

複数の追加設置型 IMU 搭載デバイスを用いたバックホーの姿勢推定

速水 邦晃 (東北大学), ○西村 和真 (東北大学), 亀岡 遼太 (東北大学),
永谷 圭司 (東北大学)

The Pose Estimation of the Backhoe using Additional Installation Devices with IMU

Kuniaki HAYAMI(Tohoku Univ), ○Kazuma NISHIMURA (Tohoku Univ),
Ryota KAMEOKA(Tohoku Univ), and Keiji NAGATANI(Tohoku Univ)

Abstract: This paper describes an easy-to-install pose estimation device for remote operating construction machines. Under disaster situations, quick emergency restoration works for preventing a secondary disaster are essential. During remote control operation of these machines for performing the emergency restoration work, it is important to acquire the pose of the machine especially with several links like backhoes. In this research, the authors have developed an additional installation pose estimation device with IMU. The device is easily attached to each link of the construction machine by a magnet. This paper reports the structure of the device and evaluation result of the pose estimation by field test on the backhoe.

1. 緒言

近年、日本では大雨や地震、火山噴火などの自然災害が多く発生している。そうした自然災害が発生した際、土石流や土砂崩れ、洪水などの二次災害を防ぐことを目的とした迅速な応急復旧作業が行われる。このような現場では、安全の確保が十分取れない中で作業を行う必要があるため、大きな危険を伴う。そのような過酷環境下では、遠隔での操縦操作により人の搭乗しない建設機械などを用いて作業を行う、「無人化施工」の実現が求められる。これまでに、安全な場所から作業箇所周辺の無人カメラ車からの映像情報を用いて操作中の建設機械の姿勢などを確認しながら、遠隔操縦操作用に改造された建設機械により作業を行う手法[1]や、一般の建設機械に遠隔操縦ロボットを搭載して遠隔操縦化させる手法[2]さらには、特定の作業を決められた通りに動作する自律式の建設機械が開発され、実証実験が進められている[1]。しかしながら、災害発生直後で、現場の状況が十分に把握できない中で二次災害防止措置としての迅速な応急復旧作業を行う場合、遠隔操作用に改造された建設機械や、無人カメラ車、建設機械に搭載する遠隔操縦ロボットといった、無人

化に必要な設備機器は、ほとんどの災害現場には配置されておらず、設備機器の運搬に時間がかかる問題がある。さらに、遠隔操縦ロボットの設置・調整には時間を要するため、災害発生時に迅速な対応が困難であるという問題も指摘されている。

以上を踏まえ、本研究では、一般の建設機械を用いることで迅速な応急復旧を可能とする無人化施工システムの開発を目的として、建設機械への取付が容易な遠隔操縦用装置、および、建設機械の姿勢情報を容易に取得して作業者に伝えることで、無人カメラ車を必要としない操縦操作システムを開発している。本稿では、建設機械の姿勢を推定するために開発した、追加設置型 IMU 搭載デバイスについて紹介し、それを用いて実際の建設機械に取り付けて実施した姿勢推定試験について述べる。

2. 追加設置型 IMU 搭載デバイスの開発

災害発生時に迅速な応急復旧を可能とする建設機械の無人化施工システムにおいて、遠隔で操縦する建設機械の姿勢情報は、操縦者の操作を容易にし、作業の正確さとスピードを実現するために必要である。また、従来の無人化施工で用いられるカメラ車の代わりに、

