

2022년 정보컴퓨터공학부 전기 졸업과제 착수 보고서

주제 : **UWB/BLE** 기반 **3D** 실내측위 및 동기화

팀이름 : 버퍼 리스트  
팀원 : 안현기 김춘수 이현진  
지도교수 : 김원석  
제출일 : **2022년 05월 16일**



**부산대학교**  
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY

## 목차

목차	2
1. 졸업과제 개요와 목표	3
1-1. 졸업과제 개요	3
1-2. 졸업과제 목표	3
2. 요구조건 분석	4
2-1. UWB	4
2-2. BLE	5
2-3. 실내 측위 방법	5
2-3-1. AoA	5
2-3-2. TDoA	6
2-3-3. ToA	7
2-3-4. RSSI	7
2-4. 위치결정 알고리즘	8
2-5. 통신 방법 선택	8
3. 사용할 프로그램과 모듈	9
3-1. Unity	9
3-2. Arduino Nano 33 BLE	9
4. 세부 설계 및 제약사항	10
4-1. 시스템 구성도	10
4-2. 현실적 제약사항	10
5. 개발 일정 및 역할 분배	11
5-1. 개발 일정	11
5-2. 역할 분배	12
6. 참고문헌	12

## 1. 졸업과제 개요와 목표

### 1-1. 졸업과제 개요

우리는 4차 산업혁명의 시대에 살고 있다. 4차 산업혁명이란 인공지능, 블록체인, 빅 데이터, 로봇공학, 양자암호, 무인 운송 수단, 3D 인쇄 등 정보통신 기술의 융합으로 대표되는 새로운 산업 혁명이다. 또한 4차 산업혁명에서 새롭게 주목을 받는 기술 영역이 있다. 그것은 바로 “디지털 트윈(Digital Twin)”이다.

디지털 트윈이란 현실 세계의 쌍둥이를 컴퓨터 소프트웨어로 표현하는 것을 말한다. 디지털 트윈은 생산과 건설 분야를 비롯해 교육, R&D, 설계, 마케팅 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 디지털 트윈을 이용하면 시뮬레이션을 통해 제품 출시 전 테스트와 검증을 할 수 있고, 다양한 시나리오에 대한 결과를 예측할 수도 있다.

실재하는 공간을 디지털 트윈으로 표현하기 위해서는 3D 실내측위 및 동기화 과정이 필요하다. 우리는 실내측위 기법으로 대두되고 있는 UWB 기술과 BLE 기술을 각각 알아보고, 어느 것이 우리에게 더 적합한지를 알아볼 것이다. 그리하여 우리는 다음과 같은 목표를 갖고 졸업과제를 진행해보려고 한다.

### 1-2. 졸업과제 목표

- UWB 또는 BLE를 기반으로 하여 실내측위 시스템을 개발하도록 한다.
- ToA 또는 TDoA를 활용한 위치 측정 모듈을 개발 한다.
- 여러 대의 UWB/BLE Anchor를 배치하여 3D 위치 측정 및 오차를 제어한다.

즉, 3D 실내측위를 구현하여 디지털 트윈 상에 물체의 위치를 동기화 하는 것을 목표로 한다.

## 2. 요구조건 분석

### 2-1. UWB

UWB는 Ultra-Wideband의 약자이며, 한국어로 초광대역으로 번역된다. UWB는 짧은 시간의 펄스 신호를 이용하여 넓은 주파수 대역으로 데이터를 송수신할 수 있게 하는 근거리 무선통신 기술이다. 미국 연방통신위원회 FCC(Federal Communications Commission)에서 광대역을 500MHz 이상의 주파수폭으로 정의했다. UWB는 낮은 출력의 전파로도 넓은 주파수 폭을 사용할 수 있는 장점이 있어 고속통신에 유리하지만, 낮은 전파 세기도 다른 무선통신에 영향을 줄 수 있어서 국가마다 UWB를 사용할 수 있는 별도의 주파수 대역을 지정하고 있다. 보통 3.1GHz에서 10.6GHz 사이를 500MHz 단위로 나누어서 채널을 지정하여 사용한다. 아래 그림 1에 UWB 표준에서 정의한 주파수 대역과 채널번호가 제시되어 있다. 주파수는 나라마다 다르게 정의되어 있어서, 그림 1의 채널을 모든 국가가 사용할 수 있는 것은 아니며, 나라마다 사용할 채널이 정해져 있다.

