

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330210

研究課題名(和文)内視鏡医療診断のためのポリープ自動識別と形状・大きさの復元システム

研究課題名(英文) Automatic Polyp Recognition and Shape and Size Recovery for Medical Endoscopy 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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では内視鏡画像からポリープの形状と絶対的な大きさを推定するため、内視鏡を前後移動させて撮影した2枚の画像を用いる方法を検討した。内視鏡の移動量を既知とした場合には、一様な拡散反射画像に変換後の画像に対して反射係数を推定することでポリープの大きさ推定を可能にした。拡散反射画像の見直しも行うとともに、1点光源、2点光源モデルの評価を行い、2点光源での形状復元に対する高精度化を示した。

ポリープの自動識別ではエッジ情報と色情報を用いて尤度マップを算出、尤度の高いポリープ候補領域に対してHOG特徴量を用いて機械学習による分類を行い、ポリープを検出する方法の他、良性・悪性を識別する提案を行った。

研究成果の概要(英文)：This research proposed approaches to recover the polyp shape and size from endoscope image. Using two images with known movement along Z direction can estimate the reflectance parameters of uniform diffused reflectance shading image which is converted from the original image, and can recover the absolute size of polyp.

Generating Lambertian image is also improved and observation model are considered and evaluated for one point light source and two point light source model for shape recovery of polyp and it is shown that two point light source model gives better shape with estimating the absolute polyp size.

Polyp detection approach is also developed using edge information and color information, which makes likelihood map of polyp candidate region. HOG feature is taken from the polyp candidate region and machine learning approach is used to judge if the polyp candidate region is true or false. Approach for classification of polyp with benign or malignant is also proposed.

研究分野：コンピュータビジョン

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 ニューラルネットワーク

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3次元形状とともにその大きさを推定する方法、ならびにポリープの候補を自動検出、識別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、ポリープの3次元形状復元のみならずその接待的な大きさを推定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と機械学習によるポリープの識別を目的とする。併せて反射係数一様な拡散反射画像の生成について改良するとともに、実態に合わせて2点光源照明モデル、縫合糸の利用によりポリープの大きさを推定するための新たな方法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 内視鏡画像の観測系として点光源モデルの観測システムで形状復元の精度改善手法として以下の方法を開発した。ここでは、ポリープの絶対的な大きさと形状を求めることを目的として、奥行き方向にカメラを移動させることで撮影された、復元対象となる2枚の連続した内視鏡画像に対し、テクスチャ毎のカラー反射率の一様化と鏡面反射成分の除去を行う Lambert 化を行った後、復元結果の奥行き差から反射係数を推定する。更に、推定した反射係数を用いて Lambert 反射特性を持つシミュレーション球を作成し、VBW モデルによる形状復元を行う。復元結果に対して楕円体フィッティングを用いることで得られた傾きパラメータを入力とし、対応する点における傾きパラメータの真値との写像関係を RBF-NN により学習した後、Lambert 化された1枚の内視鏡画像を VBW モデルにより復元し、数値差分を用いることで得られた傾きパラメータに対して学習結果を汎化することで、傾き分布の修正と共に正確な高さ分布へと修正する手法を提案した。

(2) また、1点光源モデルの観測システムから実際の内視鏡に近い2点光源照明のもとでの形状復元と大きさ推定を行う方法を新たに提案した。2点光源照明の仮定で完全拡散反射の球に対して光源位置を推定後、傾き分布を求める際に奥行き分布(高さ分布)の差分を用いるが、その際に生じる誤差を吸収するため球画像を用いてニューラルネットワーク(NN)で学習し、内視鏡画像に適用して NN を用いて修正し Z の初期値を更新、傾きを最適化、高さを計算という処理を繰り返して形状精度を上げる方法を提案した。さらに1枚の縫合糸の情報から幾何学的に反射係数を推定することでポリープの大きさ推定を行う方法を提案した。

(3) 内視鏡画像の Lambert 化においては HSV 変換して H のヒストグラムの中で最頻値となるるピンをメインクラス、メインクラス

に一番近いピンをサブクラスとしてサブクラスを V の比を用いることでメインクラスに吸収させる方法を開発し、従来より高速に安定した Lambert 化画像を得ることを可能にした。

