

第 1 9 5 回

ファジィ科学シンポジウム

講演論文集

※「新型コロナウイルス」感染が急速に拡大し、3月25日(水)の夜に小池百合子東京都知事から「感染爆発の重大局面」発表がありましたので、以下の期日・場所でのシンポジウム開催を中止しました。しかし、講演直前であり、すでに講演者から講演論文が送られてきていることから、講演の代替として、Web掲載することとしました。

期日 2020年3月27日(金)

場所 金沢工業大学 扇が丘キャンパス

23号館 216講義室

〒921-8501 石川県野々市市扇が丘7-1

TEL 076-248-1100

プログラム

研究講演1 「画像解析により出荷可能なトマトを選別する手法の提案」

p. 1 - 4 星野 堅人, 吉田 稔 (神奈川大学)

研究講演2 「大域的特徴によるカラー画像の領域分割と目立対象物の抽出」

pp. 5 - 7 森 文彦 (玉川大学)

主催 日本知能情報ファジィ学会ソフトサイエンス研究部会
バイオメディカル・ファジィ・システム学会
ESA (教育システム解析) 研究会

画像解析により出荷可能なトマトを選別する手法の提案

星野 堅人, 吉田 稔 (神奈川大学)

1 背景と目的

全国各地の JA は他の産地の産品との差別化をはかる目的で、生産物のブランド化に努めている。ブランドを確立することにより他のブランドを持たない地域の農作物よりも高値で取引することができる。ブランドを持つためには顧客の信頼を得ることが重要である。JA では検査員それぞれの経験による選別の差異を無くすことによってさらに顧客の信頼を得ることに努めている。そこで近年では選別機により、選別の差異を無くしている。また、他のトマトの産地にはないもの（生産地が高所など）を推すことにより差別化をはかっている。

本研究では出荷作業に着目し、選別作業の経験を具体的な数値にし、品質を安定させることを目的とする。これはブランドを維持すると同時に選別の経験がない人でも選別作業ができるようにすることである。具体的には画像解析と判別分析の一つであるマハラノビスの距離を用いた出荷手法を提案する。

2 現状の問題点

今回研究対象とするトマトは群馬県片品村のブランドトマト、“尾瀬トマト”である。この“尾瀬トマト”は傷や形によって A 品、B 品、C 品、格別の 4 つの等級に分類される。A 品は傷がほとんどなく、形も円に近いものを指し、それから B 品、C 品と傷多いもの、形が悪いものとなっていく、格別は出荷できないものとなっている。

現在の尾瀬トマトの出荷場では、「三つの目」という選別過程を経てトマトを等級付けし、出荷している。まず第一の目は「生産者」で、収穫時にこのトマトは出荷できるかどうかを見るもので、トマトが出荷できない大体の理由（虫食い、穴あき、実の腐敗等）はここで弾かれる。次に第二の目は「出荷場のスタッフの目」であり、ここでヘタ側の傷や形を見て各等級に選別される。その後ベルトコンベアに乗せ、そして第三の目の、「選別機」での選別に送られる。選別機ではヘタとは反対側の色や大きさ等を見ることによって等級付けからサイズの選別を行っている。この選別機はブランドを維持するために最近導入され、それによって“尾瀬トマト”というブランドを維持している。

しかし問題点として今現在、「出荷場のスタッフの目」によって選別する際には経験などによって基準が違い、

差異が生じてしまう。従って、現在の第二・第三の目を統一して機械化することが望ましい。具体的にはトマトのヘタ側の画像を選別機で検査し選別を行い、各等級ごとに分別されるシステムの実現が望まれている。

