

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*

西田 好宏^{*1}, ノー ミンドン^{*2}, 清水信寿^{*2}

Studies of Web Server Implementation and Navigation System for Autonomous Proximity Operations of the Weeding Robot “TAMBA”

Yoshihiro NISHIDA ^{*1} NGO MINH DONG ^{*2} and Nobutoshi SHIMIZU ^{*2}

^{*1} 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 installed WebIOPi and set up Web Server on the Raspberry Pi in order to control and monitor the robot “TAMBA” in any browser under any operating system. And, we studied navigation system for autonomous proximity operations to the docking station using RSSI of bluetooth.

Key Words : Weeding Robot, Paddy Fields, TAMBA, Web Server

1. 緒 言

福井県は第二のコシヒカリを作ろうとしており、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、12個のモーターを制御する。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ー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、カラーカメラ画像と距離カメラの画像を用いて稲列検出⁽²⁾を中心に机上での検討を行った。

今年度は、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を行った。そのために、REST API を持ち GPIO を直接制御することができる WebIOPi、カメラ画像をストリーミング配信してモニタリングするための MJPG-streamer、画像処理のための OpenCV 等をインストール、ブラウザでアクセスして操作やモニタリングするためのホームページの作成、JavaScript と Python の連携、画像処理プログラム、これらを起動するためのシェルスクリプト等を作成した。また、TAMBA はバッテリーが少なくなると充電ステーションに向かい充電を行うが、安価な GPS の精度ではメートル単位の誤差が生じる。そのため広域では GPS を使い、充電ステーションに近づいたら他の方法で正確な位置まで誘導する必要がある。そこで、Bluetooth の電波強度を用いた誘導方法について検討した。

* 原稿受付 2017年2月28日

^{*1} 工学部 電気電子工学科

^{*2} 工学部 電気電子情報工学科学生

E-mail: nishida@fukui-ut.ac.jp

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⁽¹⁾と同様に水田内を動き回ること、発芽したての雑草を根付かないように、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。さらに、各クローラは三角形の形状のクローラベルトを回転させるモーターに加えて三角形の形状を回転させるモーターを備えることで、段差への対応を可能にする。

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。

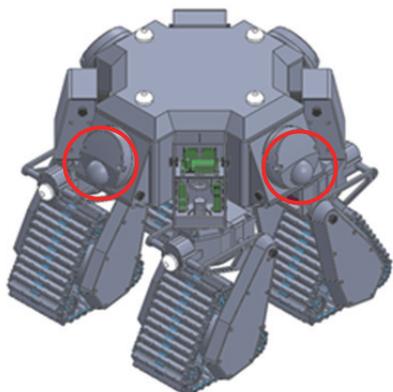


Fig. 1 TAMBA prototype model

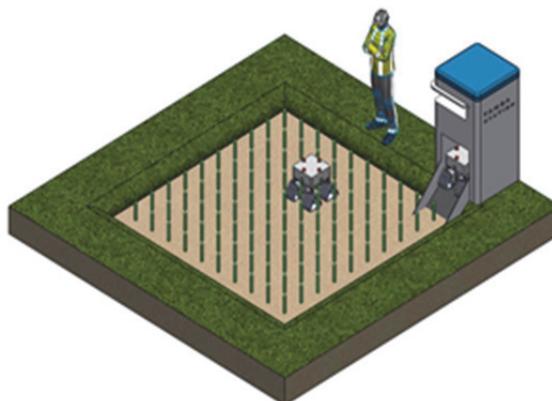


Fig. 2 Image of TAMBA system

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. ウェブサーバーの構築

3.1 システム概要

端末から本体の操作やモニタリングを行う場合、プロトコルやコマンドを独自に規定して 1 対 1 の通信を基本にする考え方があり、セキュリティの観点ではこれが有利である。しかし今回は、自宅のパソコンでも外出先のスマートフォンでも、いつでもどこでも操作やモニタリングができる利便性を優先してシステムを構築した。

そのため、Raspberry Pi でウェブサーバーを構築し端末の OS に依存せずブラウザからの操作やモニタリングを可能にして GPIO を介してモーター等を制御できる構成にした。さらに接続したカメラの画像を画像処理に利用すると同時に端末に配信できる構成にした。このシステム概要を Fig. 3 に示す。

