原 著 論 文

RFID を用いた低価格な農作業記録自動収集システムの開発

村上幸一^{*1)}・安藤瑞希²⁾・今村元紀¹⁾・宮本美佑³⁾・
スラメット クリスタント ティルト ウトモ⁴⁾

- 1) 香川高等専門学校 電気情報工学科 〒761-8058 香川県高松市勅使町 355
- 2) 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒630-0101 奈良県生駒市高山町 8916 番地 5
- 3) 徳島大学 電気電子工学科 〒770-8501 徳島県徳島市新蔵町 2 丁目 24 番地
- 4) 東京大学大学院 学際情報学府 〒113-8654 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1

要旨

農業の IT 化に伴い、クラウドサービスを用いて作業記録を行う事例が増えてきた。しかし、情報入力の手間がシステム普及のネックとなっている。本研究グループでは、農作業記録の自動化による作業記録の省力化を目指し、農作業データを自動で取得するシステム及びその取得データから農作業を推定する手法を提案した。具体的には、長距離伝信が可能な UHF 帯の RFID (Radio Frequency IDentification) タグを、圃場内の道具、場所、品種 (を示す札) に貼り、農作業データを取得した。取得データに対してナイーブベイズ分類器を適用して農作業を推定しサーバ上へ記録した。本システムは農業現場への普及を意識し、低価格な構成での開発を行った。本論では提案システムの構成とシステムを用いた実証実験の結果について報告する。

キーワード

RFID, 農作業の自動記録, 低価格, 機械学習, N/E 比分析

はじめに

農業では、生産管理や人件費の算出のために作業記録を取る必要がある。従来は紙媒体に記録をしていたが、管理や保存、過去データとの比較が困難なため、現在では SaaS 型のクラウドサービス (以下、「クラウドサービス」とする。) を用いた農作業記録システムの導入が進められている。スラメットら (2012) や、クラウド農業生産管理システム (<<http://agri-s.com>>, 2017 年 5 月 15 日参照) など、多くの研究機関・IT ベンダから農作業日誌をクラウドサービス上で記録するシステムが提供されている。しかしこれらシステムを用いた農作業記録は、通常、農作業終了後に農作業とは別でデータ入力作業を行うこととなる。そのためこの農作業後のデータ入力の負担がシステム普及のネックになっていると考えられた。

記録作業の負担を低減させる研究として、中西ら (2013)

の圃場センサネットワークを用いるものがある。このシステムは作業を行うことで変化する圃場の状態 (温度・土壌の電気伝導度等) をセンサで検知することで、行った作業の推定を行うシステムである。しかし、実際に作業を特定するためには多くの種類のセンサを必要とし、コストが高くなるという問題点があった。また土壌に複数のセンサ (pH センサ, 土壌水分センサ, 栄養センサなど) が接触する場合、土壌は導電体である (水分を含んでいる) ためセンサ間で干渉 (クロストーク) が発生する恐れもあった。

別の研究として、南石ら (2007) の短距離通信の RFID を用いる研究がある。このシステムは RFID と呼ばれる非接触で情報のやり取りを行う技術を用いて、圃場に設置した IC カードから情報を取得するものである。システムの試作と基礎的な試験が行われたが、農業現場への技術普及を目的としたその後の低価格化システムの開発の試みは行われていない。

本研究の目的は、農作業データを自動で取得するシステム及びその取得データから農作業を推定するシステムの開発である。さらに農業現場への普及のために、低価格化や

* Corresponding Author
E-mail: murakami@t.kagawa-nct.ac.jp

利用の動機付けを目的とした応用アプリケーションについても検討した。本論文ではこれらを総称して、農作業記録自動収集システム（以下、「提案システム」とする。）と呼ぶ。提案システムは農作業中に品種や場所、使用している道具などの農作業データを取得し、そのデータから農作業を推定することができる。データの取得には通信距離が1 m程度のRFIDを用いた。RFタグ（以下、「タグ」とする。）を圃場各地や道具に貼り付け、RFIDリーダを携帯しながら農作業を行うことで農作業データを取得できる。作業の推定はRFIDを用いて収集したデータを教師データとした分類器を作成することで行った。なお本論では一人の農作業熟練者を対象に教師データを収集し、別サイクルの実験において同一人物を対象に認識実験を実施した。そのため、本論では「人（作業員）の違い」についての問題を取り扱っていない。ただし、初心者・熟練者の比較など将来的な検討に備えての機能を、応用アプリケーションの検討において示した。

RFID

RFID について

RFID（Radio Frequency IDentification）とは誘導電磁界または電波によって、非接触で半導体メモリのデータを読み出し、書き込みのために近距離通信を行うものの総称である（大見 2008）。近年では図書館業務の自動化（辻 2005）、物品のトレーサビリティなど幅広い分野で応用されている。RFIDはデータを保存するタグ、タグのデータの読み出し・書き込みを行うリーダ・ライタ、これらを制御する上位システムで構成される（図1）。また上位システムがリーダ・ライタに内蔵されている製品も存在する。

他のIDシステムとして、バーコードやQRコードが挙げられる。これらのIDシステムはカメラでラベルを認識するため、ラベル表面が汚れている場合正しくデータを読み取ることができない。また一度印刷されてしまえば情報