本研究の方針はトマトを選別する画像解析と判別方法のアルゴリズムを作成する。

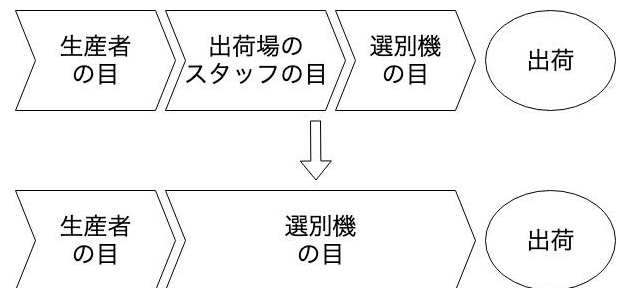


図 1: 現状の問題点を解決した出荷過程

3 提案する画像解析と判別方法

本研究では出荷時にヘタ側のどんなところを見て等級付けを行っているか JA へインタビューを行い、そこから形と縦割れの具合の 2 つに着目した。

そこで今回の判別に利用するパラメータとして、形は

1. 真円に対する面積比
2. トマトの中心から外皮までの最長・最短の比
縦割れの具合として
3. 縦割れの長さでトマトの周長との比

を用いる。本研究では以後、1 を「真円度」、2 を「変形度」、3 を「割れ度」として扱う。

統計的判別としてマハラノビスの距離を用いて判別する。今回は 4 等級に分別する場合と、検査対象のトマトが出荷できるか否かを判別する場合の 2 つを行う。

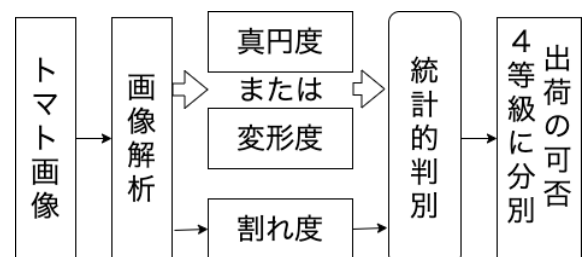


図 2: 提案する手法の判別手順

4 画像の解析方法

画像解析によって各変量の算出の手順を以下に示す。

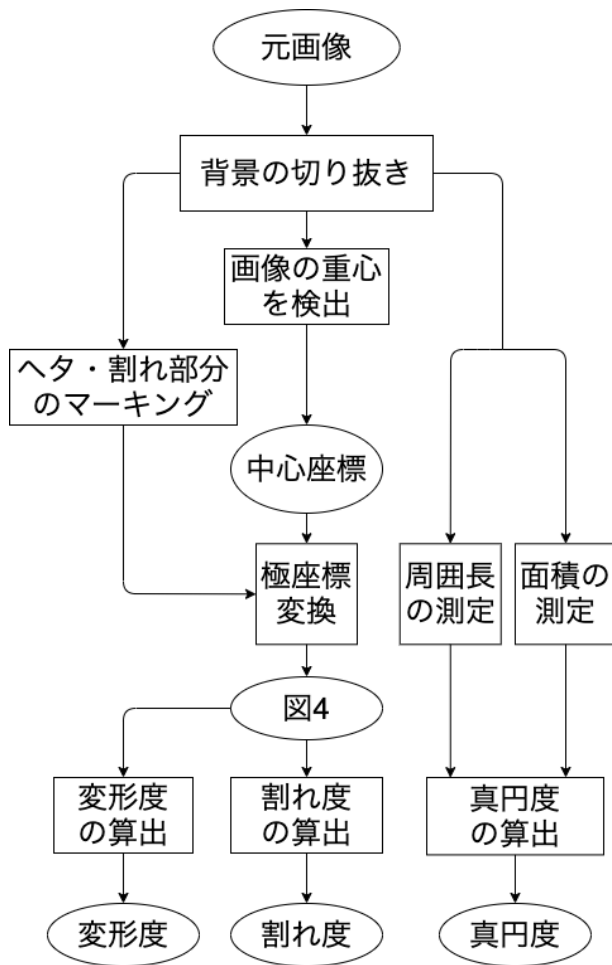


図 3: 各変量の算出手順

4.1 各変量を求めるための準備

• 背景の切り抜き

入力画像の画素の配列を RGB から HSV (色相・彩度・明度) へと変換し、彩度と明度のある閾値に基づいて背景とトマト画像を分ける。このとき、閾値以下の画素の配列には 0 を入れていく。これによって RGB 全ての値が 0 になり、背景の色が黒になる。

• ヘタ・割れ部分のマーキング

ヘタ部分の検出には背景の抜かれ HSV 変換された画像をの H (色相) に閾値を用いて検出する。手順としてはヘタ部分の色相の上限と下限を調べ、その後その上限と下限の間の部分を抜く。このときトマトの実部分も抜いてしまう場合もあるが、この工程は縦割れを検出しやすくするために行う

