

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560506

研究課題名(和文)脳外科手術支援用3次元非剛体画像位置合わせ法の開発

研究課題名(英文)Development of a 3-D non-rigid image registration method for brain surgery support

研究代表者

金 亨燮(Kim, Hyoungseop)

九州工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80295005

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)：画像処理分野においては、同一被験者または同一環境下での異なる時系列に得られた画像同士の位置合わせに関する研究が盛んに行われている。特に、医用画像を対象とした経時的変化の強調や読影作業の支援を目的とした画像位置合わせの研究は、その重要性を増している。これらの画像位置合わせを行うことで、両画像間の相違を明確に捉えることができ、定量的な指標を与えることが可能となる。本研究では、頭部CTとMR画像という同一被験者の異なる装置から得られる画像間の位置合わせ法を開発する。また、脳外科手術支援を行うためのシミュレーションソフトウェアを構築し、現在手動で行われている臨床分野での位置合わせの効率化を図った。

研究成果の概要(英文)：In the image processing fields, image registration techniques are most important technique to analyse abnormalities which is obtained difference time series and/or difference modalities. In particular, the study of image registration for the purpose of supporting to radiologists and enhance the temporal changes on images are required as a computer aided diagnosis. In this research we developed a new image registration method to analyze the abnormalities on head CT and MR imaging. This image registration method can be used as an automatic system on the CyberKnife to support surgical system.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：コンピュータ画像診断支援 サイバーナイフ 画像位置合わせ 相互情報量

1. 研究開始当初の背景

近年、医療分野は、様々な先端工学技術を駆使した医療機器によって支えられている。このような種々の医療機器を用いた手術において、様々な機器を操作するのは外科医自身の手によるものである。これは人間の手が複雑な動作をこなし、かつ繊細な感覚をも感じ取ることが可能なためである。しかし、外科医自身の操作精度、疲労や視覚機能などの限界により、現在でも治療できない病気、治療できても難易度が極めて高く、患者や医師らにとって負担の大きい手術も多い。そこで、より優れた治療や低侵襲外科治療の実現を図るため、様々な医療機器が開発、提供されている。

その中でも、最先端医療機器の代表とされる X 線 CT、MRI などの画像診断機器は、外科医に新たな目を提供し、様々な装置を用いた 3 次元データ化や、画像のデジタル化を可能とした。それに伴い、異なる医用画像を用いた融合技術の応用としてフュージョンが提案され、広く利用されている。フュージョンを行う利点は、相互に足りない情報を補い、読影を容易にするといった点が上げられる。例えば、X 線 CT といった形態画像に、MRI や PET、SPECT などの機能画像のフュージョンが考えられる。これは、正確な位置情報を得にくい欠点を持つが、病変部を抽出しやすい MRI や PET、SPECT などの機能画像に、解剖学的に多くの情報を持つ X 線 CT などの形態画像を重ねることにより、より正確に病変部の位置特定を行うものである。最近では、二つの機能を合わせ持つ PETCT (PET + CT) が開発され、がんの治療など臨床現場に取り入れられ、活用されている。さらに、異なる時期の同一のモダリティで得られた画像の比較では、フュージョンを行うことにより、病変部の変化や新しく発症した病巣陰影の経時的変化などを捉えることができると考えられる。フュージョン画像の活用として、外科診断や脳機能の研究、手術シミュレーションへの利用、サイバーナイフでの使用などが挙げられる。

本研究では、ロボットによる脳外科手術法であるサイバーナイフでの治療をターゲットとして、頭部 X 線 CT と MRI とのフュージョン画像作成における、コンピュータ画像診断支援手法 (Computer Aided Diagnosis ; CAD) を構築し、実データによる精度の検討を行う。また、得られる成果を用いた頭部手術シミュレーションソフトウェアの開発も行い、臨床評価を得て実用化を図る。これまで同分野においては、形状特徴を用いた位置合わせ法やボクセル情報を用いた手法などが提案されているが、形状特徴を用いた手法では、計算コストが少ないという利点があるが、ノイズに弱いという問題点があった。また、ボクセル情報を用いた手法は、全てのボクセルを対象に処理を行うため、ノイズに強いという利点があるが、計算コストが増大す

