

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：23901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330200

研究課題名(和文)リアルタイム画像認識向けの超高速ラベル付けとオイラー数計算の同時実現とその応用

研究課題名(英文) Simultaneously performing connected-component labeling and Euler number computing for real-time image recognition

研究代表者

何立風(HE, Lifeng)

愛知県立大学・情報科学部・教授

研究者番号：80305515

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は連結体のラベル付けとオイラー数計算について以下の成果を上げた。  
(1) 世界一高速のラベル付けアルゴリズムを提案した。(2) 六角形画素のラベル付けアルゴリズムを提案した。(3) グラフ理論に基づいたオイラー数計算のアルゴリズムを提案した。(4) ビットコードに基づいてオイラー数計算のアルゴリズムを提案した。(5) ラベル付けとオイラー数同時計算のアルゴリズムを提案した。

関連の研究成果はパターン認識分野の世界トップ学術誌《Pattern Recognition》と画像処理分野の世界トップ学術誌《IEEE Trans. on Image Processing》などに発表した。

研究成果の概要(英文)：By this research, we have achieved the following research results on connected-component labeling and Euler number computing, which are indispensable for pattern recognition, computer vision and image analysis.

(1) We proposed the fastest connected-component labeling algorithm in the world. (2) We proposed a connected-component labeling algorithm for hexagonal image. (3) We proposed a graph-theory-based Euler number computing algorithm. (4) We proposed a bit-quad-based Euler number computing algorithm. (5) We proposed two algorithms for performing connected-component labeling and Euler number computing simultaneously.

All of these research results have been published on related journals, including <Pattern Recognition>, the top journal in the field of pattern recognition, and <IEEE Transactions on Image Processing>, the top journal in the field of image processing.

研究分野：パターン認識

キーワード：パターン認識 画像処理 ラベル付け オイラー数計算

1. 研究開始当初の背景

人間型ロボットや自動運転 (ITS) などのリアルタイム画像認識システムの実現には、画像中の対象物を認識するために、画像中の対象物に属する画素を対象物画素に、それ以外の画素を背景画素にそれぞれ変換して2値化・ラベル付けしてから認識処理を行うことが多い。

対象物の特徴には、円形度、周囲長、中心、重心、オイラー数 (連結成分の個数から孔の個数を引いた数) などがある。従来手法では、対象物の円形度、周囲長、中心、重心など特徴を抽出するために、対象物画素におけるラベル付け処理が必要であり、オイラー数はオイラー数計算の専用処理が必要である。

対象物のラベル付けとオイラー数計算は別々に行うと、それらの処理を完成するために画像をスキャンする回数が増え、計算のコストが高くなる。

本研究では、対象物画素のラベル付け処理の結果から連結成分の個数が求められることに注目し、背景画素に対してラベル付け処理を行えば、その処理結果から孔の個数も同時に求められることが分かる。すなわち、ラベル付け処理とオイラー数計算を同一アルゴリズムに統合でき、計算コストを削減するだけでなく、孔の個数や孔の特徴 (円形度、周囲長、形心など) も容易に求められる。したがって、従来手法より多くの情報で対象物をより正確かつ迅速に認識できると考える。

2. 研究の目的

パターン認識やコンピュータビジョンにおいて、2値画像中の対象物を認識するためには対象物の特徴量が必要である。円形度、周囲長、中心などの特徴量については、ラベル付け処理によって容易に求められるが、回転、拡大・縮小、弾性変形において不変な位相特徴であるオイラー数はラベル付け処理とは別処理によって計算しなければならない。そのため、リアルタイム性を要求する画像認識システムにおいては、致命的な処理遅延となり得る。

本研究の目的は、ラベル付けとオイラー数計算を一括的に処理し同時に実現可能なアルゴリズムを提案する。そして、初めて孔特徴を定義し、抽出方法とその応用を提案し、リアルタイム画像認識システムのための要素技術を提供したいと考えている。

3. 研究の方法

本研究の研究者が提案した最速アルゴリズムである「同等ラベル解析法に基づく対象物画素連結成分のラベル付けアルゴリズム」さらに効率化する方法を検討する。オイラー数の計算についても、グラフ理論などに基づいた新しい効率手法を提案する。また、背景画素の連結成分に対してラベル付けに

