

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：23901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500222

研究課題名(和文)リアルタイム高画質画像認識システム向け超高速ラベル付けの実現

研究課題名(英文)On High-Speed Labeling Algorithms for Realtime High-Quality Image Recognition Systems

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) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、パターン認識やコンピュータビジョンにおける最も基本的かつ重要な画像処理の1つである2値画像中の対象物(連結成分)に別々のラベルを付けるラベル付けアルゴリズムの高速化において研究を行った。研究成果として、世界一速いラベル付けアルゴリズムを提案し、画像処理分野世界一級の学術論文誌《IEEE Transactions On Image Processing》をはじめ、学術論文9本、パターン認識分野の国際トップの国際会議《International Conference on Pattern Recognition》をはじめ、国際会議論文4本、著書1本を発表した。

研究成果の概要(英文)：Labeling of each connected component with a unique label in a binary image is one of the most fundamental and important operations in pattern recognition and computer (robot) vision. This research studied speed-up of connected-component labeling processing. We proposed the fastest labeling algorithm, and presented 9 papers on IEEE Transactions On Image Processing, the top journal of image processing field, etc, and 4 papers at international conferences such as International Conference on Pattern Recognition, and a book.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理

キーワード：パターン認識 画像分析 コンピュータビジョン 物体特徴

1. 研究開始当初の背景

(1) パターン認識やコンピュータビジョンにおいて、2 値画像中のそれぞれの対象物(連結成分)に別々のラベルを付けるラベル付け処理は、コンピュータに対象物を認識させる上で欠くことができない。ラベル付けは、すべての画素間の連結関係の解析が必要であるため、エッジ検出やノイズ平滑化など局所領域のみで行える他の基本的画像処理手法と比べて演算時間が長く、並列化しにくい。ため、これらを組み合わせて構成されるロボットビジョンや自動運転など ITS システムなどのリアルタイム画像認識システムにおいて、そのリアルタイムの実現を妨げる決定的な要因となっていた。そのため、ラベル付け処理はパターン認識を含むリアルタイム画像システムのボトルネック問題とされている。

(2) 申請者らは、2007 年以降、同等ラベル集合と代表ラベルテーブルを用いた同等ラベル解析法に基づく二つのラベル付けアルゴリズムおよびそれらの改良を提案してきた。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の結果、提案したラベル付けアルゴリズムは既存のすべてのラベル付けアルゴリズムよりも効率的であることを確認できた。

(3) 提案したアルゴリズムでも、512×512 サイズの画像においてラベル付け処理の平均時間は 2 ミニ秒以上が必要であり、1 秒間数百枚乃至千枚のより大きなサイズ(1024×1024 または 2048×2048)の画像を処理しなければならないリアルタイム高画質画像認識システムの要求に満たされていない。そのため、ラベル付け処理を更なる高速化させることが不可避である。

(4) 2 値画像中の物体のオイラー数は回転、縮小拡大、弾性変形に影響されない物体の重要なトポロジーの一つである。2 値画像のオイラー数は連結体数と孔数の差に定義されており、ラベル付けに深くかかわっている。しかし、既存オイラー数計算は連結体数と孔数を計算せず、特定のパターンによって計算するのが多い。それによってオイラー数を計算できていても、連結体数と孔数を計算できない。

2. 研究の目的

(1) これまでのラベル付けアルゴリズムを改良し、より効率的であるアルゴリズムを提案する。

(2) ラベル付けの処理を利用して連結体数と孔数を計算することによってオイラー数計算するアルゴリズムを提案する。

3. 研究の方法

(1) これまでのラベル付けアルゴリズムを分析し、ラベル付けはラスラスキャンで画像をスキャンし、各画素に対して処理を行う。各画素を処理するため、その画素の隣接画素をチェックしなければならない。そのチェックの回数はラベル付け処理の効率に大きく影響する。隣接画素のチェック回数を減らす方法を検討し、ラベル付け処理の効率を上げるアルゴリズムを提案する。