るという問題点があった。

2. 研究の目的

近年、画像処理分野においては、同一被験者または同一環境下での異なる時系列に得られた画像同士の位置合わせに関する研究が盛んに行われている。特に、医用画像を対象とした経時的変化の強調や読影作業の支援を目的とした画像位置合わせの研究は、その重要性を増している。これらの画像位置合わせを行うことにより、両画像間の相違を明確に捉えることができ、定量的な指標を与えることが可能となる。

本研究では、頭部 CT と MR 画像という同一被験者の異なる装置から得られる画像間の位置合わせ法を開発する。また、脳外科手術支援を行うためのシミュレーションソフトウェアを構築し、現在手動で行われている臨床分野での位置合わせの効率化を図る。

3. 研究の方法

同一被験者の頭部 CT および MR 画像の位置合わせを行うためのコンピュータ画像診断支援法を開発を行う。具体的には、3 次元非剛体画像位置合わせ法を構築した後、臨床医が手動で位置合わせを行う際に重要視している視差交差位置や血管領域を局所領域として自動的に求め、細部の位置合わせを行うための手法を開発する。また、遺伝的アルゴリズムの導入や並列計算用プログラムの実装により、処理の高速化を図る。さらに、臨床医にとって使いやすいシステムを構築し、術前シミュレータによる臨床評価を実施し、提案法の性能を検証する。

【平成 23 年度】

サイバーナイフを利用した脳外科手術法は、脳にメスを入れることなく、放射線により腫瘍を短時間で治療することが可能なため、患者への負担が少ないという利点から、今後も活用が見込まれる。

本研究では、画像解析法を確立するため、CT と MR 画像の位置合わせ法を構築し、その有効性について検討した。

具体的には、CT 画像の骨領域を除外した画像を新たに作成し、頭蓋骨内に存在する軟組織と MR 画像上の軟組織との位置合わせを非剛体で行うための手法を新たに開発した。これにより、精度の高い大局位置合わせ法が見込まれる。さらに、局所領域内の 3 次元位置合わせによる最終位置合わせ法の構築を行った。具体的には、血管領域の関心領域 (ROI ; Region of Interest) を自動で設定し、それぞれの構造要素を細部に位置合わせするための手法を開発した。

【平成 24 年度】

平成 24 年度には、平成 23 年度に構築する異なる画像間の位置合わせ法の高速化を図るための画像解析法を開発した。

具体的には、3 次元空間上のすべての画像を用いるのではなく、局所領域内の関心領域

を選定し、その領域内の最適な位置合わせ法の構築を行った。なお、本研究では画像探索に遺伝的アルゴリズムを用いた。具体的な処理手順を以下に示す。

まず、画像前処理として、ボクセルサイズを統一するため、等方ボクセル化処理を行う。なお、CT 画像には金属歯などのアーチファクトと診察台が写っており、頭部の位置合わせには不要であるため、実験的に求めた閾値処理によってこれらの領域を除去する。次に両画像の重心を用いた大まかな位置合わせを行う。さらに、輪郭情報を用いた画像位置合わせを行う。具体的には、まず CT 画像に対し、画素値を変換することにより皮膚領域を強調する。次に、2 値化と境界線追跡法による CT 画像と MR 画像の皮膚領域の輪郭を抽出し、穴埋め処理を行うことにより、頭部の輪郭領域を抽出する。この画像に対し、DSC(Dice Similarity Coefficient)を評価関数とした最適法を構築した。DSC による最適化では、両画像の重ね合わせの評価値が最大となるような最適化問題を、単純 GA を用いて解く手法を考案した。最後に、相互情報量を用いた最終的な位置合わせを行うが、これは、重心と輪郭情報のみでは処理時間の短縮は期待できるが、情報の少なさから、精度に問題が発生することが予想されるため、高精度での位置合わせを行うための評価指標として取り入れる。本研究では平成 23 年度に構築した複数の関心領域 (VOI) 設定法を用いた位置合わせを行った。提案法を同一被験者の 5 症例の CT、MR 画像セットに適用した結果、位置合わせの精度を示す相互情報量にはほとんど差がなく、計算時間を大幅に軽減できた。