(4) ポリープ検出については、エッジ情報と色情報を用いてポリープの確率の高い箇所(値が大きくなるようにマップを作成することでポリープ候補領域を検出し、検出した領域から HOG 特徴量を抽出、ランダムフォレストによる分類を行うことでポリープを検出する手法や、SVM を用いて内視鏡のシーン分類を行う方法を提案するとともに通常内視鏡画像から余分な検出情報を排除して血管を自動的に精度良く抽出する方法を開発した。ポリープの検出のほか通常内視鏡画像、染色液画像、NBI 画像の3種類の画像用いてポリープ画像の CNN 特徴量をもとに良性、悪性を判定するための方法も検討・提案した。

4. 研究成果

(1) ポリープの絶対的な大きさを復元するためには、絶対的な奥行き分布を求める必要があり、このときに、画像を Lambert 化したときの反射特性関数に含まれる反射係数 C を求めることが必要となる。このため、奥行き方向に ΔZ だけ移動させて撮影した2枚の内視鏡画像から、反射係数 C を最適化を用いて推定するための手法を検討した。仮定として局所最大輝度点では面素の法線ベクトルと光源方向ベクトルが同一となることから、その点での奥行き Z を算出することができる。この性質を利用して、2枚の内視鏡画像から奥行き移動量 ΔZ を既知としたときに、C の値を変化しながら、2枚の画像から得られる局所最大輝度点の Z の差と ΔZ との差が一致するときの C の値を推定する方法を開発し、絶対的な C と Z の値を推定することを可能とした。C が推定できればすべての点での Z を RBF-NN での修正された傾きパラメータを用いて復元することで、傾き分布の修正と共に正確な高さ分布(奥行き分布)を復元する方法を開発した。 ΔZ ずらして撮影した画像とそれらを Lambert 化した結果を図 1 に示す。

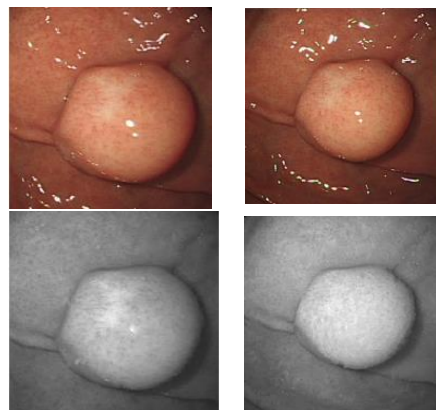
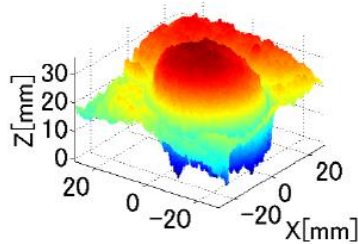
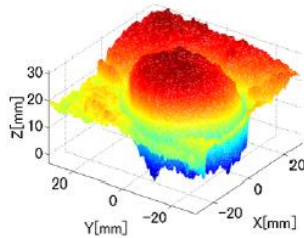


図 1: 内視鏡画像とその Lambert 化

提案手法により図 1 の Lambert 化画像から得られた高さ分布を図 2 に示す. 図 2(a)は RBF-NN による修正をもとに形状復元した結果で (b)は回帰分析による修正をもとに形状復元した結果であり (a)のほうが高精度な結果が得られた.



(a) RBF-NN



(b) Regression Analysis

図 2: 形状復元結果

(2) 他方, 実際の内視鏡が 2 点光源を利用していることから 2 点光源観測モデルを導入して形状復元を行う方法を提案した. 注目点の周囲の画素を複数用いて復元を行うが, 手法では各点ごとに最適化を行い視点からの奥行き Z を算出, 数値差分により傾きを求め, NN 学習を用いて傾き修正をしたのち, 最適化により Z の再計算をすることで復元精度向上を図った. 以下に NN 学習の手順を示す. まず, NN 学習を行うため球画像を用いて, 各画素において式 (1) により Z の最適化を行う.

$$e(Z) = (E - R(p, q, Z))^2 \quad (1)$$

R は反射特性関数で以下のようになる.

$$R(p, q, Z) = \frac{C(p(-a - \frac{p}{Z}) + q(b - \frac{q}{Z}) + Z)}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1} \left(\sqrt{(-a - \frac{p}{Z})^2 + (b - \frac{q}{Z})^2 + Z^2} \right)^3} + \frac{C(p(c - \frac{p}{Z}) + q(d - \frac{q}{Z}) + Z)}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1} \left(\sqrt{(c - \frac{p}{Z})^2 + (d - \frac{q}{Z})^2 + Z^2} \right)^3} \quad (2)$$

最適化により 2 光源を考慮した光学的制約式により視点からの奥行きを求め, 数値差分により傾きを算出する. 求めた傾きと真値の傾きを NN により学習し, 図 3 の内視鏡画像に対し汎化を行うことで対象の形状復元を行を行った結果を図 4 に示す. 結果より 1 点光源モデルの結果よりも高精度な復元結果が得られることが確認できポリープの大き

は 10mm 程度として得られた.