(2) 現在のすべてのラベル付けアルゴリズムでは、画素を 1 個ずつ処理する。本研究では画素を 2 個ずつ処理する。これによって、画素を処理するとき、隣接画素をチェックする平均回数が減少し、ラベル付け処理の効率化に繋がる。

(3) 現在の同等ラベル解析に基づくラベル付けアルゴリズムでは、一行ずつ画像を処理し、上の行にある画素との連結性を解決し、下の行にある画素との連結性は次の行を処理するとき考慮する。そこで本研究ではまず、2、6、10... の順で画像の行を 4 行間隔で処理し、処理中の行にある画素と上下行にある画素の連結性を解決する。そして、画像の行を 4、8、12... の順で処理し、未解決の連結性を解決する。これによって、連結性の解決は簡単になり、ラベル付け処理の効率が改善される。

(4) 対象物画素に対してラベル付け処理の結果によって画像中の連結体数を計算できる。同様に、背景画素に対してラベル付け処理を行えば、画像中の孔数を計算できる。そして、連結体数と孔数によって、オイラー数を計算できる。

4. 研究成果

(1) 効率的な 3 次元 2 値画像のラベル付け処理アルゴリズムを 2 つ提案した。図 1 に示したように、ノイズ画像において既存の最も効率な CTL<sub>0</sub> アルゴリズムより 2 倍ほど速くなっている。研究成果は画像処理分野の世界トップレベルの学術論文誌 IEEE Transactions on Image Processing に発表した。

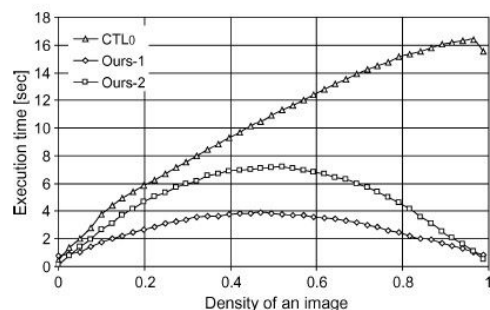


図 1 ノイズ画像における実行時間の比較

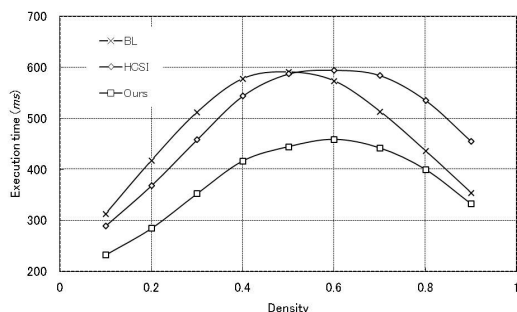


図 2 画像密度における実行時間

(2) 世界一速いラベル付けアルゴリズムを提案した。図 2 に示したように、ノイズ画像において既存の最も効率的な BL アルゴリズムおよび HCSI アルゴリズムよりも速くなっている。研究成果は画像処理分野の世界トップレベルの学術論文誌 IEEE Transactions on Image Processing に発表した。

(3) ラベル付け処理とオイラー数計算を同時に行えるアルゴリズムを提案した。図 3 に示したように、ラベル処理とオイラー数計算が共に必要な場合、MATLAB に採用されているオイラー数計算の ML アルゴリズムと最も効率的なラベル処理の組み合わせよりも速くなっている。

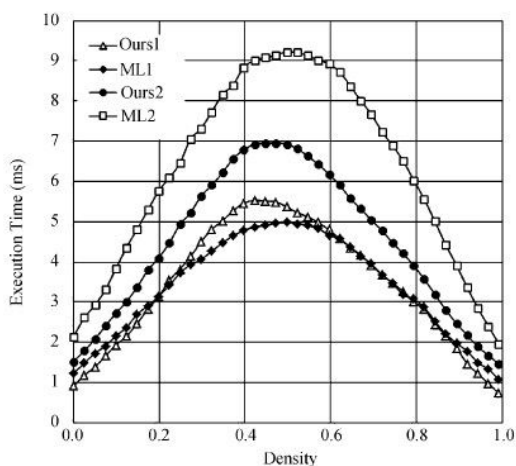


図 3 画像密度における実行時間

## 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 8 件)

B. Yao, H. Wu, Y. Yang, Y. Chao, A. Ohta, H. Kawanaka, and Lifeng He. An Efficient Strategy for Bit-Quad-Based Euler Number Computing Algorithm. 査読有、IEICE TRANS. INF. & SYST., Vol.E97-D No.5 pp.1374-1378, 2014.

