

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 4 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420230

研究課題名(和文) マダイ稚魚選別自動化システムの研究

研究課題名(英文) Automation Research of the Red sea bream fry Appearance-Form sorting system

研究代表者

久保田 均 (KUBOTA, Hitoshi)

近畿大学・先端技術総合研究所・講師

研究者番号：80551704

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、マダイ稚魚の選別作業の自動化を図るために、マダイ稚魚の吻部、及び、外形形状の画像特徴の抽出手法の開発を主に実施した。代表的な人の顔認識手法であるActive Appearance Modelをマダイ稚魚の口に適用した。外形形状の画像特徴の抽出手法では、2値画像処理、エッジ検出、線検出を用いた。研究成果としては、Active Appearance Modelは、吻部の極端な変形、および、カメラに対する稚魚の顔の傾きの変化に対して弱い事がわかった。また、外形形状の画像特徴の抽出手法からの検出では、研究当初の検出能力と比較して飛躍的に検出能力が向上でき、かつ、タクトも非常に短くなった。

研究成果の概要(英文)：In this research, I have developed mainly image processing technique of detecting the shape of the mouse and the contour shape of the red sea bream. In the mouse detection, I have applied to the red sea bream the method using Active Appearance Model which is popular for human face recognition. In the contour shape detection, I have applied to the red sea bream the binary processing method, edge detection method and line detection method. The result of our research was as follows. In the mouse detection, the method using Active Appearance Model is weak for extreme deformed mouse and for an improper inclination angle of the face area to the camera. In the contour shape detection, the capability of detecting the deformed fly has been largely enhanced and the tact time for sorting the deformed fly has been highly shortened.

研究分野：ロボット工学 画像処理

キーワード：水産養殖 種苗生産 画像処理 選別

1. 研究開始当初の背景

マダイにおいて、外観形状はその値打ちを大きく決める要素となる。その為、種苗生産においては、最終工程で変形魚を熟練作業者が選別し取り除いている。

主な変形魚を図1に示す。変形魚としては、もっとも多い短軀、丸み、尾柄短縮、尾椎骨異常、バグヘッドネス、前湾症、背部陥没、腹部陥没、吻部歪み、吻部不整合等、多種の変形がある。その多くの原因が、骨格異常であり、外観の形態異常として現れている。

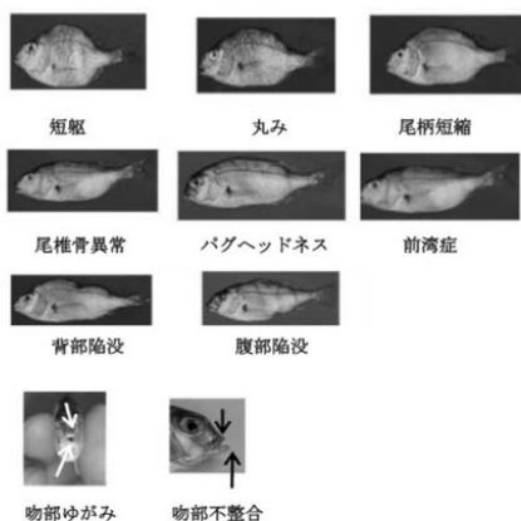


図1 変形魚

稚魚の選別の自動化に関する先行研究はほとんどなく、我々が実施した先行研究例を示す。実験は比較的簡単に撮影できる稚魚側面の透過画像を市販のカメラにて撮影し、市販の画像処理装置を用いて画像処理をした。その実験結果は、正常魚（熟練作業員判定）に対して、正常魚（機械判定）の割合は、約90%強であったが、変形魚（熟練作業員判定）に対して、変形魚（機械判定）の割合は、約50~70%と検出能力が低かった。また、吻部の歪みなど、稚魚側面の画像からは検出できない変形も多い時は約20%あった。

2. 研究目的

撮影上の課題としては、「撮影時の稚魚の動き」、「背ビレ、尾ビレ、臀ビレ、腹ビレ等のヒレの写り込み」、「腹部等の反射」、「基準のとりにくい輪郭形状」、「水滴」等計測する為の阻害要因が多い。また、ロットによっては、吻部の歪み、吻部の不整合が多く発生し、側面の透過画像では検出できない。