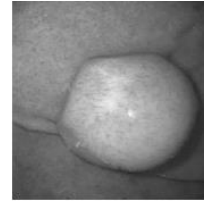
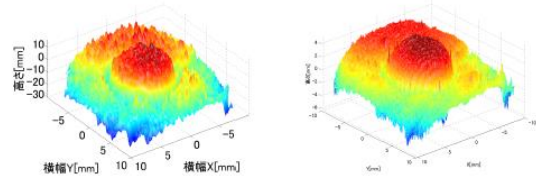


図 3: 入力画像 (Lambert 化)



(a) 1 点光源モデル

(b) 2 点光源モデル

図 4: 形状復元結果

(3) 物体表面に存在するテクスチャ等の影響により, 内視鏡画像には複数の色が含まれる. 色の違いは物体表面の反射率の違いに起因するため, 画像内の反射率を一樣化する必要がある. 本手法では, 表色系を RGB から HSV へと変換し, 色情報である色相 H のヒストグラムを用いて反射率毎のクラス分けを行い, 明度 V を用いて反射率の一樣化処理を行った. 画像内に写っている物体のある点において, その点と微量移動した点での物体表面の傾きと視点からの距離はほぼ等しいと仮定すると, その 2 点における色情報 RGB もほぼ等しい値となる. そこで, HSV 表色系の H のヒストグラムを用いたクラス分けを行い, 最大のクラスに属する画素の反射率に他のクラスに属する画素の反射率を吸収することで, 反射率の一樣化を図った. 一樣化の手順を以下に示す.

Step 1. 色相 H のヒストグラムを用いたクラス分けを行う.

Step 2. 最大のクラスと注目するクラスの画像面上での隣接点を求め, 2 点間毎の明度 V の比を求める.

Step 3. 注目するクラスに属する画素において, 最も距離の短い隣接点の比を採用し, 一樣化係数をかける.

Step 4. 最大のクラスから色相 H の値に近い順に全てのクラスに同じ処理をし, 反射率を一樣化する.

実験では鏡面反射成分領域を検出し, HSV を使用した反射率の一樣化処理によって拡散反射画像を生成する方法の評価を行った. 図 5 に実画像, 濃淡画像, 従来手法による結果, 提案手法による結果をそれぞれ示す. 提案手法は, 従来手法よりも少ない計算時間とより良い精度で拡散反射画像を生成することが実験により確認された. 結果は, シミュレーションと実画像実験により実証され, この手法は, 拡散反射画像を生成するために有用