【平成 25 年度】

平成 25 年度には、さらなる位置あわせの精度向上を図るため、画像上の解剖学的特徴を利用した画像位置合わせ法を考案した。さらに、最終的なシミュレーションソフトウェアの作成を行い、臨床実験を通じた有効性の検証を行った。

解剖学的情報とは解剖学に基づいた普遍の情報である。本研究では解剖学的にみて、特徴的な構造をもつ領域である、鼻先、眼球領域、頭頂部、2 か所の血管分岐領域を自動的に求め、位置合わせを行うためのアルゴリズムを構築した。まず、前処理として等方ボクセル化処理、CTA 画像の診察台除去を行った画像より、鼻先、両眼球中心を探索する。次に、ビットプレーン処理を用い、血管領域の抽出を行い、頭頂部と血管分岐点を探索する。

次に、頭部は剛体とみなせるため、アフィン変換による初期位置合わせを行う。まず、両画像の鼻先の座標値より、平行移動量、鼻先と血管分岐点を通る直線より鼻先を中心とした $y-z$ 平面の回転量、 $x-y$ 平面の回転量を求め、初期位置合わせを行う。その後、最終位置合わせとして MRA 画像の右眼球中心、

頭頂部、第一血管分岐点、左眼球中心、第二血管分岐点を中心とした VOI に対し、順次 VOI 内の相互情報量が最も大きくなるアフィン変換パラメータを求め、画像全体を変換する。このとき、処理時間の短縮のため VOI 内のみを変換し、さらに探索範囲を制限する。また、各点を中心とした探索範囲に、CTA 画像の対応する点を中心とした VOI が含まれるようにする。提案法を同一被験者の 5 症例の CT、MR 画像セットに適用した結果、位置合わせの精度を示す相互情報量にはほとんど差がなく、計算時間を大幅に軽減できた。

さらに、提案法の結果を臨床現場にて確認した結果、従来法の既存システムの精度とほぼ同程度の位置あわせ結果で、かつ大幅な処理時間の軽減が図られ、高評価を得ている。構築した位置あわせシミュレーションのソフトウェアの概観を図 1 に示す。同図にはそれぞれ左側に CT、MR 画像の原画像を表示し、真ん中には Sagittal, Coronal 断面の画像を、右側には重ね合わせ結果を 4 分割表示し、位置あわせ結果を医師らが手動で確認できるように構築した。

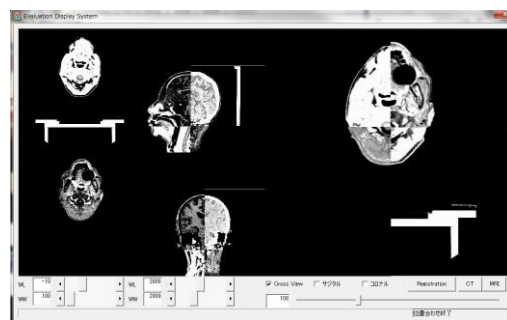


図 1 開発した画像位置合わせ用アプリケーションソフト

4. 研究成果

本研究では、頭部 CT、MR 画像の位置合わせ法として、関心領域を自動設定し、各領域内の各特徴量に基づく最適画像位置合わせ法を提案した。特に、従来の 3 次元画像上全体を利用した場合の計算時間の軽減を図るため、移転できアルゴリズムや Levenberg-Marquardt 法の導入、輪郭情報による DSC を評価法とした画像位置合わせ法の適用、解剖学的情報に基づく VOI の自動選定による手法などを考案した。実験による性能評価では、いずれの手法においても従来の手法の精度を損なうことなく、短時間で解を求めることが可能であった。さらに、実装したアプリケーションによるデモ実験では、従来臨床現場で用いられている市販ソフトウェアとほぼ同程度の位置合わせ精度であるという評価を得ている。