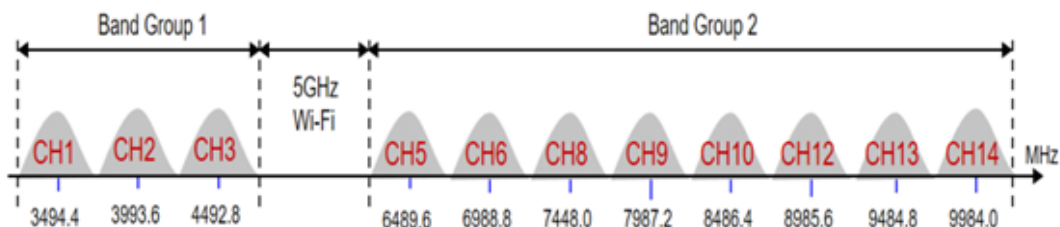


그림 1 - UWB 대역과 채널

국내에서는 UWB가 비면허무선기기로 지정되어 있다. 2022년 4월 현재 시행되고 있는, 과학기술정보통신부고시 제2022-13호 “신고하지 아니하고 개설했을 수 있는 무선국용 무선설비의 기술기준”에서 제시한 UWB 기술기준을 참고하면, 국내에서 사용가능한 UWB 채널은 4.2~4.8GHz(CH3)와 6.0~10.2GHz(CH5~CH12)이다. 그렇지만 동일한 주파수 대역을 사용하는 무선기기의 간섭을 줄이기 위해서 4.2~4.8GHz(CH3), 6.0~7.2GHz(CH5와 CH6)은 간섭경감대책을 사용하여야 하여 실질적 사용이 어렵다. 그래서 7.2~10.2GHz대역인 CH8에서 CH14까지의 주파수대역만 UWB용으로 사용할 수 있다.

UWB는 미국에서 1970년대에 군사용으로 개발되기 시작했다. 군사보안을 해제하고 나서 IEEE와 ECMA에서 민간용으로 사용하기 위한 UWB 기술표준을 정의하였다. 기술 표준화는 유럽 중심의 ECMA보다 미국 중심의 IEEE 위주로 진행되는 경향이 있는데, 2007년 IEEE에서 UWB 명칭을 IEEE 802.15.4a로 정의하였고, 이후 2020년에 보안과 측위기능이 강화된 IEEE 802.15.4z를 추가로 정의했다.

UWB는 2000년대 초반에 많은 관심을 받았고, 그 당시에는 실내 측위에 대한 연구보다는 UWB 통신 또는 UWB 레이더 연구에 집중되었다. 2010년대에 이르러서는 WiFi나 블루투스 통신 기술에 밀려서 그동안 빛을 보지 못하였다. 그러다가 최근에 근거리 무선기기의 무선통신뿐만 아니라, 무선기기 간의 거리 측위가 가능하다는 UWB의 장점이 부각되고 있다. 2019년 애플사의 iPhone11에 UWB가 탑재되었고, 삼성도 스마트폰에 UWB 기능이 탑재된 스마트폰을 출시하고 있다. 현대자동차를 비롯한 여러 자동차 회사에서도 스마트폰의 UWB 기능을 이용하여 근거리에서 차문을 열 수 있는 차량을

출시하기 위해 노력하고 있다. 통신도 가능하면서 거리 측위가 가능한 UWB가 향후 자동차, 스마트 공장, 스마트 홈 등 다양한 영역에서 활용이 가능할 것으로 전망되고 있다.