タクト面でも、本学白浜事業場では、繁忙期に、約20万匹/日进行处理しなければならず、処理能力が高くなければならない。

従って、高タクトで、かつ、撮影上の課題も克服でき、現状の選別システムを大きく変更しないで設置できる画像処理技術の開発が研究目的となる。

3. 研究の方法

選別システム面からは、

撮像時の稚魚の不活性化

稚魚の画像処理装置へのハンドリング方法

稚魚の撮像、画像処理

変形魚の排除方法

である。

画像処理技術面からは、

吻部の画像処理

側面透過画像処理

熟練者判定と機械判定の相関

である。

本研究においては、吻部の画像処理、側面透過画像処理を重点的に実施した。

4. 研究成果

(1) 吻部の画像処理

Active Appearance Model

吻部検出には、顔認識に広く用いられてい

る Active Appearance Model(以下 AAM)を用いた。AAM とは、口の動きや顔の向きが変化した時の見え方の変化(注目領域内の輝度値)の相関を統計的にモデル化したものである。AAM の構築には、全ての学習画像に対して図 2 のように口の輪郭に沿って 12 点のランドマークを与えた画像を用いる。学習画像から得た口領域内の平均画像を変形させる事で、計測対象の画像との残差が最小となる位置を探索する。具体的には、最急降下法を用いて以下の式の収束値 p を計算する。

$$\sum_x [T(W(x; \Delta p)) - I(W(x; p))]^2 \quad (1)$$

T は学習画像の平均画像、 I は計測対象画像、 W は局所アフィン変換を実行する関数、 p は局所アフィンパラメータである。AAM の探索の経過は図 3 に示す。上式が収束した時のモデルのランドマークの座標値から、吻部歪みの特徴量を抽出する。吻部歪み特徴量の定義は、図 4 に示すような、検出したランドマークの y 座標頂点(点 a)と底点(点 b)を結ぶ直線と、 x 座標左端 (点 c)、右端(点 d) を結ぶ直線のなす角 aod を吻部歪みの特徴量として定義する。また、図 5 に示すように、計測した吻部ねじれ角度の誤差として、計測値 aod と実際の角度 AOD との差 $aod - AOD$ を計測誤差として定義する。

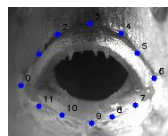


図 2 ランドマーク

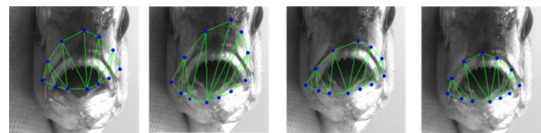


図 3 AAM の探索の経過

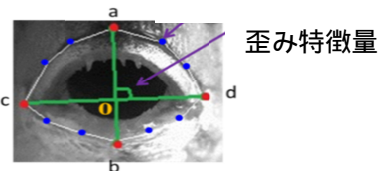


図 4 吻部歪み特徴量

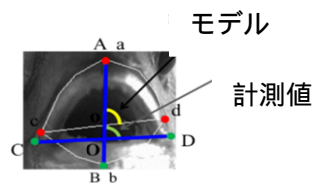


図 5 計測誤差の定義

実験装置

図 6 に実験装置を示す。実験装置は、カメラ、カメラスタンド、2 つの照明装置、小型暗室、パソコンからなる。パソコンは、OS : Windows 7、メモリ : 4GB、CPU : Intel Core i5-2430M(2.4GHz)、使用言語 : Matlab の環境で開発した。実験は、先行実験を含め、2013 年 ~ 2015 年冬までの 3 回実施した。

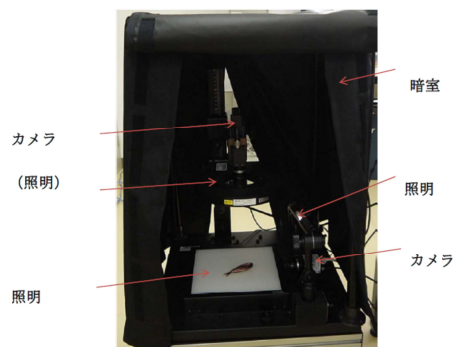


図 6 実験装置

実験結果 (1) - 1

表 1、図 7 に実験結果を示す。わずか 5 匹のサンプルであるが、全て収束、収束時間は、1.84 秒で、計測誤差は、R.M.S で約 5 度であった。

表 1 . 吻部検出結果

供試魚番号		1	2	3
歪み角度 (°)	テスト画像	84.8	79.1	82.3
	モデル画像	87.6	85.3	89.0
	計測誤差	-2.8	-6.2	-6.7
供試魚番号		4	5	
歪み角度 (°)	テスト画像	78.7	85.2	
	モデル画像	82.8	89.3	
	計測誤差	-4.1	-4.1	
R.M.S 計測誤差		5.0		

