

# SW-SVR を用いた施設園芸環境向け知的制御システムの提案

兼田 千雅<sup>†</sup> 井林 宏文<sup>††</sup> 鈴木 雄也<sup>††</sup> 黒田 正博<sup>‡</sup> 大石 直記<sup>‡‡</sup> 峰野 博史<sup>††</sup>

<sup>†</sup>静岡大学情報学部 <sup>††</sup>静岡大学大学院情報学研究科 <sup>‡</sup>情報通信研究機構 <sup>‡‡</sup>静岡県農林技術研究所

## 1. はじめに

農業分野では、センサネットワークを用いて農作物の栽培環境や生育状況を収集し、その時の状況に応じた制御を自動的に行うシステムの開発が進められている。しかし、センサネットワークを用いた農業環境向け機器制御システムの本格的な実用化のためには、解決すべき二つの課題が存在すると考える。

一つ目の課題は、WSN(Wireless Sensor Network)を用いて栽培期間中継続して稼働する機器制御システムの実現が困難なことである[1]。無線センサは設置が容易であるが、無線通信によってデータ通信の信頼性が低下するため、障害物が多数存在する施設園芸環境で安定した無線通信を実現することは困難であった。

二つ目の課題は、農業従事者の経験や勘による制御が適切に再現されていないことである。例えば作物への養分供給では、作物が当日吸収する養分量を判断し過不足の無い量の養分をあらかじめ供給することで、高度な作物の栽培が実現できるが、養分吸収量の判断は農業従事者の経験や勘が必要となる。そのため、センサデータとユーザ入力の設定値の比較結果から制御の必要性を判定する従来の制御方法[2]では、農業従事者の制御を適切に再現しているとはいえなかった。

本研究では、上記二つの課題を解決するため、施設園芸環境に適した無線方式を用いて予測に必要な環境データを確実に収集し、SW-SVR(Sliding Window-based Support Vector Regression)[3]を用いて農業従事者の経験や勘による制御を再現する施設園芸環境向け知的制御システムを提案する。SW-SVRは時系列データ予測に特化した機械学習アルゴリズムの一つであり、SW-SVRで農業従事者の暗黙知を形式化することで、提案システムは農業従事者の経験や勘による制御を自動的に実行可能とする。

## 2. 関連研究

施設園芸環境の WSN で広く使われている 2.4GHz 帯無線通信は直進性が強いので、金属パイプや植物等の障害物が多数存在する施設園芸環境での利用は適さない場合がある。2.4GHz 帯以外の周波数帯を用いた施設園芸環境向け WSN として、433MHz 帯を用いたじゃがいも畑でのセンシング[4]が挙げられる。433MHz 帯等の低周波数帯無線通信は、2.4GHz 帯無線通信と比べ波長が長く回折性に優れるため、障害物が多数存在する施設園芸環境下でも高信頼な WSN を構築可能であると考えられる。

一方、高品質な作物の栽培のためには、農業従事者の経験や勘による制御を適切に再現し、植物に対して過不足の無い制御をリアルタイムに実施する必要がある。そのため機器制御システムは、農業従事者の暗黙的な将来予測を高精度かつ高速に再現すべきであるが、農業従事者の予測対象は時間経過と共に特性が変化する時系列データであり、一般に予測が困難とされている。時系列データに対して高精度な予測を行う関連研究として、学習データに特殊な前処理を施したり[5]、学習データ量を増大させたり[6]するものが挙げられるが、上記の関連研究では予測モデルの構築時間を考慮していない。予測を利用したアプリケーションを想定した場合、学習データ量に関わらず常に高精度な予測と高速なモデル構築を両立できることが望ましい。

### A Proposal of agricultural environmental control system using SW-SVR

Yukimasa Kaneda<sup>†</sup>, Hirofumi Ibayashi<sup>††</sup>, Yuya Suzuki<sup>††</sup>, Masahiro Kuroda<sup>‡</sup>, Naoki Oishi<sup>‡‡</sup>, Hiroshi Mineno<sup>††</sup>

<sup>†</sup>Faculty of Informatics, Shizuoka University

<sup>††</sup>Graduate school of Informatics, Shizuoka University

<sup>‡</sup>National Institute of Information and Communications Technology

<sup>‡‡</sup>Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry

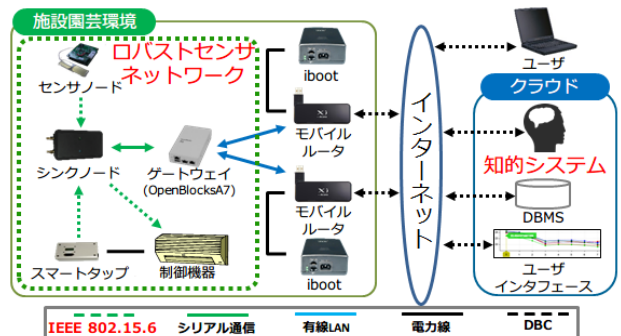


図1 システムアーキテクチャ



図2 SW-SVR 概略図

## 3. SW-SVR を用いた施設園芸環境向け知的制御システム

### 3.1. システムアーキテクチャ

本研究では、施設園芸環境で農業従事者の経験や勘による制御を手軽にかつ適切に再現するため、429MHz 帯 IEEE802.15.6 方式と時系列データ予測に特化した SW-SVR を用いた施設園芸環境向け知的制御システムを提案する。特に SW-SVR は、時系列データの特性に着目することで、予測困難とされる自然環境に対して少ない計算量で高精度な予測を維持し続ける。