を書き換えることもできないといった問題点があった。RFIDは電磁波で交信するためタグの表面が汚れていても正しくデータを読み取ることができる。またタグ自体がメモリを持つため情報を書き換えることも可能である。さらに既存のIDシステムと大きく異なる点はラベルに狙いを定めなくても、容易にデータを読み取ることができることである。

以上のことから、RFIDは本研究の目的である新たな作業記録の入力方法として有用な技術であると考えられる。しかし、RFIDはタグの使用周波数帯・電力供給方式、リーダ・ライタのアンテナ方式等により特性が大きく異なる。そのため、要素毎での比較検討を行い本研究に適したRFIDを選定した。

RF タグの周波数帯

電波は周波数帯によって図2のように分類される。RFIDとして主に利用される周波数はLF帯、HF帯、UHF帯、SHF帯である。タグの使用周波数帯によって、指向性、通信速度、通信距離、水への透過性、リーダ・ライタのアンテナサイズが変化する。各周波数帯の違いを表1に示す

表1 RF タグの使用周波数帯による特徴

周波数	LF	HF	UHF	SHF
指向性	弱	中	中	強
通信速度	低速	中	中	高速
通信距離	数十 cm	数十 cm	約 5 m	約 1 m
水の透過性	高	高	中	低
アンテナサイズ	大	中	中	小
電磁ノイズの影響	大	中	小	小
電力伝送方式	電磁誘導方式		電波方式

図1 RFIDシステムの構成図

波長	100km	10km	1km	100m	10m	1m	10cm	1cm	1mm	0.1mm
	超長波	長波	中波	短波	超短波	極超短波	マイクロ波	ミリ波	サブミリ波	
	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF		
周波数	3kHz	30kHz	300kHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz	300GHz	3THz

図2 周波数による電磁波の分類

(SmartGrid ニュースレター編集部 2006)。なお通信距離は日本の電波法令に基づき使用した場合の最大通信距離の目安である。

一般的に周波数が高くなるにつれて指向性が強まり、通信速度も高まる。逆に周波数が低くなると指向性は弱まり、障害物に対して回りこむ力が強くなる。また、LF 帯から UHF 帯の間においては、周波数が高まるにつれて通信距離が増加するが、SHF 帯では電波の回り込みが起これにくくなるため UHF 帯に比べ通信距離が減衰する。さらに、アンテナ長は波長に比例するため、高周波になるにつれてタグ、リーダー・ライタは小型になる。

RF タグの電源方式

タグは電源方式の違いにより、パッシブ方式、セミパッシブ方式、アクティブ方式の 3 種類に分類される (一般社団法人日本自動認識システム協会 2016)。各電源方式の比較及びタグのイメージ図をそれぞれ表 2 と図 3 に示す。パッシブ方式はリーダー・ライタからの電力供給でのみ駆動する受動型であるのに対して、セミパッシブ方式は受信時のみリーダー・ライタからの供給電力で駆動し、センシングはタグに内蔵された電池で行う受動型である。アクティブ方式は全てタグに内蔵された電池でセンシング・発信を行う。発信距離は受動型が数 m 程度であるのに対して、能動型であるアクティブ方式は数十 m にも及ぶ。セミパッシブ

方式・アクティブ方式はセンサと電池を内蔵しているため、高価格で、タグ自体も大きくなってしまふ。また、電池交換等のメンテナンスも必要となってくる。それに対してパッシブ方式は数十円から購入することができ、厚みも薄くタグの基材として紙やプラスチックカードを使用することができる。またメンテナンスフリーという長所を持つ。

リーダー・ライタのアンテナ方式

リーダー・ライタのアンテナ方式として、直線偏波方式と円偏波方式が存在する (図 4)。まず直線偏波方式はリーダー・ライタから直線偏波を放出しタグにアクセスする方式である。そのためリーダー・ライタと偏波方向に対してタグの向きが平行でなければ発信距離が大きく減衰してしまう。これに対して円偏波方式はリーダー・ライタから円偏波を放出しタグにアクセスする方式である。この方式はタグがリーダー・ライタに対して平行であれば減衰はほぼ発生しない。しかし、直線偏波方式に比べると発信距離がやや短いといった特徴がある。またタグの長手方向がアンテナに向いた場合は、偏波方式に関係なく発信距離が減衰する (一般社団法人日本自動認識システム協会 2016, 大見 2008)。

RFID の選定

使用する RFID を選定するにあたって以下の 3 点を考慮した。

表 2 RF タグの電源方式による特徴

電源方式	パッシブ方式	セミパッシブ方式	アクティブ方式
基本原理	受動型	受動型	能動型
搭載電池	無	有 (センサ用)	有 (センサ・交信用)
発信距離	数 mm ～数 m	数 mm ～数 m	数 m ～数十 m
タグの価格	低価格	高価格	高価格
備考	メンテナンスフリー	電池の寿命管理が必要	電池の寿命管理が必要

図 3 各電源方式の RF タグの例

セミパッシブ方式 (UHF Semi-passive Temperature Logger Tag)

http://www.gaorfid.com/RFIDbrochures/UHF_Semipassive_Temperature_Logger_Tag_116045.pdf (2017 年 5 月 15 日参照)

アクティブ方式 (2.45 GHz Active Key Fob RFID Tag/Transponder)

<http://gaorfid.com/product/tag-transponder-key-fob-2-45-active-rfid/> (2017 年 5 月 15 日参照)

