

遺伝的アルゴリズムを用いた 医用画像認識システムの最適化

土屋大輝^{†1} 野里博和^{†1†2}

本稿では、遺伝的アルゴリズムを用いた医用画像認識システムの最適化に関する研究について述べる。医用画像における画像認識は、対象とする医用画像が一定の条件で撮影されないため複雑で難しい。しかしながら、診断に活用するために要求される認識精度は高い。そのため、最適な画像認識システムを構成する画像処理技術、特徴抽出技術、解析技術の組み合わせが複雑で、それらの設定の組み合わせも膨大になるため、最適な認識システムの構成に設定するのは難しい。そこで、本稿では、遺伝的アルゴリズムを用いた医用画像認識システムの最適化手法を提案する。提案手法では、複数の画像処理の組み合わせ、特徴抽出のパラメータのすべてを同時に最適化するために、遺伝的アルゴリズムの世代交代モデルをベースとした複数種の遺伝子が混在する最適化手法を提案し、効率良く最適なパラメータ設定を行う。41症例の大腸内視鏡画像を対象とした検証実験の結果、提案手法により最適化された医用画像認識システムが炎症性疾患の重症度を識別する最も良い識別性能を示し、提案手法の有効性を確認した。

An Optimization Method for Medical Image Recognition System using Genetic Algorithm

DAIKI TSUCHIYA^{†1} HIROKAZU NOSATO^{†1†2}

This paper describes an optimization method for medical image recognition system using genetic algorithm. Image recognition for medical images is complex and demanding- because these images are taken under the unstable conditions. However, the recognition with high accuracy is required to utilize- the recognition results as clinical findings. Therefore, the optimal combination of the image processing, the feature extraction and the analysis, which organize the medical image recognition system, is complex. Moreover, there is huge variety of the combination of settings for these components. Thus, it is difficult to set the optimum configuration for this recognition system. In order to overcome this difficulty, this paper proposes an optimization method for medical image recognition system using genetic algorithm. To simultaneously optimize all settings of image processing and feature extraction, we propose a new optimization algorithm with multiple kinds of genes that correspond to these settings based on a generation alternation model of genetic algorithm. In the conducted experiments using the colonoscopy images of 41 cases taken from patients, the proposed method demonstrated the best performance of the optimization of the medical image recognition system that classifies the severity of the inflammatory disease.

1. はじめに

画像認識技術とは、コンピュータの計算処理により、画像に含まれる特徴を抽出し、対象物が何であるかを認識する技術のことである。応用分野は多岐にわたり、工業、医療、交通、福祉、教育、スポーツ、芸術、リモートセンシングなど様々な分野で活用されている[1]。

図1に示すように、画像認識技術は、主に画像処理技術、特徴抽出技術、解析技術により構成されている。正確な認識を行うためには、それぞれを構成技術として、適切な手法を選択し、それらのパラメータを最適に設定する必要がある。しかし、認識対象の画像が、医用画像の場合、その対象画像に適した画像処理や特徴抽出を組み合わせる必要があるが、一般的な画像認識に比べその調整は難しい。その理由として、画像が不明瞭であったり、撮影された条件が一律でないことなどが挙げられる。特に内視鏡画像は、臓器の形状や凹凸、粘膜状態によって照明条件が均一でな

いため、それらの撮影条件すべてに対応した画像処理や特徴抽出の設定は複雑になる。加えて、診断支援システムとして活用されることを目的としているため、認識結果に要求される精度が高く、医用画像認識システムは複雑な構成になる。その結果、システムの各構成技術のパラメータの組み合わせ数は膨大になり、その中から最適なパラメータを探索するのは容易ではない。

そこで、本稿では、最適な医用画像認識システムを構成することを目的として、複数の画像処理、特徴抽出のパラメータを同時に最適化する画像認識システムの最適化手法を提案する。提案手法では、複雑で膨大な組合せの最適化を行うため、遺伝的アルゴリズムの世代交代モデル[2]をベースとした複数種の遺伝子が混在する最適化手法を提案し、それにより効率良く最適なパラメータ探索を行う。

本稿では、提案手法の有効性を検証するため、認識対象の医用画像として内視鏡画像を用い、潰瘍性大腸炎の典型的な症状である大腸粘膜表面の炎症の識別性能を評価指標とする医用画像認識システムの最適化を行った。

