

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ~ 2012

課題番号：22650033

研究課題名（和文）

次世代画像誘導下手術・治療・支援システムのための画像間位置合わせ手法の開発

研究課題名（英文）

Development of new image registration technique for advanced image-based computer-assisted surgery and intervention

研究代表者

森 健策 (MORI KENSAKU)

名古屋大学・情報連携統括本部・教授

研究者番号：10293664

研究成果の概要（和文）：本研究では、画像を利用した手術・治療を支援する次世代型システムの実現において核となる新しい画像レジストレーション手法の開発を目的とする。ここでは、臓器の形状・位置の変動を考慮した画像レジストレーション方法を開発する。研究の結果、臓器の変形移動を考慮した画像レジストレーション実現のための基礎データ収集とそれを利用した画像セグメンテーション手法実現、ならびに、画像誘導下手術・治療支援システムへの応用が可能となった。

研究成果の概要（英文）：This research project aims to develop new image registration techniques for next-generation computer-assisted surgery and intervention system based on medical images. We develop a novel image registration technique that considers variations of organ deformation and movement. In this research project we collected fundamental data for enabling us to develop new image registration techniques that consider organ deformation and movement. Also we applied new image registration techniques to medical image segmentation process. The segmentation results are utilized for computer-assisted surgery and intervention.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	0	1,300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,900,000	480,000	3,380,000

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：画像情報処理 パターン認識 医用・生体画像 低侵襲治療システム データベース

1. 研究開始当初の背景

画像誘導下手術・治療支援システムとは、手術・治療前に撮影される3次元CT像/MR像を3次元人体地図として用い、手術などにおいて手術時に何らかの3次元位置センサを用いて内視鏡・手術具などを目的とする部位ま

で誘導するシステムである。画像誘導下手術・治療支援システムの構築には、(1)臓器セグメンテーション、(2)解剖学的構造理解、(3)臓器変形計算、(4)内視鏡・術具追跡、(5)解剖学的構造可視化などの技術が必要とする。これらを実現する上で、2つの異なる画

像同士を対応付ける「画像レジストレーション手法」は非常に重要な技術となる。例えば、「セグメンテーション」処理では、同一患者の複数の撮影方法・異なる撮影時間で得られた術前画像同士を対応付け、統一された座標系でさまざまな臓器の抽出が行われる。しかしながら、腹部には数多くの臓器が存在し、呼吸動によってそれらは互いに関係を及ぼしながら複雑に動く。したがって、画像誘導下手術・治療支援システムでは、臓器の複雑な動きを考慮した「画像レジストレーション手法」を利用した画像処理の手法の実現が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、画像を利用した手術・治療を支援する次世代型システムの実現において核となる新しい画像レジストレーション手法の開発を目的とする。ここでは、臓器の形状・位置の変動を考慮した画像レジストレーション手法を開発する。複数の異なる被験者の医用画像(主として3次元 CT 画像や MRI 画像)、あるいは、同一患者の複数の異なる時間で撮影された医用画像が与えられた時、臓器「相互」位置関係まで考慮することで、画像レジストレーションの精度向上を図る。特に、胸腹部臓器が互いに影響を与えながら動くことを「数学的にモデル化」あるいは「画像ベースのモデル化」することで、画像レジストレーションの高精度化を図る。これらの手法は画像を利用した手術・治療の支援システムでの利用を念頭に置きながら研究を進める。

3. 研究の方法

本研究では、画像を利用した手術・治療を支援する次世代型システムの実現で必要となる画像レジストレーション手法の開発を行う。画像レジストレーション研究を、データ解析、臓器移動モデル検討、臓器変形モデル検討、臓器相互作用モデル検討、画像レジストレーションにおける移動・変形・相互作用モデルの適用、臓器セグメンテーション問題を対象とした評価と応用、の6つに問題にわけ研究を実施する。

(1) データ解析

これまでに名古屋大学にて構築した 300 例程度の胸部・腹部 CT 像を画像レジストレーション研究で利用可能な形とする。また、同一被験者の異なる時刻において撮影された画像ならびに異なる被験者の画像同士の濃度値に基づくレジストレーションを実行し、臓器移動モデル、臓器変形モデル、臓器相互作用モデル検討に必要なデータを得る。

