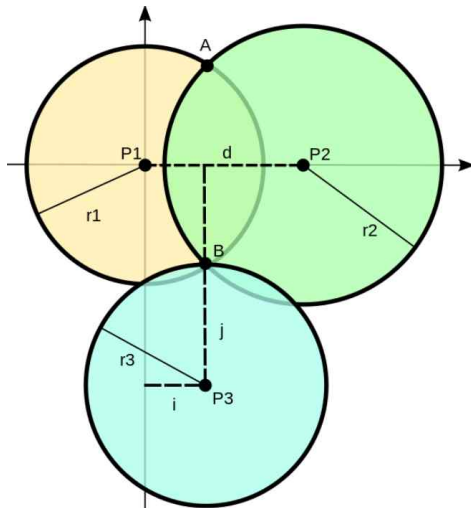


Fig. 7. Location tracking model through Trilateration [16].

3.2 스트리밍 원격제어 차량

본 논문에서는 디지털 트윈 시스템을 위해 저 지연 원격제어와 영상 스트리밍 기술을 탑재한 양방향 클라이언트를 활용한다. 카메라 스트리밍을 위하여 Arducam ESP8266 UNO V2 보드를 사용하였다. 해당 보드는 ESP8266 와이파이 모듈이 내장되어 있어 와이파이 통신이 가능하고, 원하는 카메라 모듈을 장착할 수 있는 소켓을 제공한다.

RC 차량의 모터를 정교하게 동작시키기 위해서는 총 4개의 아날로그 핀을 사용해야 한다. 그러나 해당 보드는 아날로그 핀 1개와 디지털 핀 11개만을 보유

하고 있어, RC 차량의 속도를 제어하는 데 어려움이 있다. 즉, 아날로그 신호와는 달리 디지털 신호는 두 가지 값만 전달할 수 있으므로 RC 차량을 최고 속도로 이동시키거나 정지하는 기능만 구현할 수 있다. 이를 보완하기 위하여 Fig. 9, 10과 같이 기존 ESP8266 UNO V2 보드에 아두이노 UNO R3 보드를 UART(universal asynchronous receiver/transmitter) 통신으로 연결하였다.

아두이노 UNO R3 보드는 총 6개의 PWM(pulse width modulation) 출력핀을 가지고 있고, 각 주기별 HIGH duty rate를 조절하여, 0~5V를 아날로그 신호, 즉 0~255로 변환하여 출력이 가능하다. 이를 통해, 사용자 디바이스에서 전달되는 RC 차량의 모터 구동 신호는 WebSocket을 기반으로 ESP8266 UNO V2 보드로 전달되며 UART 통신을 통해 UNO R3 보드에 다시 전달되어 RC 차량의 속도를 정교하게 제어할 수 있게 된다. 애플리케이션에 탑재된 조이스

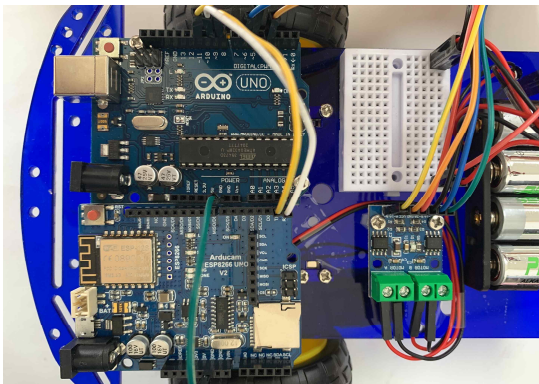


Fig. 9. Image of connecting a development board.

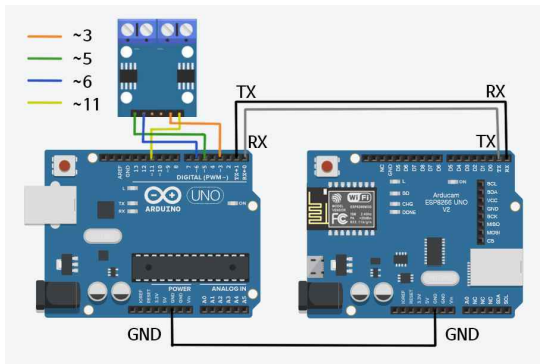


Fig. 10. Circuit diagram of connecting a development board.



