

畜産業支援に向けたドローンによる空撮画像の撮影と牛検出への応用

王 晋 1† 福田 誠一郎 1† 吉橋 亮太 1† 川上 玲 1† 川瀬 英路 2‡ 苗村 健 1†

†東京大学工学部 1 ‡カミエンス・テクノロジー株式会社 2

E-mail: {susumu, fukuda, yoshi, rei, naemura}@hc.ic.i.u-tokyo.ac.jp

Abstract

畜産業に従事する人口は年々減少する一方、一戸当たりの飼養頭数は増加しており、従事者の負担を軽減する必要がある。IT 技術の導入による放牧牛の管理の手段として無人航空機、いわゆるドローンによる空撮画像の利用が考えられる。筆者らは、熊本県の牧場で放牧された牛のドローンによる空撮画像を取得し、牛検出のためのラベル付を行い、HOG (Histogram of Gradients) 特徴量とサポートベクタマシン (SVM) を用いた牛検出を適用した。従来の画像からの物体検出では、1 枚の静止画のみからの検出にとどまっておき、広範囲をカバーするための複数枚の画像を用いての動物検出は行われていない。そこでストップアンドゴー形式で撮影された重複のある画像に牛検出を適用し、画像の重複箇所検出器の結果を統合し、精度が向上することを確認した。

1 はじめに

畜産業では従事人口の高齢化が進み、牛の飼養戸数は年々減少する一方、一戸当たりの飼養頭数は増加している [1]。一戸当たりの負担が増える中、牛舎内で過密した状態での牛の管理から、頭数管理が容易な放牧へと変化しつつある。放牧牛の管理において、各個体の位置を把握し、給餌の様子を把握したり病気や怪我に迅速に気づき対処することは重要である。

そこで、無人航空機、いわゆるドローンの空撮画像を用いた牛の監視が考えられる。本研究では空撮画像における牛の認識へ向けたデータ作りとして、熊本県阿蘇市の牧場で、一般社団法人救急医療・災害対応無人機等自動支援システム活用推進協議会の協力の下、放牧の様子を撮影した。撮影した画像内の牛にラベル付けを行い、HOG (Histogram of Gradients) 特徴量 [2] と SVM (Support Vector Machine) [3] による検出器を作成した。

また、従来の動物検出手法ではいずれも上空で静止した状態で撮影された 1 枚のみの画像から検出を行っ

ているが、広大な放牧区域をカバーするには移動しながら複数の画像撮影を行う必要がある。このとき、同一個体が複数の画像に写ることがあり、単純な検出のみではこれらを重複して認識してしまう問題がある。そこで、本稿ではストップアンドゴー形式で撮影された重複のある画像に検出器を適用し、画像の重複箇所検出器の結果を統合し、精度を向上させる。

関連研究 酪農では飼養規模が増加傾向にあるため、IT 技術を用いた効率的な管理ツールがいくつか提案されている。喜田ら [4, 5] はウェブカメラにより牛舎の牛や自動給餌機、堆肥化処理施設等の稼働状況を監視するシステムを提案した。今西ら [6] は牛の発情検出のため、加速度センサと小型無線端末を複数の牛に取り付け監視するシステムを提案した。発情検出は 2017 年現在では体温センサを妊娠中の母牛の体内に留置する手法の精度が高く製品化され普及が進んでいる [7]。

牛の放牧においてもいくつか IT 技術導入の試みが見られる。従来は牛舎内生産が主流であったが、過密状態での飼育は排泄処理や疾病管理が高コストであり従事人口も高齢化しているため、荒廃した農地などを利用した放牧が最注目されている。安江ら [8] は 1,400 ha という広大な林野で数頭の牛に首輪式 GPS を装着し 7 年に渡る位置データの記録から牛の採食行動を分析した。この結果から監視人の作業軽労化と、牛の高頻度通過地点に個体通過を確認する装置の設置を推奨している。一般的な GPS 端末は低消費電力化が図りにくく、また電池の交換が手間となっていることから、後藤ら [9] は無線伝搬強度法による測位技術を応用した位置・生体情報の収集手法を提案した。この手法は GPS と比較して 60% 以上の省電力化が見込めたものの、測位誤差が 30m ほどあり、空撮画像による牛の管理は補助となりうる。

