

(50) SLAM を用いた 3 次元 GIS データの AR 表現に関する研究

北川 悦司¹・加藤 諒²・本間 亮平³・若泉 拓磨³・谷口 宙河⁴

¹正会員 阪南大学教授 経営情報学部 (〒580-8502 大阪府松原市天美東 5-4-33)

E-mail:kitagawa@hannan-u.ac.jp

²非会員 京都橘大学専任講師 工学部 (〒607-8175 京都市山科区大宅山田町 34)

³非会員 アジア航測株式会社 先端技術研究所 (〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺 1-2-2 新百合 21 ビル)

⁴非会員 阪南大学大学院 企業情報研究科 (〒580-8502 大阪府松原市天美東 5-4-33)

AR (Augmented Reality) は、現実空間に仮想物体を重ねて表示する技術であり、建造物の維持管理や医療など幅広い分野で業務効率化に役立てられている。特に、マーカレス AR は、マーカや特殊な機器を必要とせず屋内外で利用できるため、汎用性が高く注目されている。しかし、利用環境が限定的であることやリアルタイム性がないといった制限があることから、汎用的な手法は存在しない。そこで、本研究では、自己位置推定や地図作成が可能な SLAM 技術を用いて、SLAM で取得した環境地図と、GIS の幾何データとを位置合わせする手法を開発する。これによって、画像や属性などの GIS データを AR 表現することが可能になる。実証実験の結果、環境を限定せずにリアルタイムな AR 表現が実現できることを確認した。

Key Words: AR, registration, SLAM, GIS

1. はじめに

近年、Society5.0 の実現に向け、あらゆるセンサから取得したビッグデータを現実空間にフィードバックする技術の1つとしてAR (Augmented Reality) が注目¹⁾されている。AR は、現実空間に仮想物体を重ねて表示する技術であり、建造物の維持管理や医療をはじめとする幅広い分野で業務効率化に役立てられている。

AR の実現方法には、マーカ型と GNSS 型、マーカレス型の大きく 3 種類があり、特にマーカレス AR の需要が高い。マーカレス AR とは、カメラ上の机や電柱などの特徴を特徴点として抽出し、マーカとして用いる技術である。これは、マーカや特殊な機器を必要とせず屋内外で利用できるため、汎用性が高い。しかし、マーカレス AR を実現するには、幾何学的整合性と時間的整合性の 2 つの技術課題を解決する必要がある²⁾。幾何学的整合性とは、現実空間と仮想空間の 3 次元的な位置合わせのことで、現実空間の正しい位置に仮想物体を表示することである。時間的整合性とは、現実空間と仮想空間との合成時に遅延や同期ズレがないことである。AR は、ユーザが移動しながら利用する技術であるため、現実空間と仮想空間の位置合わせを正確かつリアルタイムに繰

り返すことが課題とされている。

2. 既存研究

マーカレス AR の既存研究は、ランドマークを用いた手法³⁾と 3 次元モデルを用いた手法⁴⁾が提案されている。ランドマークを用いた既存研究³⁾では、橋梁に記載されている橋脚番号から特定の橋脚を把握し、位置合わせしている。しかし、この手法は、特定のオブジェクトのみを対象としており、利用環境が限定的である課題がある。

3 次元モデルを用いた既存研究⁴⁾では、MMS (Mobile Mapping System) で作成した 3 次元点群データとカメラ画像から抽出した特徴点を用いて、位置合わせしている。しかし、この研究では、最低 4 点以上の頂点を手動で指定しており、自動化されていない。既存研究⁵⁾では、3 次元モデル計測時のカメラパラメータなどを事前に入力することで、撮影位置を特定し、位置合わせしている。しかし、入力データが多く、計算量が多いため、リアルタイムな位置合わせが難しい課題がある。このように既存研究では、利用環境が限定的であること、手入力など別途作業が必要であること、リアルタイム性がないこと

などから汎用的な手法は存在しない。

そこで、本研究では、SLAM 技術でリアルタイムに取得した環境地図と GIS の幾何データを位置合わせすることで、既存研究の課題を解決したマーカレス AR を実現する技術の開発を目的とする。具体的な位置合わせ方法としては、「点群間の共通した平面の交線は点群の位置や密度に関係なく共通の対応箇所となる」ということに着目し、同じ位置に点がない場合や点群密度が異なる場合などでも正確に高速に位置合わせができる手法⁹⁾をベースに技術開発を行う。本研究手法の特徴を以下に示す。

- SLAM 技術でリアルタイムに生成した環境地図をマーカとして利用することで、利用環境に限定されず、手入力など別途作業を必要としないマーカレス AR を実現する。
- 既存研究の平面交線を用いた位置合わせ手法と方位センサなどを組み合わせて高速に位置合わせすることで、幾何学的整合性と時間的整合性の技術課題を解決している。

