

# 6 軸センサによる長距離経路情報の取得とその問題点について

新開 裕\* Du Xin‡ 山口 佳樹†

\*筑波大学 情報学群 情報科学類

‡筑波大学 システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻

## 1 はじめに

慣性航法とは、英語では Inertial Measurement Unit とよばれ、センサからの加速度を積分し距離を求め、ジャイロセンサ・地磁気センサで方角を検知し、移動距離・方角から起点からの移動距離を算出するものである。この方法では移動距離の算出に GPS を用いないため、屋内やアーバンキャニオンと呼ばれる受信不能エリアにおいての位置測定も可能となる。

本研究では 6 軸センサを用いた慣性航法に関する演算を FPGA 上に実装し、リアルタイムに走行データ取得また修正することを目的とする。

## 2 試作システムの概要

本研究では、Xilinx 社 Spartan6 XC65SLX45 を使用した。6 軸センサは Advanced Navigation 社の Spatial を用いた。また、本研究において FPGA 上に実装された機能および回路を以下で述べる。

### 2.1 非同期シリアル通信回路 (UART)

6 軸センサと FPGA は UART で通信する。データ受信並びに転送時のフォーマットを表 1 に示す。

表 1 UART のフォーマット

スタート bit	Low
ストップ bit	High
データ長	8bit
ボーレート	115200
クロック周波数	100MHz

UART におけるデータパッケージは Header 部と Data 部から構成される。Header 部は Packet Header に含まれる LRC, ID, Length, CRC16 を用いて以下の式で求めることができる。

$$LRC = ((packet_{id} + packet_{length} + crc[0] + crc[1]) \hat{=} 0xFF) + 1$$

上式の  $\hat{=}$  は XOR を示す。

パケット選択後、加速度変換を行う際の回路選択は有限オートマトンを用いて行った。図 1 にデータ選択における状態遷移図を示す。

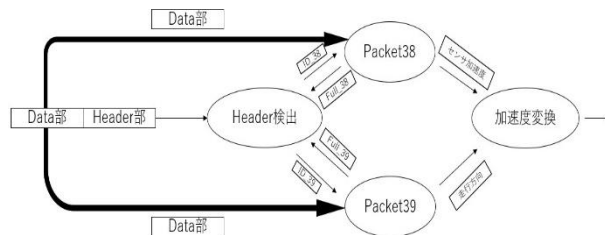


図 1 データ選択時の状態遷移

### 2.2 加速度変換回路

FPGA には、計測した瞬間のセンサの位置を基準とした加速度が送信される。このため、FPGA 上では、センサの並進や回転を考慮し、受信した差分を基に新しいセンサの位置を更新しなければならない。本実験系におけるセンサにおける座標系は、センサコネクタ方向を x 軸、その右方向を y 軸、センサ上下方向を z 軸としている。加速度変換には、まず、センサ座標系を重力方向 (z 軸)、経線方向 (x 軸)、緯線方向 (y 軸) と定義するグローバル座標系に変換する。センサ座標系は Heading, Pitch, Roll 方向の順に回転が適用されるため、グローバル座標系への変換には以下の回転行列を用いる。ここで各方向の回転角を  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  とする。

$$R_z(\gamma)R_y(\beta)R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

### 2.3 積分回路

グローバル座標系に変換された加速度を時間で二重積分することにより移動距離を算出する。本稿ではセンサのサンプリング周波数は 50 Hz であるため積分区間は 0.02 秒とする。また、このとき、台形積分を適用している。

## 3 筑波大学内道路走行による実走実験

本実験では、筑波大学内道路 (東西、南北共に約 600m のループ道路) を走行した。実験で使用した加速度センサは車内運転席と助手席の間の肘

A study of long-distance tracking by six degrees of freedom sensor

\* College of Information Science, University of Tsukuba

‡ Department of Computer Science, University of Tsukuba

掛け部に設置し, GNSS アンテナをループ部に設置した. GPS と IMU の双方を利用して求められた走行ルートを図 2(a)に, IMU のみにより求められた走行ルートを図 2(b)に示す.