Fig. 11. Streaming screen of application.

틱을 사용해 전진, 후진, 좌회전, 우회전 등 자유롭게 조작되며, 조이스틱의 위치에 따라 0~255 사이의 세밀한 속도 제어가 가능하다. 또한, 사용자가 보내는 모터 구동 신호를 0.023초에 한 번씩 RC 차량으로 전송하므로 저 지연 원격제어가 가능하다.

Fig. 11은 RC 차량에 부착된 카메라의 영상이 실시간으로 스트리밍되어 애플리케이션에서 재생되는 화면을 나타낸다. 사용자 선택사항에 따라 카메라 영상을 RC 차량 모델링 상단에 부분 화면으로 표시하거나 전체 화면으로 표시할 수 있다.

4. 실험 및 결과

4.1 UWB 수신 신호강도 실험

UWB 기반 위치 측정은 ToF를 기반으로, 즉 타임스탬프를 이용하지만, 무선 통신을 기반으로 하는 UWB RTLS 특성상, RSSI 지표 또한 활용할 수 있다. UWB Tag의 개수와 장애물 유무로 인한 UWB의 신뢰성을 판단하기 위해 RSSI 변화량에 대한 실험을 진행하였다.

Anchor와 Tag 사이의 거리 간격은 1 m이고, Anchor의 개수는 1개로 고정된 상황에서 Tag의 개수가 1개일 때와 2개일 때를 비교하였다. 이때 Tag의 개수가 2개 일 때는 Tag 간 간격을 20 cm 이내로 둔 경우(가까운 경우)와, 2 m 간격으로 둔 경우(멀리 있는 경우)로 나누었다. 또한, Anchor와 Tag 사이에 장애물 유무에 따른 신호 세기도 측정하였다. 해당 조건들을 정리하면, Tag 1개에 장애물이 없는 경우, Tag 1개에 장애물이 있는 경우, Tag 2개가 멀리 있고 장애물이 없는 경우, Tag 2개가 가까이 있고 장애물이 없는 경우, Tag 2개가 가까이 있고 장애물이 있는 경우로 총

6개로 나눌 수 있다.

실험을 위해 5,000개의 데이터를 수신하는 동안 RSSI 값을 지속적으로 측정하였으며, 각 Tag의 개수와 장애물 여부에 따라 측정된 결과를 Fig. 12와 같이 Box Plot 그래프로 나타냈다. Tag가 1개일 때는 장애물 유무에 관계없이 RSSI 값이 안정적으로 나타남을 확인할 수 있다. 하지만 Tag가 2개로 증가하면 1개일 때와 비교했을 때 RSSI 값의 편차가 상당히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 주목할 점은, 장애물 유무보다는 Tag 간 거리가 RSSI 안정성에 미치는 영향이 훨씬 컸다는 것이다. 이는 Tag 2개가 너무 밀접해 있게 되면 전파 지연이 거의 일치하여 메시지 충돌이 발생하기 때문으로 판단된다. 반면 장애물 유무에 따른 RSSI 평균값 변화는 그리 크지 않은데, 이는 UWB가 일정 공간 내에서는 장애물에 비교적 강한 모습을 보이는 것으로 결론지을 수 있다.

위 실험에서 Tag를 2개로 증가시키면 RSSI의 변화량이 커지는 것에 대하여 추가적인 실험을 진행하였다. Tag가 멀리 있는 경우에는 RSSI가 안정적이지만, 가까이 배치할 시에 Outlier가 생기는 현상을 통해 RSSI와 Outlier의 연관성을 알아보았다.

