

平成 21 年 6 月 26 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500161
 研究課題名（和文） MR 画像ガイド肝腫瘍凝固治療のための変形を伴う 3 次元 CT 画像自動位置合わせ法
 研究課題名（英文） 3D Non-rigid Image Registration Algorithm for MR-Guided Microwave Thermocoagulation of Liver Tumors
 研究代表者
 陳 延偉（Chen Yen-Wei）
 立命館大学・情報理工学部・教授
 研究者番号：60236841

研究成果の概要：

画像誘導ナビゲーションシステムの一つには、開放型 MR 装置（オープン MR 装置）がある。これによりオープン MR から得られる画像にてリアルタイムに腫瘍を観察しながら治療・手術を行う低侵襲外科治療が可能となった。しかし、磁場の低いオープン MR 装置画像は SN 比が低く、低画質画像しか得られない。そこで本課題ではオープン MR 画像のように術中に得られる画像の画質が低くても患部の視認性を向上させるため、非剛体 3 次元ボリューム画像位置合わせ法を開発した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,400,000	10,200,000	4,420,000

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：オープン MR 変形 位置合わせ CT ボリューム 相互情報量 肝臓

1. 研究開始当初の背景

近年、医療機器及びコンピュータ技術の著しい進展により、人体内部構造に関する様々な高精細画像が得られると同時に、画像誘導ナビゲーションによって、視覚機能を拡大し、見えないところを可視化・計測・判断することができるようになり、医師の診断・治療精度を向上させることだけでなく、患者の負担も軽減することが可能となった。画像誘導ナビゲーションシステムの一つには、開放型 MR 装置（オープン MR 装置）がある。これによりオープン MR から得られる画像にてリアルタイムに腫瘍を観察しながら治療・手術を行う低侵襲外科治療が可能となった。しかし、磁場の低いオープン MR 装置画像は SN 比が低く、低画質画像しか得られない。また従

来は剛体（変形しない）位置合わせとして技術があるが肝臓のような柔らかい臓器では精度が不十分であった。

2. 研究の目的

本課題はオープン MR 画像のように術中に得られる画像の画質が低くても患部の視認性を向上させるための技術（変形を考慮した位置合わせ技術）を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 事前に撮影された CT 画像と術中に撮影されたオープン MR 画像から自動または半自動で肝臓を切り出す。

- (2) 平行移動や回転などを計算する大域変換(剛体変換)を行い, 大まかな位置合わせを行う.
- (3) B-スプライン関数に基づく FFD (Free Form deformation) を用いて肝臓の変形を計算し, CT 画像と MR 画像の形状が一致するように, 局所変換を行う.
- (4) 位置合わせされた CT 画像を術中に撮影されたオープン MR 画像に融合させ, オープン MR 装置だけでは見えない腫瘍を CT 画像を融合させることにより見えるようにする.

4. 研究成果

研究期間中に以下の成果が得られた.

- (1) 平行移動や回転などを計算する大域変換と, B-スプライン関数に基づく FFD (Free Form deformation) による変形を計算する局所変換の二つからなる非剛体3次元ボリューム画像位置合わせ法を開発した. 臨床データを用いた検証実験において位置合わせ精度は 1.45 ± 0.27 mmであった. 実用できる精度である.
- (2) MRとCTの位置合わせの評価基準として正規化相互情報量が用いられていた. しかし, 正規化相互情報はきちんとした関数形は存在しておらず, 微分計算はできない. そのため, 位置合わせには微分が不要なPowell法などが用いられてきたが, 計算には時間がかかるという欠点があった. 本研究では, Parzen-Weindow法による正規化相互情報量の近似関数を提案し, 正規化相互情報量の微分計算が可能となり, 計算時間を従来の半分に短縮することができ, 位置合わせの精度も向上させた.
- (3) 前処理としての半自動セグメンテーション法を開発した. 肝臓は胃や腎臓など近い濃度値をもつため, その切り出しは非常に困難であった. 一方, 位置合わせの前処理としての肝臓のセグメンテーションは高い精度を要求しないため, 本研究では, 比較的簡単で高速にできる半自動セグメンテーション法を開発した. まず肝臓の境界領域に手動で点を打ち込み後は点を簡単な折れ線をつなぎ, 肝臓を切り出す. さらに, 2年目において, グラフカットと level set を組み合わせ, 肝臓の半自動分割法を開発した. 従来の肝臓の塗りつぶし分割法に比べて, グラフカットにおいて肝臓の大体の領域をマークするだけで分割することが可能である. さらに, その結果に対して Level set を用いた手法を適用させ, 高精度な肝臓分割ができた. 本手法で分割した肝臓の位置合わせ精度と手動で分割した肝臓の位置合わせ精度はほぼ同