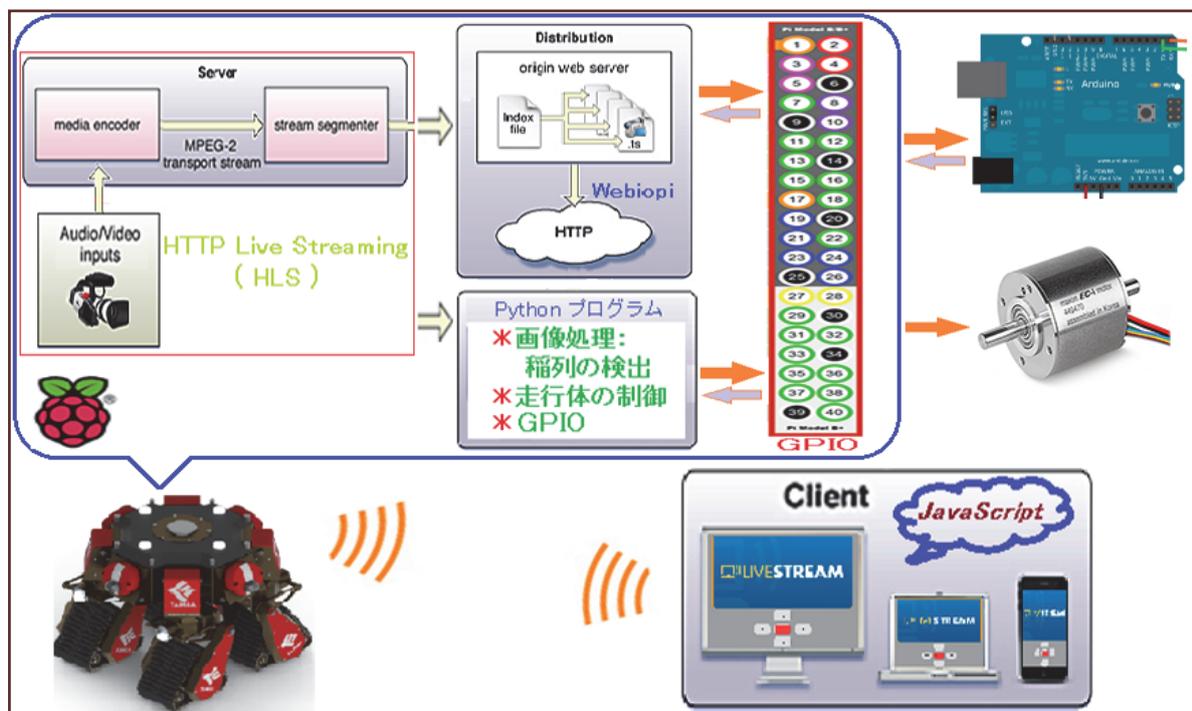


Fig. 3 Web Server System Diagram

3.2 インストール

3.2.1 WebIOPi

WebIopi は HTTP REST API を使用しており、HTTP サーバーにて Raspberry Pi の GPIO を直接制御することができる。また、Python ライブラリや Javascript クライアントもサポートしているため、Javascript や Python で書かれたスクリプトと併用することで、より拡張的な制御プログラムやリアルタイムの Web サーバーが実現できる。

インストール完了後、WebIOPi が自動起動するようにスクリプトで設定した。また、WebIOPi の設定ファイルである、`/etc/webiopi/config` を下記の通り編集した。

- ① `port = 80`
- ② `#passwd-file = /etc/webiopi/passwd`
- ③ `myscript = /usr/share/webiopi/htdocs/pyembed.py`

①は WebIOPi のデフォルトのアクセスポートが 8000 になっているので、一般の Web サーバーと同じ 80 に設定する。②は自動起動にするので認証ダイアログを無効にする。③は WebIOPi の起動に伴い Python スクリプトを埋め込んで動かすためのファイルを指定している。

3.2.2 MJPG-streamer

MJPEG-streamer は JPEG 形式の画像を連続で表示することで動画にする Motion JPEG という形式に変換して HTTP プロトコルで画像配信を行ってくれる。また、通常の HTTP サーバーで画像配信を可能にし、全てのプラットフォームに対応する配信方式の HTTP Live Streaming (HLS) 通信機能を持っている。

インストール完了後、WebIOPi と同様に、ウェブサーバー関連コンテンツの `/usr/share/webiopi/htdocs` フォルダの中に MJPG-streamer を起動するためのスクリプト `stream.sh` を作成し、自動起動に設定した `autorun_scripts` ファイルの中でこの `stream.sh` を起動することで WebIOPi と連携して画像配信を可能にしている。