図4 直線偏波と円偏波

図5 提案システムの概要

提案システムの概要図である。将来的には圃場の状態のカメラ撮影も想定しているが、現在はまだカメラ撮影の機能は実装されていない。

- 作業者の負担は最小限に抑える。
- 農作業には大きな動作が伴う。
- 低価格でメンテナンスフリー

南石ら(2007)のシステムは通信距離が数 cm と短かったため、作業者はタグからの情報取得を意識する必要があった。この問題は通信距離の長い RFID に変更することやタグを大量に配置することで解決できる。また、農作業時には大きな動作が伴うため、リーダーの位置がずれても正しくデータを取得できる必要がある。そのため円偏波方式を用いることが適切である。更に農業現場普及のためには、低価格でメンテナンスフリーであることが望ましい。そのためにはパッシブ方式が望ましい。

提案システムの実装

システム全体の概要

図5に本研究の提案システムの全体図を示す。本システムは、RFID を用いてタグからデータを取得する RFID システム、RFID システムから送られてきたタグデータを集約するアプリケーションサーバ、タグデータを処理して作業を分類する推定アルゴリズム、推定した結果をスマートフォン・PC 上で表示する表示システムで構成される。

まず、RFID システムは UHF 帯の RFID と iOS のデバイスで構成される。本研究で使用した RFID リーダとタグを図6に示す。本研究では円偏波方式の RFID リーダである

図6 使用した RFID リーダ及び RF タグ

ARETE POP (<<http://www.hk-rfid.com/arete-pop-rfid-dongle-reader>>, 2017 年 5 月 15 日参照) と UHF 帯域でパッシブ形式のタグである SMARTRAC 社の DOGBORN (<<https://www.smartrac-group.com/dogbone.html>>, 2017 年 5 月 15 日参照), 同じく SMARTRAC 社の WEB LITE (<<https://www.smartrac-group.com/web-lite.html>>, 2017 年 10 月 12 日参照), Confidex 社の Confidex Steelwave MicroII (<<http://www.confidex.com/products/smart-identification/confided-steelwave-micro-ii-nfc-tag>>, 2017 年 5 月 15 日参照) を使用した。プロトタイプで実験を行った際, 金属部に貼り付けた DOGBORN は正しくデータを取得することができなかった。そこで, 冷蔵庫の金属部には交信距離の減衰を低減させるため, Confidex 社の金属用タグを使用した。また, DOGBORN の貼り付けが難しい小さな道具に対しては WEB LITE を用いた。RFID リーダ 1 台とタグ 100 枚 (DOGBORN 80 枚, WEB LITE 20 枚), 金属用タグ 10 枚のセットで 5 万円以下であり低価格で導入することができる。また iOS デバイスではスリーブをせずに使用することを前提としている。そのため使用前には iOS デバイスのフル充電が必要となる。本システムは, タグにデータの書き込み・書き換えを行う機能, RFID リーダを携帯して作業を行うことで圃場内に設置したタグからデータを取得する機能, 取得したデータを CSV ファイルで出力する機能を有している。

農作業の推定アルゴリズム

検出したタグのデータから農作業を推定するアルゴリズムについては, 機械学習が使用されている。機械学習とはユーザがすべての情報を明示的にプログラムしなくても学習する機能をコンピュータに与える技術である。RFID システムで出力された CSV ファイルからユーザが行った作業を推定する機能を有する。推定アルゴリズムは学習パートと推定パートの 2 つに分けられる。学習パートでは, 実

際に行った作業名と出力された CSV ファイルを入力することで, 作業とデータ間の関係を学習する。推定パートでは, 学習パートで使ったファイルとは別の CSV ファイルを入力することで, そのデータに対して一番尤もらしい作業の名前を出力する。

RFID システム

本提案システムの流れを図 7 に示す。本研究では, 「太陽光利用型植物工場」で「葉物野菜 (コマツナ)」を栽培する際の「播種・定植・収穫」作業の推定を対象とした。まず圃場内の道具, 場所, 品種にタグを設置した。なお, 場所タグを設置する時はタグの長手方向が作業者に向かないように注意した。道具タグは, 収穫用のプラスチック製のトレイ, 播種用の発泡スチロール製のトレイ, 計量器, 冷蔵庫, 水道, 袋詰め用のケース, 苗を管理する保温庫, 机, ハサミに貼り付けた。実際に設置したタグを図 8 に示す。楕円で囲んだものがタグである。(a) のタグは圃場のどの区画で作業をしているかを表しており, 作業者の腰の高さに合わせて設置した。(b) のタグは水道や机で作業するときに座る椅子に貼り付けた。(c) のタグは播種・収穫時に使用するトレイに貼り付けられたものである。タグは耐水性にも優れているため, タグを貼り付けたまま道具を洗うことが可能である。品種タグは作物を定植した区画に小型の立て札を設置し, そこに貼り付けた。品種タグでは, 作目名と品種名を管理するが 1 作目 1 品種のみの栽培の場合には, 作目名のみを管理する。それぞれのタグには 0001 や 0081 などの ID を割り振った。圃場を表すタグには 0001 から 0040 を, 品種を表すタグには 0051 から 0060 を, 道具を表すタグには 0081 から 0090 の ID を割り振った。

