

課題名 (タイトル) :

領域抽出法の性能評価に関する研究

利用者氏名 : 竹本 智子

所属 : 社会知創生事業 イノベーション推進センター VCAD システム研究プログラム
生物基盤構築チーム

1. 本課題の研究の背景, 目的, 関係するプロジェクトとの関係

(背景)

顕微鏡や蛍光標色技術の発達に伴い, 観察対象を高分解能で撮影した細胞内観察画像が取得できるようになってきたが, 画像解析技術は十分に整備されていない。例えば, 観察対象の定量解析の前処理として重要な領域分割 (領域抽出) は, 細胞内観察画像での成功例が極めて少なく, 定量解析の妨げとなっている。

領域抽出が難しい原因の一つに, 抽出アルゴリズムの汎用性欠如が挙げられる。高精度での領域抽出が求められる場合は, アルゴリズムは各観察対象に特化される必要があり一般性を欠く。結果として研究者は, 対象ごとにアルゴリズムの決定やパラメータ調整を行う必要があり, 前処理であるはずの領域抽出が大きなボトルネックとなっている。

(目的)

前述の問題を解決するため, 本研究では領域抽出アルゴリズムの性能評価システムの研究・開発を行っている。システムは, ユーザーによって示された Ground-truth 領域と, あらかじめシステムに用意されているアルゴリズム群による自動抽出領域との類似度を評価し, アルゴリズムの性能を相対的に評価する。評価が高いアルゴリズムは, Ground-truth 領域と類似した画像特徴を持つ新たな入力画像に対して, 高精度の領域抽出を実現することができる。

(関係プロジェクト)

利用者は, 平成 20~24 年度, 文部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究「細胞内ロジスティクス」の研究分担者である。この研究は, 主に共焦点レーザー顕微鏡で撮影した細胞の時空間画像を対象としている。ロジスティクスとは「物流」を意味し, 細胞内に生じる細かな物流現象を解析することによって, 細胞内生命現象の定量化を目指している。この定量化のた

め, 画像の領域抽出は必須であるが, 前述のように領域抽出法の決定や調整が問題となっている。またこの研究は, 細胞生物学・分子生物学・生物化学・情報科学のはじめての本格的融合研究であり, 新しい学術領域確立のさきがけとして研究成果が各方面から大いに期待されている。

2. 具体的な利用内容, 計算方法

本年度までに開発したシステムは, RICC 上で動作する性能評価システム (ExpertDriver) と, Window 上で動作する評価計算デザインのためのインターフェース (DataPacker) からなる (Fig.1)。DataPacker では領域抽出の性能評価に用いるアルゴリズムや, ExpertDriver の動作情報, 入出力画像情報の設定が行われた後, 実行ファイル形式のアルゴリズムモジュール, 設定情報が記載された xml, 画像が格納された ProjectFolder を生成する。ユーザーはこれを RICC のログインノードに移動し, ExpertDriver を実行させる。ExpertDriver は xml に記載された動作情報に基づき評価計算を実行する。アルゴリズムの評価スコア及び最高スコアのアルゴリズムを用いた領域抽出結果が, ExpertDriver の出力として生成される。

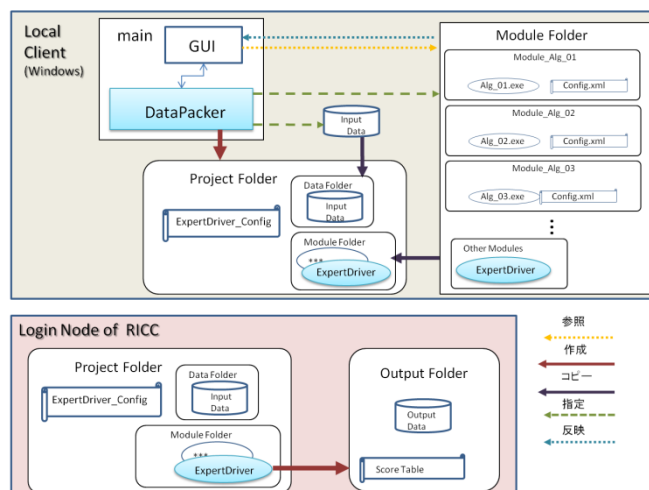


Fig.1 A framework of our performance prediction system

本研究で取り扱う画像は、最大で 512 x 512 x 100 voxel 程度の高分解能ボクセル（さらに、そのタイムラプスデータ）である。また、領域抽出や評価計算は各 voxel のスカラー値のみを対象とするのではなく、輝度由来の高次元ベクトルを対象とするため、計算データは最大で数 GB のデータ量になる。評価計算ではこれらの入力データに対し、複数のアルゴリズムによる総当たりの計算が実行される。本研究ではこれらの計算を、RICC の超並列 PC クラスタによるジョブ並列によって実現している。

