

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5月21日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700505

研究課題名（和文） 低侵襲手術における腹腔内の実時間三次元計測に関する研究

 研究課題名（英文） A study on real-time shape measurement of abdominal organs
under the minimum invasive surgery

研究代表者

中口 俊哉（NAKAGUCHI TOSHIYA）

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20361412

研究成果の概要（和文）：

腹腔鏡下手術は視野が限定され特殊な手術器具を扱うことなどから習得が困難とされている。解決策の一つとして申請者は、低侵襲手術中の患者の体表に映像を投影表示することで、術者に視覚的支援情報を提供するシステムを提案した。しかしこれまでは実時間で位置や形状が変化する腹腔内臓器の三次元情報を取得・提示することができなかった。そこで、本研究では専用画像デバイスの開発、異種モダリティの融合アルゴリズムの提案、全体システムの構築と有効性評価を行った。

研究成果の概要（英文）：

Since surgeons have quite limited view and are obliged to use special instruments in the laparoscopic surgery, it requires high skills for surgeons. To address this problem, we have proposed a computer-aided surgery system which projects the laparoscopic image directly onto the patient's body surface to assist and enhance the surgeon's view. However, the system could not obtain and project the 3D information changing in real-time. Therefore, in this project, we developed a new imaging device specialized for obtaining plenty information inside the abdominal cavity, and proposed a fusion algorithm between different image modalities. Finally we performed the overall evaluation of the surgery assistance system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：低侵襲治療システム，コンピュータ外科，ステレオビジョン

1. 研究開始当初の背景

腹腔鏡下手術は器具と腹腔鏡を体内に挿入してモニタに映し出された映像を見ながら外科的措置を行う方法であり、低侵襲・早期回復手術として大変期待されている。しかし視野が腹腔鏡で撮影した平面モニタ映像に限定され、鉗子など特殊な手術器具を扱うことなどから習得が困難であり、技量の未熟な医師が行えば重大な医療事故を招く可能性が高い。解決策の一つとして申請者はバーチャルリアリティ技術を用いた腹腔鏡下手術も含めた高度な医療手技に対する訓練システム構築に関する研究を行ってきた。近年さらにロボット外科やコンピュータ外科と呼ばれる外科手術支援システムの研究が盛んとなっている。特に低侵襲手術に対しては体表に体内の情報を提示することで、術者に視覚的支援情報を与える研究が進められている。しかしこれらの研究では実時間で位置や形状が変化する腹腔内臓器の三次元情報を取得・提示することができないため、腹腔鏡下手術の支援としては不十分である。そこで本研究では、腹腔内の三次元情報を実時間で計測するシステムを実現し、体表面への立体画像提示技術と組み合わせて透過型腹腔鏡下手術の実現を目指す。

2. 研究の目的

1) 計測システムの検討

外部からのアクセスが極めて制限された腹腔内空間の三次元形状を画像計測する手法の検討を行う。計測精度と実時間性、臨床的実現性の観点から最良のパフォーマンスを得る手法を詳細に検討する。

2) 専用画像デバイスの開発

低侵襲手術では体表に開ける穴を最小限に抑えることが重要である。一般には腹腔鏡と鉗子2本の最低3箇所にて穴を開けることになるが、カメラなどのために追加の穴を設けることは許されない。そこで、既存の穴から工夫して、カメラや光投影装置を腹腔内に導入する専用の画像デバイスを研究開発する。

3) 他のモダリティとの融合手法

事前に撮影された三次元形態情報であるやCT・MRIと融合することで計測精度の向上を図る。比較的移動・変形が少ない臓器は事前に撮影された情報との一致度が高いと考えられるため、画像計測に先験的な情報を付与できると考えられる。また、術中に超音波を使って体腔内の三次元情報を実時間で取得し、同じく画像計測との融合で精度向上を図る。

4) 全体システムの構築と有効性評価

既に確立した体表面への立体映像提示技

術と、本研究テーマの成果である体腔内の三次元形状取得の融合により透過型腹腔鏡下手術が実現する。この新しい手術方法を実現し、各段階において実験豚を用いた臨床実験を実施する。外科手技に熟練した医師と、若手で経験の少ない医師、双方の協力により有効性の評価実験を実施する。

3. 研究の方法

22年度は腹腔内形状の計測手法の検討を行った。対象としては2個または3個以上のカメラによる受動的計測手法、そして光投影とカメラを併用した能動的計測手法を考えた。腹腔内の映像は対応点探索に有効な画像特徴が少ないため、受動的計測精度を向上させるため既存のアルゴリズムを改善する必要がある。加えて実時間処理を実現するアルゴリズムの改善、並列演算処理の実装を行った。基礎実験はドライボックス実験装置と臓器模型を用いて行った。正解形状のデータは購入予定である3次元デジタイザ装置を用いて取得した。

