

## 稲作用除草ロボット TAMBA の画像処理による稲列検出の検討\*

西田 好宏<sup>\*1</sup>

### A Study for an Image Processing System that Judges a Line of Rice Plants on the Weeding Robot “TAMBA”

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

<sup>\*1</sup> 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 dock and recharge like “ROOMBA”. In this time, we studied an image processing system on the weeding robot “TAMBA” that judges a line of rice plants in an ideal environment that only rice plants grew on a paddy field.

**Key Words :** Weeding Robot, Paddy Fields, TAMBA

#### 1. 緒 言

福井県は稲作が盛んに行われており、コシヒカリが誕生した県でもある。現在、県では第二のコシヒカリをつくろうとしている。しかし、稲作を始めとした農業には TPP や農業人口の高齢化など数多くの問題がある。

そこで、農家の人の負担を少しでも低減することを目指し、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、昨年度開発した4輪のオムニホイールを搭載した機能モデルの反省点、およびメリットを活かして今年度は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 2 を搭載し、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、本学は制御系を担当する。

本年度はまだ本体が設計・組立て中で入手出来ないため、カメラで撮影した画像を用いて稲列検出を中心に机上での検討を行った。

カメラとしては、一般的なカラーカメラで色情報を用いるのが最も簡単であるが、明るい時から暗い時まで幅広い条件で稲を検出するためには、近赤外線や植生指数 (NDVI) の利用、距離カメラの利用が考えられる。

今回、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の検討を行った。その結果、カメラの方式が異なっても、①稲のシルエットの2値化画像を検出、②水平方向に細長いストライプ状の画像領域を抽出、③ストライプ状の画像から稲を意味する画素の数を列ごとにカウントしてヒストグラムを算出、④ヒストグラムのピークから稲の中心となる点を検出、⑤稲の中心となる点を結ぶ処理より稲列を検出できる目処が立った。

今後、実機への搭載、多様な環境条件の検討を含めて、画像センサの方式検討やアルゴリズムの改良を進めて行く必要がある。

\* 原稿受付 2016年2月29日

<sup>\*1</sup> 電気電子工学科

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

## 2. TAMBA 試作機

既に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となっており、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、稲作用の除草ロボットの開発が全国で行われている。

福井県でも、昨年度より県と株式会社シマノ及び本学が連携して、稲作用除草ロボット TAMBA の機能モデルを製作した。今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 試作機のコンセプト

TAMBA はアイガモロボット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。

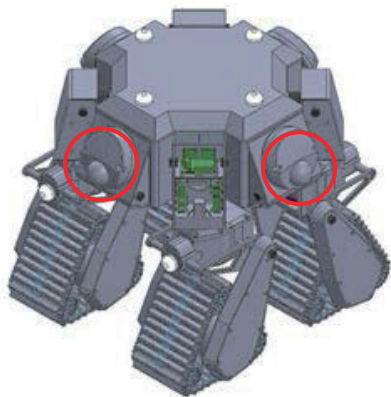


Fig. 1 TAMBA prototype model

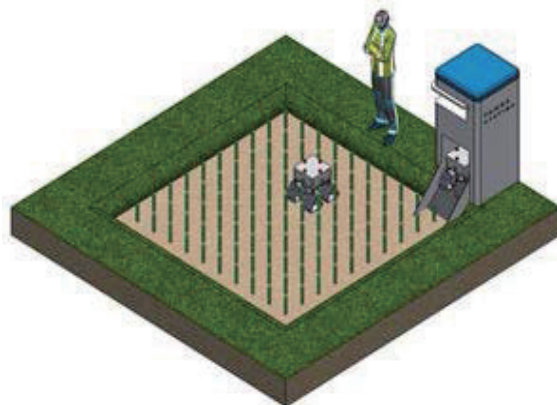


Fig. 2 Image of TAMBA system

### 2.2 制御コンピュータ

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 2 は Linux ベースの OS の Raspbian が動き、USB や LAN ポート備えているため USB カメラや IP カメラを接続することが容易で、デスクトップ環境で画像の確認ができる。今回、OpenCV をインストールして、USB カメラおよび IP カメラから画像が取得できる事を確認した。

## 3. 稲列検出

TAMBA が稲を傷める事無く自動走行するためには、足元の稲を検出して稲を踏まずに跨ぐ形で走行させる必要がある。ただし、足元の稲の状態だけで制御しようとする、おおまかな制御ができず不安定な走行になってしまう問題が発生する。そこで、稲の列を検出してその列に沿って走行させることを検討する。