^{†1} 東邦大学大学院 理学研究科

Faculty of Science, Graduate School of Toho University

^{†2} 独立行政法人産業技術総合研究所 情報技術研究部門

Information Technology Research Institute (ITRI)

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

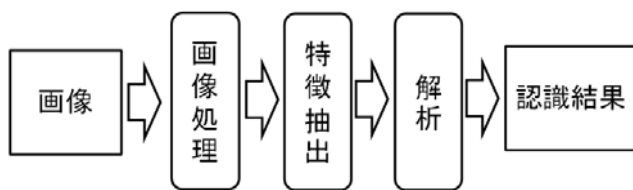


図 1 一般的な画像認識技術

2. 医用画像認識システムとその問題点

2.1 医用画像認識システム

現在、医療の現場ではデジタル化が進み、高度画像診断機器を駆使した画像検査による診断と、画像解析データを用いた治療の時代となっている[3]。その結果、デジタル化された医用画像にも画像認識技術の応用が進み、いくつもの医用画像認識システムが開発されている。医用画像認識システムとは、画像検査によって患者から得られた医用画像から、異常部位の検出や計測を行い、医師の診断の助けとなる情報を提示するシステムである。現在、このシステムは、主に X 線、CT、MRI など活用されており、一般的には CAD(Computer-Aided Diagnosis)と呼ばれている。

2.2 医用画像認識システムにおける課題

臓器などを直接観察する内視鏡検査においても、その検査装置のデジタル化が進み、画像認識技術を応用した診断支援技術に対する期待が高まっている。しかし、内視鏡検査においては、内視鏡画像の撮影条件が一定でないことや、医師へのフィードバックの即時性などのため、解決する技術課題が多く、実用化には至っていない。

具体的には、内視鏡画像は、光の全くない体内や消化管において、内視鏡の照明のみで照らされた条件下で撮影を行っている。そのため、対象物の形状や凹凸、病変の状態によってその光の当たり具合が変わり、撮影条件が著しく異なった画像が撮影される。そのため、それら撮影条件すべてに対応した画像処理や特徴抽出の設定が要求され、適切な画像処理の選択が難しい。さらに、医師に提示する認識結果には正確性が不可欠であることから、画像認識システムに要求される認識精度は高く、対象とする医用画像に最適な画像処理や特徴抽出を組み合わせる必要がある。その結果、画像認識システムを構成する画像処理や特徴抽出のパラメータの組み合わせが複雑で膨大となり、最適な設定を見つけるのは容易ではない。

3. 提案手法

本稿では、医師の診断を支援する医用画像認識システムの構成を最適化することを目的として、複数の画像処理、特徴抽出のパラメータを同時に最適化する画像認識システムの最適化手法を提案する。提案手法では、遺伝的アルゴリズムの世代交代モデルをベースとした複数種の遺伝子が混在する最適化手法を用いて、効率的に最適なパラメータ

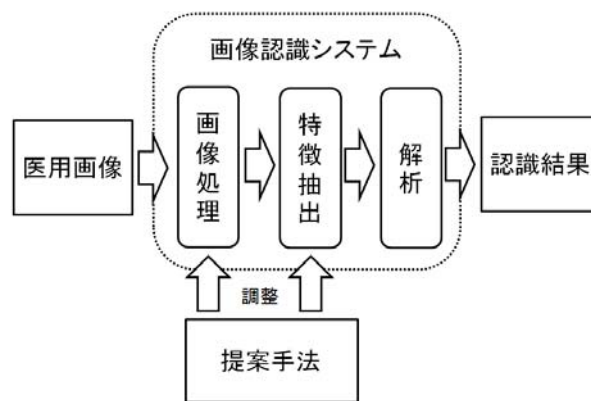


図 2 医用画像認識システムの最適化の模式図

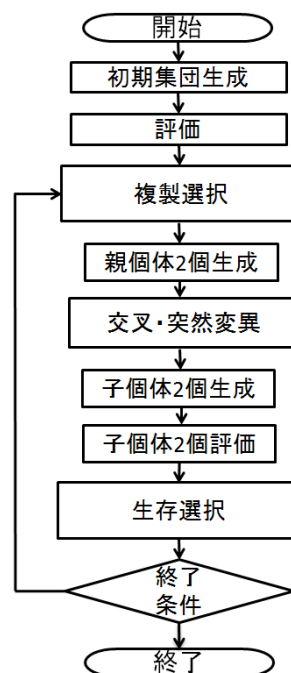


図 3 遺伝的アルゴリズムの最適化フロー

設定を行う。

図 2 に提案する医用画像認識システムの最適化の模式図を示す。医用画像認識システムは、対象とする医用画像に対して画像処理・特徴抽出・解析を行い、認識結果を出力する。本稿で提案する最適化手法では、画像処理と特徴抽出のパラメータを調整し、この認識結果が最良になるように最適化する。