23年度は臨床的実現可能性のある画像デバイスを開発した。腹腔内にアクセスする方法は腹腔鏡と鉗子2本のために開けられた穴しかないと考え、これらの穴から工夫して複数のカメラや光投影装置を導入する方法を検討した。開脚式マルチカメラ腹腔鏡（細い状態から腹腔内で傘のように展開するマルチカメラ装置）、カメラ付きトラカール（トラカールとは腹壁に固定して腹腔鏡・鉗子を把持する道具であり必ず利用される。このトラカールにカメラを装着する）、小型無線カメラ（回収可能な小型カメラを挿入し、腹壁に貼り付けて使用する）、小型プロジェクタ（構造光投影に特化することで超小型化を図る）などの実現可能性を検討した。次に、事前に撮影された三次元形態情報であるCT・MRIと融合することで計測精度の向上を図った。CTやMRI画像に対して多臓器同時抽出手法を適用し、骨、膵臓、肺、腎臓など比較的移動や変形の少ないオブジェクトについて、三次元形状の先見情報として利用し、画像計測の結果に効果的に融合する手法を検討した。

24年度は透過型腹腔鏡下手術システムの構築に向け、既に我々の研究チームで確立している体表面立体映像提示技術と、本研究の成果である腹腔内の実時間三次元情報計測システムを集約した。入力から出力までを一貫した実時間処理を実現するためGPU並列コンピューティングを活用した。生体実験は豚を用いて行った。

4. 研究成果

体表に腹腔内の立体映像を投影することで一般的な開腹手術状態を仮想的に再現する透過型腹腔鏡下手術システムを構築することを目的としている本研究テーマでは、特に低侵襲条件下で腹腔内の三次元情報を実時間で取得する手法を提案し、実現に向けた臨床実験を実施することを計画した。平成22年度の成果として腹腔内形状の計測手法の検討を行った。複数のカメラによる受動的計測手法、そして光投影とカメラを併用した能動的計測手法を対象に計測精度の比較検討を行った結果、受動的手法は対応点の個数、精度に欠け、再現された三次元形状の精度は低くなった。そこで能動的手法に焦点を当てて計測精度を向上させるために既存アルゴリズムの改善を行った。誤差発生 の 主要な要因であるフェーズアンラップ処理を必要としない手法を提案し、加えてハードウェア並列演算による実時間処理を実現した。その結果、人体体表のような動きのある物体においても高精度に三次元形状を計測することができた。さらに、映像投影と形状計測を同じプロジェクタを使って行うための基礎技術を提案した。形状計測のための構造光を映像に埋め込むことで、体勢の変更や呼吸性の体表形状の変動に対応したリアルタイム形状補正画像投影技術を確立した。映像に埋め込む構造光の知覚量と形状計測の精度がトレードオフの関係となるため、主観評価実験を行い最適なパラメータを決定することができた。将来的にはプロジェクタの投影速度（リフレッシュレート）が向上することで、提案した構造光の埋め込み技術がさらに有効に機能すると考えられる。

23年度は臨床的実現可能性のある画像デバイスを開発した。腹腔内にアクセスする方法は腹腔鏡と鉗子2本のために開けられた穴しかないと考え、これらの穴から工夫して複数のカメラや光投影装置を導入する方法を検討した。試作は全て手作りで行いドライボックス実験を経て豚を使った臨床試験を行った。比較評価の結果、腹腔内の三次元再構成を実現するためにはカメラ付きトラカールが最も効果的であることが判明した。

平成24年度は最終目標である透過型腹腔鏡下手術システムの構築に向け、既に我々の研究チームで確立している体表面立体映像提示技術と、本研究の成果である腹腔内の実時間三次元情報計測システムを集約した。専用画像デバイスは試作と改良を繰り返し、動物実験により精度、耐久性の向上が得られた。格納動作に加え、カメラの曇り除去や、穿孔手段など様々な機構に関する新しいアイデアを創出した。また、この専用画像デバイスを複数用いることで3眼以上のマルチカメラ