であることが確認された。

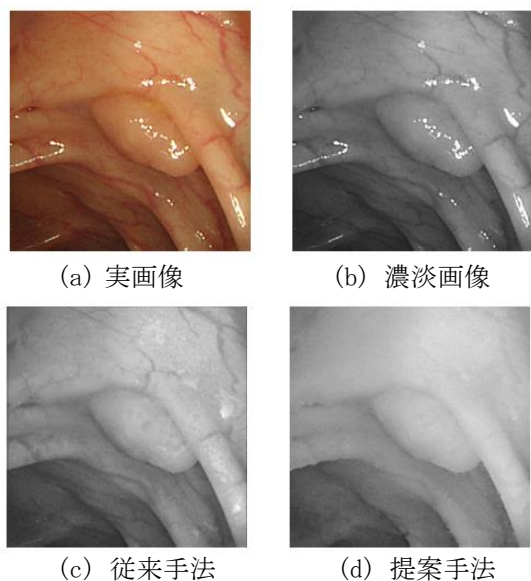


図 5: Lambert 化画像生成結果

(4) ポリープの検出を目的として、マルチスケールで求めた傾きを用いてエッジを求め、尤度マップを作成する。その後、尤度マップを用いてポリープの候補領域を抽出し、それらに対して識別器による分類を行うことでポリープを検出した。鏡面反射成分の除去とノイズ除去、エッジ検出を提案した。手法では血管部分の検出を低減するために畳み込みを行うガウス関数のスケール σ を変動させてエッジの検出を行う。スケール σ が小さい時は細かなエッジが検出されるため、ポリープや内壁の他に血管もエッジとして検出される。手法ではスケール σ を変動させることで血管をエッジとして検出することを低減し、検出したエッジが太くなることを抑えることとした。また、色の明暗を用いた重みを付加することでポリープ以外の箇所値が小さくなるように尤度マップを作成した。エッジ情報と色情報を用いてポリープの確率の高い箇所の値が大きくなるようにマップを作成することでポリープ候補領域を検出し、検出した領域から HOG 特徴量を抽出、ランダムフォレストによる分類を行うことでポリープを検出する手法の結果を図 6 に示す。図 6 では k-means++により統合して 1 つの矩形で検出できていることが分かる。

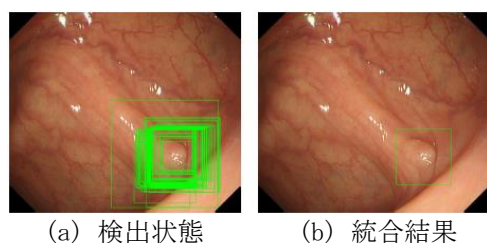


図 6: ポリープ検出結果

作成される尤度マップの精度を比較するために他の手法との比較を行った結果を図 7 に示す。図 7 より提案手法では正しい尤度マップが作成されていることが確認できた。

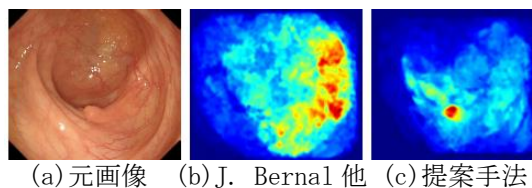


図 7: 元画像と尤度マップ

そのほか、SVM を用いて内視鏡のシーン分類を行う方法を提案するとともに通常内視鏡画像から余分な検出情報を排除して血管を自動的に精度良く抽出する方法を開発した。また、ポリープの良性、悪性の判定問題に対して、ポリープの検出のほか通常内視鏡画像、染色液画像、NBI 画像の 3 種類の画像用いてポリープ画像の CNN 特徴量をもとに良性、悪性を判定するための方法も検討・提案した。それぞれの結果の精度評価を行うことで提案手法の有効性を確認することができた。

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 16 件)

- ① 岩堀祐之, 大谷世紀, 山西良典, 溝口友喜, "視覚情報と意味情報からのノイズ除去による Web 画像データベースの自動構築", 情報科学リサーチジャーナル, 中部大学情報科学研究所, Vol.24, 査読有, 1-4, 2017
- ② Hiroyasu Usami, Yuji Iwahori, Yuki Hanai, Boonserm Kijirikul, Kunio Kasugai, "Recovering Shape from Endoscope Image Using Two Light Sources", International Journal of Software Innovation (IJSI), Volume 5, Issue 2, 査読有, 33-54, DOI: 10.4018/IJSI.2017040103, 2017
- ③ Daimu Oiwa, Shinji Fukui, Yuji Iwahori, Tsuyoshi Nakamura, Boonserm Kijirikul, M. K. Bhuyan, "Probabilistic Background Model by Density Forests for Robust Tracking", International Journal of Software Innovation (IJSI), Volume 5, Issue 2, 査読有, 1-16, DOI: 10.4018/IJSI.2017040101, 2017
- ④ 大谷世紀, 山西良典, 岩堀祐之, "視覚情報と意味情報のハイブリッドノイズ除去法に基づく Web 画像データベースの自動構築", 人工知能学会論文誌, Vol. 32, No.1, 査読有, 1-10, 2017
- ⑤ 津田誠也, 岩堀祐之, 花井勇樹, 春日井