(2) 臓器移動変形解析

データ解析によって得られた臓器移動に関する基礎的解析を行う。ここでは、臓器の重心位置がどのように動くかを解析する。同一患者の呼吸動などに伴う臓器動きを解析する。

(3) 臓器変形移動モデル検討

腹部臓器解剖学的構造の解析結果を基に、被験者間でどのように臓器の相互位置関係が異なるかを統計学的に解析する。ここでは、臓器相互重心位置と臓器境界がどのように変化しているかを統計学的に解析し、これら表現するのに最もふさわしい数理的モデルを検討する。これは、例えば、異なる被験者の同一部位画像を比較することで行う。

(4) 臓器相互作用モデル検討

臓器の変形が隣接する臓器にどのような影響を与えるかを定める数理的モデルについて検討する。これは例えば、似通った形状を持つ臓器(例えば肝臓など)が異なる被験者間で存在する場合に、周辺臓器(例えば脾臓)などがどのような形状を示すかを調査することで、数理的モデルについて検討する。

(5) 画像レジストレーションにおける移動・変形・相互作用モデルの利用の検討

臓器変形移動ならびに臓器相互作用を考慮した画像レジストレーション法について検討する。複数臓器の変形移動を考慮した画像レジストレーション手法を検討する。

(6) 手法評価

これまでに開発した画像レジストレーション手法を用いて、同一被験者の撮影時期・時間の異なる画像、ならびに、異なる被験者の画像が正しくレジストレーションできるかを評価する。この時点で保有している画像、ならびに、新たに撮影される画像を用いて実験する。

(7) 個別目的改良

胸部画像診断、胃がん手術など個別の目的にあわせて画像レジストレーション手法をチューニングする。

(8) 画像誘導下手術・治療支援システムへの応用

画像レジストレーション手法とそれに基づく画像セグメンテーション手法を用いた画像誘導下手術・治療支援システムを試作し、画像を用いた手術・治療支援が可能であるかを評価する。

(9) 臓器動きモデル共有法の検討

本研究で得られた臓器動きモデル、ならびに、その基となった臓器存在尤度マップの共有

方法について検討する。

4. 研究成果

(1) データ解析

名古屋大学にて構築した 1000 例程度の胸部・腹部 CT 像を画像レジストレーション研究において利用できるようなデータ整理を行った。同一被検者の異なる時刻において撮影された画像ならびに異なる被検者の画像同士の濃度値に基づく画像レジストレーションを実行した。臓器移動モデル、臓器変形モデル、臓器相互モデル検討に必要なデータを得た。そのうち、394 画像にはリンパ節、臓器領域情報などの付加情報も含まれており、後段の画像セグメンテーション処理などにおいて利用可能とした。

(2) 臓器移動変形解析

データ解析によって得られた臓器移動に関する基礎的解析法の検討を行った。具体的には、臓器の重心位置、呼吸動などに伴う臓器動きの解析を画像間のレジストレーションによって求める方法を検討した。また、臓器形状だけではなく、多発性の肺結節といった病変が時間を経るに従ってどのように移動変形するかについても定量化する手法の検討を行い、病変の時間変化（分離、結合、消滅）などのデータも併せて得た。

(3) 臓器変形移動モデル検討

腹部臓器解剖学的構造の解析結果を基に、被験者間でどのように臓器の相互位置関係が異なるかを統計学的に解析した。臓器相互重心位置や臓器境界がどのように変化しているかの検討をおこなった。画像ベースに基づく、臓器変形移動モデルについての検討を重点的に行った。また、この変形移動モデルを内視鏡ナビゲーションに利用する手法についても検討を行った。たとえば、呼吸動きに伴って、解剖学的特徴点は単なる往復運動を示すのではなく、ヒステリシス運動を示すことが、画像レジストレーションより知られた。この見地から、気管支が呼吸によって変形移動するような場合、内視鏡ナビゲーションにおいて用いるモデルとセンサ等から呼吸位相を推定することによって、ナビゲーション精度を向上することができることが示唆された。