## 2-2. BLE

BLE는 Bluetooth Low Energy의 준말로써, BLE Beacon(비콘)의 브로캐스트 신호(정보) 수신으로 위치를 확인하는 방식이다. 과거에는 정확도가 3 ~ 8m 수준으로 불안정하여 완벽한 정밀도가 요구되지 않는 실내 위치확인 서비스와 인원, 자산의 입출/반입출 관리와 인원, 자산의 Room 레벨 기반의 실시간 위치 확인(RTLS)에 사용되었지만 Bluetooth 5.x 버전에서 정확도가 향상되었고, 칼만 필터를 이용해 RSSI를 보정하여 비콘과 사물의 거리에 따라 수십 cm 내의 정확도를 얻을 수 있다. 거리 측정은 신호 세기 RSS(Received Signal Strength)를 이용한다. 출력에 따라 최대 40 ~ 400m 내외의 통신이 가능하고 주파수 대역은 2400 ~ 2483.5MHz을 사용한다. 비콘은 코인 셀 배터리로 평균적으로 1년 이상 사용 가능하다. BLE는 가속도, 온도 등의 센서 일체/연동형으로 모니터링 대상의 상태 모니터링 서비스로 확장되고 있다.

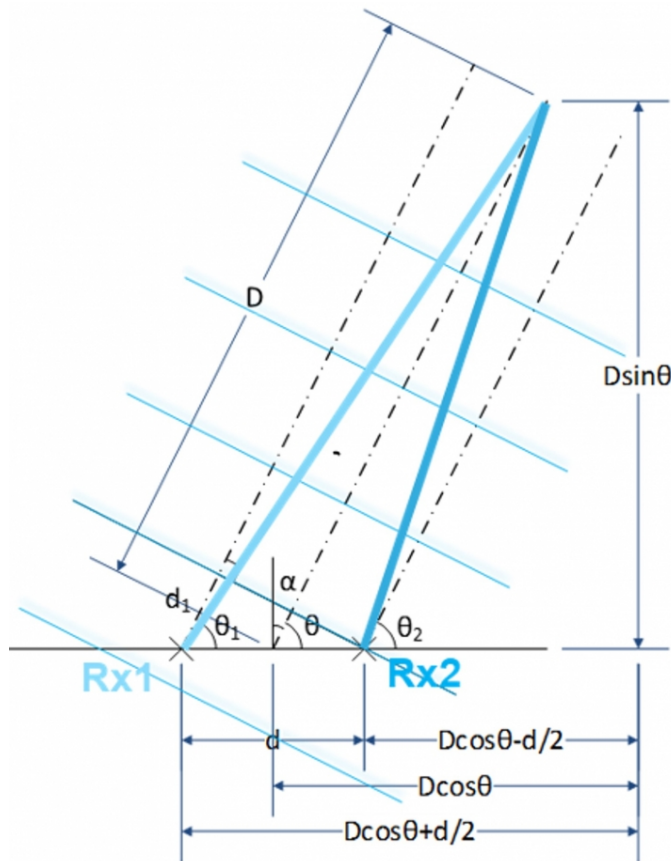
BLE는 서비스 구성 및 확장에 유연하며 비용 대비 효율적인 시스템을 구성할 수 있는 장점이 있다. 반면, 건물과 같은 장애물이 있을 때 신호가 감쇄되는 현상이 있으며, 레이아웃 변경과 무선 간섭에 따른 불안정성이 있다는 단점이 있다.

## 2-3. 실내 측위 방법

### 2-3-1. AoA

AoA 기술은 수신기의 개별 안테나에서 신호 수신 각도의 차이를 이용하여 위치정보를 제공하는 기술이다. 대표적으로 AoA 측위법이 항공기와 야전에서의 군사적 시스템을 위한 VOR 시스템에 적용된다.

2D 공간상에서는 복수의 안테나가 있는 한 대의 수신기를 이용해서, 3D 공간상에서는 두 대의 수신기를 이용해서 송신기의 위치를 특정할 수 있다. 수신기 간의 동기화가 필요없지만 신호 반사가 있을 때 정확도와 정밀도가 감소하며 수신기와 송신기 간의 거리가 긴 경우 측정 오차가 증가한다.



$$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta (D > \lambda)$$

$$f = 6.24 - 8.24 \text{ GHz}$$

$$\lambda = 36.4 - 48 \text{ mm}$$

$$\lambda/2 = 18.2 - 24 \text{ mm}$$

Antenna spacing:

$$d_{\max} = 18 \text{ mm}$$

Extra distance of path #1:

$$d_1 = d \cos \theta$$

Extra flying time of path #1:

$$t_1 = \frac{d \cos \theta}{c} \text{ (TDOA)}$$

d1 can also be written as:

$$d_1 = \Delta \varphi \frac{\lambda}{360^\circ}$$

$$\Delta \varphi = \frac{360^\circ}{\lambda} d \cos \theta \text{ (PDOA)}$$

$$\theta = AOA = \arccos \left( \frac{\lambda \cdot \Delta \varphi}{360^\circ \cdot d} \right)$$

