

## 水田用抑草ロボットの走行制御システム構築及び 稲列検出評価システム構築の検討\*

西田 好宏<sup>\*1</sup>

### Studies of Servo Control System and Building Estimate System for Autonomous Proximity Operations of the Weeding Robot “TAMBA”

Yoshihiro NISHIDA <sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering

Increased public interest in food safety and clean agriculture (e.g., ecological agriculture, organic culture and agrochemical-free cultivation) is driving a production system change from dependence on and use of agrochemicals toward their elimination. However, this raises a huge time- and labor-consuming problem with weeds. The weeding robot “TAMBA” decreases weeds in paddy fields without resorting to herbicides. “TAMBA” autonomously travels while avoiding rice plant rootstocks. Final goal is to runs on schedule, return to the docking station and recharge like “ROOMBA”. In this time, we studied servo control system for 4 servo-motors and 4 brushless-DC-motors. Additionally, we built up estimate system. We can use this estimate system for studying image processing algorithm on the Raspberry Pi with USB cameras.

**Key Words :** Weeding Robot, Paddy Fields, TAMBA, Servo Control System

#### 1. 緒 言

福井県は第二の食料自給率を高めようとしており、そのブランドイメージ向上のためにも減農薬の推進が必要とされている。また農業従事者の高齢化のため、農家の労働や作業の負担を少しでも低減することが重要な課題となっている。そのため、産学官連携で稲作用除草ロボットの研究開発を行っており、4輪独立のクローラタイプの TAMBA 試作機を開発している。

この試作機は制御用ボードとして Raspberry Pi を採用し、センサとして最大4個のカメラを搭載し、8個のモータを制御する。昨年度と同様に、株式会社シマノが筐体の設計及び製作を行い、福井高専が GPS を中心に担当し、本学は画像処理やモータ制御を含むシステムコントロールを担当している。

昨年度は、どのような OS や端末からでもブラウザでアクセスすることで TAMBA の操作やモニタリングを可能にするためのウェブサーバーの構築<sup>(2)</sup>を行った。

今年度は、Raspberry Pi を用いて4個のサーボモータと4個のブラシレス DC モータの合計8個のモータを制御する走行制御システムの構築を行った。全てのモータはラジコンからも制御が出来るようパルス幅で制御する構成とし、Raspberry Pi の GPIO だけで8つの正確なパルス幅の信号 (PWM) を発生させるのは困難なため、外付けの PWM 生成基板を使用した。今回 16 チャンネルの PWM を生成可能な Adafruit 製基板 ADA-2327 を使用し、そのうちの 8 チャンネルだけを利用する。一方、実験室で稲列検出及び自動走行の検討を進めるために評価用の走行体を構築する必要がある。そのため Arduino Leonardo ベースの高い運動能力がある Pololu 製クローラロボットの Zumo に Raspberry Pi を搭載した Raspberry Pi on Zumo キットを利用した。この場合、Firmata プロトコルを使用し Arduino を通してモータ制御するため PWM を用いる実際の TAMBA と制御方法が異なるが、カメラの画

\* 原稿受付 2018 年 2 月 28 日

<sup>\*1</sup> 工学部 電気電子工学科  
E-mail: nishida@fukui-ut.ac.jp

像処理は TAMBA と同様に Raspberry Pi で行えること、実験室での扱いが容易というメリットがある。

## 2. 抑草ロボット TAMBA

稲作においてはコンバインやトラクターなどの大型の機械を使用した稲作が一般的である。多くの農家はそれらを利用して稲作を行っており、飛躍的に田植え及び稲刈りの効率は向上した。しかし、稲作を行うにあたり農家が一番苦勞する点は除草である。農薬を使わず、人の手にも負担をかけずに美味しいお米を多くの人に食べてもらいたいという発想から、除草ロボットや抑草ロボットの開発が全国で行われている。

福井県でも、平成 26 年度より県と株式会社シマノ及び本学が連携して、水田用抑草ロボット TAMBA の機能モデルを製作した。平成 27 年度からは福井高専も加わり TAMBA 試作機の製作を行っている。