ので多少実部分を抜いてしまっても問題ない。

縦割れ部分は背景とヘタ部分の無くなった画像からグレースケールに変換し、輝度を閾値に設定し検出した。割れの部分は他の部分と比べ輝度が低くなっているので縦割れを検出することができる。

- 極座標変換 背景の切り抜かれたトマト画像から重心の座標を求める。その後、重心の座標から極座標変換を行う。

4.2 割れ度の求め方

極座標変換された画像のトマトの外皮から下へとピクセルを数えていき、画像の中心部である一番下まで数える。次にまた外皮から下へとピクセルを数えていき、縦割れのピクセルとぶつかったときにそのピクセルから一番下までのピクセル数を記録する。この二つのピクセル数の比をとる。0 が割れなし、1 は縦割れの頂点がトマトの外皮まで付いている最も長い割れを示すこととなる。

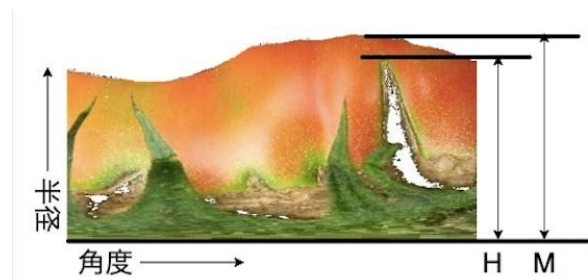


図 4: 割れ度の求め方

最も長い割れの頂点の外皮から中心までの距離を M , 最も長い割れの頂点から中心までの距離を H , この二つの比を y とすると、割れ度は以下の式で求める。

$$y = \frac{H}{M} \quad (1)$$

4.3 真円度の求め方

真円度は以下の式で定義する。

$$x = \frac{S}{L^2} \times 4\pi \quad (2)$$

S は面積, L は周囲長で、この値が 1 に近ければ近いほど真円に近い。今回は S にトマト画像のピクセル数, L にはトマト画像の輪郭のピクセルを用いる。処理の順序としては、背景を抜いたあと、抜かれた部分以外のトマ

トのピクセルを数えながら別の色で塗りつぶす。数えたピクセル数が面積の S になりその後、画像の輪郭抽出によってトマトの周囲長が出る。

本研究ではピクセル数を用いて算出するので真円の真円度の値が 1 から少し変わってしまう。なので 300×400 ピクセルの画像を使用することとし、このときの真円の真円度は 1.07 になる。