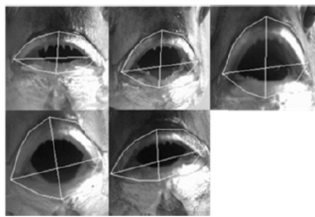


図 7 吻部検出

実験結果 (1) - 2

表 2、図 8 に実験結果を示す。表 2、図 8 の実験結果は、論文 (Active Appearance Models Revisited : Iain Matthews and Simon Baker) に基づき Luca Verraro がプログラム実装した Perf_Test.m による。表中の k は、AAM の初期モデル画像を 10 段階に変動させる係数であり、k の値が大きくなるにつれて変動幅が大きくなる。同じ k 値内では、並行移動を 4 パターン、回転を 3 パターン、拡大・縮小を 3 パターン実施し、計 $4 \times 3 \times 3 = 36$ パターンに変動させている。従って、k を 10 段階に設定すると、AAM の初期モデル画像は 360 パターン存在する。Perf_Test.m は、最終モデル画像と計測対象の画像の画素毎の平均輝度差、最小輝度差、最大輝度差、及び、収束

率を示す。輝度差が 30 以内の時、収束と見なす。収束の計算時間は、20 回のフィッティングで 1 秒弱である。図 8 は、赤線が稚魚の吻部のモデル最終形状の例である。

表 2 . 実験結果

k	収束率	モデル形状との輝度差*1		
		平均	最小	最大
1	0.90	18.2	10.6	42.1
2	0.89	18.7	9.4	42.2
3	0.87	19.6	9.0	56.7
4	0.85	20.5	8.7	203.2
5	0.79	21.5	9.3	103.6
6	0.71	24.1	9.1	148.0
7	0.63	27.7	9.0	338.5
8	0.57	31.4	9.7	272.0
9	0.46	36.1	9.0	395.9
10	0.41	36.8	9.5	288.2

*1輝度範囲 0(黒)~255(白)

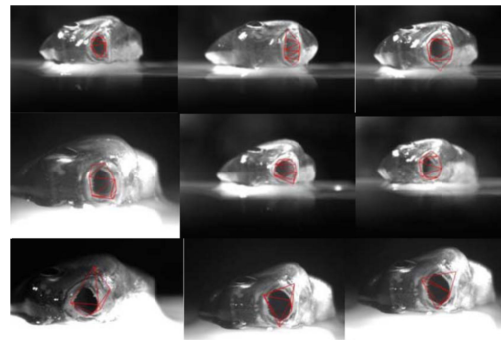


図 8 A A M 結果

実験結果から、AAM は初期モデル画像に非常に敏感で、大きく変動させると収束しにくい。これは、口の歪みの変位が極端に大きい変形魚にたいしては吻部の検出が難しい事を意味する。また、稚魚の顔の傾きに非常に敏感で、この場合も収束しにくい。これは、画像処理装置への稚魚のセッティングが難しい事を意味する。

(2) 側面透過画像処理

撮像

カメラ視野中央付近に稚魚が来た時撮像する。

切り出し

二値化、モルフォロジー処理、ノイズ（小領域）除去を行い、対象のオブジェクト数、及び、対象のオブジェクトを切り出す。

基準位置への変換

切り出しされたオブジェクトに対して、順次、基準位置へ affine 変換をする。基準位置では、稚魚重心がフレーム中心、オリエンテーションが0度、かつ、稚魚が、右向き、正立になるようにする。ここで、稚魚重心を通るオリエンテーションが0度の線の稚魚の右端から稚魚の左端までを体幹と定義する。