3. システムの詳細

システムの流れを図-1 に示す。本システムでは、SLAM の環境地図と GIS の幾何データとを位置合わせすることで図形や画像、属性などの GIS データをリアルタイムに AR 表現する。なお、本研究では、開発者向け AR フレームワークの ARKit⁷⁾を用いて、SLAM 技術を実装する。これにより、タブレットやスマートフォンといったデバイス 1 つで利用可能なシステムを開発する。

(1) 入力データ

入力データは、事前に用意した GIS データと、随時リアルタイムに作成する SLAM の環境地図とする。GIS データは、位置合わせに利用する幾何データから作成した平面情報ファイルと、AR 表現に利用する描画図形や画像、属性などの AR 描画用ファイルの 2 つに事前に分けて入力する。位置合わせに利用する平面情報ファイルは、事前に MMS などの 3 次元点群データから平面を抽出し、それらの平面方程式 ($ax+by+cz+d=0$) の係数 4 つを保存したものである。AR 描画用のファイルは、描画図形の頂点及び折れ線の情報などを記載したファイルである。

(2) 平面抽出処理

平面抽出処理では、SLAM の環境地図を対象に GIS の平面情報ファイルとの位置合わせに利用する平面方程式を取得する。ここでは、水平面 1 つと垂直面 3 つ以上を取得する。なお、複数の水平面を抽出した場合は、最も面積の大きい水平面のみを用いる。これは、最も面積の

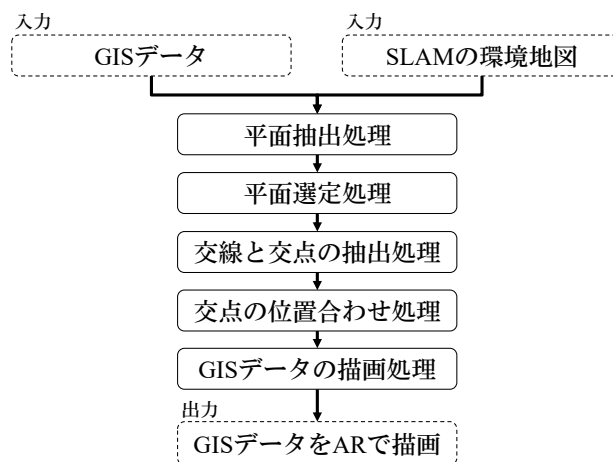


図-1 システムの流れ

大きい水平面が道路面である可能性が高いためである。

(3) 平面選定処理

平面選定処理では、平面抽出処理で抽出したすべての平面を対象に位置合わせに使用する平面を選定する。これは、SLAM の環境地図に精度の低い平面が含まれている場合、その誤差が原因で交点のずれが発生し、位置合わせ精度が低下するためである。高精度な平面として判定するには、「平面の大きさ」と「更新回数」、「更新時間」が利用できると仮定し、これらの項目について調査した。その結果を以下に纏める。

- ARKit の特性上、精度の高い平面は、移動ごとに更新され面積が大きくなる傾向がある。
- 更新回数が多い平面は、高精度である可能性が高い。しかし、樹木や電柱、凹凸のある平面など、実際は平面でない箇所を平面として取得すると更新回数が多くなり、誤差が発生する。
- 随時座標系が更新されるため、古い平面にズレが発生することが多い。そのため、現在地近くの新しい平面を位置合わせに使用することが望ましい。

この調査から、移動ごとに面積が拡大する平面は、更新回数も多く、高精度であることがわかった。よって、平面選定処理では、初めに取得した平面（更新回数 1 回目）の面積とその平面が最後に更新されたときの面積の拡大率を平面の選定に利用する。この拡大率が閾値以上の平面を取得し、それ以外を削除する。取得した平面の中で、新しく更新された上位 3 つの平面を取得する。

(4) 交線と交点の抽出処理

交線と交点の抽出処理では、平面情報ファイルと平面選定処理で取得した平面からそれぞれ交線を作成し、その交点を抽出する。このとき、2 つの交線の角度が小さい場合は交点を作成しない処理を行う。この理由として、

