

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500228

研究課題名(和文) 医療診断支援のための内視鏡画像からの形状復元とポリープ識別

研究課題名(英文) Shape Recovery and Polyp Recognition from Endoscope Image for Supporting Medical Diagnosis

研究代表者

岩堀 祐之 (IWAHORI, Yuji)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：60203402

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：内視鏡画像から対象の3次元形状復元を目的として1枚の濃淡画像から、中心投影(透視投影)、点光源照明のもとで、光学的拘束と幾何学的拘束を用いて凹凸のある曲面形状を精度よく復元する手法を新たに開発した。この際、実際の内視鏡画像をもとに鏡面反射成分の除去、カラー反射率の相違を吸収して、一様な反射率をもつ拡散反射画像化を行う方法を新たに開発した。これらにより、形状復元を精度よく行うことができた。併せて、ヘシアンフィルタにより候補領域の抽出したのち、SVM(サポートベクターマシン)での学習と特徴選択を行うことで、精度よくポリープ領域を検出する方法を新たに開発し、対象領域を特定するための研究を行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the research is 3-D shape recovery of an object from endoscope image and new approaches were developed including the generation of diffused reflectance image, automatic detection of polyp candidate, and shape recovery under the condition of point light source illumination and perspective projection. The algorithm recovers the shape based on both of photometric and geometric constraints and it is assumed that the objective target includes convex and concave curved surface. To generate diffused reflectance image, developed approach absorbs the effect of difference of the reflectance parameters among the segmented regions in normalized color space. Automatic polyp detection approaches with high accuracy was also developed by extracting the polyp candidate region by Hessian filter and SVM learning with feature selections.

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・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン 医療画像応用 知覚情報処理 内視鏡画像 3次元形状復元 Shape from Shading ポリープ検出 SVM

1. 研究開始当初の背景

医療現場での診断は内視鏡専門医の経験に基づいて診断が行われており、ポリープの凹凸など分かりにくいいため、凹凸の形状を3次元的に復元して確認できる方法、ならびにポリープの候補を自動検出して支援する方法が必要である。

2. 研究の目的

内視鏡画像から、凹凸を含めた形でポリープの3次元形状復元を精度良く復元する方法を開発すること、ならびに、ポリープの自動認識をするためのポリープ候補領域の高精度な検出手法を開発を目的とする。研究代表者の近年の研究をもとに、前処理として、鏡面反射の除去、反射係数一様な拡散反射画像の生成をする方法の開発とともに、点光源、透視投影の条件のもとで凹凸情報を復元するための新たな方法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 1枚の内視鏡画像から鏡面反射を除去するとともに、一様な拡散反射の画像を生成するための方法を開発することとした。まず鏡面反射成分を除去するとともに、正規化 RGB 空間でカラーの違いによるクラスタリングを行い、クラス間の境界を挟む2点を用いて反射率を同定することで画像全体を一様化する処理を行う方法を開発した。

(2) 内視鏡画像に対する形状復元では、点光源および透視投影の環境下での復元を可能とするため、これまで開発した方法を拡張し、凹凸を含めた3次元形状復元手法を開発した。光学的拘束条件と幾何学的条件による2つの式からその結果が一致するように最適化を用いて着目点(未知の点)の傾きと高さを解く方法を開発した。

(3) ポリープの候補領域を抽出する方法として、ヘシアンフィルタによる画像強調をもとに候補領域を抽出後、テクスチャ特徴量とエッジ特徴量として HOG 特徴量を抽出することで、SVM(サポートベクターマシン)を用いて、ポリープ候補を検出する方法を開発した。

(4) ポリープの特徴として、エッジ特徴が有効な場面が多いため、DSC フィルタを導入、楕円フィッティングを行うことで、ポリープ部分を推測するとともに、HOG 特徴量をもとに SVM でポリープ検出する手法を開発した。

4. 研究成果

(1) 一様な反射係数の拡散反射画像とするには、画像中に含まれる鏡面反射成分と、物体表面のテクスチャによる反射率の違いを除去及び、吸収する必要がある。このため、まず入力画像の各 RGB 成分を対応するグレースケール画像の輝度成分 Y で割り、正規化 RGB に変換し、正規化 RGB 空間でクラスタリングを行う。白色光源の場合、RGB 成分の各々が非常に大きな点および近傍点の中央値との差が大きな点は鏡面反射成分の候補となり、それら