SW-SVR を用いた施設園芸環境向け知的制御システムのアーキテクチャを図1に示す。提案システムは大別して、施設園芸環境下で環境データのセンシングと制御信号の送信を行うロバストセンサネットワーク(図1左図)と、クラウド上で将来の環境の予測と制御信号生成を行う知的システム(図1右図)から構成される。

提案システムの動作手順を示す。はじめにロバストセンサネットワークで環境データを収集し、収集したデータをクラウド上 DBMS に蓄積する。次に蓄積されたデータを基に知的システムが将来状況を予測し、予測結果に基づく制御信号を生成する。最後に知的システムで生成された制御信号をロバストセンサネットワークが制御機器に送信し、制御機器を制御する。

### 3.2. SW-SVR

知的システム内で用いられる SW-SVR は、時系列データ予測に特化した SVR(Support Vector Regression)の改良アルゴリズムである(図2)。SW-SVR は学習データ抽出(図2(a))と自動再構築(図2(b))の二つの特徴を持つ。(a)学習データ抽出では、時系列データを持つデータの規則性に着目し、観測データに近傍したデータのみを母集団の中から一定量抽出する近傍データ収集法(Short-distance Data Collection : SDC)[7]を採用しており、現在の環境に特化した予測モデルを構築する。ただし SDC で構築される予測モデルは、その時点の環境に特化した予測モデルであるため、予測モデル構築時の環境から特性が変化すると予測精度が悪化する。そのため(b)自動再構築では、観測データが入力される度に予測モデルの有効性を判定し、時間経過に伴う環境の特性変化に予測モデルが対応不能と判定した場合に、その時点の環境に特化した予測モデルを再構築する。

## 4. プロトタイプ実装と評価

### 4.1. 散乱光センサを用いた窒素吸収量予測制御システム

SW-SVR を用いた施設園芸環境向け知的制御システムのプロトタイプとして、空气中に散乱している光（散乱光）の強さをセンシングする散乱光センサ[8]を用いて、制御当日にトマトが吸収する窒素量を予測し、その予測結果に応じた窒素供給制御を行う窒素吸収量予測制御システムを開発した。毎日定時に実施される窒素供給制御において、知的システムが当日の作物に供給すべき適切な窒素量を判断し、過不足の無い窒素量を供給し続けることで、高品質な作物の栽培を目指した。

プロトタイプ実装における学習データの説明変数と目的変数を表1に示す。目的変数は、本実験の栽培方式の給液時刻に基づき6時間後の給液タンク内窒素量とした。説明変数は、[8]より蒸発散量を推定誤差3%以内で推定可能とする5項目を用いた。最低相対光量は群落の繁茂度を示す指標であり、散乱光から算出される。蒸発散と窒素吸収は関係があるため、上記の5項目を用いることで植物の窒素吸収量予測モデルを構築可能と考える。

### 4.2. 評価実験

知的システムの評価実験では、既存手法 SVR と提案手法 SW-SVR の双方で窒素吸収量予測モデルを構築し予測精度を評価した。モデル構築時間に関しては、AMeDAS の気象データ 25 万件を用いた基礎実験で、SW-SVR は一分以内に予測モデルを構築することが確認できているため(図3)[7]、本論文では現場環境での予測精度の評価を中心にまとめる。またロバストセンサネットワークの評価は、施設園芸環境下での429MHz帯IEEE802.15.6方式の有用性が確認されているため[9]、本論文では省略する。

学習期間と評価期間を表2に示す。ただしシステム更新等で一部データの欠損が生じたため、学習データは2000件、評価データは10件となる。予測誤差の指標にはMAE(Mean Absolute Error)とRMSE(Root Mean Square Error)を用いる。

評価期間内の真値と予測値を図4に、評価期間全体での予測アルゴリズム毎の予測誤差を表3に示す。図4から、SW-SVR は評価項目10項目中9項目でSVRより低い予測誤差を示し、また表3から評価期間全体での予測誤差をMAEで77%、RMSEで68%削減することを確認した。