4.4 変形度の求め方

極座標変換された画像から外皮部分のピクセルを全て記録し、最大値と最小値の比を求める。この値が小さければ小さいほど形が台形等の変形したトマトになる。

5 2変量ごとの各等級の分布

画像解析によって得られた変量を 2 変量ごとに、各等級ごとにまとめると以下のグラフのようになる。

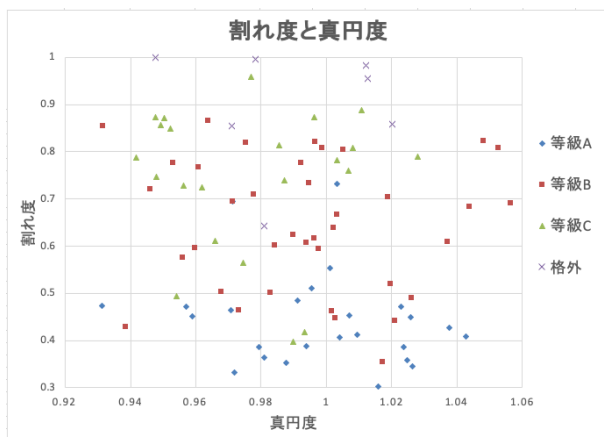


図 5: 割れ度と真円度の各群の分布

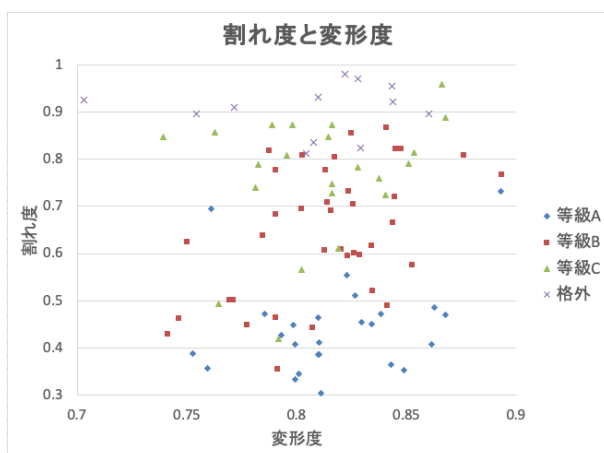


図 6: 割れ度と変形度の各群の分布

6 判別方法

トマトの選別において、マハラノビスの距離による判別分析を利用することでそのトマトがどの等級なのかを判別できると考えられる。これは一つの等級のパラメータの平均値からの離れ具合を定めている。これを利用して各資料（検査対象のトマト）のパラメータがどの等級に属するかを判別する。原理としては変量の平均の点から距離を与え、この距離が大きいときは、その個体は等級の中心から遠く離れることとなり、その等級に属しにくい。小さければその等級に属していると考えられる。

今回のマハラノビスの距離での判別は、4 つの等級ごとの群、等級 A 群、等級 B 群、等級 C 群、格外を E 群とした等級別に判別を行う場合と、等級 A 群から等級 C 群を 1 つの群とした出荷できるかできないかを判別する場合の 2 つの判別を行う。

等級 A 群から格外の E 群は JA で実際に選別作業にあたっている 9 人のアンケートに基づいて定める。ある資料から A 群、B 群、C 群、E 群までのマハラノビスの距離をそれぞれ D_a 、 D_b 、 D_c 、 D_e とする。例えば D_a がその中で最小値であればこの資料は等級 A と判定される。アンケート内容は等級 A から格外まで群のサンプルが均等になるようにある生産者と協力し、トマトの画像を 140 枚撮影した。その画像を選別作業を行うスタッフに見てもらい、この画像のトマトは等級のどこに入るか、または格外なのかを答えてもらった。

マハラノビスの距離による判定の的中率は次の式で評価できる。

$$\text{判別的中率} = \frac{\text{正しく判別された個体数}}{\text{全体個数}} \quad (3)$$

本研究では判別されたものが正しく判別されているのかを評価するためにアンケートを利用した。方法としては、アンケートにより等級が判別されたトマトの画像から何枚かマハラノビスの距離の群に含まなかった画像を用意し、そのトマトの画像が正しく判別されているかでの中率を導く。今回 140 枚の画像データの中から 100 枚を判別式の群のパラメータとし、残りの 40 枚を用いて判別の中率を算出した。

6.1 1 変量のマハラノビスの距離

各パラメータのみで判別の中率がどれほどあるのかを 1 変量のマハラノビスの距離を用いて導く。

ある資料から各等級までのマハラノビスの距離を D , x を検査資料のパラメータ, $\bar{x}$ を各等級の平均 $\sqrt{V(x)}$ を変量の標準偏差とすると 1 変量のマハラノビスの距離は以下のように定義される。

$$D = \frac{|x - \bar{x}|}{\sqrt{V(x)}} \quad (4)$$

6.2 2 変量のマハラノビスの距離

2 変量のマハラノビスの距離 (真円度または変形度 x , 割れ度 y) は, 次で定義される: ある検査資料の円形度を x , 縦割れの長さの比を y とすると, ある群とこの資料とのマハラノビスの距離の 2 乗は,

$$D^2 = (x - \bar{x}, y - \bar{y}) \begin{pmatrix} s_x^2 & s_{xy} \\ s_{xy} & s_y^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x - \bar{x} \\ y - \bar{y} \end{pmatrix} \quad (5)$$

で与えられる。ここで $\bar{x}$ と $\bar{y}$ は考えている群の円形度と縦割れの長さの比の平均であり, s_x^2 と s_y^2 はそれぞれの分散, s_{xy} は共分散である。

7 判別結果

1 変量の各パラメータでの判別の中率は以下の結果となった。

表 1: 1 変量での判別の中率

等級	割れ度	真円度	変形度
A	0.86	0.43	0.29
B	0.23	0.15	0.15
C	0.54	0.15	0.08
格外	0.29	0.14	0.71
出荷の可否	0.8	0.35	0.3