を除去しておく。正規化 RGB 空間で原点からのベクトル方向の違いに着目し、極座標系ベクトルでカラーテクスチャの違いにより画像領域のクラスタリングを行う。大きな領域のクラスを基準として、クラス間の境界を挟む2点を用いて反射率の違いを吸収し、平均化処理を行うことによってことで画像全体を一様な反射係数の画像として変換、生成処理を行った。除去した鏡面反射成分の領域については3次双補間を用いて補間処理を行った。クラスタリングの際に Mean shift を用いて行うため、試行により結果が異なるが、何回か試行した結果から投票処理で安定した結果を得ることとした。シミュレーションによる結果を図1に示す。図1(a)が元画像、(b)はクラスタリングの試行を30回、(c)は50回行った結果である。30回以上試行を重ねると相違が少ない結果が得られることが確認された。

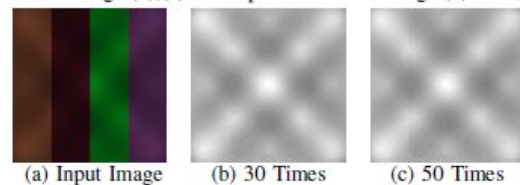


図1: シミュレーション画像

鏡面反射の除去、Lambert 化を図2に示す。

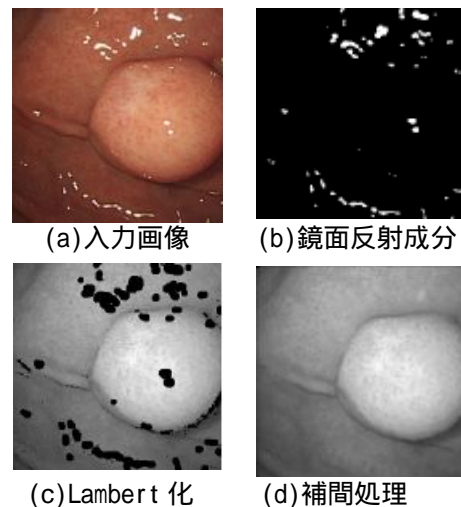


図2: 鏡面反射除去と Lambert 化

(2) 距離Zおよび傾き(p,q)が未知の点に対して、光学的拘束条件による条件式と、求めた既知の点からの幾何学的条件による距離の条件式の2つの式から未知の点の距離と傾きを求める。点光源および透視投影の条件で上の2つの条件式を導出し、それらの拘束条件とともに満たすように得られる(p,q)を複数の既知の点の情報を用いて最適化で推定する手法を開発した。

点光源と視点が原点にある場合の透視投影を考える。一様な Lambert 面を対象に、反射率に比例する係数をC、焦点距離f、各点での画像面上での座標を(x,y)、傾きパラメータを(p,q)、観測される輝度値をEとする。このときEは以下で与えられる。

$$E = \frac{CV(-px - qy + f)}{Z^2(p^2 + q^2 + 1)}$$

ここで

$$V = \frac{f^2}{(x^2 + y^2 + f^2)^{\frac{3}{2}}}$$

これより光学的拘束条件式は

$$Z_1 = \sqrt{\frac{CV(-px - qy + f)}{E(p^2 + q^2 + 1)^{\frac{3}{2}}}}$$

となる。また、 t をtrial(未知)、 k をknown(既知)の点とし、距離 Z と傾き (p, q) は

$$Z_2 = Z_k + p\Delta X + q\Delta Y$$

と近似でき

$$\Delta X = X_t - X_k$$

$$\Delta Y = Y_t - Y_k$$

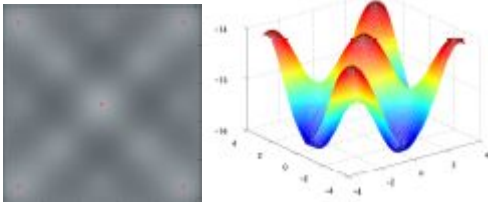
の関係より

$$Z_2 = \frac{Z_k(f - pX_k - qY_k)}{f - pX_t - qY_t}$$

という幾何学的拘束条件式が得られる。 Z_1 と Z_2 はともに等しくなるはずであるため、既知の n 点から未知の点の (p, q) を最適化により求めるための目的関数を

$$E = \sum_{i=1}^n (Z_1 - Z_{2i})^2$$

として、この E を最小化する (p, q) を求め、それらを Z_1 に代入して距離 Z を得ることとした。図3のようにシミュレーション画像に対する復元評価はほぼ距離分布と一致する結果が得られた。