動物の検出は コンピュータビジョンの分野で多くの研究がなされている。特に広大な保護区域で動物の個体数を把握するため、ドローンによる動物検出の試みが

見られる。赤外カメラを用いたものでは閾値処理やテンプレートマッチング[10], オプティカルフローによる速度の閾値処理 [11] などがある。Longmore ら [12] は HOG 特徴量と SVM により人間と牛を検出した。Gemert らは Deformable Part Models や Exemplar SVM を牛の検出に適用した [13]。また, Chamoso ら [14] は二層の畳み込み層と一層の全結合層を含む CNN (Convolutional Neural Networks) を空撮画像の牛の検出に適用した。これらの手法はいずれも 1 枚の画像から検出を行うが, 空撮画像は広範囲をカバーするために複数枚画像を重ね合わせる必要があり, 複数枚からの検出結果の統合によりどの程度正確さが向上しうかは明らかでない。

2 撮影とデータセットの構築

利用する空撮画像の撮影は 2016 年 5 月の一日間, 晴天時に熊本県阿蘇市の牧場で DJI Phantom4 により行われた。高度は約 50m, 一枚の画像の撮影範囲は約 80m×60m で, 5 分ほどの飛行で約 200~300 m 四方を撮影した。画像は 2 秒に 1 枚撮影され, 解像度は 4,000×3,000 画素で, 7 回の飛行により合計 657 枚の画像を得た。図 1(a)に撮影場所, 図 1 (b) , (c) に撮影画像の例を示す。

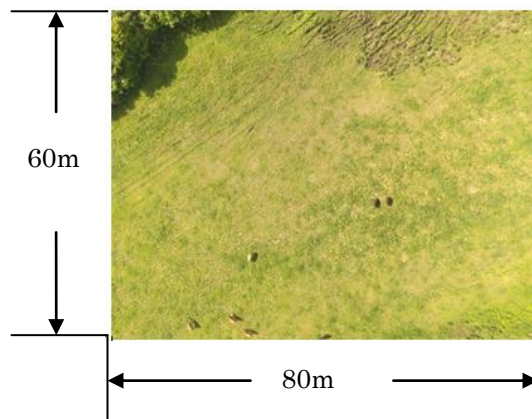
撮影された牛は, ぶれや隠れ, 部分的に写ったものなどを除き, のべ 1,697 頭であり, 手作業によりラベル付けた。牛は平均して 88×88 画素程度の大きさであり, 正例 3,200 枚, 負例 22,150 枚のデータセットを構築した。正例は Data Augmentation されており, ラベル付けされた牛を中心として 30 画素ずつグリッド状に上下左右に平行移動した 9 枚の画像とした。また, 負例は牛が不在の画像からランダムにサンプリングした後, 検出器で Hard Negative Mining を行い作成した。図 2 (a) に作成した正例, 負例の画像を, 図 2 (b) に Data Augmentation の手法をそれぞれ示す。

3 牛の検出と複数枚からの結果の統合

構築したデータセットから HOG 特徴量と SVM を用いて識別器を作成する。これをスライディングウィンドウで適用し牛の検出を行う。高度が 50m と一定であるためウィンドウサイズは 100 画素で固定した。スライディングウィンドウのグリッド幅は 50 画素とした。このため, 画像 1 枚あたりのウィンドウ数は 4,661 となる。1 枚の画像内で検



(a) : 撮影場所とドローンの飛行軌道



(b) : 撮影された草地の例



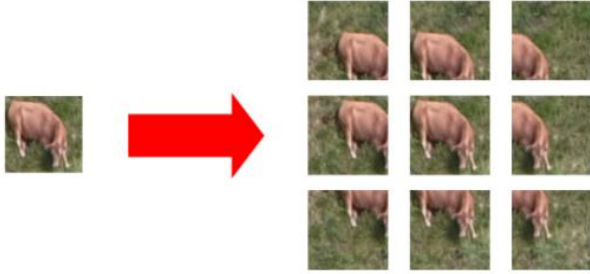
(c) : 木々や道路が含まれた画像の例

図 1 : 撮影環境

出されたウィンドウで近接するものは同一の個体を検出していると見なして, 統合処理を行う。対象のウィンドウの上下左右 1 グリッド, すなわち 50 画素離れた隣接するウィンドウにも正検出が出た場合, これらは同一の個体の牛を検出したとみなし, ウィンドウの統合処理を行う。ここでは, 隣接して検出された複数のウィンドウを 1 つのグループとして, それらのうち最もスコアの高いもののみを残す。統合結果の例を図 3 に示す。