- じであることも確認することができた.
- (4) 計算時間を短縮するため, 変形を考慮した位置合わせアルゴリズムの並列化を行い, 4コアのコンピュータを用いた実験において, 計算時間は約1/4に短縮することができた.
- (5) 従来の最適化手法に勾配情報を用いた手法が用いられてきたが, 局所解に陥りやすいという欠点があった. 本年度は新しい最適化手法として, 粒子群最適化法 (PSO: Particle Swarm Optimization) を用いた手法を提案し, その有効性を示した. 特に独自で開発した Hybrid Particle Swarm Optimization が医用画像の位置合わせに有効であることを示した.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計10件)

- (1) Toshiyuki Okada, Yuta Iwasaki, Tsuyoshi Koyama, Nobuhiko Sugano, Yen-Wei Chen, Kazuo Yonenobu, Yoshinobu Sato, "Computer-assisted preoperative planning for reduction of proximal femoral fracture using 3D-CT data," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.56, No.3, pp.749-759 (2009-3).
- (2) Asaka T, Okada T, Osuga K, Hori M, Chen YW, Nakamura H, Sato Y: "Determination of optimal guidewire shape for catheterization procedure based on vessel shape at bifurcation," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.3, Suppl., No. 1, pp.66-67, (2008).
- (3) Rui Xu, Yen-Wei Chen, Song-Yuan Tang, Shigehiro Morikawa and Yoshimasa Kurumi, "Parzen-window based normalized mutual information for medical image registration," IEICE Trans Information & Systems, Vol. E91-D, No.1, pp.132-144 (2008). 査読有
- (4) S.Morikawa, S.Naka, K.Murakami, Y.Kurumi, H.Shiomi, T.Tani, H.A.Haque, J.Tokuda, N.Hata, T.Inubushi: "Preliminary Clinical Experiences of a Motorized Manipulator for Magnetic Resonance Image Guided Microwave Coagulation Therapy of Liver Tumors," Am J Surg (in press)
- (5) 森川茂廣, 仲成幸, 村上耕一郎, 来見良

- 誠、谷徹、犬伏俊郎、Hasnine A Haque、徳田淳一、波多伸彦：“MRガイド下肝腫瘍マイクロ波凝固穿刺支援ロボットの応用拡大と10例の臨床使用経験,” 日本コンピュータ外科学会雑誌, Vol.10, pp.339-340 (2008).
- (6) 来見良誠、仲成幸、塩見尚礼、佐藤浩一郎、村上耕一郎、井内武和、山口剛、出村公一、清水智治、目片英治、阿部元、Hasnine A Haque、森川茂麿、谷徹：“MRI術中ナビゲーションによる肝癌治療,” 胆と膵 Vol.29, pp.1127-1138 (2008).
- (7) N.Hata, J.Tokuda, S.Hurwitz, S.Morikawa: “MRI-Compatible Manipulator for Ablation Therapy for Liver Tumors Using Synergistic Virtual Remote-Center-of-Motion Control,” J Magn Reson Imaging Vol.27, pp.1130-1138(2008).
- (8) Jianpin Qiao, Ju Liu and Yen-Wei Chen, “Joint Blind Super-Resolution and Shadow Removing,” IEICE Trans Information & Systems, Vol. E90-D, No. 12, pp. 2060-2069 (2007). 査読有
- (9) Rui Xu, Yen-Wei Chen, Song-Yuan Tang, Shigehiro Morikawa, Hasnine Akter Haque and Yoshimasa Kurumi, “3D Non-rigid Image Registration Algorithm for MR-Guided Microwave Thermocoagulation of Liver Tumors,” Medical Imaging Technology, Vol. 25, No.4, pp.261-276 (2007). 査読有
- (10) R.Xu and Y.-W.Chen, “A Wavelet-based Multiresolution Medical Image Registration Strategy Combining Mutual Information with Spatial Information,” International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 3, pp.285-296 (2007).
- [学会発表](計 15 件)
- (1) Y.-W.Chen, K.Tsubokawa, R.Xu, S.Morikawa, Y.Kurumi: “Semiautomatic non-rigid 3-D image registration for MR-guided liver cancer surgery,” Proc. 2008 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2008) October 12 15, 2008, San Diego, CA. (pp 1800-1803)
- (2) R.Xu and Y.W.Chen, "Appearance models for medical volumes with few samples by generalized 3D-PCA", Lecture Notes in Computer Science, Springer, LNCS 4984, pp.821-830 (2008).
- (3) Shingo Takemura, Xianhua Han, Yen-Wei Chen, Kazuhiro Ito, Ikuko Nishikawa, Msahiro Ito, “Enhancement and detection of lung nodules with Multiscale filters in CT images”, Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, (2008)
- (4) Yen-Wei Chen, Chen-Lun Lin and Aya Mimori, “Multimodal Medical Image Registration Using Particle Swarm Optimization,” Proc. of Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, Vol.3, pp.127-131 (2008).
- (5) S.Morikawa, T.Inubushi, K. Murakami, S.Naka, Y.Kurumi, T.Tani, HA. Haque, J.Tokuda, N.Hata.: “Clinical Use of Robot Assistance in MR Image-Guided Microwave Thermocoagulation Therapy of Liver Tumors,” ISMRM 16th Scientific Meeting and Exhibition. 3-9 May, 2008. Toronto, Canada.
- (6) 安田敏樹, 陳延偉, 森川茂麿, 来見良誠, “肝臓の確率アトラスの作成及び確率アトラスを用いた肝臓のセグメンテーション,” 平成20年度電気関係学会関西支部連合大会, 京都工芸繊維大学 G13-17, (2008).
- (7) 三森彩, 坪川勝己, 林正倫, 陳延偉, “並列粒子群最適化法による医用画像の位置合わせ,” 平成20年度電気関係学会関西支部連合大会, 京都工芸繊維大学 G13-18, (2008).
- (8) 木西基, 岡田俊之, 大須賀慶悟, 堀雅敏, 陳延偉, 佐藤嘉伸, “肝動脈血管分岐部での最適ガイドワイヤ形状の推定---カテーテル先端方向の角度制限の導入---,” 平成20年度電気関係学会関西支部連合大会, 京都工芸繊維大学 G13-19, (2008).
- (9) 坪川勝己, 徐Rui, 陳延偉, 森川茂麿, 来見良誠: “オープンMRにおける3次元画像の自動位置あわせシステム,” 2008年電子情報通信学会総合大会, D-16-14, (2008-3).
- (10) 武村真吾, 陳延偉, 伊藤和弘, 西川郁子, 伊藤将弘: “マルチスケールフィルタを用いたCT画像から結節状陰影の強調,” 2008年電子情報通信学会総合大会, D-16-6, (2008-3).
- (11) Y.-W. Chen, R..Xu, S.-Y. Tang, S. Morikawa and Y. Kurumi.: “Non-rigid MR-CT Image Registration for MR-Guided Liver Cancer Surgery,” Proc. of 2007