データの取得は作成したアプリケーションで行った。まず作業者は図 9 のように ARETE POP を装着した iOS デバ

図7 RFIDシステムの構成

図8 RFタグの設置例

図9 RFIDシステムの携帯イメージ

イスを腰に携帯する。その後アプリケーションを起動して作業を開始する。アプリケーションの表示画面を図10に示す。まずアプリを起動すると(a)の画面が立ち上がる。下部中央のトグルスイッチをオン(緑)にすることで、RFIDリーダーがiOSデバイス上で認識される。次に赤い作業開始のボタンを押すことで(b)のようにタグの読み取りが開始される。読み取り距離は数mmから約1mである。作業が終了したら青い作業終了ボタンを押すことでCSV

ファイルが出力される。作業者は作業の開始や区切りを意識して、作業ごとに作業開始時に赤い作業開始ボタンを、作業終了時には青い作業終了ボタンを押す必要がある。(c)はアプリの設定画面で、動作パラメータは電波の出力レベルやタグの読み取り間隔を変更できる。制御パラメータではタグを何枚読み取ったらCSVファイルを出力するかを設定することができる。読み込み音はタグを読み取った時のピープ音をON/OFFする機能である。

CSVファイルは2種類の形式で出力される。1つ目は図11(a)のように出力される。この形式では一定数のタグを読み取る毎に新しい行に移る。図11では100タグ毎に改行するように設定した。(1)は読み取り開始時刻と100タグ読み取り終了時の時刻を表している。(2)はタグのIDとそのIDが読み取られた回数を示している。(a)を用いて説明すると、2015年10月23日13時41分4秒から42分8秒の間にID0085のタグが16回読み取られたことを表している。100タグごとに行を区切ることによってタグの検知回数を相対的に見ることができる。これによりタグとすれ違っただけか、長時間携帯していたのかを見分けることができる。

2つ目の形式は1つ目の形式の1行1行を詳しく保存する形式で(b)のように出力される。100タグ全ての読み取り時間を記録しており、より詳細に作業の流れを分析することができる。(b)を実際に分析してみると、0002(圃場の区画)タグと0089(ハサミ)タグが読み込まれている。

図 10 アプリケーションの表示画面

図 11 CSV ファイルの情報

このデータから圃場の 0002 という場所でハサミを使い収穫を行っていることがわかる。

推定アルゴリズム

前述のとおり、タグからのデータは作業している区画を表す圃場データ、コマツナやレタスなど育てている作物・品種を表す品種データ、使用している道具を表す道具データの 3 種類に分類される。しかし農業の特徴として考慮しなければならない点が 2 つある。

1 つ目は同じ品種であっても時期によって育てる区画が

変わる点である。例としては、気温が高くなった時、長時間の直射日光を避けるために育てる区画を変更する。2 つ目は同じ区画であっても時期によって育てる品種が変わる点である。品種によって旬が異なるからである。そのため、場所や品種の情報は作業を推定するための情報として扱うことが難しいことがわかる。

そこで、まず道具タグの情報のみで推定を行い、後から場所と品種の情報を付け加える方法で作業を推定した。道具タグでの推定にはナীবベイズ分類器 (Naive Bayes classifier) (Lewis and Ringuette 1994) を用いた。圃場と品

種情報は、読み取ったデータの全圃場データと品種データを比較してそれぞれ一番検出頻度が高かったものを採用した。

ナイーブベイズ分類器とは分類問題をベイズの定理を使って解く手法で、スパムフィルタ等のテキスト・データマイニングの分野で使われている（小島 2006）。特徴量間の依存性を考慮することはできないが、比較的少ない教師データで訓練を行うことができる。農業では 1 工程が長く学習用のデータが少ないためこの手法を用いた。今回はデータを播種・定植・収穫の 3 つのカテゴリに分類した。

分類に使用する特徴量（説明変数）は、トレイ 2 種、計量器、冷蔵庫、水道、袋、保温庫、ハサミ、圃場の 10 種類である。アルゴリズムの学習の手順を以下に示す。

1. 各カテゴリの特徴量の検知割合を求める。

例：播種（トレイ 1：0.2%，トレイ 2：40%，計量器：0%，……）

2. 全カテゴリの特徴量の検知割合を求める。

3. 各カテゴリの特徴量の得点を（1）式より求める。

$$\text{得点 } P_{ij} = \log \frac{\text{カテゴリ } C_i \text{ での特徴量 } F_j \text{ の検知割合}}{\text{全カテゴリでの特徴量 } F_j \text{ の検知割合}} \quad (1)$$

$C_i (i=1-3)$: カテゴリ

$F_j (j=1-10)$: 特徴量

$P_{ij} (i=1-3, j=1-10)$: 得点

アルゴリズムの学習終了後は、新しく取得したデータの各特徴量の検知回数 N_j ($j = 1 - 10$) を求め、各カテゴリの P_{ij} と N_j の積和を $j = 1 - 10$ の範囲で求めた。その結果をカテゴリ同士で比較して一番大きな値のカテゴリを分類結果として出力した。

アプリケーションサーバ

サーバ機能

サーバ機能のフォルダ構成図を図 12 に示す。

RFID システムから送信されたタグのデータは、farmpop /（各農園用フォルダ）にある zip フォルダに蓄積される。図 12 では、3 つの農園（Farm A, Farm B, Farm C）用のフォルダがあることがわかり、それぞれに zip フォルダが存在する。そして farmpopserver/GetGuessWorkName.php により同階層の Python コードを実行することで、農作業の推定を行う。