特徴量の計測

基準位置で稚魚に対して、下記の特徴量を定義し計測する。

縦横比：稚魚を囲む外接四角形の長辺 / 短辺。長辺は、尾ビレの照明による影響を避ける為、尾部凹部を検出、口～尾部凹部までの距離。

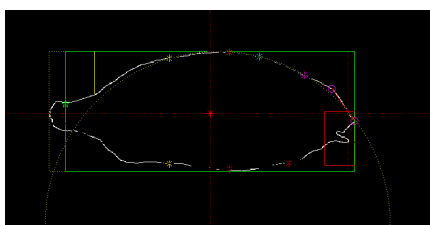


図 9 縦横比

シャチホコ

体幹に対して、尾が極端に上がっている場合。

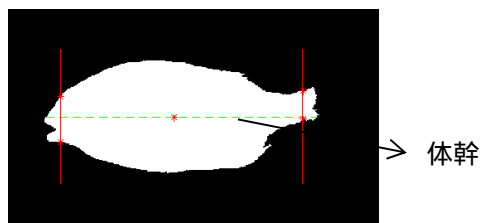


図 10 シャチホコ

頭部扁平：頭部の上がりや平坦で扁平である。

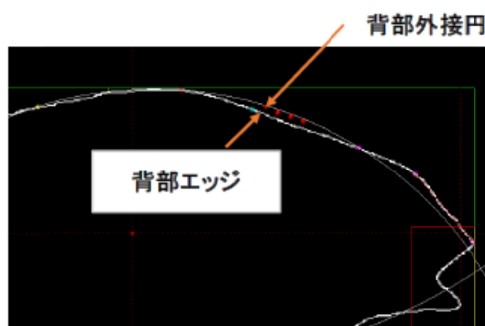


図 11 頭部扁平

背窪み・背部陥没：背周辺の欠け、陥没。

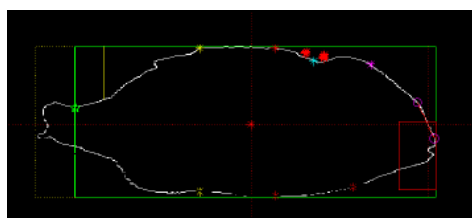


図 12 背窪み、背部陥没

腹窪み・腹部陥没：腹周辺の欠け、陥没。

パグヘッドネス角度：体幹の右端0～3%での上側垂線を横切る最長のハフ線分と垂線のなす角度。

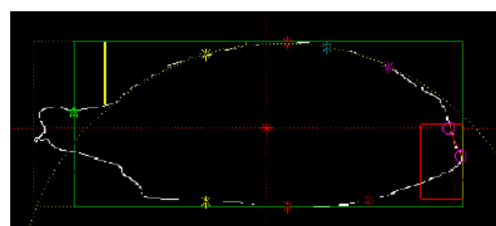


図 13 パグヘッドネス角度

実験装置

実験装置は、図6と基本的に同じ。但し、カメラは、上方に設置。2016年に3回実施した。供試魚は今までと大きく変更し、熟練者の影響を除く為、疑似変形魚は除き正常魚

と各変形の明確な種別毎に実験した。

実験結果

表3に実験結果を示す。研究当初の実験結果に比して、変形魚の検出能力が大きく向上した。正常魚、一番多い変形である短軀、及び、頭部異常に関してはほぼ100%選別ができた。また、尾つまり、尾上がりは短軀、シャチホコに含まれた。一方、背陥没は、背ビレが邪魔をして見えない場合があった。極端な変形のバグヘッドネスは、ハフ線分を誤検出した。

表3. 実験結果

区分	供試魚 (匹)	正解 (匹)	正答率 (%)
正常魚	83	80	96
変形魚	短軀	139	100
	頭部異常	29	100
	背部陥没	18	67
	バグヘッドネス	21	71
	尾つまり	13	100
	シャチホコ	21	71
尾上がり	17	100	

(3) 総括

吻部検出は検出能力、タクトの両面から現時点での実用化は困難である。側面透過画像による変形魚検出では、正常魚判定、短軀、及び、頭部異常の検出はほぼできる。シャチホコもかなりの確率で検出できる。タクト面では、1秒/匹程度で実現できた。今後は、図6の実験装置の置台のかわりに、図14のLEDバックライトコンベア上で実験し、稚魚の画像処理装置へのハンドリングをなくし、コネベア動作しながら撮像、画像処理していく予定である。



図14 LEDバックライトコンベア

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

吉規友洋、久保田均、宮下盛、那須敏朗、谷口直樹、秋月正和 マダイ稚魚選別システムの研究、近畿大学 先端技術総合研究所紀要、査読なし、19巻、2014、43-54

[学会発表] (計3件)

久保田均、マダイ稚魚選別システムの研究、第33回日本ロボット学会講演会、2015年9月3日、東京電機大学東京千住キャンパス(東京都足立区)

久保田均、マダイ稚魚選別システムの研究、第32回日本ロボット学会講演会、2014年9月5日、九州産業大学(福岡市東区)

久保田均、マダイ稚魚選別システムの研究、第19回知能メカトロニクスワークショップ、2014年7月12日、高野山「宝城院」(和歌山県高野町)

[図書] (計0件)

[産業財産権] (計0件)

[その他] なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保田 均(KUBOTA Hitoshi)

近畿大学・先端技術総合研究所・講師

研究者番号: 80551704

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし