

農場観測を目的とした エッジノードを用いたシステムのモデル化

村上 武史^{1,a)} 大森 洋一^{1,b)} 荒木 啓二郎^{1,c)}

概要：農業分野では、収穫物の品質向上を目的として、さまざまな栽培環境、生育状況の把握を行うためのデータ収集が実用化されつつある。しかしながら、農作物に関するデータは多種多様にわたり、それらの収集システムの構築は容易ではない。本稿では、汎用的なデータ収集を可能とする比較的安価なエッジノードと、長期的なデータ保存及び分析を行うバックエンドからなる農場観測システムを想定し、エッジノードの主にソフトウェアによる作業をモデル化した。エッジノードのモデルは収集するデータの特性を抽象化し、農業分野の専門知識に依存しないようにすることにより、新規のデータ収集システムを追加する際に再利用可能とする。

Modeling of IoT Observation System using Edge-nodes for Agriculture

TAKEFUMI MURAKAMI^{1,a)} YOICHI OMORI^{1,b)} KEIJIRO ARAKI^{1,c)}

Abstract: IoT based data collection systems are being put to practical use to improve quality of harvested products in the field of agriculture. The systems collect various cultivation environment data and growing status of crops. However, the data in the agriculture varies widely and it is not easy to construct collection systems. We modeled a farm observation system consisting of relatively inexpensive edge-nodes that enable general-purpose data collection and a back-end that performs long-term data storage and analysis. The model of the edge-node abstracts the characteristics of the collecting data and makes it reusable when adding a new data collection system.

1. ICT を利用した農場観測

農業の効率化は社会的に重要な課題であり、情報通信技術 (Information and Communication Technology, ICT) の活用が期待されている。また、国産の農作物には国内および国外から高い品質が期待されており、さらなる品質向上を図るためにも農場・圃場の多様な観測データの活用が欠かせない。

文献¹⁾では、データに基づいた精密農業を目指した技術開発が関係機関、企業等で行われてきたが、実際の農業現場への普及となると、なかなか思うように展開できずにいる

ことを言及されており、ICT の活用が立ち遅れていた理由として、ハードとソフト両面で現場において使える端末が少なかったこと、ICT の投資対効果や投資回収計画が明確でなかったこと、農業生産には予測不可能な要素が多数あり、「経験と勘」に頼らざるをえない部分が存在していることなどが挙げられている。

さらに近年は、従来の収穫された農作物に対する品質評価に加えて、農作業の各工程において一定の成果を得ることを目的として実施すべき手法や手順などをまとめた規範、またはそれが適正に運用されていることを審査・認証する仕組みからなる農業生産工程管理 (Good Agricultural Practices, GAP) の重要性も増している。GAP は多くの国で規定されており、日本では一般財団法人の日本 GAP 協会が規定する JGAP などが利用されている²⁾。各国の GAP は同等性認証を通じて、輸出入や海外生産を含めた食

¹⁾ 九州大学
Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan
^{a)} t.murakami@nanotsu.ait.kyushu-u.ac.jp
^{b)} yomori@ait.kyushu-u.ac.jp
^{c)} araki@ait.kyushu-u.ac.jp

品安全性を担保する国際的な基盤となっている。GAP では農業生産活動の各工程の正確な実施、記録、点検及び評価を行うことによる持続的な改善活動が求められるので、ICT を利用した記録保存や再利用が有用である。

こうした ICT 利用要求の高まりに加え、機器の低価格化やネットワークの高速化・省電力化といった ICT 利用環境の普及に伴い、農業分野への ICT 応用についてさまざまな研究や提案がなされている。例えば、農林水産省のスマート農業の実現に向けた研究会では「ロボット技術や ICT 等の先端技術を活用し、超省力化や高品質生産等を可能にする新たな農業」をスマート農業と定義し、その解決を目指す目的として

- (1) 超省力・大規模生産の実現
 - (2) 作物の能力の最大限の発揮
 - (3) きつい作業、危険な作業からの解放
 - (4) 誰もが取り組みやすい農業の実現
 - (5) 消費者・実需者への安心と信頼の提供
- を挙げている。

農業への ICT 応用の成功例として、米国に次ぐ世界第 2 位の農産物の輸出国であるオランダがある。オランダは人口と国土面積が九州とほぼ同じ大きさの国であるが、一件あたりの栽培面積拡大とともに、ハウス栽培にほぼ 100% コンピュータ制御が導入されている。例えばトマトで言えば、日本の施設栽培での収量は、およそ $10\text{--}20\text{kg/m}^2$ であるのに対し、オランダは、30 年ほど前は日本と同じ 20kg/m^2 程度であったが、現在は世界でも最高水準の 60kg/m^2 であり、さらに単位収量は年々増加している？。

しかしながら、これまでの提案のほとんどはセンサの配置、ネットワーク構成、バックエンドのクラウドサーバなど、システムのハードウェア構成に焦点をあてたものであり、観測システムで重要な役割を果たすソフトウェアについては、システム全体に渡る構成を規定するアーキテクチャ、設計および実装に必要なパラメータ分析といったソフトウェア作成に関する研究はほとんどなされていない。

統一されたハードウェアによるデータ収集は、同一作物の大規模な農場においては効果的であるが、農地が画一的でなく投資額の小さい農家における導入は困難であるのに対し、ソフトウェアによる観測システムの実現は、観測対象や収集するデータの変更や追加といった修正作業を容易にする。また、特定の作物や生育環境に対して観測システムを最適化していく過程や、試行や実験を含む小規模な環境の実現、ハードウェアでは困難な演算処理を含むデータ収集などには特に適しており、前述の ICT の課題の一部である予測不可能な要素へ対応する有力な手段である。

本研究では、比較的低価格なエッジノードがセンサ群を制御し、定期的にバックエンドのサーバへデータを蓄積するようなハードウェア構成を想定し、このようなシステムにおけるソフトウェア設計に有用なデータ収集のモデル化

を行う。具体的には Raspberry Pi をエッジノードとする観測システムのエッジノードにおけるソフトウェア実現を検討する。

以下、第 2 章ではシステムとしての農場観測システムについて説明し、第 3 章では実際に作成したプロトタイプ評価環境を利用したモデル化について述べる。第 4 章ではソフトウェア開発へのモデルの影響を論じ、第 5 章でまとめを行う。

2. 農業のシステム分析

農場観測をシステム化するにあたっては、観測対象となる農作物をシステムの一部として捉える必要がある。図 1 に、農作物を入力、コンポーネント、出力からなるシステムとしてみた概念図を示す。

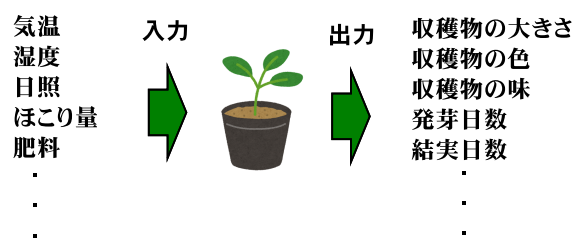


図 1 システムとしてみた農作物

Fig. 1 Plants as a System

農場観測システムの難しさのひとつとして、農作物をシステムとしてみた場合の因果関係の複雑さがある。単一の植物に対しては生化学的な分析も行われているが、よりマクロな農業としてみた場合の振る舞いは非常に複雑であり、ハウス栽培のような管理された環境においてさえ分析は容易ではない。

我々はこのシステムとしての農作物のモデル化を直接行うのではなく、このような検討を行う農業専門家の手助けとなるシステム開発を容易に行えるようなソフトウェア開発環境を提案する。本研究で、モデル化の対象とする農場観測システムは、図 1 の入出力を測定するシステムである。ブラックボックスとしてみた農作物の入出力に関するデータをソフトウェアにより収集する観測システムを抽象化し、ソフトウェアによる実現の利点である柔軟な設計変更やソフトウェア・アーキテクチャの再利用を可能とし、ソフトウェア開発を効率化することを目標とする。つまり、ここで想定する観測システムの入力は農作物の入出力データ、出力はシステムとしての農作物の入力データへの生育中の作物に対する短期的な、あるいは次回以降の生育に対する長期的なフィードバックとなる。

2.1 関連研究

国内におけるこうした農場観測システムの ICT 応用は、中央農研センターのフィールドサーバ研究²⁾をはじめ、セン

サネットワークを利用したシステムが先行している？。特に農場におけるさまざまな農作物の外的要因を観測する環境モニタリングについては、実用的なレベルに達しており、現在の研究課題は、収集したデータのクラスタリング？、時系列データの特徴抽出？、撮影した画像の特徴抽出？など収集したデータの分析や自動制御といった知的処理へ移ってきている。

センサネットワークを利用したシステムでは、接続された装置から膨大な情報が簡単かつ継続的にデータベースへ収集されることから、同じセンサネットワークからさまざまな目的に沿った情報を分析し、時系列データの変化点をみつけたり、環境情報の異常値を発見したり人間の行動分析に利用したりといった応用が可能になっている？。

農場観察システムは、天候の急変に対応するハウスの窓制御や動物の侵入警報など、一部の例外を除いて、厳密なリアルタイム性を要求されることはそれほどない。したがって、収集したデータの分析もオンラインデータベースのようなスナップショットを用いる必要は少ない。しかし、将来的な農作業の全自動化を見据えて、SW-SVR を用いた自律学習システムを適用した事例もある？。SVR は Support Vector Machine を回帰分析に応用したものであり、多様な分野で優れた認識性能を示すことが知られている学習器の 1 つである。SVR 施設園芸環境下で自律的な予測制御を人の介入なしに高精度かつリアルタイムに行うことができる。

文献？は農場観察システムの ICT 応用に関して幅広いサーベイを行っている。特に光センシングについて、波長の違いによる使い分けや識別目的に応じた画像処理など詳しい。また、分析結果を農業従事者が理解するためのデータ可視化や複数の関係者で分析結果を共有するための一元化といったユーザインターフェースの改良も課題となっている？。

2.2 エッジノードを用いた構成

このような状況を踏まえると、農場あるいは圃場に設置されるエッジノードについてもソフトウェアによる柔軟な機能追加や他の機器との連携強化は今後より価値が増してくると予想される。この分野で広く使われているオープンフィールドサーバ (Open-FS)？は、Arduino^{*1} ベースのノードとなっているが、本研究ではより演算性能の高い Raspberry Pi 3^{*2} を用いてプロトタイプを作成した。

一般に農場・圃場観察システムにおけるネットワークの構成は、個々のセンサノードが直接バックエンドサーバと接続する方式と、エッジノードがセンサノード群を LAN 接続し、WAN を経由して外部へ設置したバックエンドサーバと接続する方式がある。LAN 接続と WAN 接続で

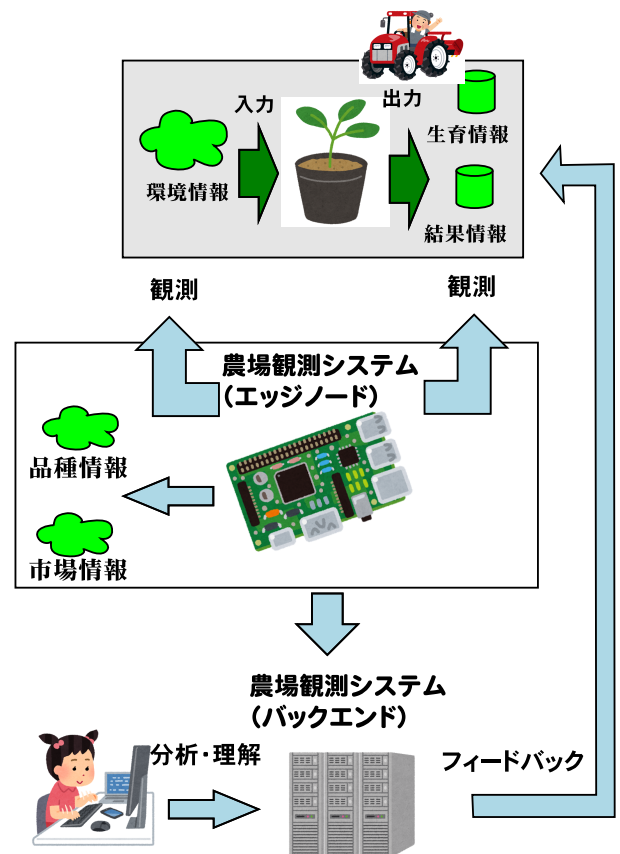


図 2 農作物観察システム

Fig. 2 Abstract Data Collecting System

は、通信速度、料金体系、セキュリティの配慮への必要性など、さまざまな属性が異なるので、実装にあたってはこうした要素も考慮する必要がある。本研究では、後者の方式を仮定し、エッジノード上で少量のデータ蓄積や簡単なデータ変換・加工を行い、それをある程度の間隔でバックエンドのデータベースサーバへ送信するという枠組みを想定する。このような方式は一様なスケラビリティには欠けるものの、圃場やハウス単位での管理に適しており、現在ひろく採用されている方式である。モデル化の対象は図 2 のエッジノードで動作するソフトウェアである。

エッジノードには複数種類のセンサが接続され、同時に複数のエッジノードが配置されることを想定する。各種センサは、植物をシステムとして見た場合の入力となる環境情報及び出力となる生育状況や収穫結果を観測する。エッジノードでは、タイマを利用した定期的なデータ収集、複数のデータの加工などをソフトウェアにより行う。ソフトウェア化により、観測するイベントによって収集するデータのタイミングを変更したり、異常が発生したときに複雑な例外処理を行ったりといった柔軟な情報処理が可能となる。また、エッジノードで収集したデータを表示するといった用途にも用いることができる。汎用のシステムを利用した場合、WWW サーバを動作させて表形式やグラフによる可視化を行わせることも容易である。

*1 <https://www.arduino.cc/>

*2 <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-on-sale/>

簡単なデータ結合の例を図3に示す。温度と湿度の突き合わせにより、温度が上がって湿度が下がっている期間は晴天、温度が上がらず湿度が上がっている期間は雨天であると予想できる。センサは現地に設置されているので、一般的な天気予報よりも高い精度で局地的な天候変化にも対応できる。制御のフィードバック・ループを短くしたい、急な天候変化や動物の侵入などに対しては、このように簡単なデータ処理であってもエッジノードにおけるソフトウェア処理が有効である。

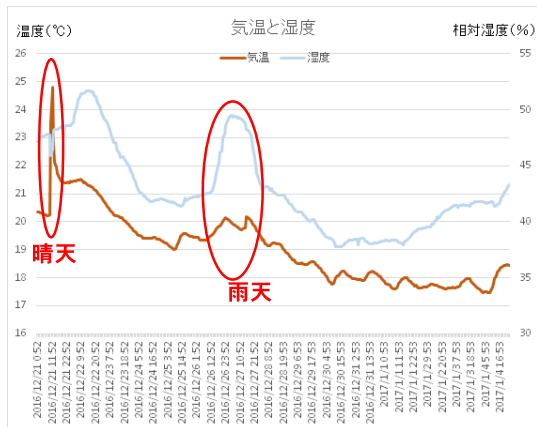


図3 気温と湿度の突き合わせ

Fig. 3 Check of Temperature and Humidity

エッジノードに蓄積したデータは、データ圧縮などを行った上で、定期的にバックエンドサーバへ転送する。バックエンドサーバでは、クラスタ分析やAIを利用した学習などより大規模なデータ処理や、長期的なデータ保持を想定する。

3. プロトタイプ実装と観測データの分類

一般的な農場観察システムを想定したプロトタイプを作成し、エッジノード上で動作するソフトウェアによるデータ収集システムを実装した。実装にあたってはライブラリやプログラミング環境の追加は極力行わず、標準的なソフトウェア構成を維持している。

3.1 実験装置の概要

本研究で利用する Raspberry Pi 3 のハードウェア仕様は表1のとおりである。

図4に作成したプロトタイプ環境を示す。エッジノードは Raspberry Pi 3 の端末であり、GPIO 経由で各種センサと接続している。ブレッドボード上にみえるのは照度センサであり、他に温度・湿度・気圧のマルチセンサ、埃センサ、画撮影用のカメラを接続している。

Raspberry Pi 3 では OS として Raspbian を利用し、プログラム記述言語には Python を用いた。Raspbian は Debian ベースの OS であり、Raspberry Pi 3 用にデフォ

表1 Raspberry Pi 3 の仕様

Table 1 Spec Sheet of Raspberry Pi 3

SoC	Broadcom BCM2837
CPU	1.2GHz ARM Cortex-A53 4core Arm v8 命令セット
Memory	1GB DDR2-900 SDRAM
NIC	LAN (10/100 Mbps) , IEEE 802.11b/g/n, Bluetooth
ストレージ	class10 8GB microSD
汎用 IO	GPIO

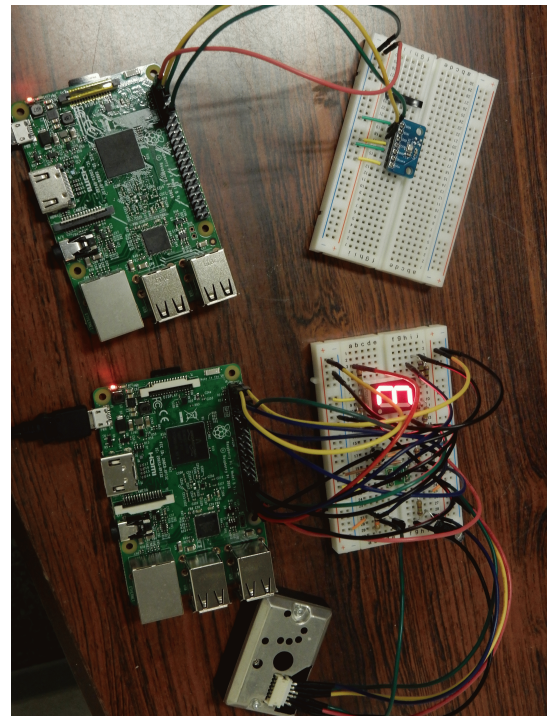


図4 作成したプロトタイプ

Fig. 4 Prototype of the Data Collecting System

ルトでの SE Linux の無効化などの最適化がなされている。実験に利用した Raspbian GNU/Linux 8 (jessie) は Linux-4.4.21 カーネルを使用しており、さまざまな通信プロトコルや API がすぐに利用できる。

図5に気圧のデータを示す。センサのデータは定期的にエッジノードに収集され、CSV ファイルなどへ一定量蓄積されたデータはバックエンドのサーバへ蓄積される。パブリック・クラウドの例として、Dropbox^{*3} へのデータの継続的なアップロードが可能であることを確認している。今回の環境では、WAN による接続の代わりに大学の教育用 LAN でバックエンドサーバとなる PC を利用している。

図6に実際の実験環境を示す。プランターで栽培中なのはハツカダイコンである。本研究では特定の品種や環境に対する最適化は行わないので、複数回の実験を行うために短期間で生育可能なハツカダイコンを題材としている。

^{*3} <https://www.dropbox.com/ja/>



図 5 気圧の変化

Fig. 5 Transition of the Pressure

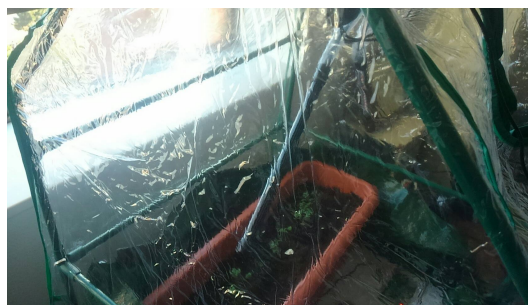


図 7 温室での実験環境

Fig. 7 warm Environment



図 6 予備実験環境

Fig. 6 Pre-experiment Environment

植物が育ちにくいのは、温度が低く、日照時間が短いことに起因していると考えられた。そこで、追加実験として、実験を行った場所で温室を作り、温室での測定も行った。また、18:00 以降からライトを当てて、日照時間の短さの改善も図った。図 7 は、温室を使った実験環境を示している。対象として扱ったのは、同様にハツカダイコンである。図 8 では、ライトを当てる前と当てた後の日照量を示す。実際に日照量が 18:00 以降も値を出していることから正しく動作していることが確認できる。温度についても、平均気温が約 3 度上がっていたことが確認できた。また、芽の出る早さも数日早くなっており、実際に効率化が測れたといえる。

日付	Lux	日付	Lux
2017/1/30 13:00	2028	2017/1/19 12:45	31169
2017/1/30 14:00	3835	2017/1/19 13:45	12124
2017/1/30 15:00	2487	2017/1/19 14:45	8732
2017/1/30 16:00	3832	2017/1/19 15:45	5010
2017/1/30 17:00	762	2017/1/19 16:45	1747
2017/1/30 18:00	4728	2017/1/19 17:45	14
2017/1/30 19:00	4759	2017/1/19 18:45	0
2017/1/30 20:00	4759	2017/1/19 19:45	0
2017/1/30 21:00	4759	2017/1/19 20:45	0
2017/1/30 22:00	0	2017/1/19 21:45	0
2017/1/30 23:00	0	2017/1/19 22:45	0
2017/1/31 0:00	0	2017/1/19 23:45	0
2017/1/31 1:00	0	2017/1/20 0:45	0
2017/1/31 2:00	0	2017/1/20 1:45	0
2017/1/31 3:00	0	2017/1/20 2:45	0
2017/1/31 4:00	0	2017/1/20 3:45	0
2017/1/31 5:00	4738	2017/1/20 4:45	0
2017/1/31 6:00	4753	2017/1/20 5:45	0
2017/1/31 7:00	4769	2017/1/20 6:45	0
2017/1/31 8:00	1062	2017/1/20 7:45	24
2017/1/31 9:00	2927	2017/1/20 8:45	2023
2017/1/31 10:00	13884	2017/1/20 9:45	3959
2017/1/31 11:00	26495	2017/1/20 10:45	4466
2017/1/31 12:00	31972	2017/1/20 11:45	3342

図 8 日照量の比較

Fig. 8 Comparison Amount of Sunlight

3.2 観測データのモデル化

本節では、本研究に関連するモデルについて考察する。現在は、個別の作物について熟練した農作業者の経験に基づいた手順、ノウハウをそのまま計算機を利用して自動化したシステムが多い。しかし、毎年のように品種改良が進む多様な作物へ対応するためには、広範囲な一般化が可能なトップダウンのモデル化が有効である。

3.2.1 植物のモデル

植物観察における植物の基本的なデータは、大きく

- 環境に関する情報
- 生育状況に関する情報

に分けられる。

環境に関する情報には、

- 気温、湿度、炭酸ガス濃度など空気に関するもの
- 水分量、栄養素など培地に関するもの
- 日照、紫外線量など光源に関するもの
- 風速、騒音、振動など

があり、それぞれに平均値、最大値、最小値、分散などの指標がある。

生育状況に関する情報には、

- 播種, 発芽, 開花, などの生育段階
- 花や実の大きさや太さなどの器官の成長
- 葉や花の数など個数
- 葉や花の色などの状態

と言った情報があり, こちらもそれぞれに平均値, 最大値, 最小値, 分散などの数学的な指標がある.