張し、画像の孔の個数を計算できる方法を提案する。そして、連結成分のラベル付けとオイラー数の同時計算のアルゴリズムを提案する。

提案した各種のアルゴリズムをC言語で実装し、ノイズ画像、人物画像、風景画像、医学画像、テキスト画像、航空画像、テクスチャ画像など様々な性質の画像における実験を行い、提案したアルゴリズムの有効性を確認する。

研究成果をまとめ、論文を作成し、国内外の会議や学術論文誌に発表する。

4. 研究成果

本研究では、2値画像中の物体特徴計算に欠かせないラベル付けアルゴリズムの効率化、物体特徴の一つオイラー数計算の効率化及びラベル付けアルゴリズムとオイラー数計算の同時実現について次の研究成果を挙げた。

① 図1に示すマスクを用いて画像を三行ずつ処理する効率的なラベル付けアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムは現在世界一高速のラベル付けアルゴリズムである。

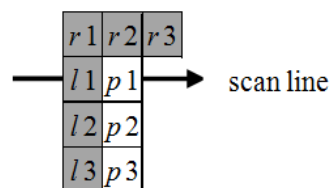


図1 画像を三行ずつ処理するマスク

② 図2に示すマスク構造変換に基づいた効率的なラベル付けアルゴリズムを提案した。

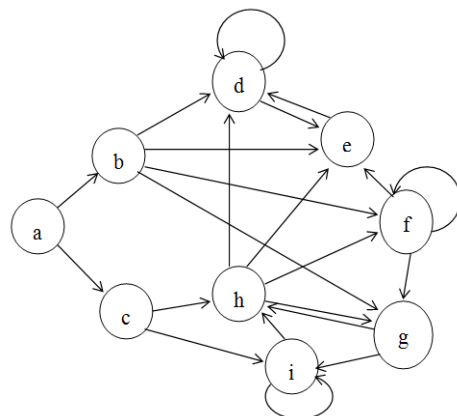


図2 マスクの構造変換図

③ 図3に示す六角形が画素画像の連結性を考慮した効率的な六角形画素画像のラベル付けアルゴリズムを提案した。

④ 表1に示すグラフ理論に基づいたオイラー数計算のアルゴリズムを提案した。

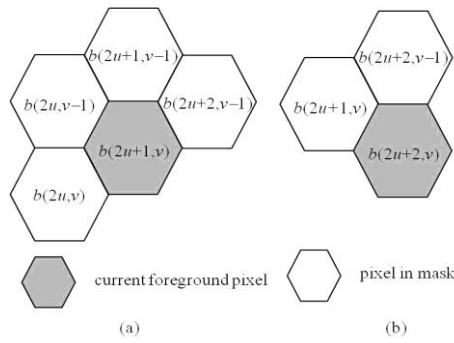


図3 六角形画素の連結性

表1 グラフ理論に基づくオイラー数計算

Pattern	Configuration	$\Delta v$	$\Delta e$	$\Delta s$	$\Delta E$
(1)		1	0	0	1
(2)		1	1	0	0
(3)		1	1	0	0
(4)		1	2	1	0
(5)		1	1	0	0
(6)		1	2	1	0
(7)		1	2	1	0
(8)		1	2	1	0
(9)		1	1	0	0
(10)		1	2	0	-1
(11)		1	2	0	-1
(12)		1	3	1	-1
(13)		1	2	1	0
(14)		1	3	2	0
(15)		1	3	2	0
(16)		1	3	2	0