(a) : 正例, 負例の例



(b) : Data Augmentation

図 2 : 訓練データの作成



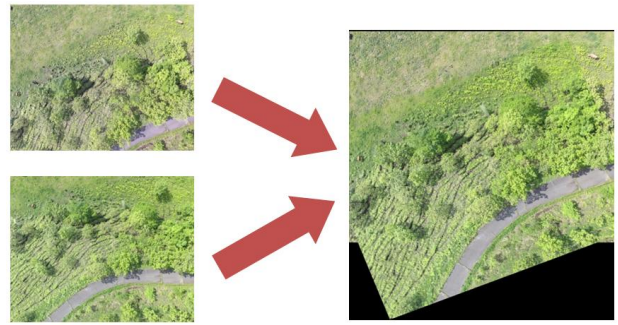
図 3 : 画像内の検出ウィンドウの統合

また, 連続する 2 枚の画像は対応点ベースの位置合わせを行い, 同じ位置に存在する牛は検出器のスコアを平均し, 平均値の閾値処理により牛であるか判定する. 具体的には, 対応するウィンドウの距離の二乗和が閾値未満であるものは同一の個体とみなした. ここでのウィンドウ間の距離とは, それぞれのウィンドウの左上の点の座標の差である. また, 距離の差が閾値未満の位置に対応するウィンドウが存在しない場合は, 検出されたウィンドウと対応する座標から改めてウィンドウを取得し, そのウィンドウを SVM で判定させ, 2 つのウィンドウのスコアの平均を閾値処理させることで牛であるかを最終的に判定した. 距離の二乗和の閾値は 20,000 とした. 空撮画像の統合の例を図 4(a)に, 検出結果の統合手法を図 4 (b) にそれぞれ示す.

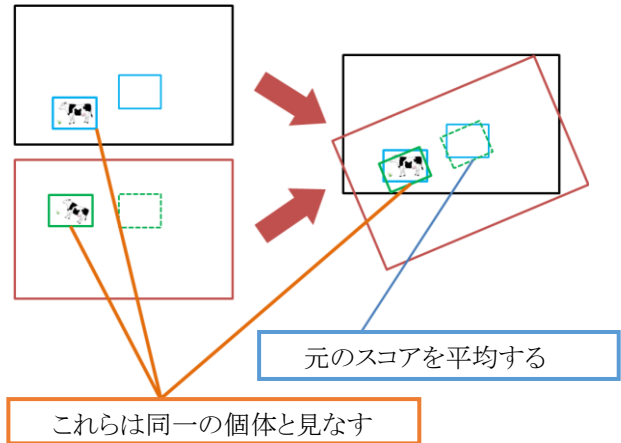
4 実験

4. 1 SVM による牛の判定

構築したデータセットを用い, SVM を使って与えられた画像が牛であるかどうかの判定実験を行った. テスト用の画像としては牛画像を 863 枚, 非牛画像を 2,016 枚使用した. 牛画像は Data Augmentation する前の画像のうちから, ランダムに抽出したものを使用し



(a) : 隣接する空撮画像の統合



(b) : 2 枚の空撮画像からの検出結果の統合

図 4 : 複数枚画像の統合

ている. 一方非牛画像は, 構築したデータセットとは別に, 改めて牛が写っていない空撮画像からランダムに切り取ったものを 2,016 枚用意した. 訓練データとしては, 正例画像は検出実験用のテスト画像を除いたものを使用し, 負例画像はデータセットを構築した 22150 枚を全て使用した.