위 실험 조건을 토대로 2분 동안의 RSSI를 측정하고, 이전 값 대비 거리 변화량의 절댓값을 주황색 막대 그래프로 나타내고, RSSI 변화량을 파란색 그래

프로 표시하였다. Fig. 13의 그래프를 보면 알 수 있듯이, RSSI 값이 직전 측정값 대비 평균 3.583 정도 감소하는 순간의 거리 변화량 또한 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 즉, RSSI 변화량이 비정상적으로 증가하는 것은 타임스탬프 측정에 영향을 미쳐 결과적으로 측정된 거리 값에도 Outlier를 발생시키는 것으로 파악된다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 정확도와 이상치 개선율에 대한 성능을 비교하기 위해 기존 일반 ToF 기반 UWB 실내 측위 기법과, 상위 RSSI 기반 위치 오차 감소 기법[17]과의 비교를 수행하였다. 상위 RSSI의 값을 사용하는 기법은 일반 UWB 실내 측위 방식에 추가로 ToF에 활용되는 신호들을 RSSI 값을 기준으로 5개 신호 중 RSSI 수치가 높은 상위 3개의 신호만을 활용하는 방식이다. 실험은 Tag들이 인접한 위치에 있을 때 발생하는 이상치의 제거율을 비교하기 위해 Anchor 1개와 Tag 사이의 거리 간격을 1 m로, Tag 간 거리 간격을 20 cm로 설정하여 진행되었다. 실험은 각 5분간 총 10회 진행되었으며, 실험 결과 Anchor에 수신된 유효 데이터의 개수와 그중에서 이상치 데이터 개수를 비교한 결과의 평균은 다음과 같다.

각 기법의 유효 데이터 개수는 일반 UWB 방식의 경우 2,001개, 상위 RSSI를 사용하는 방식은 최근 5

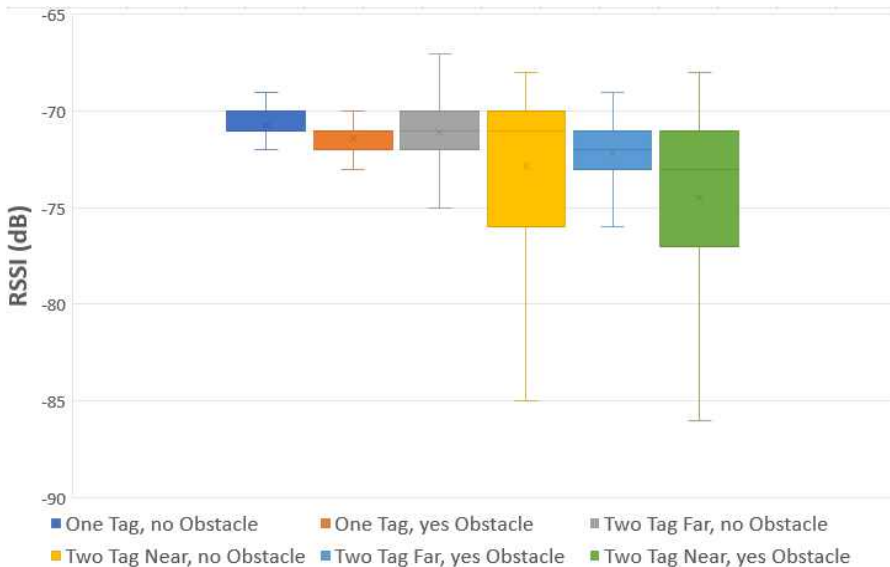


Fig. 12. RSSI according to Tag and obstacle.