(4) 臓器相互作用モデル検討

臓器の変形が隣接する臓器にどのような影響を与えるかを定める数理的モデルについて検討した。たとえば、ある臓器（例えば肝臓など）が異なる臓器（例えば脾臓など）にどのような影響を与えるかを調査した。また、得られた知見を臓器セグメンテーションへ

と利用した。

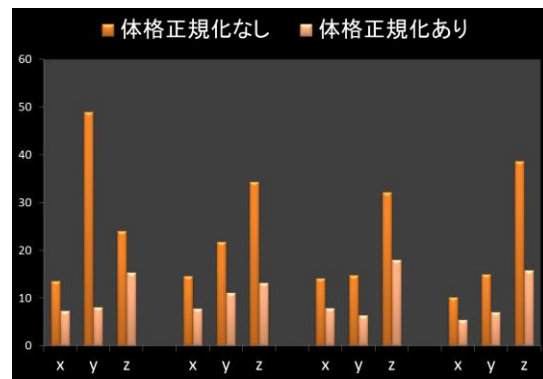


図 腹部 CT 像 100 例における臓器の重心位置の分散. 元の CT 像 100 例およびそれを体格正規化した CT 像の結果を示す. 左右 (x 軸) 方向, 腹背 (y 軸) 方向, 体軸 (z 軸) 方向の三つの方向において肝臓, 脾臓, 膵臓, 腎臓の四つの臓器の重心位置の分散を示す (単位 mm).

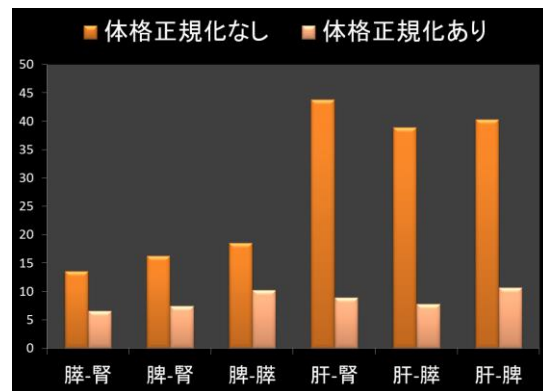


図 腹部 CT 像 100 例における臓器間の距離の分散. 元の CT 像 100 例およびそれを体格正規化した CT 像の結果を示す. 左右 (x 軸) 方向, 腹背 (y 軸) 方向, 体軸 (z 軸) 方向の三つの方向において肝臓, 脾臓, 膵臓, 腎臓の中の二つの臓器の重心間距離の分散を示す (単位 mm).

(5) 画像レジストレーションにおける移動・変形・相互作用モデルの利用の検討

臓器変形移動ならびに臓器相互作用を考慮した画像レジストレーション法とそれを利用したセグメンテーション法について検討した。特に、すい臓領域の移動・変形・相互作用（肝臓からの作用）を考慮したセグメンテーション手法について検討した。

(6) 複数臓器の変形移動を考慮した画像レジストレーション手法の開発

ある臓器の存在位置情報から他の臓器の存在位置が推定できるか否かについて検討を行った。これは、臓器の変形移動を考慮する

ここで画像レジストレーションの精度を向上し、最終的には画像レジストレーションを利用した画像セグメンテーション手法の精度を向上させるためである。特に多臓器の影響を受けやすい膵臓を対象として、肝臓とすい臓の画像レジストレーション手法について検討するとともに、画像セグメンテーション精度の向上を図った。ここでは、肝臓位置情報から構築される膵臓存在情報を求め、その存在情報を利用して画像レジストレーションする手法を開発した。

(7) 手法評価

これまでに開発した画像レジストレーション手法を用いて、同一被験者の撮影時期・時間の異なる画像、ならびに、異なる被験者の画像が正しくレジストレーションできるか否かの評価実験を行った。その結果、おおむね良好な結果が得られた。

(8) 個別目的改良

大腸がん手術、胃がん手術など個別の目的にあわせた画像レジストレーション手法を実現した。上部消化管手術を対象とした画像レジストレーション手法について検討した。特に膵臓領域を対象として画像レジストレーションを行う場合には、変形移動を考慮することが必須であることが知られた。たとえば、膵臓領域の変形移動を考慮した画像レジストレーション処理を導入することによって、画像セグメンテーションの精度が平均約 5% 向上することが知られた。