牛画像の入力に対して判定結果が牛と出力された場合を True Positive (TP), 牛画像の入力に対して判定結果が牛でないと出力された場合を False Negative (FN), 非牛画像の入力に対して判定結果が牛と出力された場合を False Positive (FP), 非牛画像の入力に対して判定結果が牛でないと出力された場合を True Negative (TN) とする. この時, 識別器の精度は以下のように定義される適合率 (Precision), 再現率 (Recall), および F 値 (F-measure) によって評価される. これらはそれぞれ,

$Precision = TP / (TP + FP)$, $Recall = TP / (TP + FN)$,

$F\text{-measure} = 2(Precision \cdot Recall) / (Precision + Recall)$

と定義される. 実験の結果, 適合率は 0.823, 再現率は 0.786, F 値は 0.804 となった.

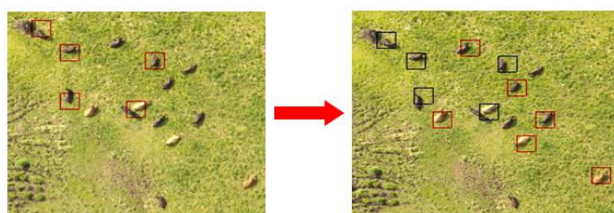
4. 2 牛の検出と結果の統合

4,000 × 3,000 画素の空撮画像から牛の検出を行う.

他と比べて牛が多く写っている計 158 枚の空撮画像から検出を行った. この 158 枚の画像は一度の 5 分程度

表 1 : 牛の検出結果の比較

	Precision	Recall	F-measure
1 枚からの検出	0.319	0.538	0.401
2 枚の情報を統合	0.537	0.577	0.556



(a): 検出漏れが修正された例



(b): 誤検出が修正された例

図 4 : 統合を利用して結果が向上した例

の飛行から得られた一連の風景を写したものである. 1 枚の画像あたり牛がおよそ 0~15 頭写っている. スライディングウィンドウにより得た各ウィンドウを SVM により判定させた. 次に, 3 章で述べた手法により隣接する 2 枚の画像から検出結果の統合を行った.

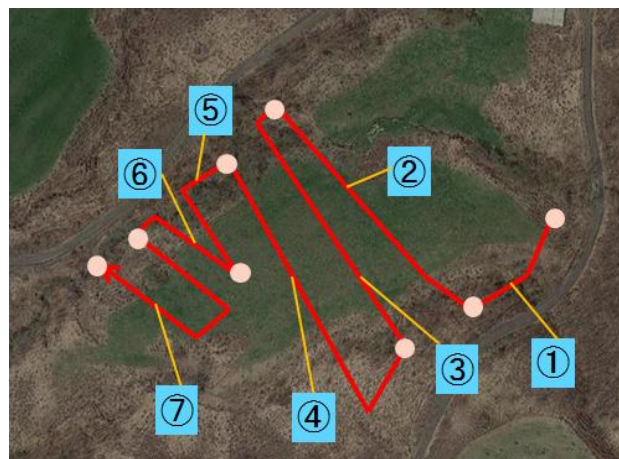
表 1 は単一の空撮画像からの検出結果と 2 枚の画像から結果を統合させたときの検出結果の比較を示す. 2 枚の画像の結果を統合させた場合の方が適合率, 再現率ともに向上し, 全体的な性能が向上した.

図 4 は 1 枚のみからの検出と 2 枚の情報を統合した場合との結果の比較を示している. 図 4 (a) では 1 枚のみの検出では見つからなかった牛が統合により検出されている. 図 4 (b) では牛ではない草原などで誤検出が発生しているが, 統合により誤検出が無くなっている.

4.3 個体数の推定による性能の検証

空撮画像で対象範囲を複数枚の画像でカバーし, 牛の個体数を数える問題を想定し, 同一の個体を隣接する 2 枚の画像の統合により把握し, 個体数をどの程度正確に推定されるかを調べた. 空撮が対象とする放牧

地は完全な平面でないため位置合わせ時の誤差が最



小限の画像セットで実験できるように, 飛行中の平行移動

図 5 : ドローンの飛行軌道と区間

表 2 : 個体数の推定

	推定個体数	非牛	牛 (真値)
区間①	39	35	4 + <u>0</u> (5)
区間②	38	22	15 + <u>1</u> (18)
区間③	40	18	19 + <u>3</u> (24)
区間④	63	33	25 + <u>5</u> (29)
区間⑤	41	25	13 + <u>3</u> (19)
区間⑥	10	6	4 + <u>0</u> (5)
区間⑦	31	30	1 + <u>0</u> (1)

した部分を区間に区切り実験を行った.