3.1 遺伝的アルゴリズムを用いた最適化手法

本稿が対象とする医用画像認識システムのパラメータの最適化問題は、膨大で複雑な解空間を持つと予想される。そのため、最適化手法に求められる要素として、局所解の回避と、効率的な探索が必要である。そこで、本稿では、多様性を維持して効率的な探索を行うために、世代交代モデル[2]をベースとした遺伝的アルゴリズムを採用する。

図 3 に提案する遺伝的アルゴリズムの最適化フローを示す。提案手法では、まず、初期集団を G 個生成し、評価を行う。次に、集団の中から 2 個体を複製選択により選択

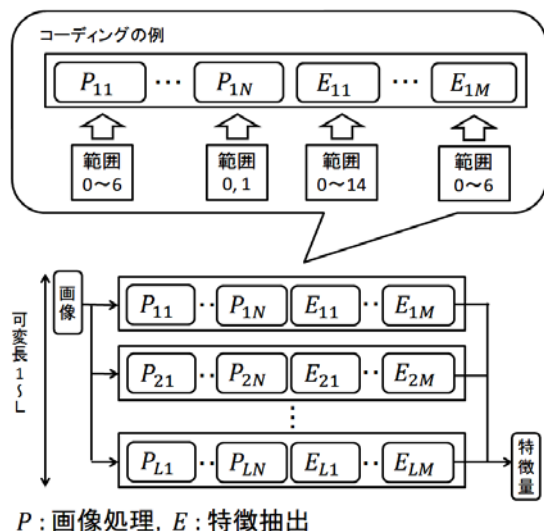


図 4 コーディングの例

し親個体とする.そして,選択した2つの親個体に対して,交叉と突然変異を行い,2つの子個体を生成する.その後,この生成した2つの子個体の評価を行い,2つの親個体との合計4個体から生存選択により2個体を集団に戻す.この操作を終了条件が満たされるまで繰り返すことで,より評価の高い個体の探索を行う.

3.1.1 コーディング

提案手法では,医用画像認識システムを構成する画像処理と特徴抽出の最適化を行うため,画像処理の種類を選択するパラメータと特徴抽出の条件パラメータの全く異なる性質のパラメータを同時に最適化する.この最適化を実行するため,遺伝的アルゴリズムにおける遺伝子のコーディングを,図4に示すように構成した.

提案手法では,N個までの画像処理を連結することが可能で,それぞれにおいて画像処理の種類を指定するパラメータを設定する.例えば,P11は7種類の画像処理から1つを選択することが可能で,対応する0~6の数値が設定できる.一方,特徴抽出においては,M個までの抽出条件を連結することが可能で,それぞれの条件を指定するパラメータを設定できる.例えば,E11は15段階の抽出条件に対応する0~14の数値が設定可能となる.

また,医用画像の解析を様々な角度から行うために,ある画像処理・特徴抽出の条件設定を1セットと考え,それをLセットまで連結した特徴を1つの個体とする可変長遺伝的アルゴリズムとして最適化する.

3.1.2 複製選択・生存選択

提案手法の複製選択においては,ランダムに非復元抽出で選択することで,生成する子個体の多様性を維持し,局所解への収束を回避する.また,生存選択においては,選択した2つの親個体に加え,生成した2つの子個体の合計4個体の中から,最も評価の高い最良個体1個体と,残りの3個体からルーレット選択で1個体を選択し,効率良い

