

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K08001

研究課題名（和文）農業用水管理の省力化・自動化支援技術の開発

研究課題名（英文）Development of labor saving and automation support technology for agricultural water management

研究代表者

伊藤 良栄（ITO, Ryoei）

三重大学・生物資源学研究所・助教

研究者番号：30232490

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：揚水機のメータ画像を画像処理してポンプの稼働時間を読み取った。2018年度は深層学習による数字認識を試み、90%を超える認識率が得られた。誤認識された数値を自動修正するプログラムを作成して目視で読み取った値と修正値との差が ± 1 以内を許容範囲とした結果、修正後の数値がこの範囲内に収まる割合が99.99%となり、ほぼすべての時間で妥当な数字が得られた。2019年度は高精細なデジタルカメラに変更して解像度の高い画像が得られるようにして、テンプレートマッチングを用いた数字認識に変えたところ、対象揚水機場では二値化の閾値が60か65とした場合に認識率が100%となり誤認識がなくなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

予算面から高額な流量計の導入が困難なことが多い農業用水システムにおいて、高精細なカメラを用いて得られる高解像度の揚水機場ポンプメータ画像から画像処理により数字認識して積算時間を読み取ることが可能となった。画像処理に用いたテンプレートマッチングは深層学習などと比べて計算負荷が圧倒的に軽いため、Raspberry Pi等のSBC上で実行可能となった。以上より、現段階でオンサイトでのリアルタイム処理実行のための基幹技術の開発ができた。今後5Gなどの通信網が農業現場に普及するにつれて揚水機場単位での農業用水の利用実態が上水道のように見える化されることにより、農家の節水意識が向上されることが期待される。

研究成果の概要（英文）：The meter image of the pump was image-processed to read the operating time of the pump. In FY2018, we tried to recognize numbers by deep learning and achieved a recognition rate of over 90%. As a result of creating a program that automatically corrects the numerical value that was erroneously recognized and setting the difference between the visually read value and the corrected value within ± 1 as an allowable range, the ratio of the corrected numerical value within this range is 99.99%. Thus, reasonable numbers were obtained at almost all times. In FY2019, we changed to a high-definition digital camera to obtain a high-resolution image and changed to number recognition using template matching. As a result, in the target pumping station, the optimal threshold for binarization was 60 to 65, and the recognition rate was 100%, which eliminated erroneous recognition.

研究分野：地域環境工学・計画学

キーワード：農業IoT 水田灌漑 見える化 画像処理 水管理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

農業用水を管理する土地改良区は、職員数の減少や高齢化の問題を抱えるところが多く、将来的にきめ細かな水管理が困難になることが予想されるため、水管理業務の省力化、簡素化は急務である。その一方で、農業法人や担い手への営農集約化や作付け品種の多様化などに伴う水需要の変化に対応するため、水管理は供給主導型から需要主導型へと変貌しつつある。

一方、水資源の有効利用から限られた水資源をスマートに活用するため、「Integrated Water Resource Management = IWRM: 総合水資源管理」を推進する動きが活発化しており、国土交通省も平成 20 年の白書「日本の水資源」において、「総合的水資源マネジメントへの転換」を提唱した。この仕組みは、水資源同様に供給と需要が広範囲に分散して存在する電力システムのスマートグリッドに類似しており、それらのノウハウを活用して IBM が「スマート」な水資源管理を提案している。

Society 5.0 社会実装に向けて、農業分野ではスマート農業の促進が進められ、ICT 利用の自動給水栓やスマート水管理システムの開発が始まった。

2. 研究の目的

農家数の減少や高齢化等の問題から、水管理の省力化が求められ、末端水路のパイプライン化が進んでいる。しかし、都市用水や工業用水などと異なり、農業水利費は定額制で課金されることが多いため、一般に末端圃場での利用実態を把握するのは困難である。そのため、まずは農業用水の利用実態を簡便に捉えることができる仕組みづくりが必要である。上水道のような高額な流量計の代わりに圃区単位で使用水量を計測し、水管理者や農家に周知する仕組みができれば、農家の実水使用量が把握できるようになるため、従来困難であった湯水時の節水行為の定量的評価が可能となり、農家の節水意識の向上やモチベーションとなることが期待される。