- 邦夫, "ニューラルネット学習による医療内視鏡画像からの形状復元精度向上", 電気学会論文誌, Vol. 136-C, No.4, 査読有, 556-563, 2016
- ⑥ Yuji Iwahori, Seiya Tsuda, Robert J. Woodham, M. K. Bhuyan, Kunio Kasugai, "Modification of Polyp Size and Shape from Two Endoscope Images Using RBF Neural Network", Selected Paper among ICPRAM 2015, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9493, 査読有, 229-246, 2016
- ⑦ 岩堀祐之, 服部晃, 福井真二, 春日井邦夫, "候補領域抽出と機械学習によるポリープの自動検出", 情報科学リサーチジャーナル, 中部大学情報科学研究所, Vol.23. 査読有, 1-4, 2016
- ⑧ Ryosuke Yamanishi, Ryoya Fujimoto, Yuji Iwahori, Robert J. Woodham, "Hybrid Approach of Ontology and Image Clustering for Automatic Generation of Hierarchic Image Database", International Journal of Networked and Distributed Computing, Vol.3, No.4, 査読有, 234-242, 2015
- ⑨ Yuji Iwahori, Seiya Tsuda, Aili Wang, Robert J. Woodham, M. K. Bhuyan, Kunio Kasugai, "Shape Modification from Endoscope Images by Regression Analysis", IJMUE, Vol.10, No. 9, 査読有, 199-210, 2015
- ⑩ Seiya Tsuda, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Robert J. Woodham, and Kunio Kasugai, "Recovering 3D Shape with Absolute Size from Endoscope Images Using RBF Neural Network", International Journal of Biomedical Imaging, Hindawi, 査読有, 6 pages, 2015
- ⑪ Yuji Iwahori, Keita Tatematsu, Tsuyoshi Nakamura, Shinji Fukui, Robert J. Woodham and Kunio Kasugai, "3D Shape Recovery from Endoscope Image based on both Photometric and Geometric Constraints", Knowledge-based Information Systems in Practice, Springer Vol.30, 査読有, 65-80, 2015
- ⑫ 岩堀祐之, 福井真二, 山西良典, "画像認識, 3次元形状復元および画像生成の応用", 情報科学リサーチジャーナル, 中部大学情報科学研究所, Vol.22. 査読有, 1-16, 2015
- ⑬ So Hayakawa, Shinji Fukui, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan and Robert J. Woodham, "Object Tracking Method Using PTAMM and Estimated Foreground Regions", Software Engineering Research, Management and Applications, Studies in Computational Intelligence, Springer, Vol. 578, 査読有, 205-218, 2015
- ⑭ 渡邊岳, 福井真二, 岩堀祐之, "類似物体検出によるパーティクルフィルタを用いた移動物体の高精度化", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J97-D, No.12, 査読有, 1737-1739, 2014
- ⑮ M. K. Bhuyan, Yuji Iwahori et al., "A novel set of features for continuous hand gesture recognition", Journal on Multimodal User Interface, DOI 10.1007/s12193-014-0165-0, Springer, Vol. 8, Issue 4, 333-343, 査読有, 2014
- ⑯ 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, Springer, Vol. 234, 査読有, 73-86, 2014
- [学会発表] (計 19 件)
- ① Pawan Kumar Dixit, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Kunio Kasugai, Amit Vishwakarma, "Polyp Shape Estimation from Endoscopy Video using EKF Monocular SLAM with SFS Model Prior", WISPNET2017, 2017年3月22日, Chennai, India
- ② Yuji Iwahori, Hiroaki Hagi, Hiroyasu Usami, Robert J. Woodham, Aili Wang, M. K. Bhuyan, Kunio Kasugai, "Automatic Polyp Detection from Endoscope Image Using Likelihood Map Based on Edge Information", ICPRAM 2017, 2017年2月26日, Porto, Portugal
- ③ Mayank Golhar, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Kenji Funahashi, Kunio Kasugai, "A Robust Method for Blood Vessel Extraction in Endoscopic Images with SVM-based Scene Classification", ICPRAM 2017, 2017年2月24日, Porto, Portugal
- ④ Masataka Murata, Hiroyasu Usami, Yuji Iwahori, Aili Wang, Naotaka Ogasawara, Kunio Kasugai, "Polyp Classification Using Multiple CNN-SVM Classifiers from Endoscope Images", PATTERNS 2017, 2017年2月24日, Athens, Greek
- ⑤ Hiroyasu Usami, Yuji Iwahori, Boonserm Kijsirikul, M. K. Bhuyan, Aili Wang, Kunio Kasugai, "Obtaining Shape from Endoscope Image Using Medical Suture with Two Light Sources", PATTERNS 2017, 2017年2月24日, Athens, Greek