3. 結果

領域抽出の性能評価に関する研究は最近特に活発であるが、信頼性の低い評価基準は後の定量解析に支障をきたす可能性があることが分かってきた。そこで本年度我々は、近年の関連研究において広く用いられる 4 つの評価基準を例に、評価基準の信頼度を測定した。

信頼度測定に用いた評価基準は、Global Consistency Error(GCE)[1]、Precision/Recall(PrRe)[2]、Rand Index(RI)[3]、Variation of Information(VoI)[4,5]である。また、評価対象とした領域抽出法は、Mean Shift[6]、K-means、Watershed[7]、Graph Cut[8]である。本報告では、オートファゴソーム[9]に局在する GFP-LC3 のタイムラプス観察画像に対する領域抽出法の性能評価を例に示す。時間的に連続した画像を用いており、観察対象の特徴に大きな変化は生じていないことから、全画像を通して安定したスコアを出力する評価基準が、本実験で用いた画像に対する領域抽出の性能評価に適していると思なせる。結果を Fig.2 に示す。

GCE, PrRe 及び RI による評価では全画像を通して各アルゴリズムの順位が変わらなかった。一方、VoI では Mean Shift の評価スコアに順位の逆転が生じた。また、目視評価では全画像を通して Watershed が明らかに抽出精度が劣っていたが、RI による評価では Watershed が最高評価を得ていた。以上のことから、GCE 及び PrRe は本実験で用いた観察画像に対する領域抽出の性能評価に適しており、RI と VoI は安定性と妥当性において信頼度が低く、評価基準には適さないことが分かった。

利用者は上記の他に、細胞内の粒状構造物を例とした領域抽出法の性能評価を行い、結果を国際会議、国内会議等で発表している。

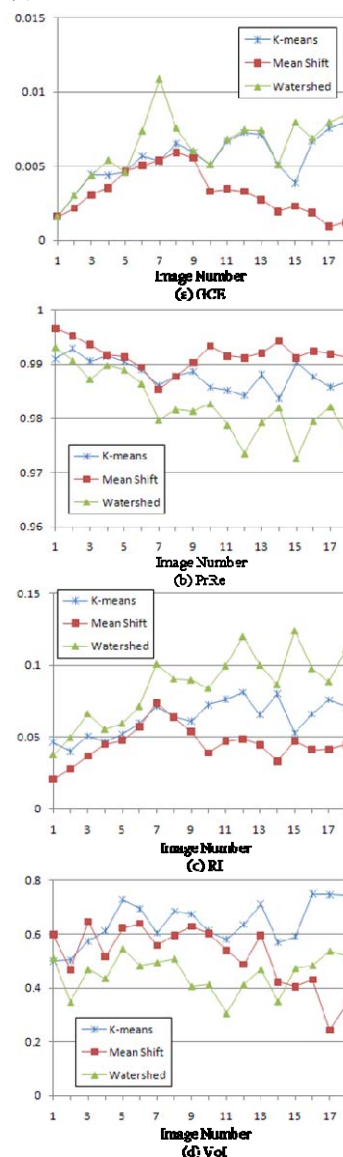


Fig.2 Evaluation scores of three segmentation algorithms. A lower rank shows better performance in GCE and VoI, whereas a higher rank indicates better performance in PrRe and RI.

4. まとめ

本研究では、領域抽出法の性能評価システムの研究・開発を行っている。利用者らは本システムを、特に細胞内観察画像の領域抽出法の性能評価に利用している。性能評価の信頼度を高めるためには、まず評価基準の信頼度を高くしなくてはならない。本報告では、関連研究で提案されている 4 つの評価基準を例に、評価基準の信頼度測定を行った例を示した。

実験では、オートファゴソームに局在する蛍光タンパク質の検出を目的とした領域抽出を行い、抽出結果を用いてアルゴリズム性能を評価した。安定性、妥当性の観点において信頼度が高い評価基準は、抽出性能が高いアルゴリズムを、正しく評価できるこ

とを確認した。今後はより多くの観察対象を例に、評価基準の信頼性について分析する予定である

5. 今後の計画・展望 (今後の計画)

これまでに開発したシステムの ExpertDriver は、出力であるアルゴリズムの評価スコア（以下、ScoreTable と記載）に、アルゴリズムの実行パラメータ及び使用画像情報が記載されている。今後の開発では、この ScoreTable を用いて DataPacker で新たな評価計算デザインが可能となるよう、ScoreTable 及び ExpertDriver の仕様変更に関わる設計・開発を行う。

また、ExpertDriver に対し、評価計算の中断・再開（リスタート）機能を拡張する。ExpertDriver を動作させる RICC はジョブ実行時間に制限があることから、評価計算が制限時間内に終了しないことも想定される。そこで今後の開発では、ユーザがジョブ開始時に指定した時間に達すると、その時点までの計算終了情報をチェックし、中間ファイルとして出力できるよう ExpertDriver の設計・開発を行う。（研究の展望）

今年度までに行った研究は、主に細胞内の粒状構造物を例とした領域抽出の性能評価であった。今後は、他の構造（例えば線維状、網状など）を対象とした性能評価を行う予定である。また、細胞内の「輸送」や「形状変化」など、現象ごとに適したアルゴリズムの目指した実験分析を行う。細胞内観察画を対象とした領域抽出アルゴリズムの評価はこれまでに少なく、研究成果は Computer Vision や定量解析を必要とする自然科学の研究にとって極めて重要なものとなると考えている。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

本研究で研究・開発を行っている領域抽出法の評価システムは、今年度までに Fig.1 に示したフレームワークを実現した。開発システムを用いて実際の細胞内観察画像を例にした検証実験を行い、いくつかの成果は国際会議、国内会議等で発表済みである。今後は、上

記 5 で述べた開発を実現するため、以下の開発項目を実施予定である。

✓ ExpertDriver における Score Table 出力機能の変更

✓ ExpertDriver の中断・再開機能の開発

次年度の継続利用では、これら開発システムのテスト・評価を実施し、システムに問題がなければ 5 で述べた研究展望に従い研究を推進する。

参考文献：

- [1]D. Martin et al., Proc. of ICCV, 2, pp. 416-423, 2001.
- [2]F.J. Estrada et al., Int. J. Comput. Vis., 85, 2, pp. 167-181, 2009.
- [3]R. Unnikrishnan et al., IEEE Trans. on PAMI, 29, 6, pp. 929-944, 2007.
- [4]P. Arbelaez et al., Proc. of CVPR, pp. 2294-2301, 2009.
- [5]M. Haindl et al., Proc. of ICPR, pp. 1-4, 2008.
- [6]D. Comaniciu et al., IEEE Trans. on PAMI, 24, 5, pp. 603-619, 2002.
- [7]L.Vincent et al., IEEE Trans. on PAMI, 13, pp. 583-598, 1991.
- [8]Felzenszwalb P.F., et al., Int. J. Comput. Vis., 59, 2, pp.167-181, 2004.
- [9]T. Yoshimori, Cell 128, pp. 833-836, 2007.

平成 21 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文, 学会報告・雑誌などの論文発表】

S. Takemoto, H. Yokota "Algorithm Selection Based on a Region Similarity Metric for Intracellular Image Segmentation", Image Segmentation, Intech, (in printing), 2011.

【国際会議などの予稿集, proceeding】

竹本 智子, 横田 秀夫, 吉森 保, 牧野内 昭武, "Predicting Segmentation Quality for Intracellular Images", ViEW ビジョン技術の実利用ワークショップ(ViEW2010), pp. 336-340, パシフィコ横浜, Dec. 9-10, 2010.

【国際会議, 学会などでの口頭発表】

S. Takemoto, S. Yoshizawa, and H. Yokota, "A Performance Prediction System for Automatic Intracellular Image Quantification", International Conference on Systems Biology, Edinburgh, UK, 2010.

竹本 智子, "細胞観察画像の定量解析のための注目点検出アルゴリズムの性能評価", 定量生物学の会第三回年会, 東京大学生産研, Nov. 26-28, 2010.

竹本 智子, 吉澤 信, 横田 秀夫, "大規模並列計算による細胞内画像処理に有効な画像特徴の分析", 2010 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 名古屋大学, Sep. 27-29, 2010.

竹本 智子, 横田 秀夫, "性能予測基準が細胞内画像認識に与える影響に関する考察", 電子情報通信学会医用画像研究会, 和光, Sep. 3, 2010.

竹本 智子, 横田 秀夫, 牧野内 昭武, "細胞内オブジェクトの認識に有効な画像特徴量の検討", MIRU 2010 サテライトワークショップ 細胞内画像処理, 釧路, Jul. 26, 2010.

竹本 智子, 横田 秀夫, 牧野内 昭武, "領域抽出アルゴリズムの性能予測と細胞内画像への応用", 第 2 回細胞内ロジスティクス班会議, 札幌, 2010.

吉澤 信, 竹本 智子, 西村 将臣, 井尻 敬, 辻村 有紀, 須永 泰弘, 牧野内 昭武, 横田 秀夫, "Quantitative Intracellular Image Analysis -Bridging Experiments and Simulations-", バイオスーパーコンピューティングシンポジウム, 東京 MYPLAZA, Mar. 18-19, 2010.

竹本 智子, 横田 秀夫, "細胞内観察画像における領域分割性能の評価", 理研シンポジウム VCAD システム研究 2010, 和光, March 2-3, 2011.

【その他】

招待講演:

S. Takemoto, "A Supervised Evaluation System of Intracellular Image Segmentation", Invited, Institute of Perception, Action and Behaviour Seminar, Edinburgh University, Edinburgh, UK, 2010.