今回、一般的なカラーカメラで撮影した画像と距離カメラで撮影した画像を用いて検討した。一般的なカラーカメラは安価であるが、明るい時から暗い時まで幅広い条件で稲を検出するのは困難である。一方距離画像カメラは明るさに依存せず検出できるが高価である。

### 3.1 カラーカメラ画像

カラーカメラで撮影した  $420 \times 340$  画素 RGB 各 8 ビットのサンプル画像を Fig. 3 に示す. ローパスフィルタで平滑化するため画像はもっとも低解像度でよく, その方が演算量は少ないメリットがある. また 2 値化の閾値を適応的に可変にする等の方式もある. しかし, これらは今回の検討項目ではないため画像の画素数はそのまま, 2 値化の閾値は単純に「各画素を RGB 成分に分解し, G の成分が 10 以上で R と B より大きい画素を抽出」方式で「①稲のシルエットの 2 値化画像を検出する」処理を行い, Fig. 4 のような 2 値化画像が得られた.

次に, 「②水平方向に細長いストライプ状の画像領域に抽出する」処理を行う. 今回は Fig. 4 の 2 値化画像を Fig. 5 のように上下に 3 分割して足元で最も重要な最下部 (領域 A) と中央部 (領域 B) の 2 つの領域を抽出した.

次に, AB 各領域において「③ 2 値化画像で稲を意味する画素の数を列ごとにカウントしてヒストグラムを算出する」処理を行いローパスフィルタで平滑化することで, Fig. 6 のようなヒストグラムが得られる. ヒストグラムの縦軸は列の 2 値化画像の画素数の比率を表し, その列が全て稲 (白) の時に上限 (100%) になる.

次に, 「④ヒストグラムのピークから稲の中心となる点を検出する」処理により各領域における稲の中心となる点の水平方向の座標を数点検出する. Fig. 6 の領域 A と領域 B の各領域において赤丸で示した 3 点の水平方向の座標が各領域の 3 つの稲の中心を示す.

各領域において, Fig. 5 の元の 2 値化画像をベースに垂直方向は各領域の中央値, 水平方向は Fig. 6 で検出した稲の中心の座標の合計 6 点に赤丸をプロットすると Fig. 7 のようになる.

最後に, 「⑤稲の中心となる点を結ぶ直線を検出する」処理により, 領域 A と領域 B の点を結ぶことで, Fig. 8 のように注目範囲の想定される稲列を検出することが可能になる.