さらなる精度向上のため、アルゴリズムの改善、初期位置合わせの精度向上、最適化手法の改善などが考えられる。また、実際の医療現場で使用するための臨床試験が今後必要であり、臨床試験での使用を前提とした、

GUI アプリケーションソフトウェアの改善、結果画像の表示方法、計測技術、腫瘍の抽出法の開発などが必要となる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① Yamamoto, Kim, Tan, Ishikawa: “Arterial Hemodynamic Analysis on Non-enhanced Magnetic Resonance Angiogram Using Optical Flow”, Journal of Artificial Life and Robotics, Vol. 17, No. 1, pp102-106 (Oct. 2012) (査読あり) .
- ② 早田, 山村, 金, タン, 石川, 山本: “遺伝的アルゴリズムを用いた CT・MR 画像の位置合わせ法”, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌 Vol.14, No.1 , pp. 97-102 (2012.5月) (査読あり).
- ③ 山本, 金, タン, 石川: “オプティカルフローを用いた非造影 MR 画像からの血行動態解析法”, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌 Vol. 14, No. 1 , pp. 59-64 (2012.5月) (査読あり).

[学会発表] (計8件)

- ① 木崎, 山村, 金, タン, 石川, 山本: “3次元頭部 CT・MR 画像の位置合わせ法の高速化～ビットプレーン情報を用いたグローバルマッチング法の改良～”, 第32回 SIE 九州支部学術講演会, pp. 171-174(2013, 11.30~12.1, 長崎大学)
- ② Kisasi, Yamamura, Kim, Tan, Ishikawa, Yamamoto: “An Image Registration Technique for Head CT and MR Image Fusion Based on Mutual Information”, The 14th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, CD-ROM (9 pages) (Nov.13-16, 2013, Daejeon, Korea) (査読あり) .
- ③ 木崎, 山村, 金, タン, 石川, 山本: “Levenberg-Marquardt 法を用いた頭部 CT・MR 画像の高速位置合わせ”, JAMIT2013Proceedings, OP6-3(9頁) (2013.8.1-8.3. 東京産業総合研究所)。
- ④ Yamamura, Kim, Tan, Ishikawa, Yamamoto: “An Image Registration Method for Head CTA and MRA Images Using Mutual Information on Volumes of Interest”, Annual Conference on Engineering and Information Technology, pp.250-257 (June 28-30, 2013, Seoul, Korea,) (査読あり) .
- ⑤ 早田, 山村, 金, タン, 石川, 山本: “DSC を用いた頭部 CT・MR 画像の位置合わせ”, SICE 第31回九州支部学術講演会, pp. 165-168(2012.12.7-7, 熊大).
- ⑥ 藤井, 早田, 山村, 金, タン, 石川, 山本: “3D SEF と ICP 法を用いた頭部 CTA・MRA 画像の位置合わせ”, SICE 第31回九州支部学術講演会, pp. 169-170(2012.12.7-7, 熊大).

- ⑦ Hayata, Yamamura, Kim, Tan, Ishikawa, Yamamoto: “A Method for Image Registration on Head CT and MR Image by Using Real-coded Genetic Algorithm”, 12th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp.55-58(2011, Sep.28-Oct.1, Suwon, Korea) (査読あり) .
- ⑧ 早田, 山村, 金, タン, 石川, 山本: “単純 GA を用いた頭部 CT・MR 画像の位置合わせ法”, 第30回日本医用画像工学会大会抄録集 CD-ROM, OP7-8(6ページ) (2011.8.5-6, 栃木県太田市国際医療福祉大学).

[その他]

ホームページ等

<http://www.cntl.kyutech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金 亨燮 (KIM, Hyoungeop)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 80295005