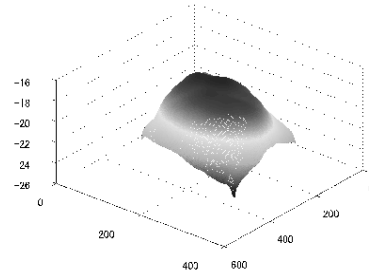


(a) 曲面の画像 (b) 形状復元結果
図3: 曲面のLambert画像と復元結果

また図4(a)の内視鏡画像に対してLambert化した画像を図4(b)に示す。Lambert画像では初期点では光源方向ベクトルと視線方向ベクトルが一致するという性質を用いて距離 Z を一意に決定できることから最適化を用いて周りの点に対して順次復元した例を図4(c)に示す。



(a) 入力画像 (b) Lambert化画像



(c) 形状復元結果例

図4: 曲面のLambert画像と復元結果

(3) 内視鏡画像をある程度の矩形分割領域に分割し、その領域から特徴量を取得し、学習器により分類を行うことによりポリープの自動検出を行う手法が提案されてきた。しかし、矩形に切り出すサイズであるパッチサイズは固定として特徴量を取得しており、検出精度はパッチサイズに依存してしまい、ポリープの大きさによって検出精度が左右されてしまうことと、テクスチャ特徴量を用いて学習器による分類を行っている手法では、小さく写っているポリープなどのテクスチャが存在しないものに対しては検出が難しいなどの問題が存在する。研究では画像上に映るポリープの特性を活かすため、ヘシアンフィルタを用いポリープ候補領域を特定し、検出したのち、ポリープであるかどうかを判定する方法を検討した。

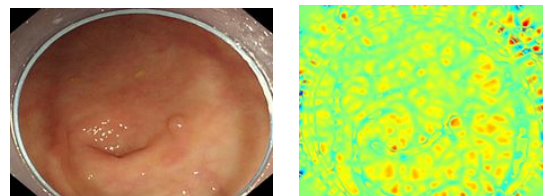
ポリープは主に塊状構造であることからヘシアンフィルタの強調処理ではガウス関数の2階偏微分を用いて入力画像との畳み込みを行い、得られた結果のヘシアン行列 H

$$H = \begin{bmatrix} L_{xx} & L_{xy} \\ L_{yx} & L_{yy} \end{bmatrix}$$

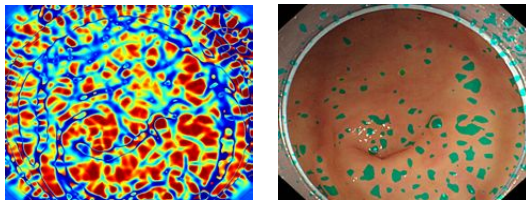
から2個の固有値 λ_1, λ_2 による協調画像を下のように作ることで塊状構造強調の結果を得ることとした。

$$I(x, y) = (\lambda_1(x, y)^2 + \lambda_2(x, y)^2) \times \left(1 - \left(\frac{\lambda_1(x, y)}{\lambda_2(x, y)}\right)^2\right)$$

強調画像をもとにボロノイ分割を行い、その結果を閾値処理して候補領域を抽出する。入力画像、強調画像、分割領域、候補領域の例を図5に示す。分割領域画像をもとに2値化した画像を候補画像とする。



(a) 入力画像 (b) 強調画像



(c) 分割領域 (d) 候補領域

図5: 入力画像とヘシアンフィルタ強調処理

色特徴量として、HSV, YUV, TSL, Lab の表色系のほか、最大値、最小値、分散、頻度、中央値、尖度、エントロピー、モーメントなどを用いるとともに、エッジ特徴量として HSV から得られた HOG 特徴量を用いた。特徴はポリープ領域を含む画像 128 枚、含まない画像 128 枚からはランダムに取得した。これらをもとに前向き逐次特徴選択を用いて特徴選択を行うことで SVM 学習に有効な特徴量の組を見つけるとともに、識別評価を行った。従来手法とも比較評価を行うとともに、検出精度は Sensitivity 95%, Specificity 98%, Accuracy 96% となり、その有効性を確認できた。検出したポリープ領域の例を図 6 に示す。