2 変量の各パラメータでの判別の中率は以下の結果となった。

表 2: 2 変量での判別の中率

等級	割れ度と真円度	割れ度と変形度
A	0.86	0.86
B	0.15	0.31
C	0.38	0.46
格外	0.57	0.86
出荷の可否	0.88	0.85

8 考察と今後の課題

1 変量での判別結果より, 判別する際に形はそれほど影響しないことが分かった。しかし 2 変量にしたとき, 多少判別の中率が上がるので変数としては有効であると考えられる。また, 4 等級に分別する際にはトマトの中心から外皮までの最長辺と最短辺の比と縦割れの長さの比の組み合わせが的中率が高く, 出荷の可否については円形度と縦割れの比の組み合わせの方が的中率が高かった。このことより, 場合に合わせて組み合わせを変えれば判別の精度が上がるということが分かった。

今後の課題として, 割れ・形以外の変数を見つけることにより判別精度を上げることが挙げられる。

参考文献

- [1] 山本恭介. “画像解析と機械学習によるトマトの自動生育診断および高速フェノタイピングに関する研究”東京大学 大学院 農学生命科学研究科 (2012)
- [2] 井上誠喜・八木伸行・林正樹・中須英輔・三谷公二・奥井誠人. “C 言語で学ぶ 実践画像処理”. オーム社 (2008)
- [3] 涌井良幸・涌井貞美. “多変量解析がわかる”. 技術評論社 (2011)
- [4] 北山直洋. Python で始める OpenCV2 プログラミング”. 株式会社カットシステム (2019)
- [5] 安藤和敏. “データ解析”. 静岡大学工学部 (2006)
<http://coconut.sys.eng.shizuoka.ac.jp/data/06/slides13.pdf>

大域的特徴によるカラー画像の領域分割と目立対象物の抽出

Region Segmentation of Color Images based on the Global Features and Extraction of the Conspicuous Object

森 文彦

Fumihiko Mori

玉川大学

Tamagawa University

Abstract:

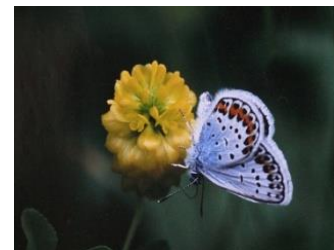
A region segmentation method of the color image is proposed in this paper. In the method the regions are expanded according to the statistics of the region such as the mean value, standard deviation, maximum value and minimum value of pixel location, brightness and color elements.

画像の領域分割と目立つ対象物の抽出は、画像理解にとって重要な研究対象の1つである。しかしながら、大域的特徴に基づく簡単なアルゴリズムは、あまり報告されてこなかった。そのような領域分割法として要求される条件は、領域の過分割や過統合をできる限り少なくすることである。ここでは、このような条件を満たすために、領域の輝度や色成分値のみならず領域の位置の平均値・標準偏差・最大値・最小値の様な統計値（多次元凸多角形）に基づいて領域を統合し、「多次元凸多角形」の特性を更新するという簡単で素早い手法を提案した。この処理のフローチャートを図1の前半に示す。図1の第1ステップと第2ステップの結果を図2に示す。

図1の後半では、背景領域を求め、それ以外の領域については、重なった領域を1つにする処理を行った。背景の条件は、画面の複数の外周に接する周辺領域である。背景領域の例を図3に示す。重なった領域を1つにする処理の結果例を図4の(a)~(f)に示す。