植物観察の ICT 利用に関しては, こうした現実の植物におけるさまざまな指標を計算機内部で正しく扱うためのデータ取得方法の確立が不可欠である.

3.2.2 観測システムのモデル

ひとたび計算機の世界へ取り込まれた植物観察におけるデータは, 大きく

- 空間的な指標
- 時間的な指標

により分類される.

空間的な指標には,

- 農場・圃場の地理情報 (3 次元)
- 農場内の絶対座標 (3 次元)
- 相対座標 (特殊な基準点からの座標)
- 隣の植物の種類, 近接距離

などがあり, これらの観点において, 前節の植物モデルにおけるさまざまなデータが記録される.

時間的な指標には,

- 絶対時間
- 相対時間 (特殊な基準点からの経過時間)
- 雨季, 乾季など環境の相
- 発芽期, 結実期など植物の生育相

などがある. こちらも, これらの観点との組み合わせにより, 前節の植物モデルにおけるさまざまなデータが記録される.

3.2.3 ソフトウェアのモデル

ソフトウェアの全体構造を規定する概念をここではソフトウェア・アーキテクチャと呼ぶ. 本研究に関連するソフトウェア・アーキテクチャとして,

- データフロー
- 階層性
- 制御モデル

がある.

データフローは, コンポーネント間を受け渡されるあるデータの処理順序であり, どのようなデータがどのような順序で各コンポーネントにおいて処理されるかを定義する.

階層性は, 抽象度によってソフトウェアを分離し, 部分的な再利用を可能とする.

制御モデルは, ソフトウェアのどのコンポーネントが主となって, どのようにシステム全体を制御するかを定義する.

3.3 プロトタイプとの突き合わせ

プロトタイプ環境に現在接続しているセンサは

- 温度
- 湿度
- 気圧
- 埃濃度
- 照度
- カメラ

である. これらのデータ収集の共通部分を検討し, 収集方法を抽象化することによりエッジノードで動作するソフトウェアをモデル化する.

第 3.2 節における検討のうち, 植物モデルに関係する要素は, 前述のように深く考察せず, さまざまなデータ取得が行われることを前提とする. 取得したデータについては, エッジノードを用いるという前提から,

(1) 空間的なデータはセンサ設置時に決まる.

ただし, データ取得中に空間的に移動するようなセンサについては別途検討する必要がある. また, 近隣の植生は変化する可能性がある.

(2) センサによる測定単位は, センサそのものの精度以外に, 設置位置, 設置間隔, 測定間隔などに影響される. したがって, センサ設置時に測定単位を考慮する必要がある.

(3) 絶対時間に関するデータは複数のセンサ間で共通の時計を用いる必要がある.

(4) 相対時間に関するデータは信頼できる同一の時計を用いる必要がある.

(5) データはエッジノード上のメモリにいったんは格納されるので, 一回で収集できるデータ量はソフトウェアで意識する必要がある程度に有限である.

(6) エッジノード上のデータはいずれ永続的なバックエンドサーバに格納される. バックエンドサーバへの通信は任意のタイミングで行うことができる.

といった枠組みが与えられる.

観測データの制約は, 例えば以下のようなものである.

- 時間に対して連続か不連続か
温度, 湿度, 気圧などは連続的に変化する.
しかし, 埃濃度, 照度は基本的に連続であるが, 急な曇天や人影などで不連続に変化することがある.
カメラの静止画は基本的に不連続なデータである.
- 植物に対する影響
温度, 湿度などの異常値は比較的短時間で植物に影響を及ぼす.
一方, 気圧, 埃濃度などは植物に影響を及ぼすのに一定の時間を要する.
- データサイズ
温度, 湿度, 気圧, 埃濃度, 照度は整数 (int) で表現される.