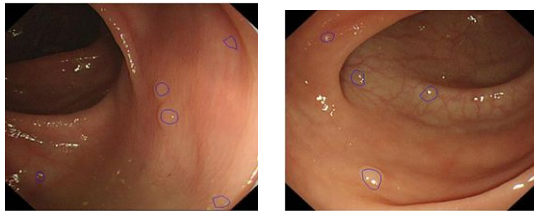
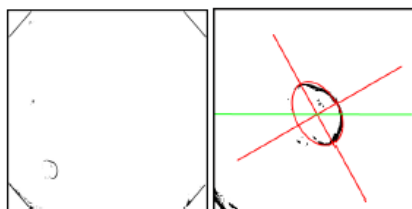
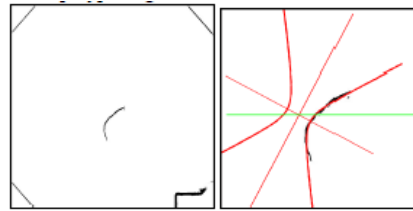


図6: ポリープ領域検出結果例

(4) ポリープの特徴として、エッジ特徴が有効な場面が多いことと、ポリープ領域検出の処理時間の短縮を目的としてエッジ特徴に着目した方法を別途開発した。エッジ強調のために周波数領域のパラメータ σ と c の 1 階微分の周波数応答のパラメータ α からなる DSC (Discrete Singular Convolution) フィルタを用いてポリープ検出の前処理を行った。DSC フィルタを適用したエッジ画像をもとに、ポリープは単独エッジからなるかもしくは大きなエッジの一部であることから、接続エッジの中でランダムに点を抽出してその画素数がある程度以上大きな領域をポリープが含まれる候補とした。DSC によるエッジマップと一部からの楕円近似もしくは双曲線近似の例を図 7 に示す。



(a) エッジマップ (b) 楕円近似



(c) エッジマップ (d) 双曲線近似

図7: 楕円、双曲線近似処理

連続エッジ画像と近似処理をもとに 160×160 の領域ごとに HOG 特徴量を抽出、SVM で学習することでポリープ候補であるかどうか識別した。方法ではランダムに選択した点を中心に小円を描くことでポリープ候補を強調することとした。抽出した結果の例を図 8 に示す。楕円近似、双曲線近似を追加したことでおよそ 90% のポリープ認識性能を確認できた。

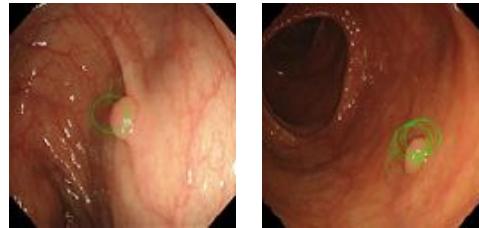


図8: ポリープ領域検出結果例

(5) 関連研究成果

近年点光源照明、透視投影のもとでハミルトンヤコビ方程式の考え方に基づく反復手法の一つに VBW モデルがある。VBW モデルでは傾きと高さの関係が幾何学的な関係を満足しておらず、相対的な凹凸状態を復元されるが、項目 (1) で開発した Lambert 化画像を用いて復元を行ったのち、さらなる改善方法を検討した。方法では、Lambert 球を作成しておき、その球を対象に VBW モデルで復元した結果を改善するために、傾き分布の修正を行うことを考えてニューラルネットワークで学習を行うものとした。ニューラルネットでは非線形の写像関係を学習し、対象とする物体の傾き分布修正を目的に汎化を行うことで、傾き分布の修正が可能となる。傾き分布の修正をしたのちに、(2) で示した光学的拘束条件式を用いて距離 Z も修正復元できることを確認できた。

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 10 件)

岩堀祐之, 渡邊岳, 津田誠也, 福井真二, 春日井邦夫, 移動物体追跡と内視鏡形状復元精度の改善手法, 情報科学リサーチジャーナル, Vol.21, 審査有, 73-74 (2014)

Yuji Iwahori, Kazuhiro Shibata, Haruki Kawanaka, Kenji Funahashi, Robert J. Woodham, Yoshinori Adachi, Shape from SEM Image Using Fast Marching Method and Intensity Modification by Neural Network, Recent Advances in Knowledge-based Paradigms and Applications, Advances in Intelligent Systems and Computing 234, Chapter 5, Springer, Print ISBN 978-3-319-01648-1, 査読有, 73-86 (2014)