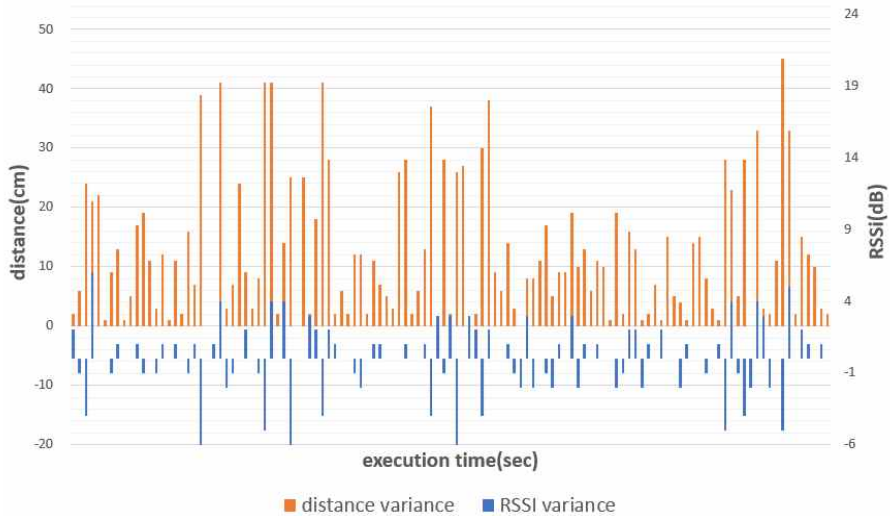


Fig. 13. Distance variance according to RSSI.

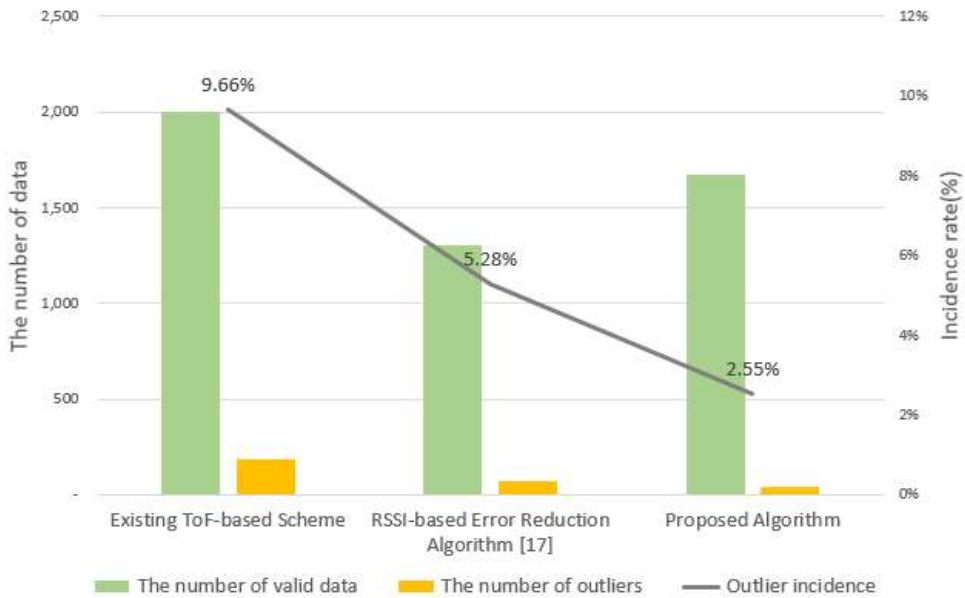


Fig. 14. Comparison of the performance of the proposed algorithm.

개의 데이터 중 RSSI 수치가 낮은 2개는 버리므로 1,308개, 본 논문에서 제안하는 방식은 RSSI의 수치가 3dB 이상 감소한 신호를 버리므로 1,676개로 나타났다. 유효 데이터로 인식된 신호 중 이상치 신호 개수를 나타내는 이상치 발생률을 확인한 결과, 일반 UWB 방식의 이상치 발생률인 9.66%와 비교하여 상위 RSSI의 방식은 5.28%, 제안된 알고리즘을 사용하였을 때 2.55%로 나타났다. 또한, 전체 데이터의 60%

만 사용하는 상위 RSSI를 사용하는 방식과 달리, 제안된 알고리즘의 유효 데이터의 수는 전체 데이터 수의 약 83%를 보장하여, 위치 측정 정확도를 높일 수 있다. 이를 통해 본 논문에서 제안하는 기법은 이상치 보정 알고리즘을 적용하지 않은 경우에 비해 이상치 발생율을 약 74% 감소하였으며, 상위 RSSI 기반 오류 감소 기법에 비해서도 약 52% 개선된 이상치 발생율을 보였다. 즉, 제안 알고리즘은 ToF 기

반 위치 측정 시 잠재적인 문제가 될 수 있는 이상치를 다른 기법에 비해 효과적으로 감소시킬 수 있다고 볼 수 있다.