3.3 Web ページデザイン

ホームページ作成ソフトを利用して HTML5 と CSS3 を用いて Web ページのデザインを行った。今回作成した TAMBA-WebPage を Fig. 4 に示す。ブラウザから TAMBA の IP アドレスを入力することで、TAMBA-WebPage にアクセスでき、自動運転/手動モードの切り替え、手動モード時のリモコン操作、バッテリー残量の確認、カメラ画像の確認等が行える。



Fig. 4 TAMBA-WebPage

4. 充電ステーションへの誘導方法

4.1 Bluetooth ビーコン

Bluetooth ビーコンは Bluetooth 4.0 規格の一部である Bluetooth Low Energy (BLE) を用いて、数種類の情報を含んだパケットを一定の間隔で送信する装置である。Bluetooth ビーコンの代表的な規格として Apple 社が公開した iOS7 以降に搭載された iBeacon がある。iBeacon はデータとフォーマットの仕様が公開されているため、BLE に対応した他の Bluetooth 機器でも検出可能である。またアプリと連携して iBeacon からのプッシュ通知などの情報の取得や範囲に入ったか出たかの領域観測、端末同士の距離の測定などが可能である。

今回はビーコンに iBeacon 規格である芳和システムデザイン社の BLEAD® Version 2 を使用した。

4.2 RSSI と距離の算出

RSSI (Received Signal Strength Indication) はデバイスが受信した電波の強度を示し、単位はデシベルメートル [dBm] で表す。TxPower はビーコンが発する信号の強さを表し、iBeacon で言う Measured Power (1[m] 離れた地点での受信信号強度) と同じである。

障害物のない理想的な空間では RSSI は距離の二乗に反比例して減衰していくため、RSSI と TxPower と 距離 $d[m]$ の関係は一般に次の式で表される。

$$RSSI = TxPower - 20 * \log_{10}(d) \quad (1)$$

(1)式より距離 d [m] の式は以下のように表すことができる.

$$d = 10^{(TxPower - RSSI) / 20} \quad (2)$$

今回はビーコンの設定を, 出力レベル -8 [dBm], 送信間隔 100 [ms], TxPower -70 [dBm]とした.

iBeacon のデータから MAC アドレスを読み取ることができるので, MAC アドレスで各ビーコンを判別することができる. ビーコンから 1 秒間に 10 個の RSSI 値が得られるので, それを各ビーコンに分けて配列に入れて配列に格納された RSSI 値から中央値を求める. これは, RSSI の中には外れ値が存在するため, 平均値では外れ値に影響を受けた値となるためである.

4.3 距離による電波強度の測定

誘導の有効範囲を確認するため理論値と測定値を比較し, 距離ごとにどのくらい誤差が生じるのかを検証した結果, 実際の距離が 80[cm] 以内の範囲での誤差は 4~23[cm]となり距離が近づくにつれ誤差は小さくなった.

また 90[cm]以上では誤差が 1[m]以上となり, 遠くなるにつれメートル単位の誤差が生じることが分かった. そのため, ビーコンは充電ステーションの目標地点から両方向にそれぞれ 50[cm]離れた場所に設置して, 充電ステーションから 1~2[m]の距離に近づくまでは GPS を用いて, 近づいたらビーコンを用いる方法を検討した.

そのため, 25[cm]単位の格子状の地点ごとに定点観測を行い, その地点の RSSI の中央値を求めたところ, 多少の誤差はあるもののほぼ想定した通りの結果が得られた. 得られた双方の RSSI 中央値を Fig. 5 に (ビーコン 1, ビーコン 2) の形で示す.