表 2 に区間ごとの個体数の推定結果を示す. 区間 1 から 7 はドローンの飛行区間を示しており, 図 5 の番号と対応している. 非牛とは推定結果のうち, 誤って非牛であるものを牛とした数を示す. また牛とは推定結果のうち, 実際に牛であるものの数である. 牛の列で下線のある数値は, 誤って同一の個体を複数回数えてしまった回数を示している. 括弧内に書かれた真値とは, 実際にそれぞれの区間に存在する牛の真の個体数である.

表 2 の結果より, 重複検出が大幅に低減されることが分かる. 一方, 真値と比較し推定個体数が多く, 個体数の推定には誤検出が多いことが課題であることが分かる.

5 まとめ

本稿では, 畜産業支援に向け, 放牧牛の空撮画像の取得, データセットの構築, 及び, 基本的な牛検出手法

の適用を行った。また隣接する画像の位置関係を利用し検出精度が向上することを確認した。また、複数の画像に写る同一の牛を認識することに成功した。

参考文献

- [1] 農林水産省, 畜産統計調査
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/>
- [2] Dalal, N. and Triggs, B.: "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection.", Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on, vol. 1, pp. 886-893, 2005.
- [3] Corinna Cortes and Vladimir Vapnik: "Support-vector networks.", Machine learning 20.3, pp. 273-297, 1995.
- [4] 喜田環樹, 加茂幹男, 澤村篤, 松尾守展, 重田一人: ライブカメラ画像による牛群行動監視システムの検討, 日本家畜管理学会誌, Vol.39, No.1, pp.48-49, 2003.
- [5] 喜田環樹, 加茂幹男, 澤村篤, 松本大助: 酪農施設機器と牛群のモニタリングに関する研究, 農業情報研究 Vol.12, No.4, pp. 299-306, 2003.
- [6] 今西孝也, 毛利謙作, 川原尚人: センサネットワークによる乳牛個体管理の実証試験. 第 23 回人工知能学会論文集, pp.1-3, 2009.
- [7] モバイル牛温恵 <http://www.gyuonkei.jp> 2015.7.
- [8] 安江健, 佐藤衆介: 無牧柵林間放牧下での家畜ウシの採餌行動と管理. 哺乳類科学 Vol.45, No.1, pp.105-110, 2005.
- [9] 後藤貴文: 人に優しくスマートな放牧管理を実現する無線生体管理システムの研究開発. 総務省, 平成 24 年度 戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 概要, 2011.
- [10] Luis F. Gonzalez, Glen A. Montes, Eduard Puig, Sandra Johnson, Kerrie Mengersen, and Kevin J. Gaston: "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence Revolutionizing Wildlife Monitoring and Conservation.", Sensors Vol.16, No.1, 97. 2016.
- [11] Yunfei Fang, Shengzhi Du, Rishaad Abdoola, Karim Djouani, and Coneth Richards: "Motion Based Animal Detection in Aerial Videos.", In Proc. of International Conference on Intelligent Computing, Communication and Convergence. 2016.
- [12] S. N. Longmore, R. P. Collins, S. Pfeifer, S. E. Fox, M. Mulero-P´azm´, F. Bezombes, A. Goodwin, M. de Juan Ovelar, J. H. Knapen, and S. A. Wich: "Adapting astronomical source detection software to help detect animals in thermal images obtained by unmanned aerial systems.", arXiv:1701.01611, 2017.
- [13] Jan C. van Gemert, Camiel R. Verschoor, Pascal Mettes, Kitso Epema, Lian Pin Koh, and Serge Wich: "Nature Conservation Drones for Automatic Localization and Counting of Animals." In ECCV 2014 Workshops. Lecture Notes in Computer Science, vol 8925. Springer, Cham. 2015.
- [14] Pablo Chamoso, William Raveane, Victor Parra, and Ang´elica Gonz´alez: "UAVs Applied to the Counting and Monitoring of Animals." In Ambient Intelligence - Software and Applications. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 291. Springer, Cham. 2014.