4.2 원격제어 차량 동작 실험

사용자 디바이스에서 조작하는 RC 차량의 모터 구동 신호를 일정하게 0에서부터 25씩 증가시키며, 디테일한 속도 제어가 되는지 실험하였다. 실험 환경은 2 m 거리에서 모터 구동 신호를 받은 RC 차량을 전진시켜, 출발점에서 도착점까지 걸리는 시간을 측정한다.

각 0~255 제어 신호에 따른 속도를 비교한 결과 0~50까지의 PWM 신호는 차량의 정지 마찰력보다 RC 차량의 모터 구동력이 더 작아, 속도가 0으로 나타났다. 이후 제어 신호 75~250까지는 꾸준히 속도가 상승하는 모습을 볼 수 있다. 디지털 신호와 비교하였을 때, PWM 신호를 사용하면 HIGH duty rate를 조절하여 정교한 제어가 가능하다.

5. 결 론

본 논문에서는 재난 감지 디지털 트윈을 위한 UWB

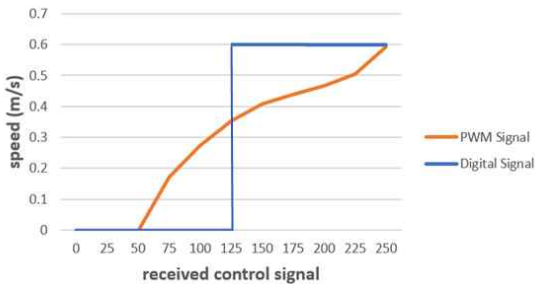


Fig. 15. Speed comparison according to control signal.



Fig. 16. The result of drone mapping near Andong National University's engineering building.

실내 측위 및 실시간 원격제어 시스템을 구현하였다. 제안된 시스템은 실제 공간과 가상 공간 간의 다양한 정보를 주고받을 수 있도록 UWB RTLS, 영상 스트리밍, 클라우드 서버, 애플리케이션 등의 기술을 포함한다. UWB RTLS는 클라우드 서버를 기반으로 하므로, 3D 가상공간에 대상을 매핑하여 실시간 추적함과 동시에 데이터베이스에 아카이브 되어, 데이터를 통계 및 분석하는데 활용할 수 있다. 또한, UWB Tag 간의 거리 간격을 두고 RSSI의 값을 비교하는 실험을 통해 Tag가 밀접해 있으면 통신 충돌로 인한 Outlier가 발생함을 알 수 있었고 이를 해결하기 위해 RSSI 값을 매주기 측정하여 Outlier를 제거하는 알고리즘 구현하였다.

본 논문에서 제시한 디지털 트윈 구현은 재난 감지 디지털 트윈 시스템의 요소 기술에 대한 개념을 증명하기 위한 구현을 했다는 것에도 의미가 있다. 여기에는 UWB 측위와 저 지연 원격제어, 영상 스트리밍 등이 포함된다. 논문에 언급된 사항 외에도 현실 공간을 디지털 트윈 공간으로 나타내기 위하여 드론 매핑을 실시하였으며, 이를 통해 Fig. 16과 같이 복잡한 공간에 대한 3D 모델링도 손쉽게 처리할 수 있다. 또한, 가상공간의 시각화를 용이하게 하기 위하여 unity와 같은 게임엔진을 활용하였다. 결과적으로 본 논문에서 구현한 RC 차량은 재난 감지 디지털 트윈 시스템에서 이동식 감시 카메라로 활용될 수 있으며, 이는 UWB 측위를 기반으로 정해진 루트를 순회하거나 관리자가 지정한 위치로 이동하면서 다양한 정보를 취득하는 데 사용될 수 있다. 취득한 정보는 실제 공간 시뮬레이션에 수행되거나, 재난 예측 알고리즘에 활용될 수 있으며, 디지털 트윈을 통해 일련의 과정들이 직관적으로 처리될 수 있다.