### 2.1 TAMBA のコンセプト

TAMBA はアイガモロボット<sup>(1)</sup>と同様に水田内を動き回ること、発芽したての雑草が根付かないように、また光合成をさせないことにより雑草の生育を抑制することを目的としている。さらに、稲を跨ぐ形で自律走行し、バッテリーが消耗した際には自動で充電ステーションに帰還し充電を行うシステムを目標としている。今回の試作機を Fig. 1 に TAMBA の利用イメージを Fig. 2 に示す。

TAMBA は 4 輪独立のクローラを持ち、各クローラの根元部分を回転させることで、前後移動だけでなく、左右移動、旋回も可能となり移動の自由度が高い。

また、Fig. 1 の赤丸のところに画像センサとして最大 4 個のカメラが搭載でき、カメラは前方斜め下方向の画像を取得することが出来る。

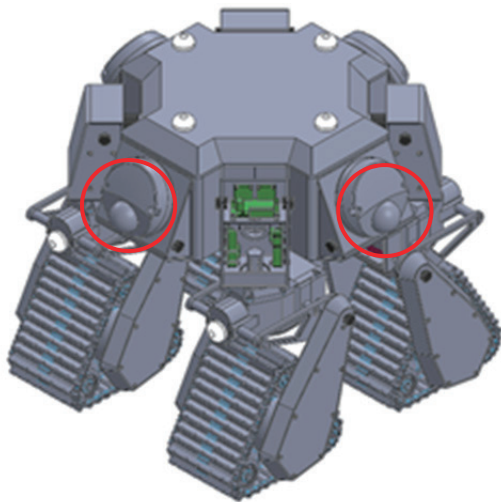


Fig. 1 TAMBA prototype model

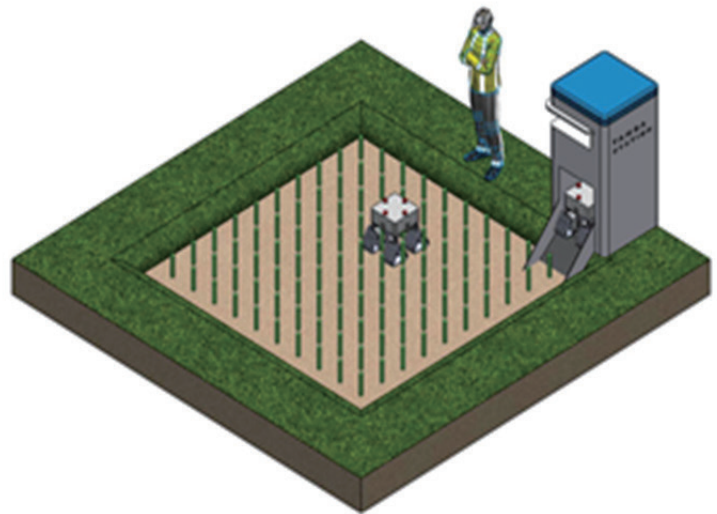


Fig. 2 Image of TAMBA system

### 2.2 制御システム

TAMBA の制御コンピュータとして、教育用小型コンピュータの Raspberry Pi 2 を利用する。Raspberry Pi は Linux ベースの OS の Raspbian が動作し、USB や LAN 環境を備えているため USB カメラや IP カメラを接続して画像処理を行うことができる。また、無線 LAN を用いて充電ステーションや端末とネットワークを構築し、ネットワークを介して本体の操作やモニタリングを可能にする。通常は前述した通り、稲を跨ぐ形で自律走行を行うことを基本とするが、必要に応じて手動モードに切り替えての操作やバッテリーの状態やカメラ画像のモニタリングを行えるようにシステムを構築する。

### 3. 走行制御システムの構築

#### 3.1 ブロック図

TAMBA の Raspberry Pi 周辺ブロック図を Fig. 3 に示す．4 方向に設置した USB カメラからハブを通して稲列検出用の画像を入力する．Raspberry Pi の GPIO を通して Adafruit 製の 16 チャンネルの PWM を生成可能な HAT (Hardware Attached on Top) 基板 ADA-2327 を使用し、そのうちの 8 チャンネルを利用する．PWM のパルス幅はラジコン受信機との互換性を持たせるために、 $1520\mu$  秒を中央値として制御する．