FarmPopList.php により、作業判定した結果をまとめた一覧表を生成した（図 13）。各農園のデータはフォルダ（Farm A, Farm B, Farm C）ごとに区分されているため、対応した農園の一覧表が表示される。また「グラフ」というリンクをクリックすることで、後述する N/E 比グラフ（Kurosu et al. 2002）を表示することができる。

(a) アプリケーションサーバ

(b) N/E 比グラフ表示機能

図 12 システムのデータ構成図

N/E 比グラフ表示機能

アプリケーションサーバでは、RFID システムより送信されたデータを N/E 比グラフとして表示することができる。農業法人の多くでは、繁忙期にパートタイム労働者を雇用することが多いが、経験の違いによってパートタイム労働者の農作業技術にはバラツキがある。そこで農作業の習熟度の低い初心者（Novice）（以下、初心者）と農作業熟練者（Expert）（以下、「熟練者」とする。）の作業効率をタグ検知数と作業時間から比較することで、初心者の作業効率の改善を行う。各作業で用いた農機具ごとにタグデータを取得することが可能であるため、より細かな粒度で初心者の作業の改善点を発見することができる。初心者の本システム利用の動機付けとし、現場普及を進めることを狙いとして開発した。加えて初心者と熟練者では作業手順などが異なる可能性がある。そのため教師データの学習を別々に行って精度を上げる必要もあると考えられる。N/E 比グラフは、これら作業者の違いを考慮するための将来的な検討に備えての機能でもある。

本研究では Googlecharts（<<https://developers.google.com/chart/interactive/docs/gallery/barchart>>, 2017 年 5 月 17 日参照）を用いて実装した。

localhost:8888/farmpop/farmpop/yamashita/FarmPopList.php

FarmPopからのデータ一覧

開始時間	終了時間	選択作業名	判定作業名 (サーバ)	データ	判定	N/E比
11/23 08:13	11/23 09:21	収穫	収穫	20161123081351.zip	○	グラフ
11/25 10:23	11/25 11:44	収穫	定植	20161125102307.zip	×	グラフ
12/12 15:02	12/12 15:49	収穫	定植	20161212150229.zip	×	グラフ
12/20 09:11	12/20 09:30	播種	播種	20161220091133.zip	○	グラフ
12/28 09:51	12/28 10:02	播種	播種	20161228095100.zip	○	グラフ
01/07 09:28	01/07 09:46	播種	播種	20170107092840.zip	○	グラフ
11/27 09:14	11/27 09:17	定植	定植	20161127091415.zip	○	グラフ
12/20 09:01	12/20 09:09	定植	定植	20161220090120.zip	○	グラフ
12/23 09:23	12/23 09:44	定植	定植	20161223092305.zip	○	グラフ

図 13 各作業の判定結果及び N/E 比グラフ表示のためのリンク

図 14 N/E 比グラフ例

図 14 に N/E 比グラフの読み方の説明のための、仮想的なデータによる表示例を示す。図 14 の表示例からは、

1. 初心者よりも熟練者の方が作業時間が短かった。
2. 収穫の作業において、熟練者（赤）はプラスチックと発砲スチロールのトレイを少なからず使用したが、

初心者（青）は使用しなかった。

3. ハサミ、水道を利用した作業において熟練者（赤）の方が初心者（青）よりも効率的に作業をした。ことなどが読み取れる。なお今回の実証実験は熟練営農者 1 名で運営する太陽光型植物工場で行ったため、N/E 比グ

ラフ表示機能のユーザビリティ評価については行っていない。

実験

実験内容

本研究で提案した RFID システム及び推定アルゴリズムの有用性を確かめるために実験を行った。RFID システムについては再現率と適合率についての実験を行った。再現率とは、取得すべきデータをどの程度取得できたかの割合のことで、情報の抽出率を表す。適合率とは、取得したデータの中でどれだけ不要なタグのデータが入っていないかの割合のことで、システムの正確さを表す。前述したナイーブベイズ分類器は取得したデータが正確でなければ分類精度が低くなるため、本システムでは適合率が重要となる。再現率と適合率はそれぞれ以下の式で求めることができる。検知すべきタグとは、作業で使用する場所や道具のことで、各作業での検知すべきタグの一覧を表3にまとめた。

$$\text{再現率} = \frac{\text{検知したタグの中の検知すべきタグの種類数}}{\text{検知すべきタグの種類数}} \quad (2)$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{検知したタグの中の検知すべきタグの種類数}}{\text{検知したタグの種類数}} \quad (3)$$

推定アルゴリズムについては分類器の性能についての実験を行った。RFID システムを用いて取得したデータの一部を教師データとして分類器を作成した。その後残りのデータを分類器に掛けて、推定アルゴリズムの性能について検証した。

RFID システム

実験条件

RFID システムの実験条件を表4に示す。タグは冷蔵庫に Confidex を、ハサミに WEBLITE を、それ以外には DOGBORN を使用した。また今回は天候の影響を受けにくい施設園芸での実証実験を行った。農場の大まかな見取り図及び、設置したタグの ID と区画の対応を図15に示す。いずれのタグも作業者が携帯している RFID リーダと同じ高さにタグを設置した。作業者がデータ取得開始前に真値（これから行う作業名、播種・定植など）を合わせてシステム上に記録し、真値とデータのセットを教師データとした。