IEEE/ICME Int l Conf. on Complex Medical Engineering, Beijing, China, pp.1784-1788 (2007).

- (12) Toshiyuki Okada, Ryuji Shimada, Yoshinobu Sato, Masatoshi Horii, Keita Yokota, Masahiko Nakamoto, Yen-Wei Chen, Hironobu Nakamura and Shinichi Tamura, "Automated Segmentation of the Liver from 3D CT Images Using Probabilistic Atlas and Multi-level Statistical Shape Model," Lecture Notes in Computer Science (Proc. of MICCAI 2007), Springer, LNCS4791, pp.86-93 (2007).
- (13) 安積友樹, 岡田俊之, 大須賀慶悟, 堀雅敏, 陳延偉, 中村仁信, 佐藤嘉伸: "血管分岐部の形状に基づくカテーテルガイドワイヤ最適形状の推定," 信学技報, (2007).
- (14) 松尾清隆, 陳延偉, 清水崇元, 柴田幸一, 三品幸男, 北村圭司, 井上芳浩, 向田嘉宏: "ICA Shrinkage フィルタと Multiscale フィルタによる IVR 画像の画質改善," Meeting on Image Recognition and Understanding 2008 (MIRU2007), Hiroshima, pp.947-951 (2007).
- (15) S.Naka, Y.Kurumi, K.Murakami, H.Shiomi, H.Haque, S.Morikawa, T.Tani, "MR gradient-based tracking system for MR-guided microwave ablation of liver tumor," Proc. of CARS 2008 (Computer Assisted Radiology and Surgery, 22nd International Congress and Exhibition) Barcelona, Spain, 2008/6/25-28.

〔図書〕(計 1 件)

陳延偉:「独立成分分析法(ICA)のパターン認識・画像処理への応用と MATLAB シミュレーション」, 2007 年トリケップス社(単著)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

- (1) 陳延偉・柴田幸一・三品幸男、特願 2007-195693、“IVR 画像の画質改善法”、2007 年 7 月 27 日出願
- (2) 陳延偉・韓先花・助川 武史、特願 2008-151090、“画像解析装置、画像登録装置および画像検索装置”、2008 年 6 月 9 日出願

取得状況(計 3 件)

- (1) 陳延偉・徐睿・森川 茂廣・来見 良誠、特願 2008-161266、“画像処理装置、コンピュ

ータプログラム、及び画像処理方法”、2008 年 7 月 17 日公開

(2) 陳延偉・北村 圭司、特開 2008-123370、“独立成分分析(ICA)法を用いたデジタル画像の画質改善法”、2008 年 5 月 29 日公開

(3) 陳延偉・段 桂芳・助川 武史、特許第 4128613 号、“ドリル検査装置”、2008 年 5 月 23 日登録

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陳 延偉 (Chen Yen-Wei)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号: 60236841

(2) 研究分担者

田中弘美 (TANAKA HIROMI)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号: 10268154

森川茂廣 (MORIKAWA SIGEHIRO)

滋賀医科大学・MR 医学総合研究センター・

准教授

研究者番号: 60220042

来見良誠 (KURUMI YOSIMASA)

滋賀医科大学・医学部・准教授

研究者番号: 70205219

(3) 連携研究者

なし