

修士学位論文要約（令和4年3月）

IMU を活用した屋内・屋外高精度位置計測システムに関する研究

庄司 恵太

指導教員：張山 昌論

A Study on high precision indoor-and-outdoor positioning system assisted with IMUs

Keita SHOJI

Supervisor: Masanori HARIYAMA

In recent years, measuring the position has been widely used for many applications, not only for geographical surveys. Such applications includes analysis of efficient movement in sports, and visualization of human relationships and development by analyzing childrens' behaviours. However, the performance of the current system is not efficient especially in the rate and robustness. This paper presents a system to enhance the rate and robustness of conventional positioning systems with Inertial Measurement Unit (IMU) while keeping the precision. We implemented two systems: a system with RTK-GNSS for outdoor measurement, and a system with uLocation-Q for indoor measurement.

1. はじめに

近年、位置計測はナビゲーションや地理情報の作成といった用途以外にも活用の幅が広がりつつある。位置情報の新たな活用方法としては、スポーツのダイナミックな動きを計測して効率の良い動きを解明したり、保育園での子供の行動を計測することで人間関係の可視化や発達の定量化といった解析の試みもされている。その一方で、既存の位置計測システムは必ずしもそれらの新たな活用方法に適したのではなく、計測の頻度や精度、機器の大きさや消費電力といった制約によって求められるデータを取得することが難しい場合もある。これらの問題点を解決し、特に小型で高頻度な位置計測システムを実現するため、本研究では屋外用に RTK-GNSS を、屋内用に uLocation-Q と IMU を組み合わせたシステムを構築し、位置計測の性能評価を行った。

2. IMU 単独による既存の位置推定手法

IMU 単独で位置計測を行う手法として、Zero velocity update (ZUPT)¹⁾がある。IMU では姿勢と加速度が取得できるが、加速度を積分して得た推定位置には誤差が蓄積する。ZUPT は蓄積する誤差を取り除く方法として、何らかの方法で速度が 0 になったことを検出し、速度 0 で IMU の誤差を補正する方法である。一般的には足などに IMU を取り付け、加速度による足取り検出によって速度 0 を推定することで IMU の誤差の補正を行い、歩行者の位置を計測する方法として用いられ。IMU 単独でも比較的正確なのが利点であるが、利用できる場面に限られるという問題がある。

ZUPT では時刻 0 と T の 2 点で速度 0 を検出した場合 $v(0) = v(T) = 0$ の条件を加え、以下のように測定値から誤差を得られる。

$$v(0) = v(T) = 0 \quad (1)$$

$$\int_0^T a(T) dt = 0 \quad (2)$$

$$\int_0^T a_{\text{error}}(t) dt = \int_0^T a(T) + a_{\text{error}}(t) dt \quad (3)$$

こうして得られた誤差に IMU の誤差モデルを当てはめることで IMU の誤差 $a_{\text{error}}(t)$ を推定し、測定値から差し引く。測定値から誤差を差し引いた値を積分することで速度 $v(t)$ と位置 $x(t)$ を得られる。速度 0 を検出する度に繰り返しこの処理を行う。

3. 位置情報、速度情報と IMU の組み合わせ

他の計測システムから速度を得られる場合に、これを IMU と組み合わせて IMU の誤差を補正する方法を説明する。

時刻 0 と T の 2 点で速度が得られた場合、この差とセンサの加速度を積分した値を比較することで誤差を求められる。それから ZUPT と同様の方法で、得られた誤差を誤差モデルに当てはめることで IMU の誤差 $a_{\text{error}}(t)$ を推定し、測定値から差し引く。

$$\int_0^T dt = v(T) - v(0) \quad (4)$$

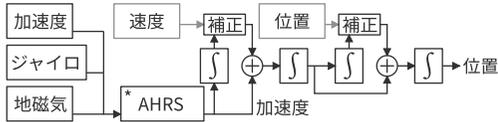


図1. 速度情報と位置情報を用いた補正を組み合わせたシステムの模式図

$$\int_0^T a_{\text{error}}(t)dt = \int_0^T a(T) + a_{\text{error}}(t)dt - (v(T) - v(0)) \quad (5)$$

測定値から誤差を差し引いた値を積分することで $v(t)$ と $x(t)$ を得られる。速度を取得する度に繰り返しこの処理を行う。

また、他の計測システムから位置を得られる場合に、これを IMU と組み合わせて IMU を用いた位置の推定に利用する方法を説明する。

前述したように、加速度を積分して得た位置には徐々に誤差が蓄積するため、速度情報を用いた誤差の補正だけでは不十分な場合に、これを補うために位置情報を使うことが考えられる。また、そもそも速度情報が利用できない場合にも、位置を利用することが考えられる。

速度の初期値 $v(0)$ が得られない場合に、前後の位置情報 $x(0), x(T)$ から $v(0)$ の推定を行う場合、以下のように表される。

$$v(0) = \frac{x(T) - x(0)}{T} - \int_0^T a^{(t)} dt \quad (6)$$

位置を取得する度に繰り返しこの処理を行う。この速度情報と位置情報を用いた IMU の補正を組み合わせたシステムの模式図を図1に示した。

4. 評価

組み合わせに用いる位置計測システムには RTK-GNSS に対応した Drogger GPS³⁾ と、AoA 方式の屋内測位システム uLocation-Q を用いた。IMU にはスタンドアロンの IMU である Xsens DOT²⁾ を用いている。それぞれの位置計測システムから取得した位置を問引いて IMU の補正に利用し、IMU による位置推定の結果と問引く前の位置計測システムによる位置とを比較して評価を行った。

RTK-GNSS との組み合わせについて5秒間隔で問引きを行った場合の結果を平面上に軌跡としてプロットしたものを図2に示す。

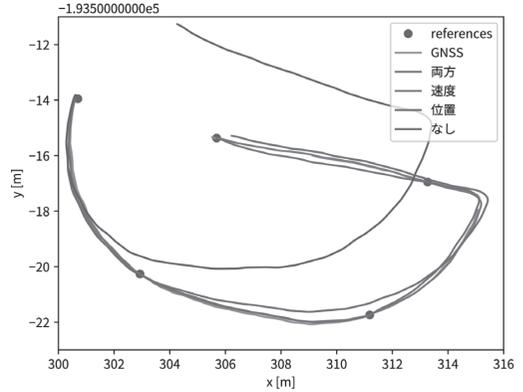


図2. RTK-GNSS と IMU の5秒間隔での推定結果

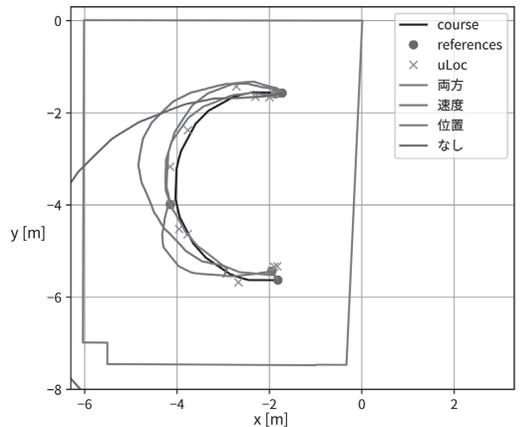


図3. uLocation-Q と IMU の5秒間隔での推定結果

5. まとめ

本論文では既存の位置計測システムに IMU を組み合わせることで IMU の誤差を補正し、位置推定を行うシステムについて述べた。実験から、速度情報を用いた IMU の誤差の補正が行えることを確認したが、今回の手法では速度情報だけでは補正が不十分であるという結果が得られた。

今後の展望として、今回の方法を応用した複数の位置計測システム間のシームレス化や、位置計測システムの小型化、低消費電力化などが見込まれる。

文献

- 1) Johan Wahlström, Isaac Skog, “Fifteen Years of Progress at Zero Velocity: A Review”, <https://arxiv.org/pdf/2008.09208.pdf>
- 2) “Xsens DOT User manual”, <https://www.xsens.com/hubfs/Downloads/Manuals/Xsens%20DOT%20User%20Manual.pdf>
- 3) “ZED-F9P Datasheet”, https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P-02B_DataSheet_UBX-21023276.pdf