施設園芸農家（太陽光型植物工場、水耕栽培にて葉物野菜を栽培）で1週間 RFID システムを運用することで実験用のデータを収集した。その結果、播種を5回分、定植を5回分、収穫を10回分の計20回分の作業データが集まった。この作業から再現率と適合率を求めた。

表3 検知すべき RF タグ

作業名	RF タグ
播種	発泡スチロール製のトレイ、冷蔵庫、水道、保温庫、机
収穫	プラスチック製のトレイ、発泡スチロール製のトレイ、計量器、水道、袋詰め用ケース、机、ハサミ、圃場
定植	発泡スチロール製のトレイ、水道、保温庫、机、圃場

表4 実験条件

RFID リーダ	ARETE POP
RF タグ	DOG BORN WEB LITE Confidex Steelwave MicroII
使用デバイス	iPod Touch 5 (iOS 8.1.2)
データ取得間隔	0.5 [s] に1回
AP サーバへのデータ送信タイミング	デバイスでデータを一時記録、ユーザ任意のタイミングで AP サーバへ送信
農業形態	施設園芸（太陽光型植物工場、水耕栽培）
	※ AP サーバ：アプリケーションサーバ

実験結果

実験で取得したデータを表5に示す。各特徴量の読み取り回数が0でなければ検知できているとして再現率と適合率を求めた。

表5に対しての各作業と全体での再現率と適合率の平均を表6に示す。

表6に示す全体の再現率47.9%と適合率88.1%は、実験で収集したデータのうち、88.1%が正しいデータであり、この正しい88.1%のデータは検知すべきデータ数全体の47.9%であることを意味する。

考察

各作業と全体の両方において、再現率が適合率に比べ低いことが確認できる。これは冷蔵庫、計量器、機の検知率が悪いことが原因である。実験後の農家へのヒアリングで、冷蔵庫は播種作業で種を取り出す際に5秒、計量器は収穫作業で10分以上、机は全作業において10分以上使用されることが分かった。データの取得は1秒に2回のペースで行われるため、1回の作業で冷蔵庫は10回程度、計量器や机に関しては1200回程度は読み取られるはずである。冷蔵庫は金属による影響を低減するため金属用のタグを使用しているが、他のタグより交信距離が短いことを確認した。また他のタグより使用している時間が短いことも農家へのヒアリングでわかっている。これらが原因で冷蔵庫の検知率が低くなったと考えられる。しかし、計量器と機の検知率が低い原因は明らかではない。推測としては、UHF帯の電波は床や壁など様々なものに対して反射・吸収が行われる。それにより、本来読み取られるべきタグが読み取

図 15 圃場の見取り図

図中の数字が、タグの ID 番号となる。圃場タグは 0001 ～ 0040 までとなる。認識率向上のために同一番号のタグ 4 枚を一定の間隔を空けて貼付している。冷蔵庫（0084）は金属用タグを 1 枚、水道（0085）は同一番号のタグを 3 枚、保温庫（0087）には同一番号のタグを 3 枚、机は同一番号のタグを 4 枚貼付している。机の上には計量器（0083）が置かれている。計量器には同一番号のタグ 2 枚を貼付している。

2 カ所の棚のどちらかには、トレイ（プラスチック 0081）、トレイ（発泡スチロール 0082）、ケース（袋詰め用 0086）、ハサミ（0089）が置かれる。トレイ及びケースには 4 枚の同一番号タグを貼付している。ハサミには 1 枚のタグを貼付している。棚自体へのタグの貼付は行っていない。

られないといった現象が発生するのだと思われる。

関連研究

推定アルゴリズム

実験条件

実験条件は表 4 と同様である。推定アルゴリズムの学習は表 5 で示した取得データを用いて行った。本実験のために表 4 と同じ条件で再度 1 週間システムを運用し 15 回分の作業データを収集した。この 15 回分のデータに推定アルゴリズムを適用して推定精度を確認した。

実験結果

推定アルゴリズムの出力結果を表 7 に示す。

考察

推定の精度は 86.7% と再現率の低さは推定の精度にあまり影響を与えていないことがわかる。水耕栽培では播種と定植作業は数週間までまとめて行うことが多く、今回、播種と定植のデータ数が少ないという問題点があった。しかし長期間システムを運用することでデータ数を増やし精度をさらに上げることができると考える。また UHF 帯の電波は床や壁に対して反射・吸収を起こすためタグの誤検知は避けられない。そこで、今回検知率の低かった特微量に関してはもう一度タグの配置位置を検討する必要がある。

本章では、提案システムと関連研究を比較し考察する。

南石ら（2007）のシステムは 2.45 GHz と 13.56 MHz の 2 種類の RFID を使用しており、交信距離は数 cm である。手首に RFID リーダを装着して圃場施設や道具に貼り付けたタグを読み取ることで作業情報を取得する。このシステムは農作業時に手首に RFID リーダを装着するため、作業者の負担が大きくなる問題点がある。また、交信距離が極めて短距離であるため、作業者は意識せずにタグを読み取ることが難しいという問題点がある。特に圃場施設の情報取得するためには、扉の持ち手等にタグを貼り付ける場合が多いと思われるが、それでは室内限定での運用となってしまう。道具情報に関しても、どの道具を持っているという情報を得ることができるが、その道具を使ってどんな作業をしているかの推定が困難という問題がある。例を挙げると、ハサミを持っているという情報を得ても、その情報だけではハサミを使って収穫を行っているのか、それともただハサミを洗っているだけなのかを特定することができない。