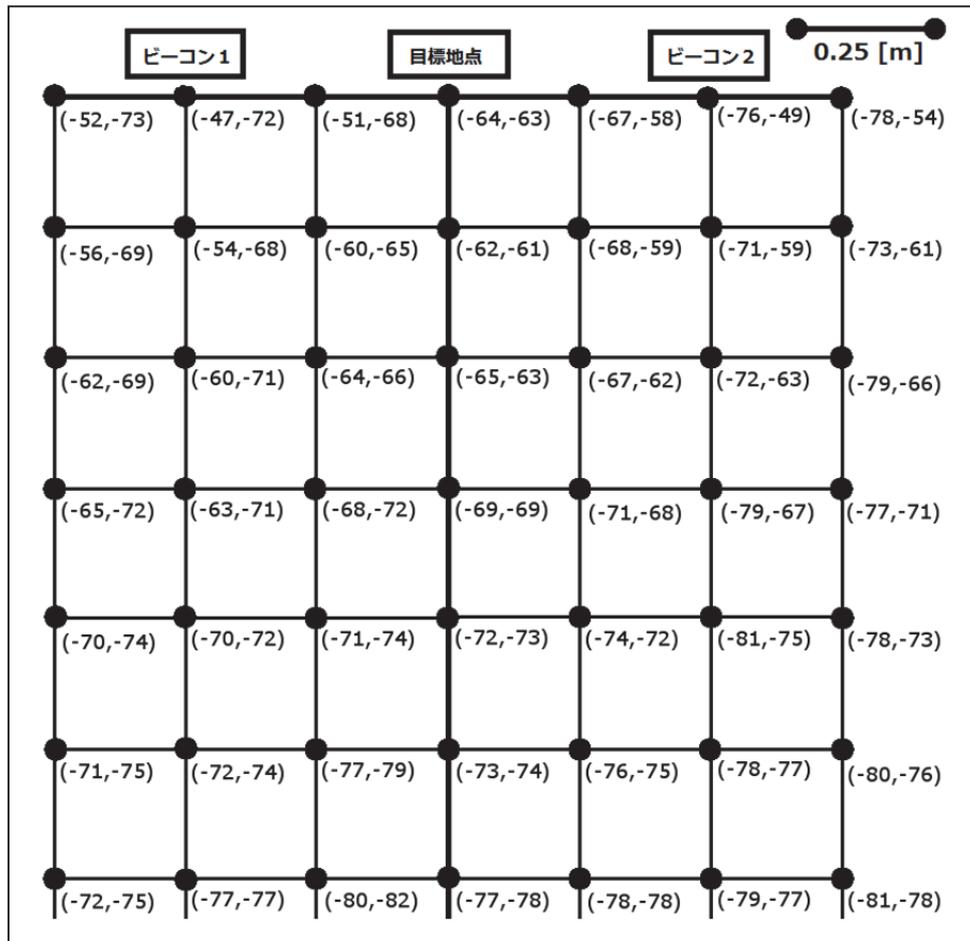


Fig. 5 RSSI Median Value of Each Beacon

4.4 室内での走行テスト

移動体に Roomba を用いて室内で走行テストを行った。Bluetooth ドングルと Roomba のシリアルケーブルを接続したノートパソコンを Roomba の上に乗せて 2 個のビーコン間の中央地点を目標として誘導する実験を行った。この様子を Fig. 6 に示す。今回は移動体の向いている方向の情報を利用せず電波強度だけで誘導したため、正しく誘導できたのは 3 割程にとどまった。今後 GPS や磁気センサ等を用いて移動体の向いている方向を検出することで、誘導の精度を高めることができると考えられる。



Fig. 6 Navigation Test with Roomba

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、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を行った。その結果、ブラウザから TAMBA の IP アドレスを入力することで TAMBA-WebPage にアクセスでき、自動運転/手動モードの切り替え、手動モード時のリモコン操作、バッテリー残量の確認、カメラ画像の確認等が行えることを確認した。また、TAMBA はバッテリーが少なくなると充電ステーションに向かい充電を行うが、安価な GPS の精度ではメートル単位の誤差が生じる。そのため広域では GPS を使い、充電ステーションに近づいたら他の方法で正確な位置まで誘導する必要がある。そこで、Bluetooth の電波強度を用いた誘導方法について検討した。Roomba を用いた誘導テストでは成功率は 3 割程度であったが、今後移動体の向いている方向の情報を利用する検討を行い誘導の精度を高めていきたい。

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, pp.20-25, 2007.
- (2) 則房克紀, 堀井優哉, 西田好宏, “水田抑草ロボット TAMBA の画像処理による稲列検出の検討”, 平成 28 年度電気関係学会北陸支部連合大会, F2-37, 2016.
- (3) ノー ミン ドン, “Raspberry Pi を用いた水田用抑草ロボットシステム及びウェブサーバー構築”, 福井工業大学電気電子情報工学科平成 28 年度卒業研究予稿集, pp19, 2017.
- (4) 清水信寿, “水田用抑草ロボットにおける Bluetooth の電波強度を用いた誘導方法の検討”, 福井工業大学電気電子情報工学科平成 28 年度卒業研究予稿集, pp19, 2017.

(平成 29 年 3 月 31 日受理)