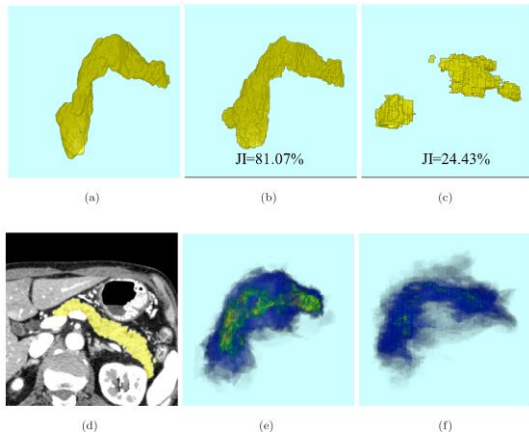


図 臓器変形移動を考慮した画像レジストレーションを利用した膵臓領域セグメンテーション結果。(a)(d) 正解領域、(b) 臓器変形移動を考慮した画像レジストレーションを利用したセグメンテーション結果、(c) 臓器変形移動を考慮しない場合、(e) 臓器変形移動を考慮した画像レジストレーションによって得られたアトラス、(f) 臓器変形移動を考慮しない場合。臓器変形移動を考慮した画像レジストレーションの導入によって、

膵臓領域のセグメンテーション精度が向上していることがわかる。

(9) 画像誘導下手術・治療支援システムへの応用

画像レジストレーション手法とそれに基づく画像セグメンテーション手法によって得られた結果を、上部消化管内視鏡手術ナビゲーションへと応用を図った。各臓器を色づけ表示することで内視鏡下手術のための診断・治療支援情報を生成した。

(10) 臓器動きモデル共有法の検討

本研究で得られた臓器動きモデル、ならびに、その基となった臓器存在尤度マップの共有方法について検討した。特に臓器間の位置関係パラメータ情報の共有が重要であることが知られた。

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 6 件)

- 1) 陳 斌, 中村 嘉彦, 北坂 孝幸, 本間 裕敏, 高島 博嗣, 森 雅樹, 名取 博, 森 健策, 3次元胸部CT像群からの経時変化を考慮した多発性小肺結節対応付け手法, Medical Imaging Technology, 査読有, Vol. 29, No. 4, 2011, 191-199
- 2) Xiongbiao Luo, Marco Feuerstein, Takayuki Kitasaka, and Kensaku Mori, Robust bronchoscope motion tracking using sequential Monte Carlo methods in navigated bronchoscopy: dynamic phantom and patient validation, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 査読有, Vol. 7, No. 3, 2012, 371-387, doi: 10.1007/s11548-011-0645-6
- 3) Daisuke Deguchi, Marco Feuerstein, Takayuki Kitasaka, Yasuhito Suenaga, Ichiro Ide, Hiroshi Murase, Kazuyoshi Imaizumi, Yoshinori Hasegawa, and Kensaku Mori, Real-time marker-free patient registration for electromagnetic navigated bronchoscopy : a phantom study, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 査読有, Vol. 7, No. 3, 2012, 359-369, doi: 10.1007/s11548-011-0626-9

[学会発表] (計 34 件)

- 1) Chengwen Chu, Masahiro Oda, Takayuki Kitasaka, Kazunari Misawa, Michitaka Fujiwara, Yuichiro Hayashi, Robin

