

安価かつ高精度な RTK-GNSS と IMU モジュールを用いた ICT 施工の試行

立命館大学 正会員 ○横山 隆明
 建設 IOT 研究所 正会員 nurulnajwa khamis
 環境風土テクノ 正会員 本田 陽一
 可児建設 正会員 可児 憲生

1. はじめに

MEMS 技術の発達により小型で高性能かつ安価なセンサが普及してきている。MEMS により小型化されたセンサは IC や半導体素子とともに 1 枚のボードに組み込まれ使いやすさを高めたモジュールが各種ベンダーから販売されており、誰でも容易に複数の電子部品ショップで購入して利用できる。本試行ではこのようなモジュールのうち 2 周波 RTK-GNSS モジュールを用いた位置計測システムと IMU モジュールを利用した角度計測システムを作成し ICT 施工の試行を行った。

2. 計測モジュールの選定

位置計測システムには ZED-F9P 搭載の 2 周波 RTK-GNSS モジュールを用いた。このモジュールは電子部品を扱う複数のショップにて容易に購入可能で、2021/3 末現在で、31,892 円/個¹⁾ である。

角度計測システムには BN0055 搭載の 9 軸方位/慣性計測モジュールを用いた。この IMU モジュールは、3 軸加速度計、3 軸磁力計、3 軸ジャイロ스코プの機能を統合し、クォータニオン、オイラー角、ベクトルの形式で出力することが可能である。このモジュールも複数のショップにて容易に入手可能で、2021/3 末現在で、5,489 円/個²⁾ である。

3. 計測システムの作成および動作確認

位置計測システムは小型化のため RTK-GNSS モジュール、データ記録用 μ SD カードモジュール、マイコンである ESP32 の 3 層構造とし、状況を表す 3 つの LED を取り付け装置全体は 3D プリンタで作成したカバーで保護することとした。図 1 に作成した位置計測システムを示す。本システムの総額は約 3 万 5 千円/個であった。



図 1 位置計測システム

角度計測システムは、小型の ESP32 である M5StackATOM を利用し、角度データを ESP32 の無線規格 ESP-NOW で受信側の ESP32 に送信することとした。受信機には時刻情報を記録するために RTC モジュールを組み込み、受信データを μ SD カードに記録する方式とした。事前に研究室内の無線操縦建機模型に取り付け、角度データの送信と受信側 ESP32 に繋げたノートパソコン上で Processing プログラムによる重機模型の挙動のリアルタイム表示を確認した。図-2 に挙動確認時の様子を示す。本システムは角度データ送信側で約 6 千円/個、受信側で約 3 千円/個であった。

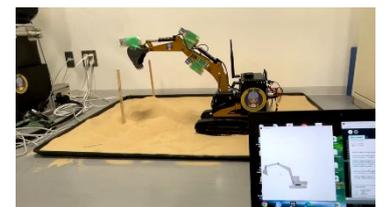


図 2 角度計測システムの動作確認状況

4. 建設現場での試行

建設現場で重機へ実装し挙動計測を行った。計測対象の重機は MG 方式のショベルカーで、計測時の作業は川岸の法面整形作業と整地作業である。ショベルカーのバケット、アーム、ブームに IMU 計測器を設置し、ショベルカーの屋根には受信機と RTK-GNSS モジュールを 2 個設置した。稼働時間は午後 13 時から作業終了までの約 4 時間で、各 IMU は取り付け位置の角度データを 8Hz で送信し、ショベルカー屋根に設置した受信 ESP32 が送られてきたデータを μ SD カードに記録

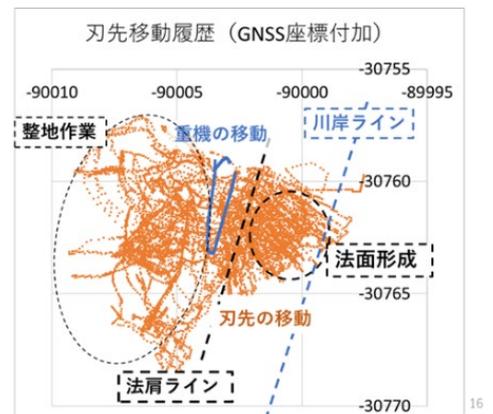


図 3 刃先移動履歴

することとした。

図3に重機の挙動解析例を示す。図中のオレンジ色の点は各IMUの角度データおよびRTK-GNSSデータから算出したバケット刃先の位置を表す。RTK-GNSSは計測場所から20kmほど離れた地点に設けた自前の基地局から配信されるデータを用いた。図3を見ると、今回の作業の前半に行っていた川岸法面の形成作業のバケット先端位置の軌跡が平行な軌跡として捉えられ、後半に行っていた整地作業時にはランダムなバケット先端の動きとしてとらえられていることがわかる。