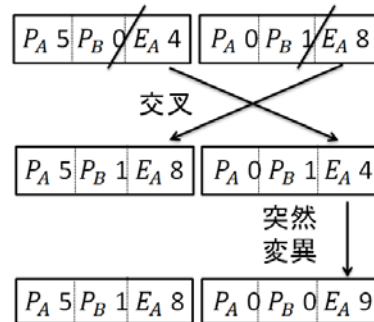


図 5 遺伝的アルゴリズムのオペレータの例

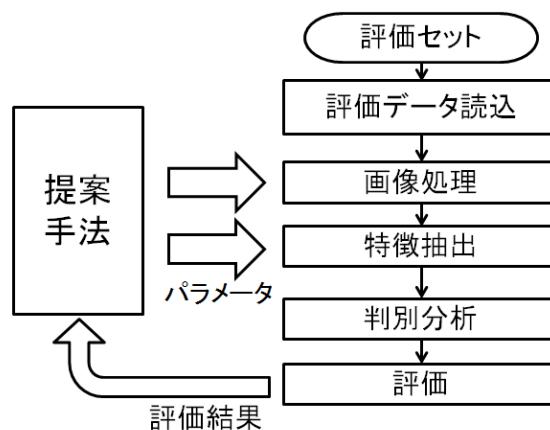


図 6 最適化する医用画像認識システム

収束と多様性を維持する.

3.1.3 交叉, 突然変異

図5に,本研究で使用した遺伝的アルゴリズムのオペレータを示す.交叉には,ランダム一点交叉を用いることで,親個体の染色体の一部を入れ替え,親個体の染色体の一部を受け継ぐ新たな個体を生成する.また,遺伝子を一定の確率で変化させる突然変異を用いることで,局所解に陥るのを抜け出す.

3.2 最適化する医用画像認識システム

本稿で最適化する医用画像認識システムを図6に示す.本システムでは,対象とする医用画像の評価セットに対し,評価したい個体のパラメータをセットした画像処理,特徴抽出を行い,判別分析による評価結果をこの個体の評価値として返す.

本稿では,最適化する医用画像認識システムとして,内視鏡画像からの潰瘍性大腸炎の重症度分類システムを対象とする.潰瘍性大腸炎とは,大腸内視鏡検査において観察される中でも最も難易度の高い症状の1つである.潰瘍性大腸炎は,大腸全体に炎症が広がる病気であり,重症になるほど凹凸などが形成される.以下では,本稿で用いた医用画像認識システムである内視鏡画像からの潰瘍性大腸炎の重症度分類システムについて説明する.

3.2.1 画像処理

本稿では、潰瘍性大腸炎の重症度分類を目的とした画像処理として、色空間変換・ヒストグラムの均一化・モルフォロジー演算の3つの画像処理を組み合わせる。色空間変換とは、撮影されたカラーの内視鏡画像から、別の色空間への変換を行う手法である。潰瘍性大腸炎は、重症度によって有効な色空間が異なるという研究結果が報告されている[4]。そこで、本稿では、画像処理として色空間変換を採用し、複数の色空間変換を使用した重症度分類を行う。しかし、色空間によっては、画像中の濃度値分布が偏っている場合があり、色空間変換だけでは特徴の抽出が困難になる。そこで本稿では、濃度値の偏りに対応するため、ヒストグラムの均一化処理を組み合わせる。

さらに本稿では、粘膜表層の血管が透けて見えるかどうかを活用する。大腸粘膜の炎症度を見分ける1つの指標として、この血管の見え具合が判断の鍵となることから、血管像抽出手法として報告されているモルフォロジー演算処理[5]を、大腸粘膜表面の血管を強調表示するための画像処理として組み合わせる。

3.2.2 特徴抽出

潰瘍性大腸炎の内視鏡画像から幾何学的な特徴である高次局所自己相関(HLAC)特徴[6]を抽出することで、炎症度の違いを示すことが報告されている[4]。そこで本稿でも、このHLAC特徴を潰瘍性大腸炎の内視鏡画像からの特徴抽出手法として採用する。HLAC特徴は、3×3ピクセルのサイズで定義された複数のマスクで画像をスキャンすることで幾何学的な特徴を抽出する手法である。本稿では、内視鏡検査の際に医師が、大域的な観察と局所的な観察を組み

表 1 実験データの構成

クラス	サンプル数	医師の所見
#1	7	血管透見像あり
#2	7	血管透見像あり, 若干の発赤
#3	6	血管透見像あり, 強い発赤
#4	5	血管透見像消失, 強い発赤, 浮腫
#5	4	血管透見像消失, びらん
#6	13	血管透見像消失, びらん, 潰瘍

表 2 実験で使用した画像処理

	パラメータ
色空間変換	GRAYSCALE
	RGB-B / RGB-G / RGB-R
	HSV-H / HSV-S / HSV-V
ヒストグラムの均一化	無し / 有り
モルフォロジー演算	無し / TOPHAT / BLACKHAT