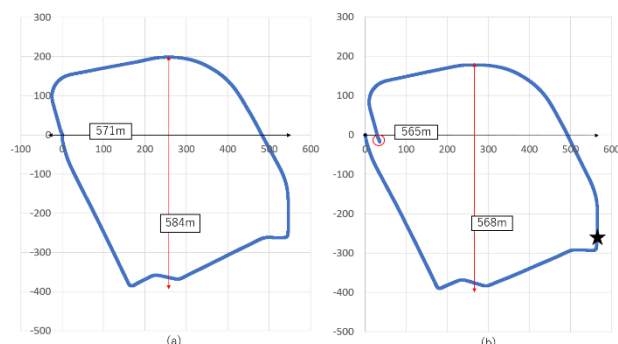


図 2 (a)GPS+IMU による走行ルート (b)IMU のみによる走行ルート

(a)は, 総走行距離 2333.544[m]と求められ, 南北の移動 1191.0304[m], 東西の移動 1142.5136[m]であった. (b)は, 総走行距離 2334.752[m]と求められ, 南北の移動 1188.49754[m], 東西の移動 1146.254465[m]であった.

(a)において, スタート地点とゴール地点の絶対誤差は南北方向 1.5m, 東西方向 1.4mとなっていた. この相対誤差は南北方向で 0.26%, 東西方向で 0.25%であり, 走行ルートについてはこれを真値と仮定し(b)について検証を行った.

図 2(b)に, 最大誤差が得られた南北方向, 東西方向のそれぞれの地点を★, ○で示す. また, 以下の表 2 に総走行距離, 南北方向・東西方向の誤差を示す. 加えて, 表 3 に(a), (b)のゴール地点の座標を表 3 に示す.

表 2 総移動距離誤差並びに最大誤差

総走行距離誤差	1.21m	0.0518524%
南北方向総移動距離誤差	-2.53286m	0.2126612%
東西方向総移動距離誤差	3.740865m	0.3271378%
南北方向最大誤差	-32.025523m	2.6888922%
東西方向最大誤差	34.874207m	3.0524107%

表 3 ゴール地点での比較

(a)でのゴール座標	x	-1.676m
	y	1.438m
(b)でのゴール座標	x	-17.934m
	y	35.964m

### まとめ

IMU による速度の値において, 正負の切り替え

がスムーズに行われていなかった. これは IMU における速度の値は以前までの値をもとにしているため, サンプル周波数により値の変動が正しく行われていなかったことが原因と考えられる.

IMU によるルートでは, センサのオフセットを完全には取り切れていないことに加え, 誤差を残したまま加速度を二回積分することにより, その誤差が累積されてしまい位置測定が正しく行われなかったと考えられる. また, サンプル周波数増大ならびに回転行列の計算に対して, 今回用いた FPGA ボードでは回路規模が不足しており, 回転行列における sin, cos の値を近似的に用いなければならず, それによる移動距離の誤差が生まれてきてしまった.

総移動距離の誤差に対して, ゴール地点での位置のずれが大きくなってしまった.

今後の課題として, センサのオフセットをより正確に取り除くためのフィルタの開発, より効率的な計算方法の確立を行う.

### 参考文献

- [1] Hideharu Amano, Principles and Structures of FPGAs, Springer, 2018.
- [2] 小河原 亮, 羽多野 裕之, 藤井 雅弘, 伊藤 篤, 渡辺 裕, GPS 測位情報とセンサ情報に基づく位置推定システムに関する研究, 情報処理学会論文誌, vol.56, No.1, pp.2-12 (2015)
- [3] 金丸 幸弘, 鈴木 秀和, 旭 健作, 渡邊 晃, 位置推定技術を用いた無線ネットワークの可視化システムの提案, 情報処理学会研究報告, 2012
- [4] 星野 晋一郎, 加速度・ジャイロ・回転角センサを用いた形状計測システムの試み, 群馬大学大学院理工学府平成 30 年修士論文
- [5] Ryuichi Takahashi, Yoshiyasu Takefuji, Instructional Scaffolding for ASIP Design Education with System Verilog Assertion considering Situated Nature of Learning, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.16, No.10, pp.116-121, October 2016