- Wolz, Daniel Rueckert, and Kensaku Mori, Multi-organ Segmentation from 3D Abdominal CT Images using Patient-Specific Weighted-probabilistic Atlas, SPIE Medical Imaging 2013, 2013/02/11, Disney's Coronado Springs Resort Lake Buena Vista, Florida, USA
- 2) チョ 成文, 小田 昌宏, 北坂 孝幸, 三澤 一成, 藤原 道隆, 林 雄一郎, 森 健策, 体格正規化手法と個別尤度マップを用いた3次元腹部CT像からの複数臓器抽出手法に関する検討, 電子情報通信学医用画像研究会(MI), 2013/01/24, 那覇市ぶんかテンプス館, 沖縄
 - 3) チョ 成文, 小田 昌宏, 北坂 孝幸, 三澤 一成, 藤原 道隆, 林 雄一郎, Robin Wolz, Daniel Rueckert, 森 健策, 重みつき尤度マップを用いた3次元腹部CT像からの複数臓器抽出手法に関する研究, 第21回日本コンピュータ外科学会大会, 2012/11/03, あわぎんホール, 徳島県
 - 4) Robin Wolz, Chengwen Chu, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, and Daniel Rueckert, Multi-organ abdominal CT segmentation using hierarchically weighted subject-specific atlases, MICCAI 2012, 2012/10/02, Acropolis Convention Center, Esplanade Kennedy Nice, France
 - 5) Chengwen Chu, Masahiro ODA, Takayuki KITASAKA, Kazunari MISAWA, Michitaka FUJIWARA, Robin WOLZ, Daniel RUECKERT, Kensaku MORI, A Study on Pancreas Segmentation Method from 3D Abdominal CT Images using Subject-specific Likelihood atlases, 第31回日本医用画像工学会大会, 2012/08/04, 札幌厚生病院
 - 6) Xiongbiao Luo, Takayuki Kitasaka, and Kensaku Mori, A novel external bronchoscope tracking model beyond electromagnetic localizers: dynamic phantom validation, SPIE Medical Imaging 2012, 2012/02/06, Town & Country Resort and Convention Center, San Diego, California, USA
 - 7) Xiongbiao Luo, Takayuki Kitasaka, and Kensaku Mori, ManiSMC: A New Method Using Manifold Modeling and Sequential Monte Carlo Sampler for Boosting Navigated Bronchoscopy, MICCAI 2011, 2011/09/21, Westin Harbour Castle, Toronto, Ontario, Canada
 - 8) Kensaku Mori, Tatsuya Kugo, Xiongbiao Luo, Takayuki Kitasaka, Philipp Dressel, Tobias Reichl, Marco Feuerstein, and Nassir Navab, Endobronchial ultrasound endoscope navigation system based on CT-US calibration, CARS 2011, 2011/06/25, Estrel Hotel, Berlin, Germany
 - 9) Xiongbiao Luo, Tobias Reichl, Marco Feuerstein, Takayuki Kitasaka, and Kensaku Mori, Modified Hybrid Bronchoscope Tracking Based on Sequential Monte Carlo Sampler: Dynamic Phantom Validation, ACCV2010, 2010/11/11, Rydges Lakeland Resort Queenstown, Queenstown, New Zealand
 - 10) Xiongbiao Luo, Marco Feuerstein, Tobias Reichl, Takayuki Kitasaka, and Kensaku Mori, An Application Driven Comparison of Several Feature Extraction Algorithms in Bronchoscope Tracking During Navigated Bronchoscopy, MIAR 2010, 2010/09/20, China National Convention Center, Beijing, China
 - 11) Marco Feuerstein, Takamasa Sugiura, Daisuke Deguchi, Tobias Reichl, Takayuki Kitasaka, and Kensaku Mori, Marker-Free Registration for Electromagnetic Navigation Bronchoscopy under Respiratory Motion, MIAR 2010, 2010/09/20, China National Convention Center, Beijing, China
 - 12) 中岡 輝久, 小田 昌宏, 北坂 孝幸, 古川 和宏, 三澤 一成, 藤原 道隆, 森 健策, 臓器存在尤度アトラスとグラフカットを用いた腹部3次元CT像からの複数臓器同時セグメンテーション手法の開発, 第29回日本医用画像工学会大会, 2010/07/30, 東海大学伊勢原キャンパス
- [図書] (計5件)
- 1) 森 健策, 他, オーム社, 医用画像ハンドブック, 2010, 9
- [産業財産権]
- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)
- [その他]
- ホームページ <http://www.newves.org>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
- 森 健策 (MORI KENSAKU)
- 名古屋大学・情報連携統括本部・教授
- 研究者番号: 10293664

(2)研究分担者

二村 幸孝 (NIMURA YUKITAKA)

名古屋大学・情報連携統括本部・研究員

研究者番号：70402477

(3)連携研究者なし