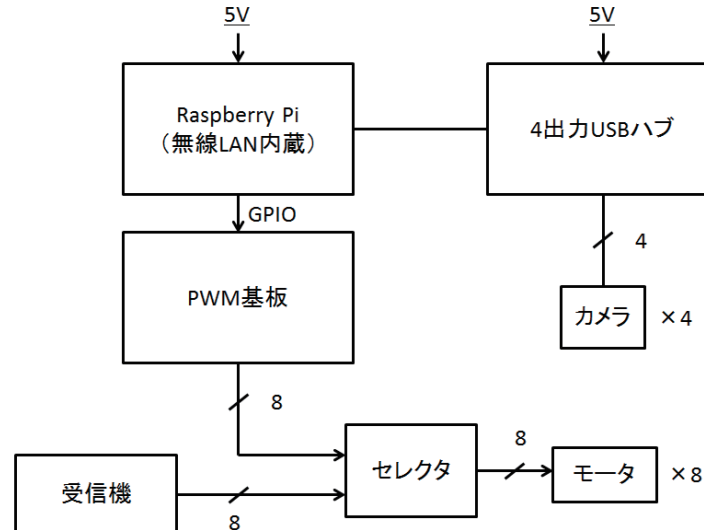


Fig. 3 Servo System Block Diagram

#### 3.2 PWM 発生方法

PWM 発生基板 ADA-2327 のドライバを組込むことで、PWM 発生の関数ができる．PWM の周期を 60Hz とすると分解能は 4096 (12 ビット) で約  $4\mu$  秒である．今回の PWM パルス幅の中央値は  $1520\mu$  秒なので、PWM の中央値  $\text{servoMid} = 380$  と設定した．ソースコードの一部を Fig.4 に示す．ここで、`pwm.setPWMFreq(60)` は周期を 60Hz に設定すること、`pwm.setPWM(1, 0, servoMid)` はチャンネル番号 1 の PWM をカウント値 0 でパルスを立上げ、カウント値  $\text{servoMid}$  でパルスを立下げを意味する．

```

#!/usr/bin/python

from Adafruit_PWM_Servo_Driver import PWM
import time

# Initialise the PWM device using the default address
pwm = PWM(0x40)

servoMid = 380                                # Mid pulse length out of 4096
servoMin = 255                                # Min pulse length out of 4096
servoMax = 505                                # Max pulse length out of 4096

...

pwm.setPWMFreq(60)                            # Set frequency to 60 Hz
pwm.setPWM(0, 0, servoMid)
pwm.setPWM(1, 0, servoMid)
  
```

Fig.4 A part of source code

60Hz, 中央値の  $1520\mu$  秒でパルスを出力した例を Fig.5 に示す.