表 3 実験で使用した特徴抽出

	パラメータ
HLACの幅	3, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31

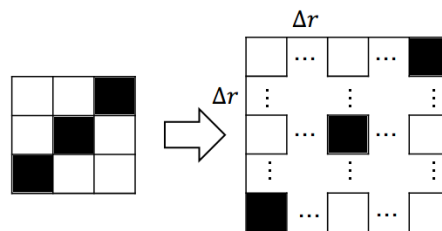


図 7 HLAC 特徴を抽出するサイズ

合わせている診断過程をこの特徴抽出に反映させるため、図 7 に示すように、特徴を抽出する範囲を 3×3 から任意のサイズに拡張し、局所的な特徴から大域的な特徴まで抽出する。

4. 検証実験

本稿では、提案手法の有効性を検証するため、潰瘍性大腸炎の炎症度を大腸内視鏡画像から識別する医用画像認識システムを用いて検証を行った。潰瘍性大腸炎の重症度分類は、良く知られている症状であるポリープなどとは異なり、表面の凹凸や血管の見え具合などを総合的に判断して診断される。

4.1 実験データ

実験データとして用いた、潰瘍性大腸炎の内視鏡画像のサンプルを図 8 に示す。実験データは、あらかじめ医師によって 6 段階の重症度に分類されており、#1, #2, #3, #4, #5, #6 と数字が大きくなるにつれ重症になっていく。表 1 に示す医師の所見の通り、最も重症の#6 では、粘膜の炎症がひどくなり、潰瘍やびらんといった症状があらわれ、表面形状に凹凸が形成される。一方、#1 の正常粘膜画像では、粘膜表層の濃赤色の血管網を観察することができる。本稿における検証実験では、(A)血管透見像のある軽症画像(#1~#3)と、(B)血管透見像の無い重症画像(#4~#6)の分類を目的として、画像認識システムの最適化を行った。

4.2 実験条件

本実験では、提案手法に加え、比較対象として Simple GA および山登り法による最適化実験を行った。提案手法における遺伝的アルゴリズムの実験条件は、個体数 $G=30$ 、交叉方法としてランダム一点交叉、交叉確率 1.0、突然変異確率 0.2 とした。また、最適化終了条件は、各比較手法間の終了条件を均一化するため、500 評価とした。すべての手法において、10 試行を繰り返し行い、10 試行中の最良個体の評価値、評価値の平均、評価値の標準偏差を比較し有効性を検証した。医用画像システムの識別結果は、leave-one-out 交差検定により、(A)血管透見像のある画像を A と分類した数と(B)血管透見像の無い画像を B と分類した数の合計分類成功数を評価値とした。また、表 2、表 3 に、実験で使用した画像処理と特徴抽出のパラメータをそれぞれ示す。また、1 個体中の画像処理、特徴抽出の条件設定のセット数 L の上限を 3 とした。