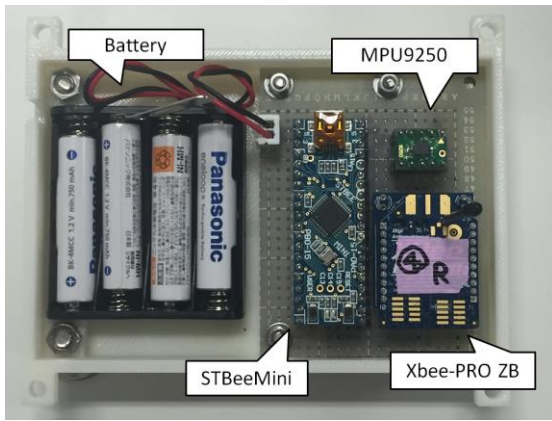


Fig.1, Additional installation device

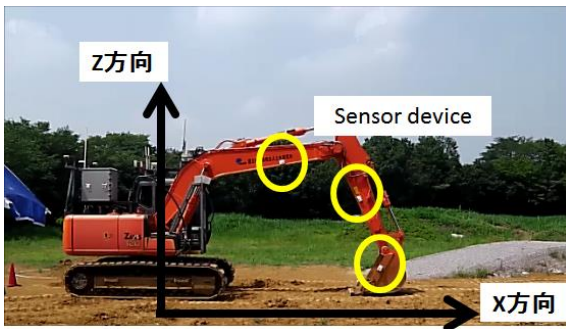


Fig.2, The backhoe attached a number of sensor device

容易に取り付け可能な機器を用いて建設機械単体で姿勢情報を獲得できれば、必要な機器を最小限に抑え、迅速な応急復旧作業が可能となる。そこで本研究では、建設機械に容易に取り付け可能な追加設置型センサーデバイスを複数台用いることにより、建設機械の本体や各可動部の姿勢を測定し、得られた角度から順運動学を解くことで建設機械の姿勢を推定するシステムを開発した。

2.1 追加設置型 IMU 搭載デバイスの構成

本研究で開発した、建設機械の各リンクや車体の角度を取得する追加設置型 IMU 搭載デバイスの構成を以下に示す。開発したデバイスは、バッテリー (Eneloop 単 4, 1.2V / 4 本) と 9 軸センサモジュールである IMU (Strawberry Linux 社製, MPU-9250), IMU から取得した 3 軸の加速度, 3 軸のジャイロのセンサ情報を処理して姿勢を推定するマイクロコントローラ (Strawberry Linux 社製, STBee-Mini), 無線通信を行う通信機 (XBee-PRO ZB / ワイヤアンテナ型) で構成される (Fig.1)。また、デバイスの寸法は縦 120mm, 横 97mm, 高さ 40mm で、重量が 272g である。

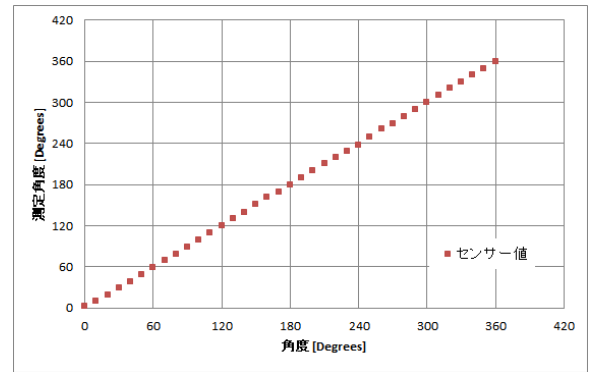


Fig.3, Evaluation of sensor

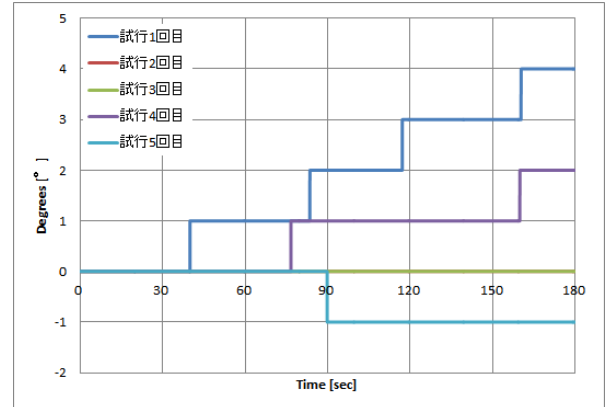


Fig.4, Drift evaluation

建設機械への設置にはネオジウム磁石を用いた。建設機械に取り付けた際の外観を Fig.2 に示す。Fig.2 のように、各リンク上の干渉や土石などが当たらない任意の位置に磁石で吸着させて設置できる。

追加設置型 IMU 搭載デバイスでは、取り付けした建設機械のリンクの角度の算出を行う。角度の算出には搭載した IMU の加速度情報とジャイロセンサの情報を用いて行っており、重力方向を検出し、そこから角速度の積分により回転の角度を算出している。