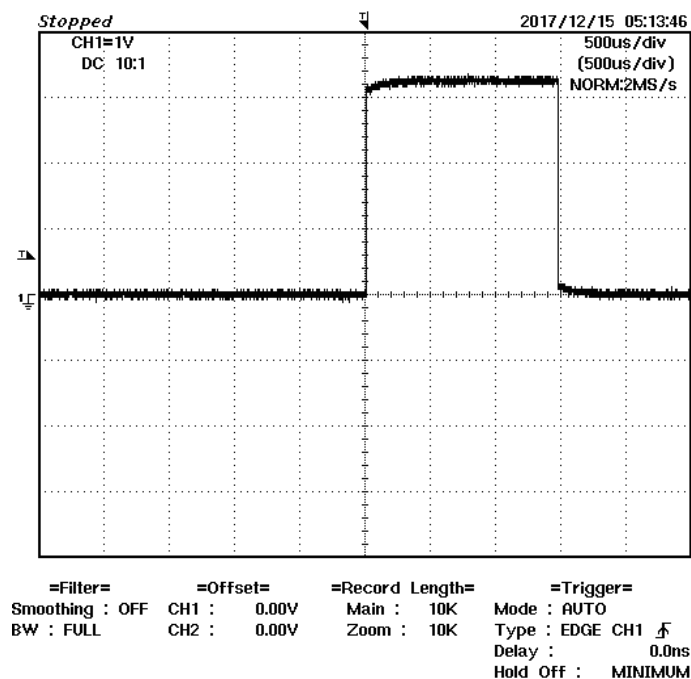


Fig.5 An example of PWM pulse

### 3.3 動作実験

今回の PWM の基板で発生させたパルスで4個のサーボモータと4個のブラシレス DC モータの合計8個のモータを制御する実験を行った. 同時にカメラ画像の取込みや画像処理も確認するために, Fig.6 で示す通りカメラでダミーの稲を撮影し, 緑色領域の重心の位置でモータを制御した. 具体的には, 4個のサーボモータはダミーの稲の重心がカメラの中央にある時を中央の位置として, 稲の重心が中央から右に移動すればその量に応じて右に回転し稲の重心が中央から左に移動すればその量に応じて左に回転させた. 4個のブラシレス DC モータは稲の重心が中央にある時はモータが停止し, 稲の重心が中央から右に移動すれば正転させその量に応じて正転の回転速度を速くし, 稲の重心が中央から左に移動すれば逆転させその量に応じて逆転の回転速度を速くした.

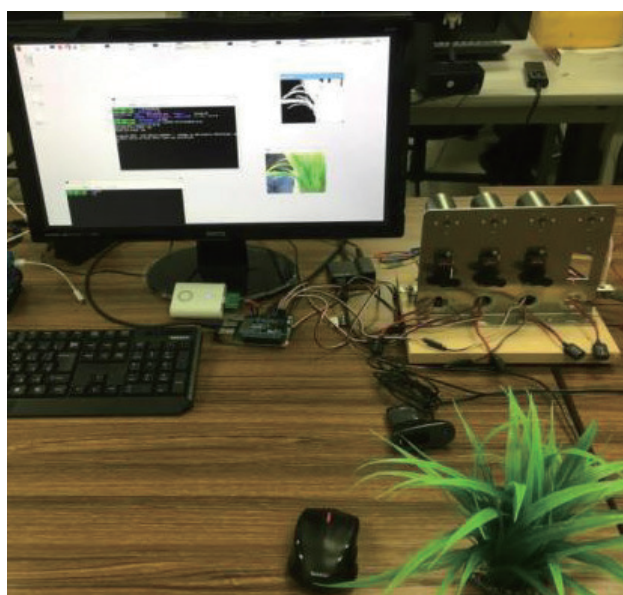


Fig. 6 Estimate system for motor servo

## 4. 画像処理等の評価用走行体構築

### 4.1 Raspberry Pi on Zumo

実験室で稲列検出及び自動走行の検討を進めるために評価用の走行体を構築する必要がある。そのため Arduino Leonardo ベースの高い運動能力があるクローラーロボットの Zumo に Raspberry Pi を搭載した Raspberry Pi on Zumo キットを利用した。この場合、Zumo のモータを制御するのは Arduino であるが、Firmata プロトコルを使用することで Raspberry Pi から Arduino を通してモータ制御することが可能になる。PWM 基板を用いる実際の TAMBA と制御方法が異なるが、カメラの画像処理は TAMBA と同様に Raspberry Pi で行えること、実験室での扱いが容易というメリットがある。

### 4.2 Firmata の導入

Raspberry Pi から Arduino のピンを直接制御出来るようにするため Firmata プロトコルを使用する。

Arduino 側は Firmata プロトコルのスレーブとして動作する。そのため、Arduino に書き込むスケッチは、ファイル->スケッチ例->Firmata->Standard Firmata を選択する。

一方、Raspberry Pi 側では Python 環境の Firmata ライブラリの導入を行う必要がある。今回は pyFirmata を使用した。pyFirmata は下記の通り pip でインストールする。

```
$ sudo pip install pyfirmata
```

ソースコードの一部を Fig.7 に示す。Arduino のモータ制御ピンは Table 1 に示す通り、7, 8, 9, 10 番ピンを使用しているが、左右それぞれのモータの方向と速度に変換しプログラムを容易にしている。例えば、右側モータを逆転方向に 20% のパワーで回転させる場合は、`m2dir.write(1)` `m2pwm.write(0.2)` でプログラムすることができる。

```
#!/usr/bin/python

import cv2
import cv2.cv as cv
import numpy as np
from pyfirmata import Arduino, util
import time

board = Arduino('/dev/ttyACM0')
m1dir = board.get_pin('d:7:o')
m2dir = board.get_pin('d:8:o')
m1pwm = board.get_pin('d:9:p')
m2pwm = board.get_pin('d:10:p')
```

