

# UWB と SLAM による共有可能なグローバルマッピングを用いた AR システム

Cheng CHEN<sup>†</sup>  
 青山学院大学<sup>†</sup>  
 社会情報学部

宮治 裕<sup>‡</sup>  
 青山学院大学<sup>‡</sup>  
 社会情報学部

## 1. はじめに

AR (Augmented Reality) が注目され、スマートフォン開発会社も開発者向けの AR SDK を整備している。スマートフォンの処理能力向上に伴い、AR アプリの搭載によって、より身近に利用することが可能となる。

AR を実現するには、現実空間の物体にグラフィックを重ねるために、その物体を認識し、位置座標を知る必要がある。その過程であるマッピングの手法は、AR 技術の要である。現在カメラによるマッピングが主流だが、照明環境や画角に制限があり、ターゲットを事前認識しないと利用できないなどの問題がある。

本研究では、この問題を解決するために SLAM (Simultaneous Localizing and Mapping) と UWB (Ultra-Wide Band) を組み合わせてマッピングをする手法を提案する。カメラをかざすことなく高精度でターゲットの座標を割り出すことができ、かつ異なる AR デバイス間で共有できるシステムの構築を目指す。

## 2. 関連研究

Ke ら [1] は SLAM ベースのモバイル AR システムにおいて、周囲のスマートなモノ (smart things) を瞬時に発見・定位し、かつ空間的に登録することを可能にする手法 Scenariot を提案した。Scenariot は AR デバイスとスマートなモノのコントローラに UWB RF ユニットの組み合わせ、両者の距離を測定できる。マルチユーザに対応しないなどの課題も残しているが、SLAM ベースの AR システム + UWB の組み合わせたマッピング手法は、高い精度と実用化に有望であることを示した。

複数の AR デバイスに UWB ベースの距離測定モジュールを取り付けることで地図の共有や外部のトラッキングインフラを介さずに登録するアプローチも見られる。Ke ら [2] は SynchronizAR というシステムを提案した。距離ベースの間接的な登録方法を採用し、別々の SLAM 座標系間の変換を解決した。

これらの研究を参考に、本研究では AR デバイスと AR の情報を表示したいターゲットに UWB モジュール

を組み込むことで、異なる SLAM 間で共有可能な高精度なマッピングができるのではないかと考えた。また、関連研究と異なり、本研究では市販および一般的な SDK を用いて実装した。

## 3. システム構成

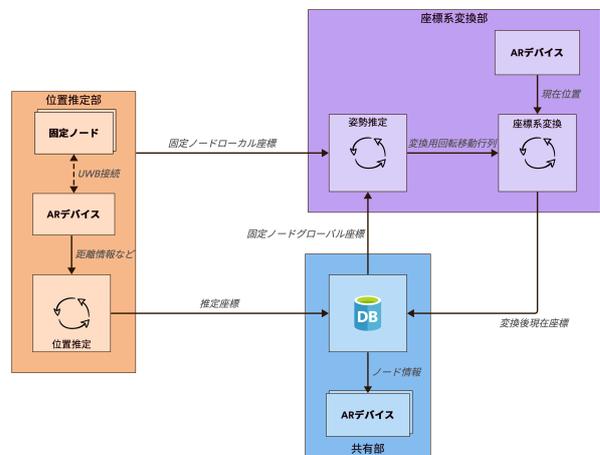


図 1: システム構成図

本システムは、3つの部位から構成される (図 1)。固定ノードの位置を推定する位置推定部、新しく接続してきた AR デバイスの座標系をシステムのグローバル座標系に変換する座標系変換部、固定ノードや AR デバイスの座標を保存、共有するデータ共有部である。

本研究では、AR で情報表示されるターゲットをノードとし、移動しないものを固定ノードと、移動するものを移動ノードと呼ぶ。移動ノードは、SLAM 機能を備えており、自身の位置を推定できる AR デバイスを想定する。固定及び移動、すべてのノードには UWB モジュールが搭載されている。ハードウェアとして、AR デバイスは Apple 社の iPhone 13 Pro を用いた。固定ノードは Qorvo 社の DWM3001CDK を用いた。DWM3001CDK は MCU と Bluetooth 組み込みの UWB を搭載している。

### 3.1. 位置推定部

位置推定部では、SLAM ベースの AR デバイスが移動しながら自身の位置が特定できる特性を利用し、自動

Shareable global mapping with UWB&SLAM in AR system

<sup>†</sup> Cheng CHEN, Aoyama Gakuin University

<sup>‡</sup> Miyaji Yutaka, Aoyama Gakuin University

的に固定ノードの位置を推定する。位置推定には2つの手法を用いた。手法1はApple社のSDKを利用したものである。手法2はARデバイスの現在位置と固定ノードまでの距離を用いて固定ノードの位置を推定する。2つの手法を用いたのはApple社が提供するAPIと通常のUWBによる距離測定を比較するためである。

SLAMデバイスはシステムを起動したときの位置を原点とし、起動したときの向きによってx軸とz軸を決定し、座標系を構築する。本システムではどの手法においても、最初の位置推定を行ったARデバイスのローカル座標系がシステムのグローバル座標系となる。

### 3.2. 座標系変換部

座標系変換部では、静的ノードの位置を用いて新しく接続してきたARデバイスの座標系をシステムのグローバル座標系に変換する。まず、共有部からグローバル座標系がわかる固定ノードを4つ以上取得する。次に、位置推定部から、取得した固定ノードのローカル座標系における位置を手法1で取得する。得られた同じ固定ノードのグローバル座標とローカル座標を、Procrustes Analysisでローカル座標系をグローバル座標系に変換するための回転行列と移動行列を求める。Procrustes Analysisは、複数のデータセットを比較する手法で、姿勢推定の簡易な方法として用いられる[3]。リアルタイムでローカル座標系現在位置を求めた変換行列でグローバル座標系に変換し、共有部に送信する。

### 3.3. 共有部

共有部では、位置推定した静的ノードやARデバイスの座標を保存、共有する。接続したARデバイスの現在位置を受け取り、すべてのARデバイスに共有する。現在位置というリアルタイム性が高いデータを早く共有するための実装をした。

## 4. 検証実験

本実験では、想定可能な測定条件における固定ノードと移動ノードのマッピング精度を検証し、システムの可用性を検証することを目的とする。

### 4.1. 距離及び固定ノード

固定ノードと距離の測定条件は測定をするスペースの中心からノードまでの距離 $d$ と同時の測定をするノードの数 $n$ と想定する。 $d \in \{2, 3, 5\}m$ と $n \in \{1, 2, 4\}$ 個の時、9通りの組み合わせをそれぞれ3回ずつ、合計27回測定した。

実験評価のため、座標推定の手法1、手法2はサーバ上で同じものを実装し、座標を推定した。距離、手法1と2で推定した座標をそれぞれ集計し、2元配置分散分析(Two-way ANOVA)で検定した。

距離は、2つの測定条件からの影響は統計的に有意差はなく、MAEは $0.03m$ で、最大誤差は $< 0.25m$ にとどまった。

手法1の結果により、 $d$ と同時測定数 $n$ の精度への影響は両方とも統計的に有意差があった。事後検定の結果、 $n=1$ と $n=2$ は顕著な差がない。 $n=4$ の時、誤差は大きくなる傾向がある。

手法2の結果について、距離 $d$ と同時測定数 $n$ の両方ともに精度への影響は有意差がなかった。

手法1と手法2をT検定で比べた結果、差があるとは言えなかった( $p=0.0607$ )。手法2のような距離のみで位置を推定する手法では、 $y$ 軸の誤差は大きくなる傾向があるが[1]、手法1ではその傾向は弱かった。

### 4.2. 移動ノード

グローバル座標系の原点がローカル座標系における座標を原点に復元したときどれくらい誤差があったのかを調べることで、移動ノードにおける座標推定の精度を検証する。実験評価のため、同じ座標系変換のアルゴリズムをサーバ上で実装した。

その結果、MAEは $0.36m$ であった。位置測定の際に手法2より、手法1を使うほうが、復元の精度は高かった。

## 5. おわりに

本研究はSLAMとUWBを組み合わせ、市販の開発キットと一般的なSDKだけで異なるARデバイス間で共有可能な高精度なマッピングシステムを構築した。

また、システムがマッピングとして使用できる精度に達しているかを検証し、十分達していることを確認した。

## 参考文献

- [1] Ke Huo, et al. Scenariot: Spatially mapping smart things within augmented reality scenes. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, p. 113, 2018.
- [2] Ke Huo, et al. Synchronizar: Instant synchronization for spontaneous and spatial collaborations in augmented reality. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18, p. 1930, 2018.
- [3] 寺門和哉ほか. Procrustes analysisを用いた姿勢推定. 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2011)論文集, 第2011巻, pp. 753–756, jul 2011.