향후 우리는 이와 같은 재난 감시용 디지털 트윈 시스템의 구현을 지속하여, 여러 요소 기술들의 제약을 실험적으로 밝혀내고 이에 대한 해결책도 제시하는 연구를 진행할 것이다.

REFERENCE

[1] Y. Lee, S. Lee, C. Hyun, and C. Jin, "Development of Light-weight Smart City Digital Twin Model and System for Web Service," *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp.

- 193-207, 2021.
- [2] S. Choi, J. Woo, Y. Park, and I. Song, "User-Friendly Method of Digital Twin Application based on Cloud Platform for Smart Manufacturing," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 45, No. 2, pp. 175-184, 2021.
- [3] J. Seo, Y. Jeong, Y. Bae, H. Yoo, Y. Kim, and D. Kim, "Development of UWB-Based Indoor Positioning System for Robot Tracking," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 44, No. 4, pp. 701-708, 2019.
- [4] K. Bok and J. Yoo, "RFID Based Indoor Positioning System Using Event Filtering," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 12, No. 1, pp. 335-345, 2017.
- [5] G. Escudero, J. Hwang, and J. Park, "An Indoor Positioning Method using IEEE 802.11 Channel State Information," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 12, No. 3, pp. 1286-1291, 2017.
- [6] K. Baik, S. Lee, and B. Jang, "AoA-Based Local Positioning System Using a Time-Modulated Array," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 17, No. 4, pp. 181-185, 2017.
- [7] S. Kwon, "Position Tracking System Based on UWB and MEMS IMU," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 22, No. 9, pp. 1011-1019, 2019.
- [8] J. Lee, J. Kim, S. Lee, and Y. Ko, "A Location Tracking System using BLE Beacon Exploiting a Double-Gaussian Filter," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, Vol. 11, No. 2, pp. 1162-1179, 2017.
- [9] T. Jung and E. Jeong, "Recurrent Neural Network Based Distance Estimation for Indoor Localization in UWB Systems," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 24, No. 4, pp. 494-500, 2020.
- [10] C. Lee, J. Lim, Su. Jung, D. Seol, and S. Lee, "Implementation of Indoor Positioning Systems in NLOS Environment for Emergency Rescue," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 46, No. 7, pp. 1199-1207, 2021.
- [11] D. Kim, S. Park, and H. Jung, "Fingerprint-Based Indoor Logistics Location Tracking System," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 24, No. 7, pp. 898-903, 2020.
- [12] H. Choi, K. Lim, and Y. Ko, "Tracking Loss Recovery for Relative UWB Tag Positioning in AR-IoT Applications," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 45, No. 7, pp. 1198-1200, 2020.
- [13] H. Cheol, K. Won, C. Beom, M. Yeon, and K. Hwa, "A Study on the Disaster Exploration RC car Using Birds Eye View Image Processing," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 390-391, 2016.
- [14] M. Lee, Y. Lee, and J. Kim, "Raspberry-based multi-function RC car controller," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 18, No. 2, pp. 149-156, 2018.
- [15] Application note for Decawave DW1000(2015), www.decawave.com/application-notes/ (accessed December 1, 2021).
- [16] J. Park and Y. Ko, "UWB-based Maximum Likelihood Estimation TDOA Technology," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 35, No. 4, pp. 59-66, 2018.
- [17] J. Ahn, H. Lee, and J. Kim, "The Design and Implementation of Indoor Positioning System Using UWB, WiFi Mesh Network," *Proceedings of the IEEK Conference*, pp. 2248-2251, 2021.



유 다 송

2019년~현재 국립안동대학교 멀티미디어공학과 학사 과정 재학
관심분야: VR/AR, 디지털트윈, 메타버스



김 원 석

2010년 부산대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학사)
2017년 부산대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)
2016년~2019년 ㈜플론베이 대표이사

2019년~2020년 영산대학교 문화콘텐츠학부 조교수
2020년~현재 국립안동대학교 멀티미디어공학과 조교수
관심분야: 컴퓨터네트워크, 엣지컴퓨팅, VR/AR, 디지털트윈, 메타버스