本研究では、パイプライン地区を対象として揚水機場に設置されているポンプメータをカメラで撮影し、得られた画像を画像処理技術により数字を認識して稼働時間を読み取ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 2018 年に三重県津市桃園西部土地改良区において、タイムラプスカメラを用いて 2 台ある揚水機の積算稼働時間を 1 時間間隔で撮影した。SD カードに保存された動画ファイルを適宜回収し、ffmpeg を使って静止画像に分割変換した。撮影期間は 2017 年および 2018 年の 6 月から 8 月である。揚水機場には照明がなく夜間撮影ができないため、以下の解析ではすべての画像で数字の読み取り可能であった 6 時から 17 時の画像を用いた。

画像から数字を読み取る際に、余分な部分を排除するために前処理を行い、一桁ずつの数字画像を得た(図 1)。ツールに汎用性を持たせるために、OpenCV の輪郭抽出機能を改良して、自動的に数字部の画像を取り出した。

画像を用いた文字認識には、当初 Tesseract OCR を用いたが、数字の認識率が最大で 80% 以下と高くなかったため深層学習に変更した。深層学習には TensorFlow を使い、簡単のため手書き数字画像の認識を行うチュートリアルである Deep MNIST for Experts という既存のプログラムを適用した。学習手法は画像認識の分野で優れた性能を発揮する CNN を用いた。

しかし、深層学習を使ってもそれなりの誤認識が見られたので、これを自動的に修正する数字自動修正プログラムを作成した。積算稼働時間が対象なの



図 1 揚水機メータの画像処理の流れ



図 2 数字自動修正プログラムフローチャート(一部)

で、修正すべき矛盾データとは、前後の数字との差分値が経過時間内に収まらない場合である(例えば、ある時刻のデータが 2,450 時間、1 時間後のデータが 2,750 時間など)。矛盾データを発見すると、修正対象の時刻以降で修正値としてあり得る値が見つければその数値に変更し、無ければ前の時間の数字と同じにする(図 2)。これは、誤認識される数字はメータが回転途中で数字が切れている場合に多いので、完全に切り替わった数字が誤認識した時間以降に必ずあるという仮定に基づいている。

(2)

カメラ撮像

(1)で用いたカメラの解像度が低かったため、数字認識に深層学習のCNNを使用しており、高速GPUコンピュータが必要であった。この点を改善するため、カメラを高精細なもの(Panasonic社 LUMIX DC-GF9)に変更した。

数字認識

数字認識にはOpenCVに実装されているテンプレートマッチングを用いた。これはテンプレート画像を対象画像内でスキャンし、最も一致度が高い座標を感知する手法である(図3)。これにより数字単体の認識だけでなく、従来の方法では判別が困難であった数字が切り替わる途中の画像も認識可能になる。また、画像処理自体が軽量化され、オンサイトでのデータ処理が期待される。

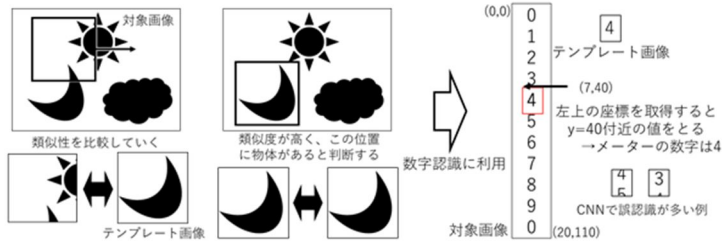


図3 テンプレートマッチングの概要

外部電源供給

予備実験の段階で、カメラ内蔵バッテリーのみでは最大7日間しか連続撮像できないことが判明したため、外部からデジカメに電源を供給する仕組みが必要となった。当初、単純にモバイルバッテリーからの給電を試みたが、一部の高級機種を除いてUSBからの連続給電に対応しておらず、充電完了後に対象機器が電気を消費して充電可能な状態になっても、デジカメの内蔵バッテリーが過充電にならないように自動的にモバイルバッテリーからの給電は再開されないことが分かった。そこで、モバイルバッテリーから強制的に給電を再開する回路を作成した。