Keita Tatematsu, Yuji Iwahori, Tsuyoshi Nakamura, Shinji Fukui, Robert J. Woodham, Kunio Kasugai, "Shape from Endoscope Image based on Photometric and Geometric Constraints", Procedia Computer Science, Elsevier, Vol.22, 査読有, 1285-1293 (2013), Takuya Nakagawa, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Defect Classification of Electronic Board Using Multiple Classifiers and Grid Search of SVM Parameters, Studies in Computational Intelligence, Computer and Information Science, Vol.493, Chapter 9, Springer, Print ISBN 978-3-319-00803-5, 査読有, 115-128 (2013)

Shinji Fukui, Yasuchika Takeda, Gaku Watanabe, Yuji Iwahori, Robert J. Woodham, A Method of Learning Data Selection for Updating Shadow Model with High Accuracy, Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Vol.243, 査読有, 1758-1767 (2012)

Yuji Iwahori, Kazuhiro Shibata, Haruki Kawanaka, Kenji Funahashi, Robert J. Woodham, Yoshinori Adachi, Obtaining Shape from SEM Image Using Intensity Modification via Neural Network, Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Volume 243, 査読有, 1778-1787 (2012)

岩堀祐之, 画像からの形状復元と動き解析・情報認識の応用に関する研究, 情報科学リサーチジャーナル, Vol.19, 査読有, 19-32 (2011)

Yasuchika Takeda, Shinji Fukui, Yuji Iwahori, Robert J. Woodham, Detecting Separation of Moving Objects Based on Non-Parametric Bayesian Scheme for Tracking by Particle Filter, Lecture Notes in Computer Science, 2011, Volume 6884/2011, 査読有, 108-116 (2011)

Yuji Iwahori, Kazuya Futamura, Yoshinori Adachi, Discrimination of True Defect and Indefinite Defect with Visual Inspection Using SVM, Lecture Notes in Computer Science, 2011, Volume 6884/2011, 査読有, 117-125 (2011)

武知啓介, 福井真二, 倉橋渉, 岩堀祐之, パーティクルフィルタのための移動物体群の分離検出, 電気学会論文誌 C, Vol. 131, No. 5, 査読有, 1083-1084 (2011)

[学会発表](計 24 件)

岩堀祐之, 3次元形状復元と医療診断支援のための内視鏡画像への応用, 知能情報ファジィ学会東海支部, 招待講演, 2014年2月9日, 日間賀島公民館

Himanshu Agrahari, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Somnath Ghorai, Himanshu Kohli, Robert J. Woodham, Kunio Kasugai, Automatic Polyp Detection Using DSC Edge Detector and HOG Features, ICPRAM 2014, 2014年3月7日, Angers, France

Gaku Watanabe, Shinji Fukui, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Robert J. Woodham, Tracking Method with Object Detection by Meanshift Tracker, IWAIT 2014, 2014年1月6日, Bangkok, Thailand
服部晃, 岩堀祐之, 春日井邦夫, 候補領域強調フィルタと機械学習によるポリープの自動検出, 情報学ワークショップ (WiNF2013), 2013年11月30日, 愛知工業大学自由が丘キャンパス

渡邊岳, 福井真二, 岩堀祐之, 追跡対象の周辺状況を考慮した物体追跡, MIRU2013, 2013年8月1日, 国立情報学研究所

Shuya Ishida, Shinji Fukui, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan and Robert J. Woodham, Shadow Model Construction with Features Robust to Illumination Changes, IAENG WCE 2013, 2013年7月4日, Imperial College, London, UK

津田誠也, 岩堀祐之, 春日井邦夫, VBW モデルによる形状復元と精度改善, SSII 2013, IS1-24, 2013年6月13日, パシフィコ横浜

Yuji Iwahori, Takayuki Shinohara, Akira Hattori, Robert J. Woodham, Shinji Fukui, M. K. Bhuyan, Kunio Kasugai, Automatic Polyp Detection in Endoscope Images Using a Hessian Filter, IAPR MVA 2013, 2013年5月21日, 立命館大学朱雀キャンパス

Yuji Iwahori, 3D Shape Analysis and Object Detection in Computer Vision, Invited Talk, 2013年3月4日, UBC

Computer Science

立松慧大, 森圭司, 岩堀祐之, 福井真二, 中村剛士, 春日井邦夫, 点光源・透視投影環境下における光学条件と幾何学的条件による Z 分布復元手法, 日本知能情報ファジィ学会東海支部, 2013年2月10日, 日間賀島公民館