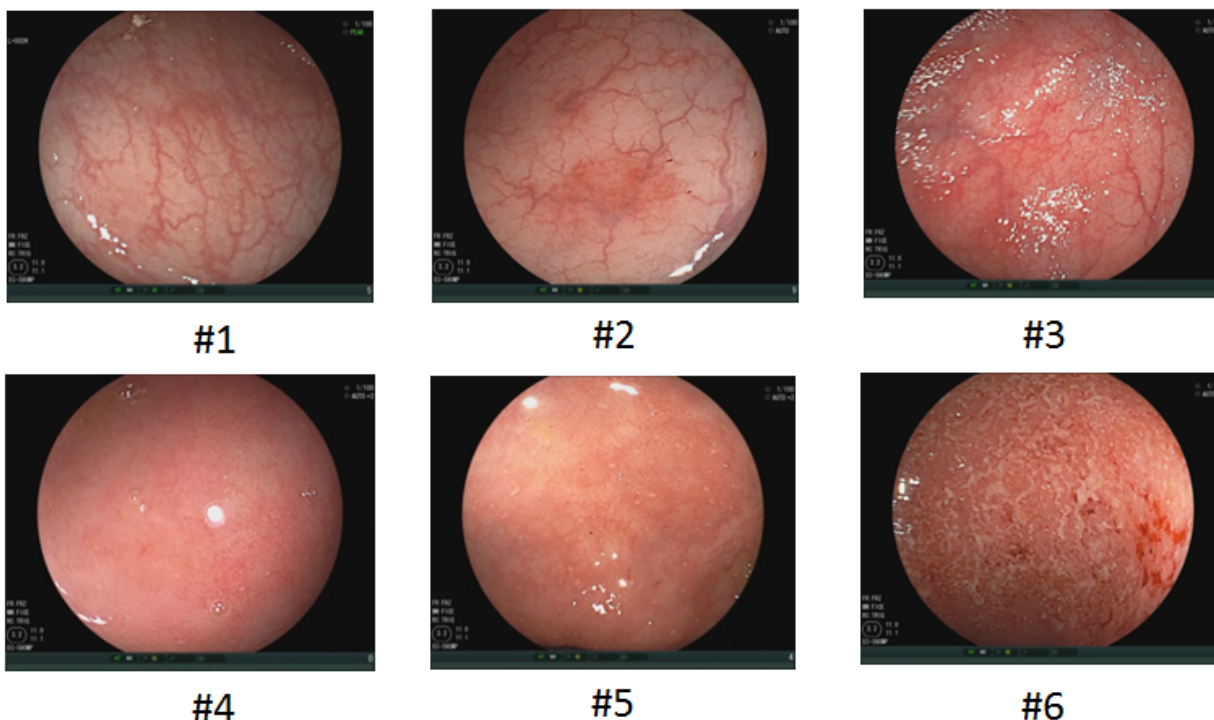


図 8 内視鏡画像サンプル

4.3 実験の結果

表 4 に、3つの最適化手法における分類成功割合を示す。3手法の10試行平均の結果を比較すると、提案手法のみ96%を超えている。また、標準偏差に関しても同様に提案手法が3.3%と最も安定しており、提案手法を用いた医用画像認識システムの最適化が有効であることがわかる。

図 9 に、各手法の収束の様子を示す。Simple GA と山登り法では、探索の途中から評価値の上昇がみられないことから、局所解に嵌っていることが推測できる。一方、提案手法による探索では、他の手法に比べて停滞せずに終了条件である500評価まで十分に探索が進んでいることがわかる。

図 10 に、提案手法で最適化した最適パラメータ設定の画像処理により生成された画像を示す。(a)と(b)の血管透見像ありの画像を比較すると、最適化したパラメータにより、指標である血管網を強調できていることがわかる。一方、(c)と(d)の血管透見像無しの画像では、血管の様な形状とは異なった凹凸の特徴が抽出できており、同じパラメータ設定によって、それぞれの粘膜表面の様子を特徴づける画像処理が行えていることがわかる。

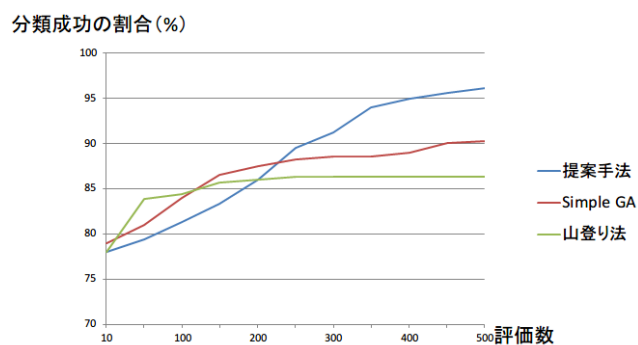


図 9 収束の様子

表 4 探索精度の比較(10試行の結果)

	A+B: 41枚		
	ベスト	平均	標準偏差
提案手法	100%	96%	±3.3%
Simple GA	100%	90.2%	±5.9%
山登り法	95%	86.3%	±5%