4. 研究成果

(1) 深層学習による数字認識では、学習データに2018年の1桁の数字画像6,500枚を用いて、1バッチを50個、1,500バッチ分の学習を行って2017年の画像の数字を予測させた。同じ学習データを用いてもTensorFlowでは毎回予測が異なるため、学習は10回行った。深層学習10回分の正解率の平均は、1号ポンプで90.06%、2号ポンプで96.10%、全体で93.08%であった。

以上の結果より、時刻によって光の条件が異なり、認識対象の画像が比較的不鮮明である揚水機メータの画像認識では、Tesseract OCRより深層学習の方が推定精度が高いことが分かった。

表1 修正後の正解率と妥当性

	1号ポンプ		2号ポンプ		全体	
	正解率(%)	妥当性(%)	正解率(%)	妥当性(%)	正解率(%)	妥当性(%)
学習1	99.18	100	98.77	100	98.91	100
学習2	98.77	100	98.23	100	98.50	100
学習3	99.05	100	98.50	100	98.77	100
学習4	98.91	100	98.64	100	98.78	100
学習5	98.91	100	98.64	100	98.77	100
学習6	98.64	100	97.95	100	98.30	100
学習7	98.91	100	98.09	99.86	98.50	99.93
学習8	98.77	100	98.91	100	98.84	100
学習9	98.91	100	97.82	100	98.37	100
学習10	99.05	100	98.91	100	98.98	100
平均	98.91	100	98.45	99.99	98.67	99.99

しかし、深層学習を使ってもそれなりの誤認識が見られたので、これを自動的に修正する数字自動修正プログラムを作成した。

作成した自動修正プログラムに深層学習で得られた結果を入力すると、全体の正解率は98.67%に向上した。また、目視で読み取った値と修正値との差が±1以内を許容範囲とし、修正後の結果がこの範囲内に収まる割合を妥当性と定義した。妥当性は99.99%で、学習7の1つの数字以外は、妥当な数字を得られた(表1)。

(2) (1)ではエッジ検出でメータや数字部分を切り出していたが、メータ横にできる影の大きさが時刻により変化するため数字の位置がずれてしまう例が見受けられた。そこで、すべてのメータ画像には共通して"RESET"の文字が存在することに着目し、数字領域の抽出にもテンプレートマッチングの適用を試みた。メータ画像から"RESET"の位置を取得してその左上の座標と数字部分の領域のオフセットから数字部分を特定した。その結果、数字画像の領域は安定し、数字が切れる画像はなくなった(図4)。

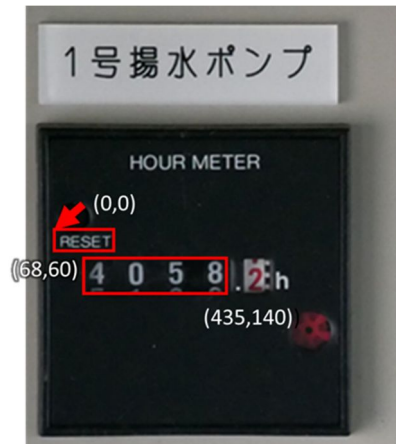


図4 数字領域の切り出し

(3) OpenCVにはテンプレートマッチング手法として3種類の類似度を正規化した指標が実装されている。50枚のメータ画像を用いた予備実験では、正規化されたCCOEFF, SQDIFF, CCORRに認識率の違いは見られなかった。また、グレイスケール画像と二値化した白黒画像との比較では、白黒画像の方が高い認識率が得られた。

最適な解析条件を得るために、閾値を45から95の間で5ずつ変化させ、認識率の違いを比較した。その結果、テンプレートマッチングの3手法いずれにおいても閾値60および65では