一方、2014/12/4 に対する SW-SVR の予測結果は、その他の日に対する SW-SVR の予測結果と比べ予測精度が悪化した。この原因は、2014/12/4 の外気が雨天であり、学習期間に雨天の占める割合が極めて少なかったためである。SDC は観測データとの

表1 学習データ

項目	内容
説明変数	上部散乱光, 下部散乱光, 気温, 相対湿度, 最低相対光量
目的変数	6時間後の給液タンク内窒素量

表2 学習期間と評価期間

学習期間	評価期間
期間: 2014/10/31~2014/11/25	期間: 2014/11/26~2014/12/7
時刻: 6時~18時	時刻: 6時
データ数: 2000件	データ数: 10件

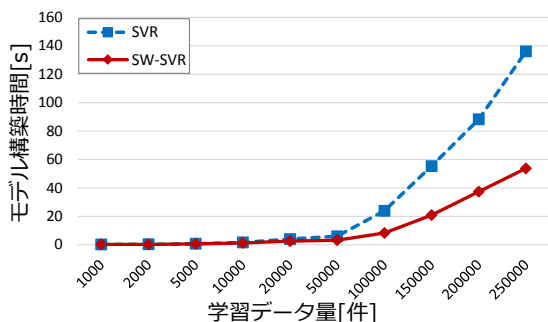


図3 学習データ量とモデル構築時間 (基礎実験)

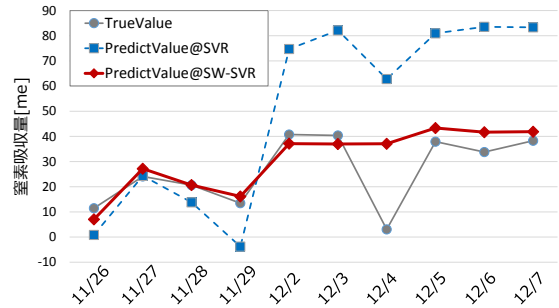


図4 真値と予測値

表3 予測アルゴリズム毎の予測誤差

予測アルゴリズム	MAE	RMSE
SW-SVR	6.82	11.50
SVR	29.24	36.44

類似度が高い順に母集団から学習データを約68%抽出するため[7]、2014/12/4の観測データに対して抽出した学習データには、2014/12/4の環境と類似しない学習データも多く含まれていたと考える。そのため特異な環境を予測する際、母集団と観測データ間の類似度と最適な学習データ量の関係を分析し、母集団から観測データと類似したデータだけをSDC以上に正確に抽出することで、更なる予測精度の向上が見込まれる。

## 5. おわりに

本研究では、施設園芸環境で農業従事者の経験や勤による制御を手軽にかつ適切に再現するため、429MHz帯IEEE802.15.6方式とSW-SVRを用いた施設園芸環境向け知的制御システムを提案し、プロトタイプシステムを実装した。提案システムの評価の結果、窒素吸収量の予測誤差を従来手法と比べMAEで77%、RMSEで68%削減した。特にSW-SVRの利用で、学習データの蓄積数が少ない実験初期段階から高精度な予測制御が実現可能であることを示した。

今後、特異な環境に対しても高精度な予測を実現するため、より適切な学習データ抽出アルゴリズムを検討する。実験終了後には、収穫される果実から、SW-SVRによる予測制御が作物の収穫量や品質に与える効果を評価し、またイニシャルコストやランニングコストからコスト面の評価も実施予定である。

## 謝辞

本研究は、SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発(H25~26)と挑戦的萌芽研究(26660198)により実施したものである。

## 参考文献

- [1] 小林悠一, 他, “センサネットワークを用いた温湿度制御システムの研究,” 情処研報 UBI-37, pp.1-8, 2013.
- [2] “FUJITSU Intelligent Society Solution 食・農クラウド Akisai (秋彩),” <http://jp.fujitsu.com/solutions/cloud/agri/>, (参照 2014/10/01)
- [3] Yuya Suzuki, et al., “Proposal to sliding window-based support vector regression”, Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, pp.1615-1624, 2014.
- [4] John Thelen, et al., “Radio wave propagation in potato fields”, Workshop on Wireless Network Measurements, 2005.
- [5] Benjamin Wang, et al., “Boosting support vector machines for imbalanced data sets”, Knowledge and Information Systems, 25.1, pp.1-20, 2010.
- [6] Brian Smith, et al., “Artificial neural networks for automated year-round air temperature prediction”, Computers and Electronics in Agriculture, 68.1, pp.52-61, 2009.
- [7] 鈴木雄也, 他, “近傍データ収集法を用いた SW-SVR の改良”, 情処研報 MBL, pp.1-8, 2014.
- [8] 大石直記, “温室環境および植物生態情報取得のための散乱光マルチセンサユニットの開発”, 日本生物環境工学会, 2014.
- [9] Hirofumi Ibayashi, et al., “Highly Reliable Wireless Environmental Control System for Home Gardening”, IEEE GCCE, 2014.