⑤ 図4に示すビットコードに基づいたオイラー数計算のアルゴリズムを改良した。

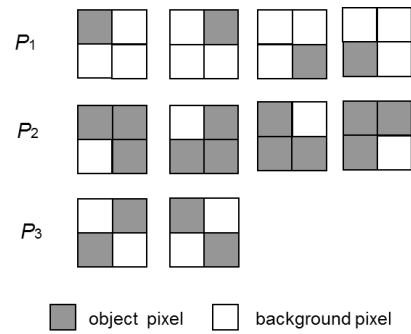


図4 ビットコードの種類

⑥ ラベル付けとオイラー数計算の同時実現のアルゴリズムを提案した。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① L. He, X. Zhao, B. Yao, Y. Chao.  
An efficient two-scan algorithm for computing basic shape features of objects in a binary image.  
Journal of Real-Time Image Processing. 査読有, 採録決定  
DOI: 10.1007/s11554-016-0626-7.
- ② L. He, X. Zhao, B. Yao, Y. Chao.  
The Connected-Component Labeling Problem: A Review of State-of-the-Art Algorithms.  
Pattern Recognition.  
査読有, Vol. 50, pp.25-43, 2017.  
DOI: 10.1016/j.patcog.2017.04.018
- ③ B. Yao, L. He, X. Zhao, Y. Chao.  
A new run-based algorithm for Euler number computing.  
Pattern Analysis and Applications.  
査読有, Vol. 20, pp.49-58, 2017.  
DOI: 10.1007/s10044-015-0464-4
- ④ L. He, X. Zhao, B. Yao, Y. Chao.  
A fast algorithm for integrating connected-component labeling and Euler number computation.  
Journal of Real-Time Image Processing.  
査読有, Vol. 31, pp.1-15, 2017.  
DOI: 10.1007/s11554-015-0499-1
- ⑤ L. He, X. Zhao, B. Yao, Y. Chao.  
A combinational algorithm for connected-component labeling and Euler number computation.  
査読有, Journal of Real-Time Image Processing.

- 査読有, Vol. 31, pp.1-13, 2017.  
DOI: 10.1007/s11554-014-0433-y
- ⑥ B. Yao, L. He, X. Zhao, Y. Chao.  
A Further Improvement on Bit-Quad-Based Euler Number Computing Algorithm.  
IEICE Transactions on Information and Systems,  
査読有, Vol. E99-D No.2, pp.545-549, 2016  
DOI: 10.1587/transinf.2015EDL8159
- ⑦ B. Yao, L. He, X. Zhao, Y. Chao.  
A novel bit-quad-based Euler number computing algorithm.  
SpringerPlus.  
査読有, 4:735, 2015.  
DOI: 10.1186/s40064-015-1511-8.
- ⑧ L. He, Y. Chao.  
A Very Fast Algorithm for Simultaneously Performing Connected-Component Labeling and Euler Number Computing.  
IEEE Transactions on Image Processing.  
査読有, 2015, 24(9): 2725-35.  
DOI: 10.1109/TIP.2015.2425540
- ⑨ L. He, B. Yao, X. Zhao, Y. Chao, A. Ohta.  
A Graph-Theory-Based Algorithm for Euler Number Computing.  
IEICE Transactions on Information and Systems,  
査読有, Vol. E98-D, No.2, pp.457-461, Feb. 2015.  
DOI: 10.1587/transinf.2014EDL8155
- ⑩ L. He, B. Yao, X. Zhao, Y. Chao.  
A new connected-component labeling algorithm.  
IEICE Transactions on Information and Systems,  
査読有, Vol. E98-D, pp.2013-2016, 2015.  
DOI: 10.1587/transinf.2014EDL8135
- ⑪ L. He, X. Zhao, B. Yao, Y. Chao.  
An Efficient Two-Scan Labeling Algorithm for Binary Hexagonal Images.  
IEICE Transactions on Information and Systems,  
査読有, Vol.E97-D, No.12, pp.3244-324, Dec. 2014.  
DOI: 10.1587/transinf.2014EDL8119
- ⑫ B. Yao, H. Wu, Y. Yang, Y. Chao, A. Ohta, H. Kawanaka, and L. He.  
An Efficient Strategy for Bit-Quad-Based Euler Number Computing Algorithm.  
IEICE Transactions on Information and Systems,  
査読有, Vol. E97-D, No.5, pp.1374-1378, 2014.  
DOI: 10.1587/transinf.E97.D.1374
- [学会発表] (計 3 件)
- ① L. He, Q. Gao, X. Zhao, B. Yao, X. Ren, Y. Chao.  
Fast Basic Shape Feature Computation.  
2016 International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence (CSAI 2016),  
Guilin, China, Aug. 13-14, 2016.
- ② B. Yao, L. He, X. Zhao, Y. Chao.  
A Graph-Theory-Based Euler Number Computing Algorithm.  
2015 International Conference on Information and Automation. Paper 278,  
Lijiang, China, Aug. 8-10, 2015
- ③ Y. Chao, L. He, X. Zhao, B. Yao.  
An Efficient Euler Number Computing Algorithm.  
2015 International Conference on Information and Automation. Paper 302,  
Lijiang, China, Aug. 8-10, 2015.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
何立風 (HE, Lifeng)  
愛知県立大学・情報科学部・教授  
研究者番号: 80305515
- (2) 研究分担者  
巢宇燕 (CHAO, Yuyan)  
名古屋産業大学・環境情報学部・教授  
研究者番号: 60367860