그림 2 - 안테나가 두 대인 AoA 개념도(왼쪽)와 수신 신호의 각도 계산(오른쪽)

### 2-3-2. TDoA

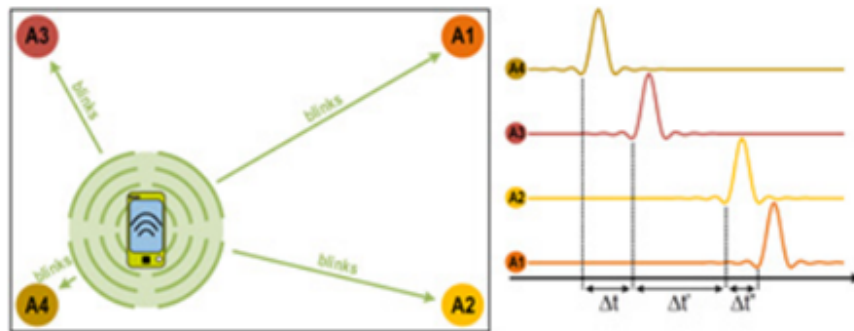


그림 3 - TDoA

TDoA는 측위대상 UWB 장치(Tag)가 신호를 단방향으로 다른 UWB 장치(Anchor)로 전송함으로써 측위를 할 수 있다. Tag가 신호를 보내면 주변에 있는 다수의 Anchor가 메시지를 수신하고, 각 Anchor가 수신한 신호의 시간 차이를 계산하여 Tag의 위치를 파악하게 된다.

Tag는 Anchor로 단방향의 데이터를 보내고, 따로 응답은 하지 않는다. 여러 대의 Anchor가 서로 거리를 두고 떨어져 있어야 측위하는 데 효율적이다. 측위 서버는 사전에 Anchor의 위치정보를 가지고 있어야 한다. Tag는 측위를 위해서 “Blink Message”를 계속 발신하고, Anchor는 이 메시지를 받은 시간을 추가하여 측위 서버로 전송한다. 이후, 측위 서버는 각 Anchor로부터 수신한 시각 정보를 기준으로 Anchor 간 차이를 산출하여 위치를 계산한다.

### 2-3-3. ToA

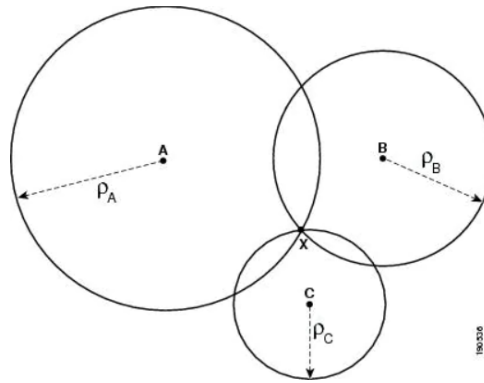


그림 4 - ToA

어느 공간에서 고르게 배치된 3개 이상의 **Anchor**(송신부)가 모두 시간 동기화가 되어있다는 가정하고 **Tag**(수신부)까지 도달하는 시간으로 그려지는 3개의 원으로부터 겹치는 영역을 알아내는 방식이다. 무선 신호 중 전파영역은 ‘빛의 속도’로 정해져 있으므로 시간과 속도를 곱하면 거리가 나오는 아주 간단한 원리이다.

단방향 시스템은 매우 정밀한 시간 동기화가 필요하지만 정밀 측위가 가능하다. 양방향 시스템은 시간 동기화에 대한 부담은 없으나 클럭 주파수의 한계 때문에 일반적으로 단방향 시스템에 비하여 측위 성능이 저하된다.