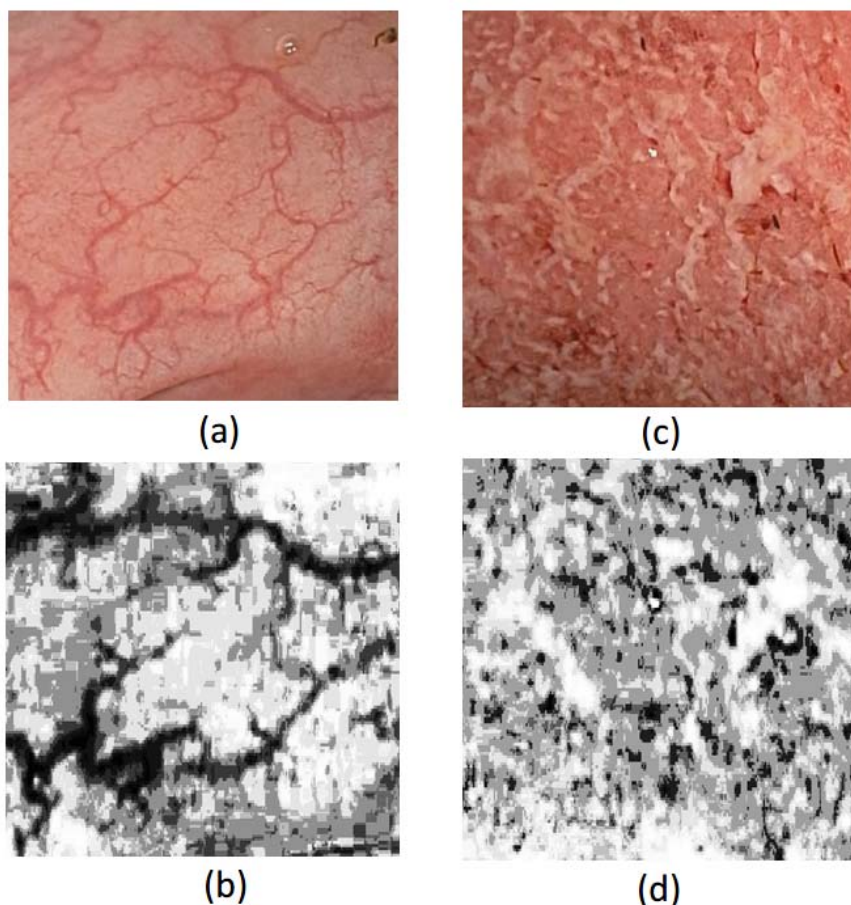


図 10 最適なパラメータ設定における画像処理結果

- (a)血管透見像あり—原画像 (b)血管透見像あり—HSV-H,ヒストグラム均一化
(c)血管透見像無し—原画像 (d)血管透見像無し—HSV-H,ヒストグラム均一化

5. おわりに

本稿では、最適な医用画像認識システムを構成することを目的として、複数の画像処理、特徴抽出のパラメータを同時に最適化する画像認識システムの最適化手法を提案した。提案手法では、複雑で膨大な組合せの最適化を行うため、遺伝的アルゴリズムの世代交代モデルをベースとした複数種の遺伝子が混在する最適化手法を提案した。内視鏡画像の炎症の識別性能を評価指標とする医用画像認識システムの最適化を行った。結果、提案手法を用いることで、効率良く最適なパラメータ調整ができることを確認した。

今後、さらに提案手法の研究開発を進め、パラメータ調整に苦勞していた画像認識システムの最適化を可能とし、内視鏡や超音波などの難しい画像を対象とする画像認識システムの実用化を実現し、医療の発展の手助けの一端となることを期待する。

謝辞 本研究を進めるにあたり、貴重な大腸内視鏡画像のデータをご提供いただいた、東邦大学医療センター佐倉病院消化器内科の鈴木康夫教授、青木博先生、竹内健先生に深く感謝いたします。本研究の一部は、科研費(若手研究(B):2470016)の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 長谷川純一:画像認識の応用:スケートリンクから読影室まで, 日本放射線技術学会雑誌, 68(6), 727-732 (2012)
- 2) 佐藤浩, 小野功, 小林重信:遺伝的アルゴリズムにおける世代交代モデルの提案と評価, 人工知能学会誌 12(5), 734-744 (1997)
- 3) 中澤靖夫:改訂版 診療放射線技師 画像診断機器ガイド, メジカルビュー社(2009)
- 4) 野里博和, 坂無秀徳, 高橋栄一:画像認識技術を用いた大腸内視鏡画像の客観的評価手法, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-MPS-91, No.31, pp. 1-6 (2012)
- 5) 中川俊明, 林佳典, 畑中裕司, 青山陽, 水草豊, 藤田明宏, 加古川正勝, 原武史, 藤田広志, 山本哲也:眼底画像診断支援システムのための血管消去画像を用いた視神経乳頭の自動認識および疑似太子画像生成への応用, 電子情報通信学会論文誌 D, vol. 89-D, No.11 pp. 2491-2501 (2006)
- 6) N. Otsu and T. Kurita : A new scheme for practical flexible and intelligent vision systems, Proc. IAPR Workshop on Computer Vision, pp.431-435 (1988)