次に掘削作業時の重機挙動の計測を行った。計測時はショベルカー正面で掘削し上から見て時計回りに90度回転して掘削した土砂を捨てるという掘削作業を模擬的に行っていた。稼働開始時の各部の角度をゼロとして作成した模擬掘削時のバケット・アーム・ブームの回転角度を図4に示す。図4を見るとまずはバケットが土壌をすくい取るためアームと共同で動き土壌を抱えた状態で本体が回転し約90回転した時点でバケットが抱えた土壌を排土、本体が元の位置に戻るために逆方向に回転して掘削挙動が終了している。今回の模擬掘削作業では主にバケット・アームが稼働し、ブームはそれほど稼働していないのがわかる。

上記の角度データをオープンソースの3DCGソフトであるBlenderに入力して重機挙動シミュレーションを行った。シミュレーション結果を図5に示す。図5にはシミュレーションによる

重機の動きと、シミュレーション時の各部の寸法と角度変化から算出したバケット刃先位置を平面上での位置と3次元空間で示している。図中のカメラ方向はシミュレーション画像の作成の際に設定したシミュレーション空間でのカメラの位置の方向である。今回のようにシミュレーションを行うことで各部の動きを可視化し、刃先の位置データなど必要なデータを新たに抽出することも容易になる。

5. まとめと今後の課題

小型で高性能かつ安価なセンサを用いた2周波RTK-GNSSモジュールとIMUモジュールを用いて重機の位置計測と各部の角度計測を行いICT施工の試行を試みた。位置データと角度データを用いることで、重機の稼働状況の分析、リアルタイムでの重機挙動の表示、データを用いた挙動シミュレーション及び各データの抽出などが可能であることが分かった。

今後は精度の検証、耐久性の向上などを図り、システムとしての操作性を改善していくことを通じて安価かつ高精度なICT施工の創出を行っていきたいと考えている。

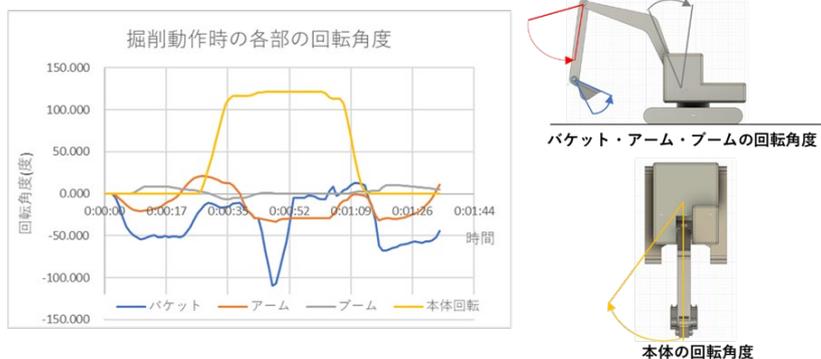


図4 掘削挙動時の各部の角度変化

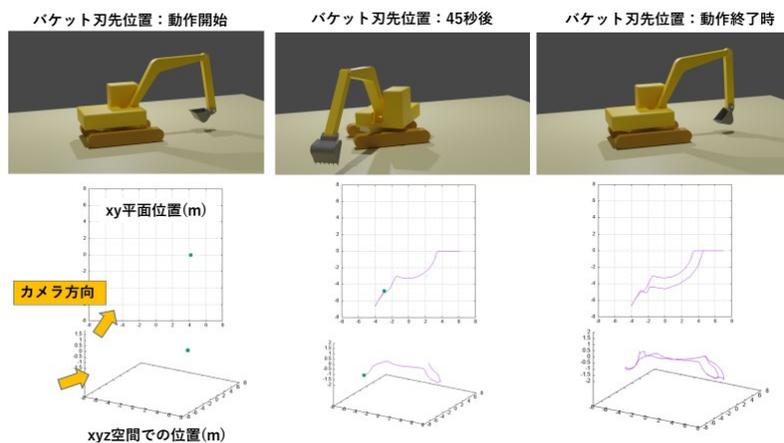


図5 重機シミュレーションとバケット刃先位置の表示

¹⁾ スイッチサイエンス <https://www.switch-science.com/catalog/6365/>

²⁾ スイッチサイエンス <https://www.switch-science.com/catalog/5511/>

キーワード RTK-GNSS, IMU, 角度データ, 重機挙動, シミュレーション

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大学理工学部環境都市工学科 070-561-4890