100%の認識率となった(図 5)。

閾値の最適値は 3 つの手法で大きな差は見られなかったが、図 5 より CCOEFF_NORMED が最適閾値近傍での認識率低下が比較的少なかった。これは、CCOEFF_NORMED が一般的に輝度値の変化の影響を受けづらいことと合致する。

さらにシングルボードコンピュータの Raspberry Pi での動作も確認できた。

(4) カメラのバッテリー容量(4.9Wh)が7日で消費されたので、損失や設計のしやすさを考慮し、1 時間に 1 分の給電を行うこととした。また、使用したモバイルバッテリーの容量は 72.36Wh なので、14 回は給電できるはずである。フル充電で 7 日間稼働するので、計算上では 103 日間の連続動作が可能となる。

作成した回路とモバイルバッテリーを接続して 1 時間間隔でインターバル撮影を行った。その結果、実験を開始した 2019 年 12 月 10 日から終了した 2020 年 2 月 2 日までの計 54 日間は給電が行われ、その間カメラが停止することはなかった。データロガーで給電電圧を測定したところ、実際には 1 時間 4 分に 59 秒間給電していた。

今回構築したシステムは、カメラやレンズ、モバイルバッテリー、回路の材料など 9 万円程度で実現できた。高精細カメラで撮像された白黒メータ画像をテンプレートマッチングを用いて処理することで認識率 100%が達成され、二値化の最適閾値は 60 もしくは 65 であった。また、バッテリーの問題については作成した回路を用いた結果、54 日間のモバイルバッテリーによる給電が確認でき、解決を図ることができた。Raspberry Pi などの SBC を用いたオンサイトでの解析も可能になり、農業用水利用の見える化の実用化に一步近づいたといえる。

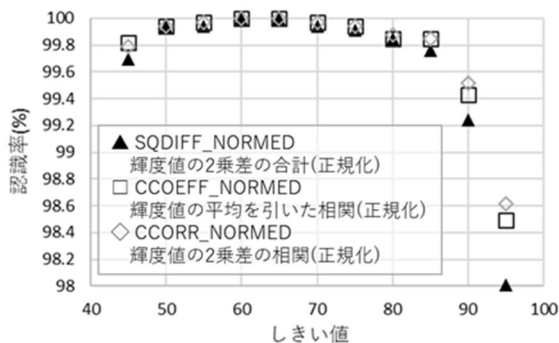


図 5 閾値による認識率の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ryoei Ito and Chiaki Yamaguchi	4. 巻 17
2. 論文標題 A FIELD IMAGE MONITORING SYSTEM BASED ON EMBEDDED LINUX	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 181-187
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.21660/2019.62.25814	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 伊藤良栄, 山中理奈, 加治佐隆光, 近藤 雅秋
2. 発表標題 画像認識技術を用いた農業用水利用の見える化
3. 学会等名 農業情報学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内ちあき, 伊藤良栄, 山中理奈
2. 発表標題 高性能カメラを用いたパイプライン地区における配水量の可視化
3. 学会等名 農業農村工学会京都支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoei Ito, Shuhei Isoda, Atsushi Hashimoto, Hideo Togawa, Shogo Tamura and Takaharu Kameoka
2. 発表標題 CONSTRUCTION OF CULTIVATION SUPPORT SYSTEM FOR WINE GRAPE USING AGRICULTURE IOT
3. 学会等名 APFITA2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 良栄, 前田 泰希, 加治佐 隆光, 近藤 雅秋
2. 発表標題 揚水機稼働時間からみた水利用実態評価と減水深の推定
3. 学会等名 農業農村工学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤 良栄, 加治佐 隆光, 近藤 雅秋
2. 発表標題 安価な水位センサを用いた水田からの流出観測の試み
3. 学会等名 農業農村工学会京都支部
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長屋 祐一, 伊藤 良栄, 松本 祐輔
2. 発表標題 土地改良区が保有する電動化した機器類をICTでサポートする
3. 学会等名 農業農村工学会京都支部
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>長野県塩尻市サンサンワイナリー圃場気象データ閲覧サービス https://mizupc8.bio.mie-u.ac.jp/weewx/sunsunwinery/</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----