を用いた実時間形状復元を実現するため、独自に効率化した計算アルゴリズムと、GPUを使った並列演算を提案した。3眼で誤差約5mm程度、0.5秒/回、4眼で誤差約5mm程度、1秒/回の計算速度を実現した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ①鈴木拓, 中口俊哉, 大坪誠治, 林秀樹, 草野満夫, 蛍光色素観察のためのポータブル重畳投影システムの構築, Medical Imaging Technology, 査読有, Vol.30, No.4, 2012, pp.165-171
- ②Takuya Okubo, Toshiya Nakaguchi, Hideki Hayashi, Norimichi Tsumura, "Abdominal View Expansion by Retractable Camera" Journal of Signal Processing, 査読有, Vol.15, No.4, 2011, pp.311-314
- ③Hiroyuki Watabe, Toshiya Nakaguchi, Toshiyuki Natsume, Hiromichi Aoyama, Hiroshi Kawahira, Ahmed Afifi, Norimichi Tsumura, "Computer-Assisted System for Detecting Infiltration of Gastric Cancer" Journal of Signal Processing, 査読有, Vol.15, No.4, 2011, pp.307-310
- ④Ahmed Afifi, Toshiya Nakaguchi, Norimichi Tsumura, Yoichi Miyake, "A Model Optimization Approach to the Automatic Segmentation of Medical Images" IEICE Trans. on Information and Systems, 査読有, Vol.E93-D, No.4, 2010, pp.882-889

[学会発表] (計8件)

- ①Hiroyuki Watabe, Toshiya Nakaguchi, "Automatic three-step registration of the images with large deformation," Proc. of International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA2012), O4-2, 大田, 韓国, 2012
- ②Ahmed Afifi, Toshiya Nakaguchi, "A Knowledge-based Liver Segmentation Approach using Graph Cuts," Proc. of MICCAI 2012, We-2-AG-07, Nice, France, 2012
- ③Toshiya Nakaguchi, Taku Suzuki, Seiji Ohtsubo, Hideki Hayashi, Mitsuo Kusano, "Development of AR-based ICG Fluorescence Imaging System", 2012 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'12), Hawaii, USA, 2012

- ④ Ginpei Okada, Hiroyuki Watabe, Toshiya Nakaguchi, Norimichi Tsumura, "3-D Measurement System using Structured-Light Embedded Image Projection", MICCAI 2011 Workshop Augmented Environments for Computer Assisted Interventions, Toronto, Canada, 2011
- ⑤ Takuya Okubo, Toshiya Nakaguchi, Hideki Hayashi, Norimichi Tsumura, "Abdominal View Expansion by Retractable Camera," 2011 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'11), Hawaii, USA, 2011
- ⑥ Hiroyuki Watabe, Toshiya Nakaguchi, Toshiyuki Natsume, Hiromichi Aoyama, Hiroshi Kawahira, Ahmed Afifi, Norimichi Tsumura, "Computer-Assisted System for Detecting Infiltration of Gastric Cancer," 2011 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'11), Hawaii, USA, 2011
- ⑦ Ahmed Afifi, Toshiya Nakaguchi, Norimichi Tsumura, "A liver segmentation approach in contrast-enhanced CT images with patient specific knowledge," SPIE Medical Imaging, P.7962-109, San Diego, USA, 2011
- ⑧ Tatsuya Namae, Ginpei Okada, Toshiya Nakaguchi, Norimichi Tsumura, "3-D Measurement for Internal Organ Surface Using Kaleidoscope", Optics-photonics Design & Fabrication (ODF'10), 横浜, 20PSP-39, 2010

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

名称：トロカールおよびポート
 発明者：中口俊哉
 権利者：千葉大学，アドバンスドヘルスケア（株）
 種類：特許
 番号：特願 2013-104526
 出願年月日：平成 25 年 5 月 16 日
 国内外の別：国内

名称：トロカール，ポートおよび手術支援システム
 発明者：中口俊哉
 権利者：千葉大学，アドバンスドヘルスケア（株）

種類：特許
 番号：特願 2013-104527
 出願年月日：平成 25 年 5 月 16 日
 国内外の別：国内

名称：トロカールおよび手術支援システム
 発明者：中口俊哉
 権利者：千葉大学，アドバンスドヘルスケア（株）

種類：特許
 番号：特願 2013-002337
 出願年月日：平成 25 年 1 月 10 日
 国内外の別：国内

名称：トロカールおよび手術支援システム
 発明者：中口俊哉
 権利者：千葉大学，アドバンスドヘルスケア（株）

種類：特許
 番号：特願 2013-002338
 出願年月日：平成 25 年 1 月 10 日
 国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中口 俊哉 (NAKAGUCHI TOSHIYA)
 千葉大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：20361412

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者