中西ら（2013）のシステムは圃場にセンサを設置して気

表 5 取得データ

表中の数字は、検出回数 (回)

No.	作業	ブラ	発泡	計量	冷蔵	水道	袋	保温	机	ハサミ	囲場
1	播種	0	121	0	0	369	0	9	0	0	0
2	播種	3	119	0	0	177	0	11	0	0	0
3	播種	4	55	0	0	0	0	87	1	0	0
4	播種	0	160	0	2	0	0	9	0	0	146
5	播種	0	21	0	0	0	0	9	0	0	0
6	収穫	188	176	0	0	70	0	3	0	38	337
7	収穫	1,503	173	0	0	495	5	11	0	0	0
8	収穫	581	464	2	0	794	865	6	0	54	613
9	収穫	256	0	0	0	87	3	0	0	0	0
10	収穫	310	1	0	0	40	0	0	0	0	1,644
11	収穫	1,432	96	1	0	751	30	0	0	52	2,278
12	収穫	167	4	0	0	611	1,070	0	0	202	218
13	収穫	64	1	0	0	50	0	0	0	32	805
14	収穫	0	0	0	0	0	0	0	0	0	276
15	収穫	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0
16	定植	0	12	0	0	340	0	0	0	0	1,350
17	定植	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
18	定植	0	11	0	0	0	0	0	14	0	753
19	定植	0	0	0	0	36	0	3	0	0	539
20	定植	0	0	0	0	117	0	0	0	0	20

表の略語は以下のものを意味する

ブラ：プラスチック製のトレイ

発泡：発泡スチロール製のトレイ

計量：計量器

冷蔵：冷蔵庫

袋：袋詰め用のケース

保温：保温庫

表 6 再現率と適合率

作業	再現率 [%]	適合率 [%]
播種	44.0	80.0
収穫	53.8	97.1
定植	40.0	80.0
全体	47.9	88.1

温・湿度や体積含水率、土壌の電気伝導度等の情報を取得し作業を推定するといったものである。作業者が何も道具を持たずに作業を行えることは大きなメリットではあるが、考慮すべき要素が多くコストの面では多くの課題がある。また例えば、ある作業をすることによって、温湿度や土壌の電気伝導度が変化することが分かっているが、別の要因によっても上昇する可能性もあり、正確に作業を推定するためにはより多くの他の情報と長期間の検証が必要と

なる。

これらのシステムに対して、本提案システムは UHF 帯の RFID を使用している。通信距離が 1 m 程度であり、作業者はタグを触ろうと意識することなく、ハンズフリーで作業を行うことができる。また、自分の現在地と使用している道具の情報を同時に読み取ることができるため、どの道具を使用しているかだけでなく、どの道具をなんの目的で使用しているかまで推定することが可能である。さらにタグは 1 枚あたり数十円で購入可能であり、リーダー・ライタから電力を供給するため低価格かつメンテナンスフリーである。そのため非常に安価でシステムを構成することができる。実験では 86.7% の確率で作業を正しく分類できることを確認した。現状の推定精度では分類の結果を人の目で確認し修正する必要があるが、既存システムのようにパソコン等を用いて農作業後に手入力する必要がなく、作業時の負担もリーダーの装着と開始時と終了時のボタンの押下のみと、十分作業を省力化できたと考えられる。

表 7 推定結果

No.	真の作業	分類結果	推定結果
1	播種	播種	○
2	収穫	定植	×
3	収穫	収穫	○
4	収穫	収穫	○
5	収穫	収穫	○
6	収穫	収穫	○
7	収穫	収穫	○
8	播種	播種	○
9	収穫	収穫	○
10	収穫	収穫	○
11	定植	収穫	×
12	収穫	収穫	○
13	収穫	収穫	○
14	収穫	収穫	○
15	収穫	収穫	○

ただし今回モニタリングに協力して頂いた熟練営農者へのヒアリングから、操作性に関する以下の3つの問題点についても指摘を受けている。

(1) 作業に集中していたら開始・終了ボタンを押すのを忘れたり、予め作業を宣言（播種、収穫など）しなければならないなど、農作業するうえで少々ストレスを感じた。

(2) レシーバの位置が腰回りでブラブラしているため、それがストレスになった。

(3) RFID リーダの電波受信面が反対面だった場合は受信できないので、そのあたりも作業中に意識しなければならず少々ストレスを感じた。

(1) の問題点に関しては、作業開始ボタン、終了ボタンをなくし、ユーザが専用ソフトウェアをスマートフォンにインストールするのみで、後はソフトウェアがバックグラウンドでタグデータを収集し、アプリケーションサーバへデータを自動送信するシステムへと改良することで改善が可能である。路線バスの現在位置情報を共有するシステムではあるが、Naito and Tanaka (2017) のシステムが、Bluetooth タグとスマートフォンを利用してこれを実現しており参考となる。また今回は実証実験のために、教師データ取得のための予めの作業宣言（システム上での作業選択）が必要であったが、実際の運用時には、予めの作業宣言は必要とならない。(2), (3) の問題点については、レシーバの携帯方法の変更や電波受信面の固定を行うことにより改善できる。