Fig. 3 Sample picture of color camera



Fig. 4 Binary image of sample picture

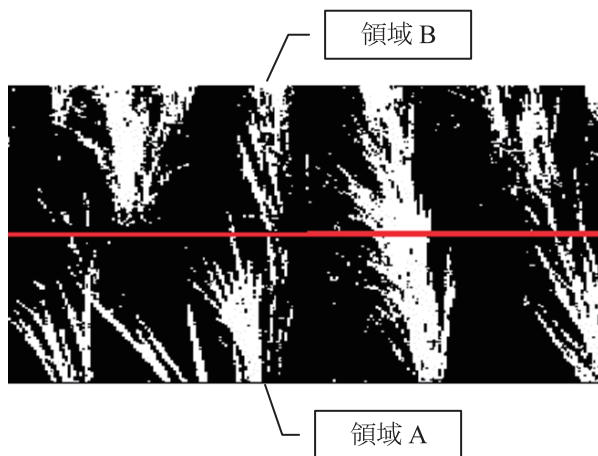


Fig. 5 Extracted areas

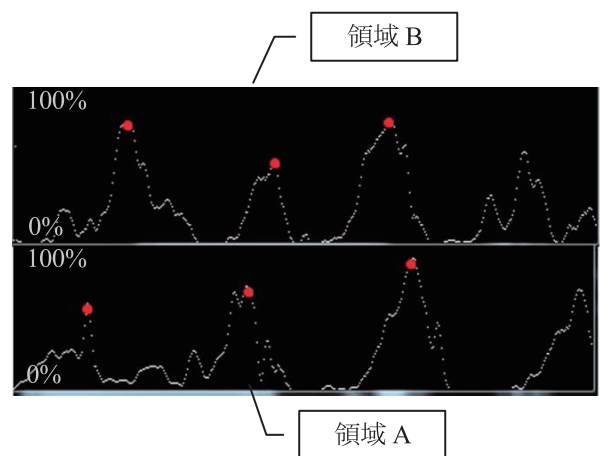


Fig. 6 Histogram of each area



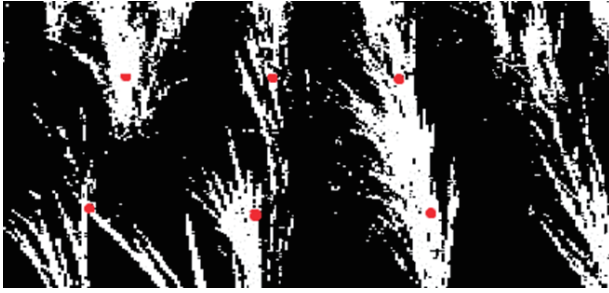


Fig. 7 Red dots point center of rice plants

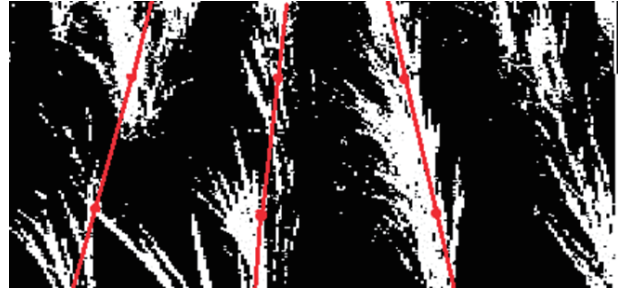


Fig. 8 Judge a line of rice plants

### 3.2 距離カメラ画像

距離カメラで撮影したサンプル画像を Fig. 9 に示す. この画像は Creative 社製の VF0780 で稲の形状に似せた人工水草を机の上に並べて斜め上から撮影したもので, 検出できる範囲が約 1 m までと狭いものの各画素の被写体までの距離に応じて, 近いところは輝度レベルが低く, 遠いところは輝度レベルが高くなっている.

このサンプル画像から, 「①稲のシルエットの 2 値化画像を検出する」処理を行うが, 今回は単純に輝度レベルで判定できない. 水面は水平方向には同じ距離で, 垂直方向には徐々に距離が変化すること, および稲は垂直方向に伸びていることから, ノイズ除去のためのガウシアンフィルタをかけて平滑化した後, 水平方向のエッジ成分を求める Sobel フィルタをかけることで, Fig. 10 に示す水平のエッジ成分画像が得られる. この画像に対して 2 値化処理を行うことで, Fig. 11 に示す稲のシルエット画像が得られる.

次に, 「②水平方向に細長いストライプ状の画像領域に抽出する」処理を行う. Fig. 11 において稲のシルエットと検出された画素の数を行ごとにカウントすると Fig. 12 に示すような水平方向の稲成分のヒストグラムが得られ, 2 つの山が検出できる. この山の 2 つのピークが稲の中心となる垂直方向の座標となり, それぞれのピークの下数十画素を各領域 (2 つの領域) として抽出する.

次に, 各領域において 「③画素の数を列ごとにカウントしてヒストグラムを算出する」処理を行うことで, Fig. 13 のような上下の 2 つのヒストグラムが得られる. (縦軸は上のヒストグラムが右, 下のヒストグラムが左)

次に, Fig. 13 のヒストグラムにローパスフィルタをかけて平滑化した後, 「④ヒストグラムのピークから稲の中心となる点を検出する」処理により各領域における稲の中心となる点の水平方向の座標を検出する. Fig. 12 から検出した 2 つの垂直方向の座標と, Fig. 13 から検出したそれぞれ 3 つの水平方向の座標から 6 個の稲の中心の座標を検出することが出来, 最後に, 「⑤稲の中心となる点を結ぶ直線を検出する」処理により, 垂直座標の異なる各 2 点を結ぶことで, Fig. 14 のように稲列を検出することが可能になる.