Fig.7 A part of source code

Table 1 Arduino pin and control programing

Arduino ピン No.	アナログ/ デジタル	動作	プログラム
10	アナログ	右側モータ回転数制御	<code>m2pwm.write()</code>
9	アナログ	左側モータ回転数制御	<code>m1pwm.write()</code>
8	デジタル	右側モータ回転方向制御	<code>m2dir.write()</code>
7	デジタル	左側モータ回転方向制御	<code>m1dir.write()</code>



### 4.3 画像処理

画像処理は OpenCV を利用した。USB ポートに接続した Web カメラからの画像取得、HSV 変換および緑色領域検出の例を下記に示す。

```
cap = cv2.VideoCapture("http://localhost:8080/?action=stream&ignored.mjpg")
while True:
    ret, frame = cap.read()

    hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    green = cv2.inRange(hsv, lower, upper)
```

今回利用した Raspberry Pi on Zumo と、カメラの画像から緑色領域を検出、ラベリング、重心検出等の画像処理を行った画像の例を Fig.8 に示す。今回、紙の上に断続的で一列に描いた緑の領域に対して Raspberry Pi on Zumo をライントレースして走行させることが確認できた。

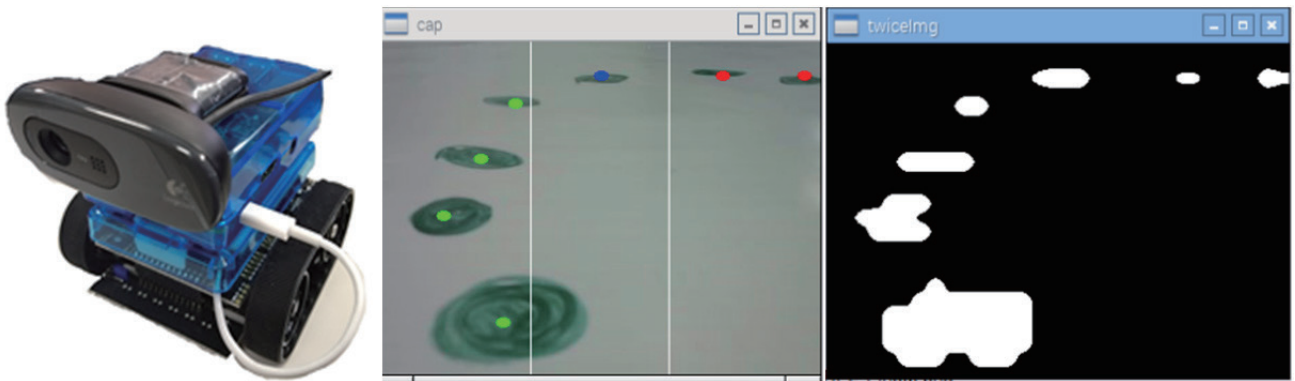


Fig. 8 Raspberry Pi on Zumo and samples of image processing

## 5. 結 言

TAMBA は自律走行で水田内を走り回り、バッテリーが消耗した際には自動で充電ステーションに帰還し充電を行うシステムを目指して開発している。

今年度は、Raspberry Pi を用いて4個のサーボモータと4個のブラシレス DC モータの合計8個のモータを制御する走行制御システムの構築を行った。また、実験室で稲列検出及び自動走行の検討を進めるために Arduino Leonardo ベースのクローラーロボットの Zumo に Raspberry Pi を搭載した Raspberry Pi on Zumo キットを用いて評価用の走行体を構築した。これにより、Raspberry Pi で画像処理の結果を用いて走行体を制御することが可能になり画像処理を含めたシステム実験や評価が効率よく行えることが期待できる。

今後、この評価用走行体を利用して画像処理開発に注力して開発を加速させて行きたい。

## 文 献

- (1) 光井輝彰, 小林孝浩, 鍵谷俊樹, 稲葉昭夫, 大場伸也, “アイガモロボットの開発”, 日本ロボット工業会機関誌, ロボット 177 号(2007), pp.20-25.
- (2) 西田好宏, ノーミンドン, 清水信寿, “水田用抑草ロボットのウェブサーバー構築及び充電ステーションへの誘導方法の検討”, 福井工業大学研究紀要 第 47 号, pp.25-30, 2017.

(平成 30 年 3 月 31 日受理)