図2 ステージ1のステップ1,ステップ2結果例



(a) Input image



(b) Background region

図3 背景画像の例

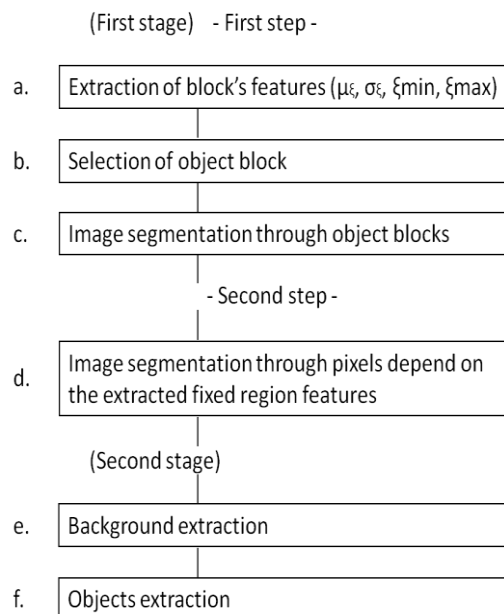


図1 カラー画像の領域分割過程

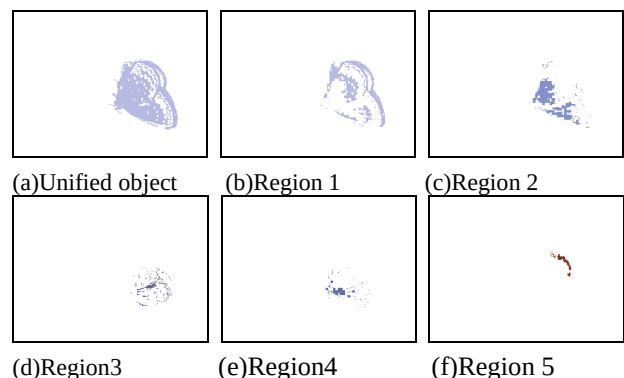


図4 統合領域との例

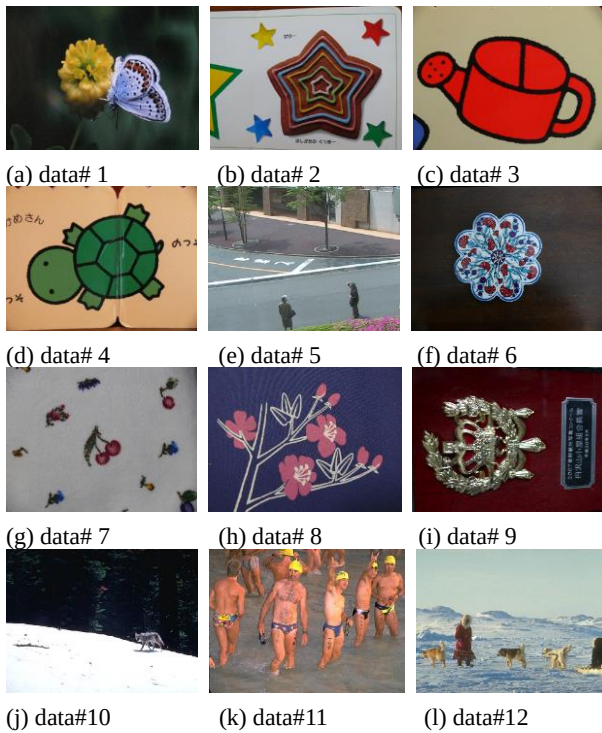


図5 入力画像群例

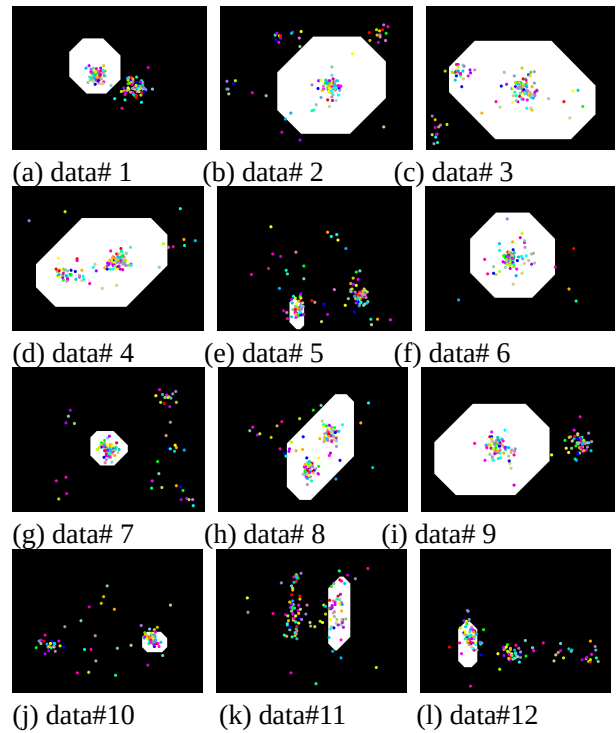


図7 心理実験の結果

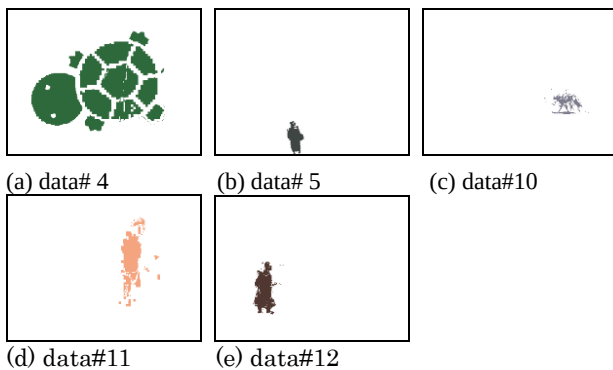


図6 最も目立つ領域として抽出された対象物領域例

本研究で使用した入力画像群を図5に示す。

図5の入力画像群のいくつかに対して抽出された最も目立つ対象物として取り出されたものの例を図6に示す。

我々は、また、提案した手法の有効性を調べるために、「目立ち度」の概念を導入し、21枚の画像に適用した。図7の白い8角形が、提案手法で抽出した目立つ対象物の存在領域であり、図7内の点群は、64名の被験者が「目立つ対象物」として指摘した領域である。図7から当該手法で抽出した「目立つ対象物領域」が、人間の示したものとよく合っていることが分かる。

参考文献

- [1] 田村秀行(編):「コンピュータ画像処理」, オーム社, pp.206 (2002)
- [2] F. Tomita, Y. Shirai, and S. Tsuji: "Detection of textures by structural analysis", Proc. 6th IJCAI, Tokyo, pp.884-889 (1979)
- [3] S. L. Holowitz and T. Pavlidis: "Picture segmentation by a directed split-and-merge procedure", Proc. 2nd IJCAI, Copenhagen, pp.424-433 (1974)