表 2 エッジノードソフトウェアの設計パラメータ
Table 2 Design Parameters for Software on the Edge-nodes

項目 (例)	パラメータ					
	時間連続性	測定位置	測定単位	データサイズ	変動	異常値緊急性
温度	連続	空中, 地中	植物部分	1B	日単位周期性あり	小 (場合により大)
湿度	連続	空中, 地中	部屋	1B	分単位	小
気圧	連続	空中	部屋	1B	一定	小
埃濃度	不連続	空中	植物	1B	一定	小
照度	不連続	空中	植物部分	1B	日単位周期性あり	大
カメラ	不連続	空中	植物部分	最大 32MB	—	—

カメラの静止画は非圧縮で一枚あたり 8MB である。プロトタイプにおけるエッジノードのメモリは 1GB であるが、OS や他のアプリケーションの動作に必要な分を除くと、画像データをエッジノードに蓄積するのは得策ではない。

● 変化量

気圧、埃濃度、カメラの静止画は基本的に変動しない。温度、湿度、照度は一日単位で周期性があり、変動する。また、栽培期間において季節変動の影響をやや受ける。ハツカダイコンの生育の場合、20 日から 30 日程度かかるので、季節の変わり目では気温の変動などでそれなりの影響がある。

他の要素についても同様に考察した結果を表 2 にまとめる。

ソフトウェア・アーキテクチャについても同様に、

- (1) エッジノードのデータフローは、図 9 に示すように、センサから生データを受け取り、何らかの処理をしてバックエンドサーバへ送信するパターンで全て記述できる。

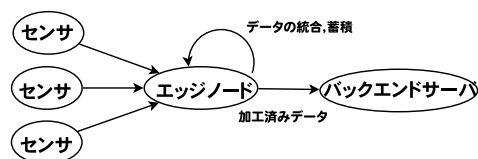


図 9 データフロー

Fig. 9 DataFlow on the Edge-nodes

- (2) 汎用 OS が可能であり、実装するソフトウェアはアプリケーション層に限定できる。
- (3) 収集するデータは環境または植物の生育におけるイベントにより変化する。
したがって、制御モデルはセンサからの情報または時計から得られるイベント駆動により記述するのが望ましい。

4. ソフトウェアの開発効率についての考察

本章では、第 3.2 章の検討結果に基づいて、新しいデータ収集手法の追加事例について考察する。

4.1 動画の保存

Raspberry Pi に接続したカメラの画素数は 8M ピクセルであり、カラー撮影を行うと静止画一枚あたりのデータサイズは 32 MB になる。OS である Raspbian はストレージ上で 2GB、メモリ上で 300 MB 程度を使用することから、これらを除いた範囲でデータを処理する必要がある。Raspbian では ffmpeg^{*4} などのライブラリにより、映像を高圧縮の動画形式へ変換できる。当然ながら、記録可能なデータサイズは内蔵されているメモリおよびストレージに依存し、フォーマットの変換時間も考慮する必要がある。

表 2 のパラメータは、当然ながら静止画との類似性が最も高い。植物観察の目的からは動画撮影の蓋然性はあまりないが、複数のセンサからの画像を集約すると問題が生じる可能性がある。

4.2 炭酸ガスの測定

炭酸ガス濃度の植物育成の影響については、文献[?]に述べられている。炭酸ガスセンサの設置場所については、植物単位、さらに上部と下部といった単位で影響がある。

炭酸ガス濃度の観測に表 2 のパラメータを適用すると、

時間 連続性	測定 位置	測定 単位	データ サイズ	変動	異常値 緊急性
連続	空中	植物部分	1B	分単位	小

のようになる。したがって、炭酸ガス濃度の観測システムは、湿度の観測システムと類似性が高いことが分かる。

ただし、測定位置については空中のみで、測定単位はより小さくなる。これらの変更がソフトウェアに与える機能的な影響は小さいが、測定単位が小さくなれば蓄積されるデータ量が増える可能性がある。ソフトウェア設計においては、こうした非機能的な影響についても考慮する必要がある。

4.3 イベントの連鎖

先行研究にあるように、植物観測においては、植物の育成状況の変化を捉えることが重要である。つまり、このよ

^{*4} <https://ffmpeg.org/>

うな育成状況の変化点をイベントとしてとらえるのが重要である。観測データの上でどのような情報が変化点となるかは、農業の専門家との連携が必要となる部分である。

たとえば、ハツカダイコンの発芽状況を観測するシステムにおいて、

- 発芽前は収集するデータ量を削減するために 6 時間ごとに記録する
- 発芽前後は、気温、照度、画像などを 1 分ごとに記録する
- 発芽完了後は収集するデータ量を削減するために 1 時間ごとに記録する

といった柔軟な制御を行おうとすると、観測システムは発芽イベントを受け取る必要がある。発芽してからでなく発芽直前を記録しようと思うと、実際には発芽の兆候をイベントとして受け取る必要がある。このための方法として、カメラの画像解析、平均的な発芽期間、地中への物理的な発芽センサ設置などの方法が考えられる。

さらに、発芽兆候イベントの結果は、気温、照度、画像などの観測システムへの開始イベントとなる。観測システム全体をイベント駆動で記述することにより、時計による時間イベントと合わせて複数のデータ収集システムを連動させることができる。

5. まとめと今後の課題

ICT を利用した農業の効率化について、スマート農業への関心が高まっている。本稿では、特に

(2) 作物の能力の最大限の発揮

(5) 消費者・実需者への安心と信頼の提供

の観点から、ある程度の演算能力を有するエッジノードをもつセンサネットワークについて、ソフトウェアによるさまざまな機能を効率的に実現するためのモデル化を行った。このために、農作物をブラックボックスとみなして入出力を観測するシステムを想定し、それら入出力の観測データを入力とし、データの収集・分析・蓄積を行うシステムを検討した。

プロトタイプのエッジノードには Raspberry Pi 3 を使用し、ハツカダイコンを題材とした。

プロトタイプで得られた知見を基に、複数のデータ収集手法の共通部分を考察し、抽象化することによって、ソフトウェアによるデータ収集手法をモデル化した。

ここで重要なのは、データ収集システムをイベント駆動で記述するという考察である。データ収集システムの構築にあたって、ソフトウェア・アーキテクチャはいくつかのパラメータにより分類できる。時間的な連続性、精度、測定単位などにより、どのようにデータを収集するかというソフトウェアの機能的な振る舞いが決まり、どのようなイベントによりデータ収集を開始および終了するかにより、ソフトウェアの有効期間が決まる。これらのパラメータ自

体は農業の専門家でなくても定義し、システムに取り込むことができる。ただし、パラメータの妥当性については専門家の知識が必要である。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 24220001, 基盤研究(S)「アーキテクチャ指向形式手法に基づく高品質ソフトウェア開発法の提案と実用化」の成果による。

参考文献

- [1] Fukatsu, T. and Hirafuji, M.: Field Monitoring Using Sensor-Nodes with a Web Server, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 17, No. 2, pp. 164-172 (2005).
- [2] 村上 惇, 小泉真祈, 穴戸健吾, 中村嘉隆, 高橋 修: 農業支援のための変化点検出を用いた農地センサデータと作業内容の分析, 第 78 回全国大会講演論文集, pp. 225-226 (2016).
- [3] 亀岡孝治: 農業の現在と未来を考える中での IT・センシングの有効利用, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 2014-CVIM-191, No. 11, pp. 1-14 (2014).
- [4] 戸上 崇, 坂井洋平, 山口典男, 深津時広: 圃場計測システムについて, 計測と制御, Vol. 52, No. 8, pp. 736-741 (2013).
- [5] 日本 GAP 協会: JGAP 基準書 規約・細則, http://jgap.jp/LB_01/index.html ((2017/1/25 確認)).
- [6] 須山敬之, 納谷 太, 柳沢 豊: センサネットワークによるビニールハウス環境センシング, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, pp. 938-944 (2013).
- [7] 深津時広, 平藤雅之, 木浦卓治: 圃場スマートセンシングを実現するオープン・フィールドサーバ (Open-FS), 第 30 回センシングフォーラム資料, Vol. 30, pp. 170-174 (2013).
- [8] 渡邊勝吉: 食・農クラウド「Aikisai」とセンサネットワークの活用, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J100-C, No. 1, pp. 16-22 (2017).
- [9] 齊藤 章: 施設園芸先進国オランダの現状と技術開発, 第 3 回 TMS 研究会講演会資料, pp. 29-33 (2009).
- [10] 岡安崇史, 有田大作, アンドリプリマヌグロホ, 星 岳彦, 吉永 崇, 井上英二, 平井康丸, 光岡宗司: 農業におけるセンサネットワークシステムの活用, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 2014-CVIM-191, No. 12, pp. 1-6 (2014).
- [11] 兼田千雅, 井林宏文, 鈴木雄也, 黒田正博, 大石直記, 峰野博史: SW-SVR を用いた施設園芸環境向け知的制御システムの評価, 情報処理学会研究報告 DCC, デジタルコンテンツクリエーション, Vol. 2015, No. 13, pp. 1-8 (2015).
- [12] 後藤隼人, 裕貴, 椎葉優希, 山下勇輝, 堀部典子, 青木振一, 西村 強: 農作物栽培環境データの分析とモニタリングのための Web システムの開発, 第 77 回全国大会講演論文集, pp. 815-816 (2015).
- [13] 阿部勇人, 吉田昌平, 佐々木淳, 山田敬三, 高木正則: 農作物成長過程における重要画像自動抽出機能の開発, 第 75 回全国大会講演論文集, pp. 559-60 (2013).