Rafael Lins Porto Viana, Yuji Iwahori, Kenji Funahashi, Kunio Kasugai, Automated Polyp Image Extraction From Endoscope Images, IWAIT2013, 2013年1月8日, 名古屋大学

Yuki Shimasaki, Yuji Iwahori, Debanga Raj Neog, Robert J. Woodham, M. K. Bhuyan, Generating Lambertian Image with Uniform Reflectance for Endoscope Image, IWAIT2013, 2013年1月7日, 名古屋大学

山口大輝, 岩堀祐之, 福井真二, 中村剛士, 透視投影下でのカメラと点光源の同時移動による三次元形状復元, FSS2012 (ファジィシステムシンポジウム), 2012年9月12日, 名古屋工業大学

立松慧大, 岩堀祐之, 福井真二, 中村剛士, 点光源照明・透視投影環境を考慮した三次元形状復元手法, FSS2012 (ファジィシステムシンポジウム), 2012年9月12日, 名古屋工業大学

中川拓哉, 村田真幸, 岩堀祐之, 複数識別器とパラメータの格子点探索による電子基板の欠陥分類, MIRU2012, 2012年8月6日, 福岡国際会議場

山口大輝, 岩堀祐之, 福井真二, 中村剛士, 透視投影下でのカメラ・点光源の同時移動環境における三次元形状復元, MIRU2012, 2012年8月6日, 福岡国際会議場

山口大輝, 岩堀祐之, 福井真二, 立松慧大, 中村剛士, カメラと光源の同時移動による透視投影での三次元形状復元, 日本知能情報ファジィ学会東海支部, 日本知能情報ファジィ学会東海支部, 2012年2月11日, 日間賀島公民館

篠原孝幸, 岩堀祐之, 福井真二, 春日井邦夫, ヘシアンフィルタを用いた内視鏡画像からのポリープ自動検出, 電子情報通信学会医用画像研究技術報告, 2012年1月20日, 那覇市ぶんかテンプス館

Debanga Raj Neog, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Robert J. Woodham, Kunio Kasugai, Shape from an Endoscope Image Using Extended Fast Marching Method, IICAI-11, 2011年12月15日, Tumkur, India

Yuji Iwahori, 3D Shape Analysis and Motion Tracking in Computer Vision,

Invited Talk, 2011年12月12日, IIT Guwahati

- 21 立松 慧大, 中村 剛士, 岩堀 祐之, 福井 真二, 点光源照明・透視投影下での三次元形状復元, 情報学ワークショップ (WiNF 2011, 2011年11月25日, 名古屋工業大学
- 22 篠原孝幸, 岩堀祐之, 福井真二, 春日井邦夫, Blob Structure Enhancingフィルタを用いた内視鏡画像からのポリープの自動検出, FIT2011, 2011年9月8日, 函館大学
- 23 Yuji Iwahori, Yi Ding, Tsuyoshi Nakamura, Robert J. Woodham, Lifeng He, Rotation and Fast Marching Based Shape Recovery of Multiple Color Object, MIRU2011, 2011年7月22日, 金沢市文化ホール
- 24 Shinji Fukui, Wataru Kurahashi, Yuji Iwahori, Robert J. Woodham, Method of Updating Shadow Model for Shadow Detection based on Nonparametric Bayesian Estimation, IAPR MVA 2011, 2011年6月13日, Nara Centennial Hall

〔図書〕(計 1 件)

岩堀祐之, 3次元物体認識手法とその応用, (株)トリケップス 技術図書 EX No.44, B5 版, ISBN978-4-88657-747-4, 1-130 (2012)

〔その他〕

研究室ホームページ

<http://www.cvl.cs.chubu.ac.jp/index-j.html>

KES2013 Best Paper Award(最優秀論文賞)を受賞

<http://www3.chubu.ac.jp/research/news/5393/>

中部経済新聞「研究現場発」のコーナー

<http://www.chubu.ac.jp/news/detail-2372.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩堀 祐之 (IWAHORI, Yuji)

中部大学・工学部・教授

研究者番号: 60203402

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

福井 真二 (FUKUI, Shinji)

愛知教育大学・教育学部・准教授

研究者番号: 80345941

春日井 邦夫 (KASUGAI, Kunio)

愛知医科大学・医学部・教授

研究者番号: 80298570