おわりに

本稿では、クラウドサービスを用いたシステムの普及の

ネックとなっている情報入力負担を低減するため、農作業情報の新しい入力方法を検討し、UHF 帯の RFID とナイーブベイズ分類器を使い農作業を推定するシステムを提案した。提案システムはハンズフリーでデータを取得することができ、安価で構成することが可能である。実験では 86.7% の精度で作業を分類できることを確認した。

本稿では「太陽光利用型植物工場」で「葉物野菜（コマツナ）」を栽培する際の「播種・定植・収穫」作業の推定を対象とした。今後の研究方向として、施設園芸で栽培される他作物への展開や、露地栽培で行われる農作業への適用について検討する。

今後の課題としては、まず作業者が異なった場合の検討が必要となる。例えば初心者と熟練者として習熟の程度が違う場合には、習熟度の違いから作業手順・癖等が異なると考えられる。そのため同一の教師データでは農作業推定が困難となることが予想される。作業者が異なった場合の推定精度に関する検討や、教師データの切り替えなどが今後必要となる。また技術上の課題としては、電波の反射や吸収に対応したタグの配置の検討や、サポートベクターマシン等の他のアルゴリズムの使用、カメラ・加速度センサとの併用による分類精度の向上、N/E 比グラフのユーザビリティ評価、ソフトウェアのバックグラウンド化、レシーバの携帯方法及び電波受信面の固定方法などの検討などが挙げられる。

謝辞

本研究は生研センター「革新的技術創造促進事業（異分野融合共同研究）」の支援を受けました。ここに謝意を表します。また実証実験にあたりましては、山下農園 山下理俊様にご協力を頂きました。ご厚意に深謝致します。

引用文献

- 一般社団法人日本自動認識システム協会 (2016) RFID の基礎, <<http://www.jaisa.jp/about/pdfs/20161104rfd.pdf>>, 2017 年 10 月 12 日参照.
- 小島國照 (2006) 第 4 回 押さえておきたいスパムフィルタの技, <<https://thinkit.co.jp/free/article/0611/8/4/>>, 2017 年 5 月 15 日参照.
- Kurosu, M., H. Urokohara and D. Sato (2002) NEM: Novice Expert ratio Method, <<http://ueyesdesign.co.jp/case/paper/upa2002.pdf>>, 2017 年 5 月 17 日参照.
- Lewis, D. D. and M. Ringuelette (1994) A Comparison of Two Learning Algorithms for Text Categorization, Proc. of the 3rd Annual Symposium on Document Analysis and Information Retrieval, 81–93.
- Naito, K. and K. Tanaka (2017) Proposal of a bus location system based on participatory sensing with BLE devices and smartphones, Proceeding of The 21st World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 105–110.
- 中西 惇・安井顕誠・原田史子・島川博光 (2013) 圃場センサネットワークを用いた農作業内容の推定, 情報科学技術フォーラ

ム講演論文集, 4: 565–566.
 南石晃明・菅原幸治・深津時広 (2007) RFID を用いた農作業自動認識システム, 農業情報研究, 16(3): 132–140.
 大見孝吉 (2008) 「よくわかる RFID 電子タグの全て」, オーム社, 東京, 1–232 pp.
 スラメット クリスタント ティルト ウトモ・村上幸一・重田和弘 (2012) ICT を用いた農作業日誌作成支援システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, LOIS 470: 7–12.
 SmartGrid ニュースレター編集部 (2006) RFID の基礎と最新動向

(2) RFID のしくみ (その 1) さまざまな RFID タグ, <<http://sgforum.impress.co.jp/article/650>>, 2017 年 5 月 15 日参照.
 辻 雅寛 (2005) 図書館システムにおける RFID 技術の適用, <<https://www.intec.co.jp/company/itj/itj4/contents/14.pdf>>, 2017 年 5 月 15 日参照.

受付日 2017 年 5 月 31 日
 受理日 2017 年 8 月 17 日
 担当分野 工学分野

Agricultural Information Research 26(4) 2017. 87–99

Development of a Low-cost System Using RFID for Automatic Collection of Agricultural Records

Yukikazu Murakami^{*1)}, Mizuki Ando²⁾, Genki Imamura¹⁾,
 Miyu Miyamoto³⁾ and Slamet Kristanto Tirto Utomo⁴⁾

1) Department of Electrical and Computer Engineering, National Institute of Technology,
 Kagawa College, 355 Chokushi, Takamatsu, Kagawa 761-8058, Japan

2) Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology,
 8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-0101, Japan

3) Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokushima University,
 2-24, Shinkura, Tokushima 770-8501, Japan

4) Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, The University of Tokyo,
 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan

Abstract

Much information is now stored “in the cloud”, but time and labor to input information pose a bottleneck. Here, we propose a system for gathering environmental data automatically and estimating the work needed from the acquired data with the aim of reducing labor through the automation of farm work records. Our method obtains information using radio frequency identification in the UHF band and categorizes farm work using a naive Bayes classifier. To disseminate this system, we developed it with a low cost structure. In this paper we report the configuration of the proposed system and the results of a demonstration.

Keywords

RFID, automatic record, farm work, low price, machine learning, N/E ratio analysis

* Corresponding Author
 E-mail: murakami@t.kagawa-nct.ac.jp