- [4] D. Comaniciu and P. Meer: "Mean shift: A robust approach toward feature space analysis", IEEE Trans. PAMI, Vol.24, No.5, pp.603-619 (2002)
- [5] H.T. Ngyen, M. Worring, and R. Boomgaard: "Watersnakes", Trans. IEEE PAMI, Vol.25, No.3, pp.330-342 (2004)
- [6] P. Martin et al.: "Influence of the noise model on level set active contour segmentation", Trans. IEEE PAMI, Vol.26, No.6, pp.799-803 (2004)
- [7] 若杉智和・西浦正英・山口修・福井和広:「色分布間の分離度を用いた唇輪郭線抽出」, 信学論 D, Vol.J89-D, No.9, pp.2025-2032 (2006)
- [8] K. Fukui: "Edge extraction method based on separability of image feature", IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E78-D, No.12, pp.1533-1538 (1995)
- [9] R. Ohlander, K. Prince and R. Reddy: "Picture segmentation using a recursive region splitting method", Computer Graphics and Image Processing, Vol.8, No.3, pp.313-333 (1978)
- [10] D.H. Cheng, X.H. Jiang, Y. Sun, and J.L. Wang: "Color image segmentation: Advances and prospects", Pattern Recognition, Vol.34, pp.2259-2281 (2001)