2.2 追加設置型 IMU 搭載デバイスの精度評価

開発した追加設置型 IMU 搭載デバイスの姿勢推定精度を確認する試験を行った。Fig.3 に、卓上でデバイスを 10° ずつ回転させ、デバイスで算出した角度と傾斜計との角度の比較検証を行った結果を示す。試験結果から、センサの姿勢は最大 5% 程度の誤差で推定できていることが確認できた。開発したデバイスは、姿勢を角速度の積分により推定するため、ジャイロセンサの温度特性などによるゼロ点のずれにより、角度のドリフトが発生する。この影響を確認するため、ドリフト

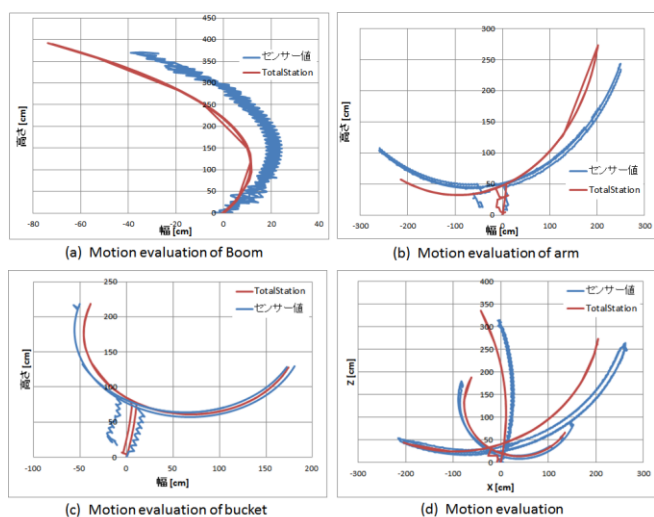


Fig.5, Motion evaluation

量の評価を行った。デバイスが静止した状態で3分間角度計測を行った際の姿勢推定結果を Fig.4 に示す。5回試験を行ったところ、3分間で平均1度のドリフトが生じた。ドリフトの影響を抑える方法としてはコンプリメンタリフィルターやカルマンフィルタなどを組み込む方法が考えられたが、今回のフィールド試験では、基本的な動作の検証を目的としており、一度の試験の計測時間が短いことから、各計測前にセンサをリセットするプログラムを組み込むこととした。

3. 建設機械を用いて行った姿勢推定試験

開発したデバイスを用いて行った建設機械のブーム、アーム、バケットの姿勢推定試験を行った。試験内容は、建設機械の各可動部であるブーム、アーム、バケットをそれぞれを独立で往復運動させる独立動作試験と、各可動部の往復運動を続けて行う一連動作試験を行い、その時の姿勢とバケット先端の軌跡を推定した。本試験は、国立研究開発法人土木研究所にご協力頂き、日立建機の油圧ショベル ZX120 を用いて実施した。また、建設機械の姿勢推定を検証するために、測量に用いられる自動追尾型トータルステーション(以下 TS とする)により測定した、バケット先端の動作軌跡を真値として用いた。

3.1 姿勢推定試験の結果と考察

建設機械のブーム、アーム、バケットの独立動作試験、また一連動作試験時の試験結果を Fig.5 に示す。

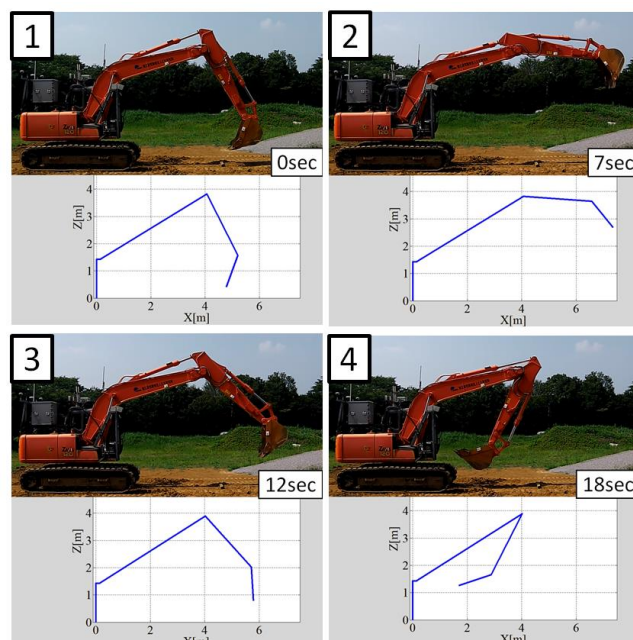


Fig.6, The pose estimation of the backhoe

Fig.5 (a)よりブームの姿勢推定において、ブームの動作角が大きくなるほど TS 軌跡との差異が大きくなるのが分かった。その誤差は最大で、X 方向 35cm、Z 方向 22cm となった。また、推定値の動作軌跡が振動することが分かった。ただし、Fig.5 (d)より、振動の幅は 5cm 程度であり、建設機械全体の寸法に対しては十分に小さな計測誤差と考えられる。Fig.5 (b)よりアームの姿勢推定においても、ブームの時と同様にアームの動作角が大きくなると、TS 軌跡との誤差が大きくなっていることが分かる。その誤差は最大で、X 方向 48cm、Z 方向 50cm であった。また、Fig.5(c)に示すバケットの姿勢推定においては、その誤差が X 方向 12cm、Z 方向 0cm と、よく推定できていることが確かめられた。

一方、アームの往復動作中の、センサ情報を用いた建設機械の姿勢の推定結果と、実際の建設機械姿勢の写真の比較を Fig.6 に示す。この結果から、開発したデバイスを用いて、建設機械の姿勢を推定できていることがわかった。

以上より、開発したデバイスを用いて、建設機械の姿勢を推定できることが分かった。しかし、ブームやアームの試験結果のように、動作角が大きくなった際の推定精度向上などの課題が確認できた。

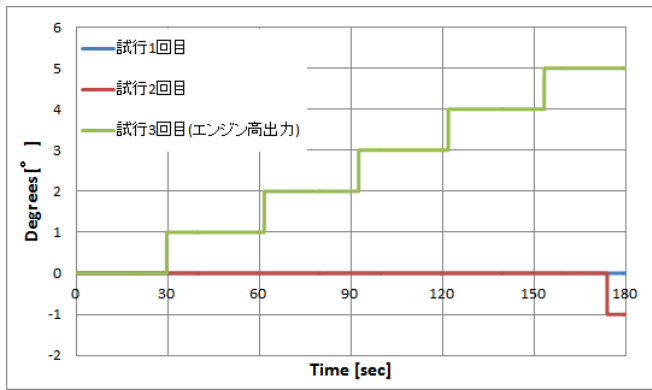


Fig.7, Drift evaluation near engine

3.2 ドリフト検証試験結果

開発したデバイスのドリフト評価について、建設機械のエンジンの振動のドリフト量への影響を検証したグラフを Fig.7 に示す。2.2 章で行ったセンサー単体での検証と同様にエンジンをかけた状態で 3 分間試験を行った。3 回の平均は 3 分間で 1.3 度程度ドリフトしており、センサー単体での測定結果と大きな差異はなかった。

4. 結言

本稿では、一般の建設機械を用いることで迅速な応急復旧を可能とする無人化施工システムの開発を目的として、建設機械の姿勢を推定する追加設置型 IMU 搭載デバイスの開発および、実際に建設機械で行った姿勢推定試験の結果について報告した。

今後は、開発したデバイスにドリフト補正のためのフィルターを実装した上で、建設機械の本体姿勢、旋回情報を含めた姿勢推定を行い、その有用性を検証する。

5. 謝辞

本研究は、国立研究開発法人土木研究所のご協力により、建設機械をお借りして試験を実施した。ここに謝辞を表す。

6. 参考文献

[1] 新田恭士, 松尾修, 北原成郎, 黒田昇, 田村圭司, 下田孝, "超長距離無人化施工技術の適用性に関する考察—雲仙普賢岳における超長距離遠隔操作実証実験の概要—", 第 13 回建設ロボットシンポジウム・日本ロボット工業会

[2] 山元弘, "建設工事における無人化施工", 建設マネジメント技術 2007 年 6 月号

[3] 近藤高弘, 青木浩章, 宮崎裕道, "建設業における無人化施工の現状と将来", 大成建設技術センター報 第 44 号(2011)