Lifeng He, X. Zhao, Y. Chao, K. Suzuki. Configuration-Transition-Based Connected-Component Labeling. IEEE Transactions on Image Processing. Configuration-Transition-Based Connected-Component Labeling. IEEE Transactions on Image Processing, 査読有、Vol. 23, No. 2, pp943-951, 2014.

Lifeng He, Y. Chao, K. Suzuki. An Algorithm for Connected-Component Labeling, Hole Labeling and Euler Number Computing. Journal of Computer Science and Technology, 査読有、May 2013, Volume 28, Issue 3, pp 468-478.

Q. Yu, Lifeng He, T. Nakamura, Y. Chao, and K. Suzuki. A Mutual-Information-Based Global Matching Method for Chest-Radiograph Temporal Subtraction, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有、Vol.16 No.7, pp. 841-850, 2012.

Lifeng He, Y. Chao, K. Suzuki. A New First-Scan Method for Two-Scan Labeling Algorithms, IEICE TRANS. INF. & SYST., 査読有、Vol. E95.D, No. 8, pp. 2142-2145, 2012.

Lifeng He, Y. Chao, K. Suzuki, Q. Yu, W. Tang, Z. Shi. A Labeling Algorithm for Connected Components and Holes, American Journal of Engineering and Technology Research, 査読有、Vol. 11, No. 12, pp.2149-2154, 2011.

Y. Chao, Lifeng He, K. Suzuki. A new connected-component labeling algorithm, American Journal of Engineering and Technology Research, 査読有、Vol. 11, No. 12, pp.1099-1104, 2011.

Lifeng He, Y. Chao, K. Suzuki. Two Efficient Label-Equivalence-Based ConnectedComponent Labeling Algorithms for Three-Dimensional Binary Images, IEEE Transactions on Image Processing, 査読有、vol.20, no.8, pp.2122-2134, 2011. doi: 10.1109/TIP.2011.2114352

[学会発表](計 4 件)

Bin Yao, Yuyan Chao, Y. Yang, and Lifeng He. An Efficient Strategy for Computing the Euler Number of a Binary Image. IEEE Region 10 Conference, Paper 101, Xi'an, China, Oct. 22-26,2013.

Lifeng He, Yuyan Chao, Xiao Zhao, Kenji Suzuki. Fast Connected-Component Labeling for Binary Hexagonal Images. 2013 IEEE Region 10 Conference, Paper 281, Xi'an, China, Oct. 22-26, 2013.

Lifeng He, Y. Chao, K. Suzuki. A New Algorithm for Labeling Connected Components and Calculating the Euler

Number, Connected-Component Number, and Hole Number, 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), Tsukuba, Japan, 2012.

Lifeng He, Y. Chao, K. Suzuki, A New Two-Scan Algorithm for Labeling Connected Components in Binary Images, World Congress on Engineering, July, London, 2012, pp1141-1146.

〔図書〕(計 1 件)

Lifeng He, Yuyan Chao, Xiao Zhao, and Kenji Suzuki. IAENG Transactions on Engineering Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 229. Chapter 34. A Novel Two-Scan Connected-Component Labeling Algorithm. pp.445-459. Yang, Gi-Chul; Ao, Sio-long; Gelman, Len (Eds.). Springer, 2013.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

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：80305515

(3)連携研究者

鈴木賢治 (SUZUKI Kenji)  
シカゴ大学・放射線工学科・助教授  
研究者番号：