- ⑥ Shinji Fukui, Sou Hayakawa, Yuji Iwahori, Tsuyoshi Nakamura, M. K. Bhuyan, "Particle Filter Based Tracking with Image-Based Localization", KES 2016, 2016年9月6日, York, UK
- ⑦ Naoki Ikeda, Hiroyasu Usami, Yuji Iwahori, Boonserm Kijsirikul, Kunio Kasugai, "Generating Lambertian Image by Removing Specular Reflection Component and Difference of Reflectance Factor Using HSV", ITC-CSCC 2016, 2016年7月12日, Okinawa Pref. Municipal Center, Naha, Okinawa
- ⑧ Hidenobu Inoue, Yuji Iwahori, Boonserm Kijsirikul, Manas K. Bhuyan, "Defect Classification of Electronic Board Using Bag of Features and Color Information", ITC-CSCC 2016, 2016年7月12日, Okinawa Pref. Municipal Center, 沖縄県那覇市
- ⑨ Hiroyasu Usami, Yuki Hanai, Yuji Iwahori, Kunio Kasugai, "3D Shape Recovery of Polyp using Two Light Sources Endoscope", Proc. of IEEE/ACIS ICIS 2016, 2016年6月29日, Okayama Convention Center, 岡山県岡山市
- ⑩ Shashi Kumar, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, "PCB Defect Classification Using Logical Combination of Segmented Copper and Non-Copper Part", CVIP 2016, 2016年2月26日, IIT Roorkee, India
- ⑪ Yuji Iwahori, Daiki Yamaguchi, Tsuyoshi Nakamura, Boonserm Kijsirikul, M. K. Bhuyan, Kunio Kasugai, "Estimating Reflectance Parameter of Polyp Using Medical Suture Information in Endoscope Image", ICPRAM 2016, 2016年2月25日, Rome, Italy
- ⑫ Yuji Iwahori, "Industrial Technology Education at Chubu University Computer Science", ICITE for SD-2015, pp.37-38, 2015年11月6日, 中部大学, 愛知県春日井市
- ⑬ Seiya Tsuda, Yuji Iwahori, Yuki Hanai, Robert J. Woodham, M. K. Bhuyan, Kunio Kasugai, "Recovering Size and Shape of Polyp from Endoscope Image by RBF-NN Modification", pp.1-5, IEEE ICIP 2015, 2015年9月29日, Quebec City, Canada
- ⑭ Shinji Fukui, Ryuji Nishiyama, Yuji Iwahori, M.K. Bhuyan, Robert J. Woodham, "Object Tracking with Improved Detector of Objects Similar to Target", KES 2015, 2015年9月8日, Singapore
- ⑮ Yuji Iwahori, Akira Hattori, Yoshino-

ri Adachi, M.K. Bhuyan, Robert J. Woodham, Kunio Kasugai, "Automatic Detection of Polyp Using Hessian Filter and HOG Features", KES 2015, 2015年9月8日, Singapore

- ⑯ Aashish Amber, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Robert J. Woodham and Kunio Kasugai, "Feature Point Based Polyp Tracking in Endoscopic Videos", ACIS CSI 2015, 2015年7月12日, Okayama Convention Center, 岡山県岡山市
- ⑰ Yuki Hanai, Yuji Iwahori, M. K. Bhuyan, Robert J. Woodham, Kunio Kasugai, "Shape from Endoscope Image with Optimization and Two Point Light Sources", IWAIT and IFMIA 2015, 2015年1月11日, Tainan, Taipei
- ⑱ Yuji Iwahori, Seiya Tsuda, Robert J. Woodham, M.K. Bhuyan, Kunio Kasugai, "Improvement of Recovering Shape from Endoscope Images Using RBF Neural Network", ICPRAM 2015, 2015年1月11日, Lisbon, Portugal
- ⑲ Yuji Iwahori, Kenji Funahashi, M. K. Bhuyan, Robert J. Woodham, "Neural Network Based Image Modification for Shape from Observed SEM Images", ICPR 2014, 2014年8月26日, Stockholm, Sweden

[図書] (計 1 件)

- ① 岩堀祐之 他 計 53 名, 三次元画像センシングの新展開, エヌ・ティー・エス, 402 頁, 2015 年 5 月.

[その他]

岩堀研究室ホームページ

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

(4) 研究協力者

Robert J. Woodham (Professor, UBC)

M. K. Bhuyan (Associate Professor, IIT Guwahati)