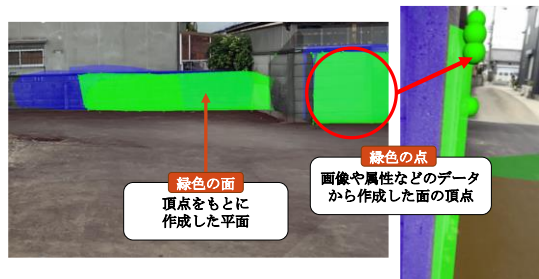


図-2 本システムでの AR 表現の例

SLAM で作成した平面は、ARKit の平面検出精度が原因で、若干のズレが発生する場合がある。この小さなズレにより、平面が平行同士でも、大きく座標が異なる箇所に交点が作成され、位置合わせの誤差となるためである。また、SLAM の環境地図から取得した平面では、交点が 2 つ以下であれば、平面選定処理の 4 番目に新しく更新された平面を用いて、3 つ目の交点を抽出する。本手法では、方位センサを利用しているため、交点 2 点以上で位置合わせ可能である。しかし、事前調査の結果から交点 2 点の場合は、精度が低くなる確率が高いことがわかった。一方で、交点が 4 点以上になるとその分誤差を含む平面も増えるため、一概に交点数が多い方が良いとは言えない。このため、交点 3 つを位置合わせに用いる。

(5) 交点の位置合わせ処理

交点の位置合わせ処理では、GIS の幾何データから作成した交点と SLAM の環境地図から作成した交点を用いて位置合わせする。具体的には、GIS データと SLAM の環境地図とで座標系が異なるため、まず、高さを合わせる。次に、初期位置を合わせる。初期位置合わせの方法は、方位センサで座標系の向きを大まかに合わせ、任意の交点 2 点を選び、その 2 点間距離で位置を合わせる。最後に、ICP (Iterative Closest Point) を用いて位置合わせする。ICP には、初期位置が大きく異なっていると位置合わせが上手く実現できない課題があるため、初期位置合わせを事前に行っている。

(6) GIS データの描画処理

GIS データの描画処理では、位置合わせされた AR 画面上に AR 描画ファイルの情報を描画する。本システムでの AR 表現の例を図-2 に示す。本システムでは、GIS データの頂点と面を緑色で出力する。

4. 実証実験

実証実験では、本システムのアルゴリズムの検証実験と GIS データを用いた実験を実施する。

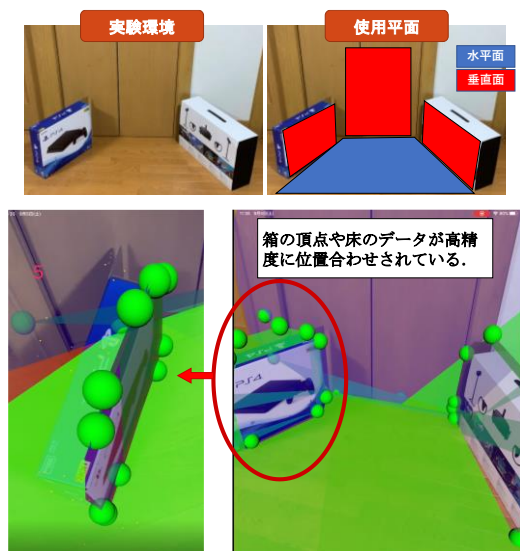


図-3 実験環境と結果（斜め平面）

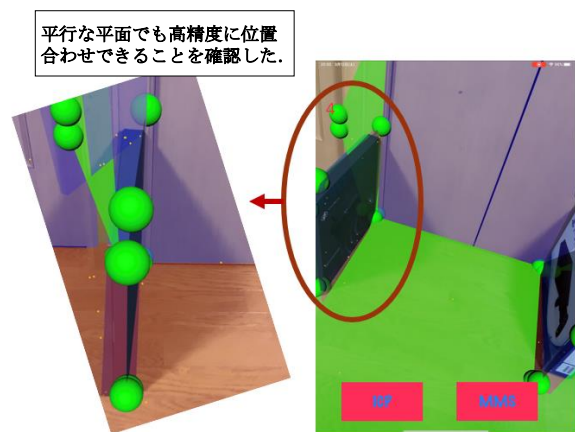


図-4 実験環境と結果（平行平面）

(1) アルゴリズムの検証実験

アルゴリズムの検証実験では、実験用の仮想環境を構築し、AR 表現された結果を確認する。具体的には、斜め平面環境における実験と平行な平面環境における実験を実施する。実験用の仮想環境には、GIS データの代わりとして、事前に環境内の 3 次元点群データを作成し、利用する。位置合わせの成功と不成功は、描画された頂点や面が現実空間と整合しているかで判断する。

a) 斜め平面における実験

本実験では、斜め平面が含まれる環境を対象として、正しく位置合わせできるかを検証する。実験環境と位置合わせに使用する平面、位置合わせ結果を図-3 に示す。図に示すとおり、高精度に GIS の幾何データが描画されることがわかった。

b) 平行な平面における実証実験

本実験では、平行同士の平面の場合に交点を削除する処理の有用性を確認するため、平行な平面を対象に実験を行う。実験環境と位置合わせに使用する平面は、図-3 の 2 つの箱を平行にしたものである。位置合わせ結果を