Fig. 9 Sample picture of depth camera



Fig. 10 Sobel image of sample picture

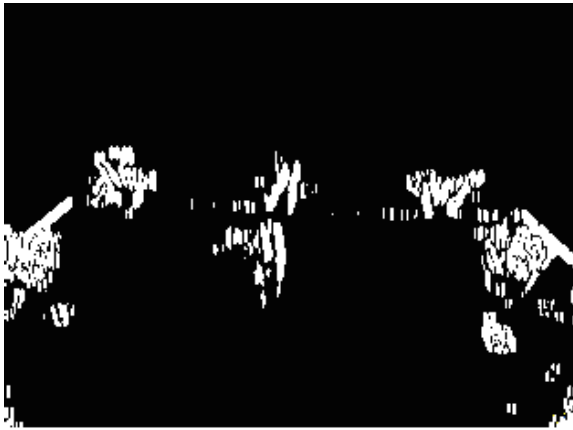


Fig. 11 Binary image of sample picture



Fig. 12 Histogram for detect vertical coordinate

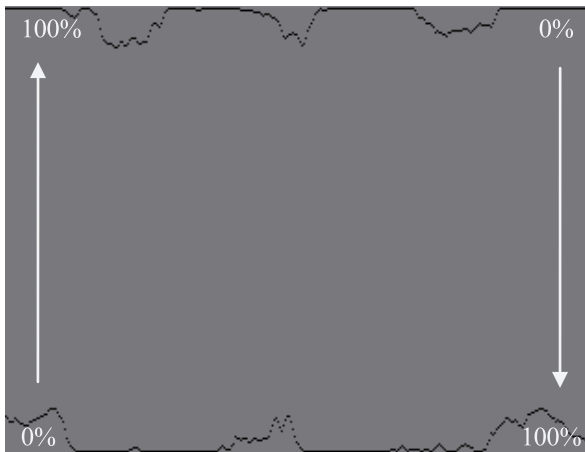


Fig. 13 Histogram for detect horizontal coordinate



Fig. 14 Judge a line of rice plants

今回はあくまでサンプル画像の机上検討であるが、

- ① 稲のシルエットの2値化画像を検出する
- ② 水平方向に細長いストライプ状の画像領域を抽出する
- ③ ストライプ状の画像から稲を意味する画素の数を列ごとにカウントしてヒストグラムを算出する
- ④ ヒストグラムのピークから稲の中心となる点を検出する
- ⑤ 稲の中心となる点を結ぶ直線を検出する

の処理により稲列を検出できる目処が立った。

また、実際に一般的なカラーカメラでの色信号処理では、明るい時から暗い時まで幅広い条件で稲を検出するのは困難であるため、Fig. 15 で示す近赤外線カメラ画像や Fig. 16 で示す植生指数（NDVI）画像の利用が考えられる。近赤外線カメラの画像は Fig. 15 のように稲の輝度レベルが高くなり、泥水の光の反射の輝度レベルが低くなる。また、NDVI 画像の場合は Fig. 16 のように植物が所定の輝度レベルが得られる。

従って、近赤外線カメラやNDVIカメラの場合も、カラーカメラと同様に、むしろ簡単に「稲のシルエットの2値化画像の検出」が可能と考えられる。

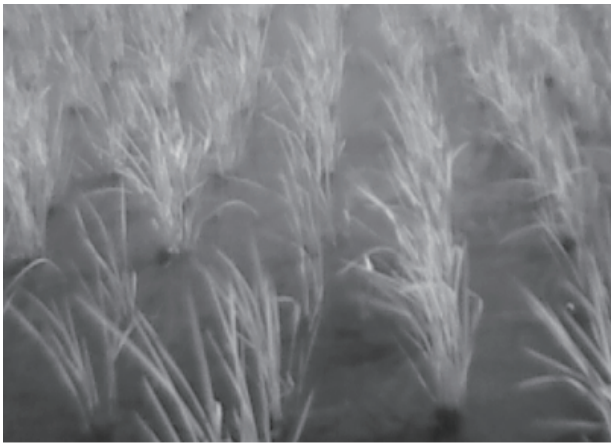


Fig. 15 Sample picture of infrared camera



Fig. 16 Sample picture of NDVI camera

#### 4. 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。

今回は極力稲を傷めず、かつ効率的に走り回るための画像処理による稲列検出について検討した。その結果、稲のシルエットを検出できることを前提に稲列を検出できる目処が立った。

しかし、色々な環境条件に対応するためにはカメラの種類、画像センサの原理や方式が重要で環境条件による優劣、コスト等を含めた検討が必要である。また、画像処理の演算負荷や遅延時間等の課題も多く、これらを含めたシステム全体の検討も並行して行う必要がある。

また、カメラで検出できない状況に対応して、超音波、PSD、接触センサ等他のセンサとの併用や切り替えの検討も必要である。さらに、GPS を利用した自己位置や進行方向検出とのリンク、充電ステーションのホストコンピュータとの通信・制御についても検討を進めて行きたい。

#### 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, pp.20-25, 2007.
- (2) 光井輝彰, 田畑克彦, 藤井勝敏, 横山哲也, 遠藤善道, 陶山純, 葛谷和巳, “水田用小型除草ロボット (アイガモロボット) の開発—自律走行ロボットの開発— (第 4 報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第 14 号, pp.11-12, 2013.
- (3) 藤井勝敏, 田畑克彦, 横山哲也, 平湯秀和, 遠藤善道, “水田用小型除草ロボット (アイガモロボット) の開発 (第 5 報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第 15 号, pp. 32-34, 2014.

(平成 28 年 3 月 31 日受理)