- [11]石川博：「グラフカット」，情報処理学会研究報告，2007-CVIM-158-6，pp.193-204 (2007)
- [12]保坂忠明・小林匠・大津展之：「MRF モデルを用いた動画像からの移動体検出」，信学技報，PRMU2007-312，pp.437-442 (2008)
- [13]X. Ren and J.Malik：「Learning a classification model for segmentation」，Proc. 9th ICCV, Vol.1, pp.10-17 (2003)
- [14]J.B.M. Roerdink and A. Meijster：「J.B.M. Roerdink and A. Meijster, "The Watershed transform: Definitions, algorithm and parallelization strategies", In Fundamenta Informatica 41, pp.187-228 (2001)
- [15]志治亜矢子・浜田望：「Watershed アルゴリズムと輪郭情報を用いたカラー画像の領域分割」，信学論 D-II, vol.J83-D-II, No.2, pp.593-600 (2000)
- [16]R.O. Duda, P.E. Hart, and D.G. Stork(尾上守夫：監訳)：「パターン識別」，新技術コミュニケーションズ (2001)
- [17]D.A. Forsyth, J. Ponce (大北剛：訳)：「コンピュータビジョン」，共立出版 (2007)
- [18]S.J. Belongie, C. Carson, H. Greenspan, and J. Malik：「Color- and texture-based image segmentation using the expectation-maximization algorithm and its application to content-based image retrieval」，Proc. sixth ICCV, pp.675-682 (1998)
- [19]C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, and J. Malik：「Blobworld:Image segmentation using expectation-maximization and its application to image querying」，IEEE Trans. PAMI, Vol.24, No.8, pp.1026-1038 (2002)
- [20]永橋知行・藤吉弘亘・金出武雄：「領域分割に基づく SIFT 特徴を用いた物体識別」，電気学会システム・制御研究会 SC-07-8, pp.39-44 (2007)
- [21]青木工太：「確率場による統計的画像処理と領域分割への応用に関する研究」，東京工業大学大学院博士論文，甲第 6552 号 (2006)
- [22]後藤敏行・大田善之・吉田真澄・白井良明：「連結領域の高速ラベル付けアルゴリズム」，信学論，J72-D-2, pp.247-255 (1988)
- [23]秋山照雄・増田功：「周辺分布，面密度，外接矩形特徴を併用した文書画像の領域分割」，信学論，Vol.69-D, No.8, pp.1187-1196 (1986)
- [24]長石道博：「視覚の誘導場モデルを用いた手書き文字の切り出し」，信学論，J76-D-II, pp.1948-1956 (1993)
- [25]ワット：「視覚情報処理モデル入門」，サイエンス社 (1989)
- [26]S. Osher and J.A. Sethian：「Fronts propagating with curvature dependent speed: Algorithm based on Hamilton-Jacobi formation」，J. of Computational Physics, Vol.79, pp.12-49 (1988)
- [27]倉爪亮・油井俊太郎・辻徳生・岩下友美・原健二・長谷川勉：「Fast Level Set Method の提案とビデオ画像の移動体のリアルタイム追跡」，情報処理学会論文誌，Vol.44, No.8, pp.2244-2254 (2003)
- [28]島田竜也・河口尚広・加賀健太・山田博三・森晃徳：「屋内侵入者検知のための動的背景抽出法」，信学論，Vol.J88-D2, No.10, pp.2054-2068 (2005)
- [29]森文彦・山田博三・水野真：「方向別射影の標準偏差と極大・極小値による逐次的領域抽出」，2008 年電子情報通信学会総合大会予稿集，D12-10, pp.141 (2008)
- [30]F. Mori and H. Yamada：「An object extraction method according to statistic data on projection axes」，Proc. of NCSP09 (2009)
- [31]C. Stauffer and W. E. L. Grimson：「Adaptive background mixture models for real-time tracking」，Computer Vision and Pattern Recognition, Vol.2, pp.246-252 (1999)
- [32]島田敏士・田中達也・有田大作・谷口倫一郎：「動的背景予測モデルによる照明条件変動下での物体検出」，信学技報，Vol.107, No.539, PRMU2007-323, pp.507-512 (2007)
- [33]D. Marr：「Vision」，Freeman Press, pp.62 (1979)
- [34]G. Johanson：「Studies on visual locomotion」，Perception, Vol.6, pp.365-376 (1977)
- [35]J. Dichigans and T. Brandt：「Visual-vestibular interaction」，in R. Held et al. (eds.) Handbook of Sensory Physiology, Vol.8, Springer-Verlag, pp.755-804 (1978)
- [36]L. Itti, C. Koch and E. Niebur：「A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis」，IEEE Trans. PAMI, Vol.20, No.11, pp.1252-1259 (1998)
- [37]D.Martin, C.Fowlkes, D.Tal, and J.Malik：「A Database of Human Segmented Natural Images and its Application to Evaluating Segmentation Algorithms and Measuring Ecological Statistics」，Proc. 8th ICCV, Vol.2, pp.416-423 (2001)
- [38]森文彦・山田博三・水野真・菅野直敏：「位置の統計量と特徴の類似性によるカラー画像の領域分割法」，電気学会，論文誌 C, Vol. 131, No. 11, pp.2022-2029 (2011)