図4に示す．図に示すように，平行な平面を対象にしても正しく緑の面や頂点が描画されることを確認した．

(2) GIS データを用いた実験

本実験では，MMS で計測した GIS の幾何データと SLAM の環境地図とで位置合わせできるかを検証する．この実験では，横断歩道の白線箇所を AR 表現し，その精度を確認する．実験環境を図-5，位置合わせ結果を図-6に示す．図-6に示すように，白線の頂点に緑の円が描画されていることから，MMS データを対象としても高精度に位置合わせできることを確認した．また，平面選定処理の有無による比較を検証するため，平面選定処理なしの場合の結果を図-7に示す．平面選定処理なしの場合は，図-5の①～⑧のすべての平面を使用して交点を作成する．平面選定処理あり（図-6）の場合は，面積の拡大率の閾値により，①～③と⑧の平面を削除し，残りの平面の中で最新の⑤～⑦の平面で交点を作成している．図に示すように平面選定処理なしの場合では，描画箇所には大きなズレが発生することがわかった．このことから，平面選定処理が有効であると言える．

本実験結果から，GIS の幾何データを用いた位置合わせが高精度かつリアルタイムに実現できることがわかった．このことから，マーカレス AR の幾何学的整合性と時間的整合性の技術課題を解決できることを証明した．

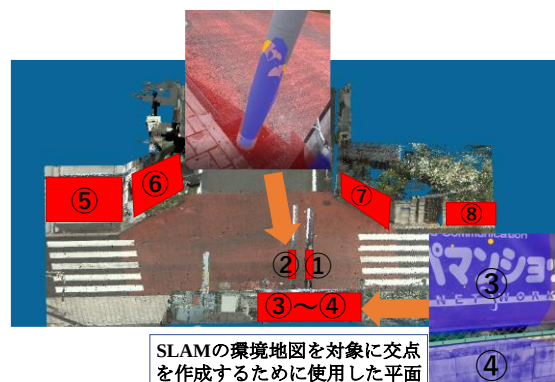


図-5 実験環境

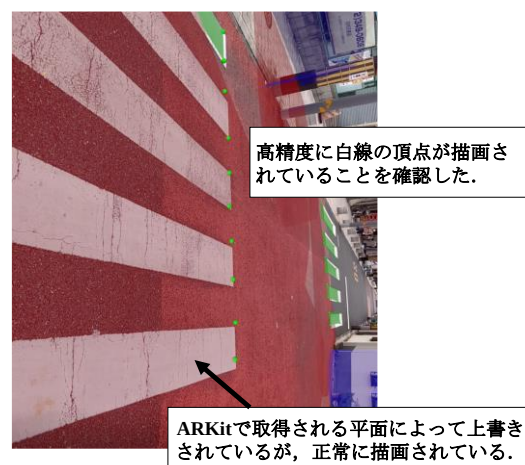


図-6 GIS データでの実験結果

5. おわりに

本研究では，SLAM 技術を用いて取得した環境地図と GIS の幾何データを位置合わせすることで，リアルタイムに AR 表現する技術を開発した．実証実験結果，SLAM の環境地図と GIS のデータを用いた位置合わせが高精度かつリアルタイムに実現できることがわかった．このことから，マーカレス AR の幾何学的整合性と時間的整合性の 2 つの技術課題を解決できることを証明した．今後は，移動ごとに位置合わせを補正する機能の実装や，点と面以外の AR 表現を予定している．



図-7 平面選定処理なしの結果

参考文献

- 1) 総務省：令和 2 年度版情報通信白書，日経印刷，2020.
- 2) 神原誠之：基礎 1：拡張現実感（Augmented Reality：AR）概論，情報処理，Vol.51，No.4，pp.367-372，2010.
- 3) 浅井優志，廣瀬詢，安室喜弘：橋梁点検における情報共有の為の手書きメモの AR 表示，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol.74，No.2，pp.118-124，2018.
- 4) 矢吹信喜：3 次元レーザースキャナとプロダクトモデルを用いた高精度の建設分野用屋外拡張現実感技術の開発，日本建設情報総合センター研究助成事業成果報告会資料集，Vol.9，No.2010-12，2011.
- 5) 佐藤佑亮，福田知弘，矢吹信喜，道川隆士：局所特徴量による画像マッチング手法を用いた建物維持管理のためのマーカレス AR システムの開発，情報（電算）シンポ，Vol.38，pp.157-160，2015.
- 6) 北川悦司，加藤諒，安彦智史，吉永京平，津村拓実：平面交線を用いた 3 次元点群データの位置合わせ手法の開発，情報処理学会論文誌，Vol.61，No.1，pp.49-59，2020.
- 7) Apple：ARKit：<<https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>>，（入手 2021.6.9）．