### 2-3-4. RSSI

**RSSI**는 **Received Signal Strength Indicator**의 약자로 수신기에서 수신되는 전파의 세기가 얼마인지를 수치(dB)로 나타내는 것이다. **RSSI** 값은 아래의 수식으로 계산된다. 기본적으로 음수로 나타내며 0에 가까울수록 신호의 세기가 강하다.

$$RSSI = -10n \times \log D + TWpower \quad \dots \quad (1)$$

D는 거리를, TWpower는 신호 세기를 뜻한다. 위의 수식을 이용해 거리를 역계산하면 아래와 같다.

$$D = 10^{(TWpower - RSSI)/10n} \quad \dots \quad (2)$$

송신기에서 방송한 신호를 수신기에서 수신하여 거리를 측정하고, 측정한 각 송신기까지의 거리를 삼변측량법이나 기타 다른 방법을 이용해 위치를 계산할 수 있다. 3D 공간상에서 수신기의 위치를 특정하기 위해서는 최소 4대 이상의 송신기가 필요하다. 이때, **RSSI**는 노이즈가 섞이거나 비콘의 세기에 따라 오차가 크므로, 칼만 필터 등으로 이를 제어할 필요가 있다.

## 2-4. 위치결정 알고리즘

RSSI, ToA와 같이 각 Anchor와 Tag사이의 거리를 알고 있을 때는 삼변측량을 이용해 위치를 구해낼 수 있다. TDoA와 같이 Tag에서 송신한 신호가 각 Anchor에 도달하는 시간차를 알고있다면 Taylor 식을 이용한 Least Square 알고리즘을 이용해 선형적으로 위치를 추정하거나, Chan-Ho 알고리즘을 이용해 차분 값과 Anchor의 위치값을 이용해 선형화하지 않고 Tag의 위치를 특정할 수 있다[5]. 이외에도 추가적인 알고리즘을 졸업과제를 진행하며 탐구할 예정이다.

## 2-5. 통신 방법 선택

UWB는 30cm 내외의 높은 정확도를 제공한다. 또한, TDoA, TWR 등의 기반의 위치 정보를 통해 높은 거리/위치 정확도와 더불어 높이를 정확히 측정할 수 있다. 그리고 초당 약 100회의 패킷 전송으로 지연 없이 위치 정보를 획득할 수 있다. 하지만 실내와 같은 장애물이 다수 있는 공간에서의 측위의 안정성이 매우 떨어진다. 그리고 TDoA의 특성상 Anchor 간 시간 동기화를 해야하는데, 이를 구현하기가 어렵다.

BLE는 RSSI 방식만으로는 UWB 방식에 비해 정밀도는 떨어지나 오차를 보완할 수 있는 방법이 많이 개발되었고, 다양한 장애물이 있는 실내 공간에서도 극단적으로 오차가 커지는 일 없이 안정적으로 동작한다. 그리고 비콘이 저전력으로 작동하기때문에 오랜 기간동안 사용할 수 있고 고가의 장비가 필요하지 않아서 실내측위를 하는 데에 적합하다고 할 수 있다. BLE가 스마트폰과 호환되는 것도 큰 장점이다. 스마트폰을 비콘 혹은 스캐너로 사용할 수 있어 확장성이 크다.

우리는 3D 실내측위를 위해서 장애물이 많은 공간에서도 안정적으로 측위를 할 수 있고 시간 동기화가 필요하지 않아 구현이 상대적으로 간단한 BLE(Arduino Nano 33 BLE 모듈)를 이용하기로 방향을 정했으나, 이후 졸업과제를 진행하며 목표를 구현하기에 더 좋다고 판단한 통신 방법 혹은 모듈로 바뀌 진행할 수도 있다. 만약 UWB 통신을 이용하여 3D 실내측위를 구현한다면 거리를 오차 10cm 내외로 측정할 수 있는 DWM1000 모듈을 사용할 예정이다.



### 3. 사용할 프로그램과 모듈

#### 3-1. Unity



그림 5 - Unity

Unity는 Unity Technonologies에서 개발한 3D 및 2D 비디오 게임의 개발 환경을 제공하는 게임 엔진이며, 게임뿐만 아니라 영화 제작, 3D 애니메이션과 건축, 가상현실(VR) 콘텐츠 등을 지원한다.

2005년 애플 세계 개발자 회의(WWDC)에서 애플 OSX용 게임 엔진으로 최초 공개되었다. 2016년 기준으로, 전 세계 게임엔진 시장의 45%를 차지하는 가장 인기있는 게임엔진이며, 등록 개발자 수는 5백만 명이 넘는다.

우리는 좌표 위치를 디지털 트윈 상에 표현하기 위해 유니티를 활용할 계획이다.

#### 3-2. Arduino Nano 33 BLE

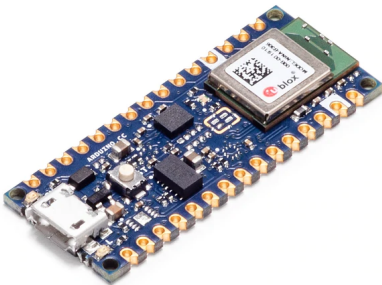


그림 6 - Arduino Nano 33 BLE

여러 아두이노 모듈 중 Arduino Nano 33 BLE는 2019년에 출시된 제품으로, Bluetooth 5.0 Low Energy 통신을 위해 NINA-B306 칩이 내장되어 있다. Master/Slave 각각의 모드로 사용할 수 있으므로, 각 모드에 따라 Scanner와 Beacon으로 사용할 수 있다. Arduino Nano 33 BLE는 32Bit, 64MHz MCU인 nRF52840을 사용하고 3.3V의 I/O를 지원한다. 이외에도 9축 IMU센서, 대기압 센서, 주변 온도, 상대 습도 센서 등 다양한 센서가 내장되어 있다.

## 4. 세부 설계 및 제약사항

### 4-1. 시스템 구성도

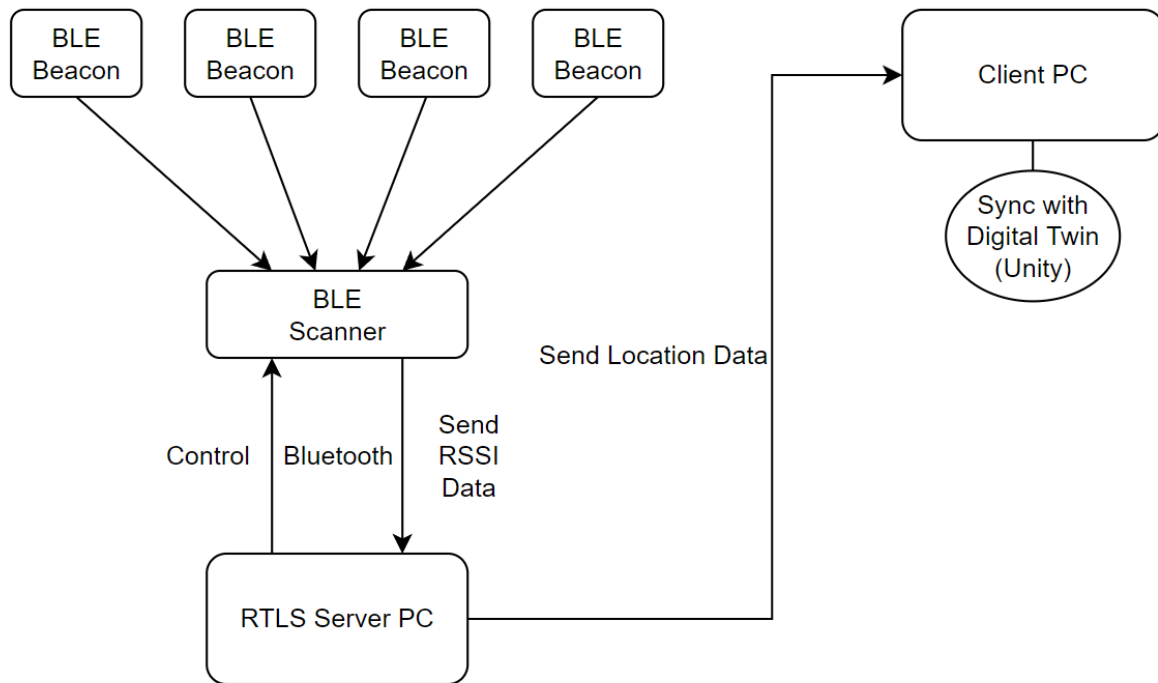


그림 7 - 시스템 구성도

BLE 비콘에서 방송하는 신호를 스캐너가 수신하면, 스캐너는 신호의 세기를 RTLS Server로 전송한다. Server는 이 정보를 이용해 Scanner의 좌표를 계산하고 Client에 위치 정보를 전송한다. Server와 Client간 통신은 소켓을 이용한다. 이후 Client는 수신한 위치 정보를 이용하여 Unity로 구현한 3D 디지털 트윈상에 물체를 동기화한다.

### 4-2. 현실적 제약사항

UWB/BLE를 이용한 실내 측위에는 필연적으로 오차가 존재한다. 이는 실내 측위 시스템 개발에 있어서 치명적인 사항이다. 따라서 이를 최대한 보완하기 위해 위치인식 정확도 향상 기법에 대한 연구 또한 진행할 예정이다.

그리고 유니티로 임의로 모델링한 3D공간과 현실 사이에 괴리가 있을 것이므로 온전한 디지털 트윈을 구현하기는 어려움이 클 것이다.

## 5. 개발 일정 및 역할 분배

### 5-1. 개발 일정

	5월		6월					7월				8월					9월	
주	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2
안현기	유니티 3D 모델링																	
				RSSI 오차 제어 필터 구현														
								좌표 계산 알고리즘 구현										
												유니티 프로그램 개발						
김준수	Beacon-Scanner간 통신 구현																	
						Scanner-Server간 통신 구현												
								좌표 계산 알고리즘 구현						오차 보정				
이현진	Beacon-Scanner간 통신 구현																	
						Server-Client간 소켓 통신 구현						유니티 프로그램 개발						
														오차 보정				
공통					기 말 고 사					중 간 보 고 서 작 성							최 종 보 고 서 작 성	

## 5-2. 역할 분배

이름	역할 분담
안현기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D 모델링</li> <li>• 좌표 계산 알고리즘 및 오차 제어 필터 구현</li> <li>• 유니티 프로그램 개발</li> </ul>
김춘수	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beacon-Scanner간 통신 구현</li> <li>• Scanner-Server간 통신 구현</li> <li>• 좌표 계산 알고리즘 구현</li> </ul>
이현진	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beacon-Scanner간 통신 구현</li> <li>• Server-Client간 소켓 통신 구현</li> <li>• 유니티 프로그램 개발</li> </ul>

## 6. 참고문헌

- [1] 김현욱, 임종태, 「UWB 기술과 응용 분야」, 주간기술동향, 정보통신기획평가원, 2021.4.
- [2] 장병준, 「UWB 측위기술의 원리 및 동향」, 한국전자파학회논문지 vol. 33, no.1, 2022.1.
- [3] infsoft, “Technologies for Server-Based Indoor Positioning Compared: Wi-Fi vs. BLE vs. UWB vs. RFID”, 2022.5.10 접속,  
<https://www.infsoft.com/blog/technologies-for-server-based-indoor-positioning-compared/>.
- [4] github, “실내 무선 측위기술'의 방식”, 2022.5.10 접속,  
<https://hyoukjang.github.io/vr/indoor-positioning/ips/2017/12/10/positional-tracking-101-3.html>.
- [5] 공현민, 성태경, 권영미, 「UWB 실내 측위를 위한 TDOA 위치결정기법」, 전자공학논문지 제 42권, 2005, 1.
- [6] 이성호 외 4명, 「위치기반서비스 기술 동향」, 전자통신동향분석 vol. 20, no. 3, 2005. 6.
- [7] 조두산, 김용주, 「Bluetooth Low Energy (BLE) 비콘 (Beacons)과 그 응용」, 정보처리학회지 제22권 제 6호, 2015. 11.
- [8] 임일권, 「BLE 비콘과 확장 칼만필터를 이용한 실내 위치 추정 시스템」, 한국교육학술정보원, 2015. 8.
- [9] 천민솔, 이지영, 최진규 「BLE 5.0을 이용한 실내 측위 개선에 관한 연구」, 한국정보기술학회논문지 vol. 16, no. 4, pp. 43-49, 2018. 4.