

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350561

研究課題名(和文) 子宮内胎児外科手術における内視鏡画像マッピングシステム

研究課題名(英文) Endoscopic Image Mapping System for Fetus Surgery

研究代表者

小林 英津子 (Kobayashi, Etsuko)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20345268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：双胎間輸血症候群におけるレーザ治療を目的とし、狭視野の胎児内視鏡画像を三次元超音波画像上にマッピングし広範囲の術野画像を得る、内視鏡画像マッピングシステムを構築した。本システムは実用的なシステムを実現すべく、高価な外部センサを用いず、通常治療で用いられる内視鏡と超音波画像のみを利用している。胎盤模型による精度評価では、血管分岐部等の特徴点間の距離誤差が20フレーム後にRMS誤差1.1mmとなり、高精度なマッピングが可能であった。またサル摘出胎盤による評価では胎盤のおおよそ半分の領域でのマッピングが可能であった。さらにハイパースペクトルカメラを用い狭帯域画像を取得し胎盤上の血管強調を図った。

研究成果の概要(英文)：We have developed a mapping system of endoscopic views on a 3D placenta model constructed from ultrasound images for Fetus surgery. The system does not require external trackers. The relative position between the endoscope and the 3D model was measured by 3D ultrasound and moving distance of endoscope during surgery was estimated by feature matching of endoscopic image. Using these relative position information and moving information endoscopic views were overlaid onto the surface of the model. This addresses operational challenges including the limited field-of-view and the lack of 3D perspective associated with minimally invasive procedure. Experimental results show that The R.M.S. error of the image mapping of 20 frames was 1.1 mm. The feasibility of the framework is also demonstrated through. We have also developed contrast enhance system between vasculature and placenta by using narrow band images.

研究分野：医用精密工学

キーワード：低侵襲治療 コンピュータ外科 内視鏡画像処理

1. 研究開始当初の背景

双胎間輸血症候群(TTTS)は、一卵性双胎に於いて、双胎児の胎盤血管が吻合し双胎間で血液の不均衡が生じる疾病である。この治療法の一つにレーザー焼灼療法がある。この方法は、医師が内視鏡で胎盤表面を辿り、目視で吻合血管の同定を行い、レーザーで焼灼し血流を遮断するものである。しかし、内視鏡の視野は狭く、吻合血管の同定に必要な胎盤上の全体的な血管系を把握するのは難しい。そこで我々は、三次元超音波診断装置を用いた胎盤表面マッピングシステムを開発してきた。本システムは、内視鏡、超音波診断装置、三次元位置計測装置とコンピュータからなる。術中の三次元超音波診断装置から胎盤形状モデルを作成する。続いて胎盤表面画像を内視鏡で撮影し、歪み等を補正する。内視鏡及び超音波プローブの位置・姿勢を三次元位置計測装置で計測することにより、両者の位置関係を取得し、胎盤モデルにマッピングする。胎盤形状モデル上にと内視鏡画像をマッピングすることで胎盤の全体像が把握しやすくなり、医師の吻合血管同定が容易になる。このようなシステムを開発し、胎盤ファントムを用いてマッピングの評価を行ったところ、大規模な胎盤表面画像を十分効果的に提示でき、医師が簡単に情報を得やすい画像を表示できた。しかし、本システムの問題点として、

- ・高価な位置計測システムを利用している。
- ・体動に対する補償がない。

といった点が挙げられる。また、臨床に用いることを考えると、システムのセットアップを含めた実用的なシステムを構築することが必要となる。

一方、現在カメラ画像を用いたロボットの自己位置推定技術、多数のセンサ情報を統合することにより、高精度、ロバストな位置計測を行う技術に関する研究が広く行われている。我々も、内視鏡下心臓外科手術を目的とした、カメラ画像を用いた術中生体情報マッピングシステムを開発してきた。これは術中の局所的な生体(心電、超音波画像)情報を、カメラ画像を用い位置計測し、広域画像にマッピングする。また、超音波画像重畳システムにおいては、心臓の動きを検出し、それに合わせて重畳画像を移動させている。以上のように、高価な三次元位置計測装置を用いず、内視鏡画像からターゲットの位置姿勢を計測し、マッピングする技術を開発してきた。

2. 研究の目的

以上の背景から本研究では、双胎間輸血症候群におけるレーザー治療を目的とし、狭視野の胎児内視鏡画像を三次元超音波画像上にマッピングし広範囲の術野画像を得る、内視鏡画像マッピングシステムを構築する。特に、実用的なシステムを実現すべく、

- ・高価な外部センサを用いず、内視鏡や超音

波画像のみを用いた位置計測

・胎盤の移動、変形への対応

を行うことを目的とする。

最終的には、胎盤に対し血管の走行状態が判別できる程度の精度を実現することを目指す。また、可能であれば動物実験を行うことにより、システム全体の実用性・有用性評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 画像による内視鏡マッピングシステム

高価な外部センサを用いず、胎盤の広域画像を取得可能な、画像ベースの内視鏡画像マッピングシステムを提案した。本マッピングシステムは、3次元超音波画像により、胎盤の3次元モデルを構築し、3次元モデル-内視鏡間の相対位置関係(初期位置関係)を求め、内視鏡の移動前後の画像の feature matching により、内視鏡の相対的移動を推定し、□により求めた位置関係を元に、3次元モデル上に広域の胎盤マップを作成する(図1)。

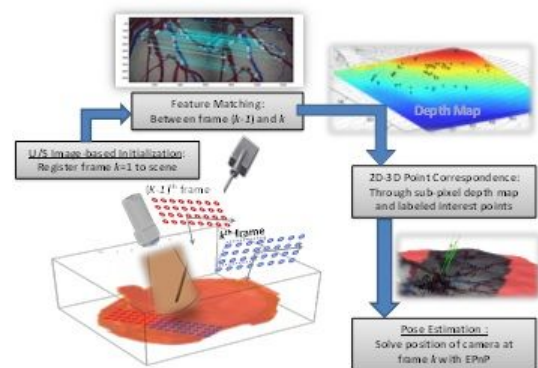


図1 画像による内視鏡マッピングシステム

3次元モデル-内視鏡間の相対位置関係取得(初期位置関係取得)においては主成分分析法を用い、内視鏡先端部でのアーチファクトによる誤差の影響を軽減するアルゴリズムを提案した。この初期位置関係を利用し、3次元胎盤モデル上に対応する内視鏡画像上の特徴点を配置する。次に内視鏡を移動した場合は SURF 特徴量を用い対応点を検出し、内視鏡の移動量を推定する。移動後の内視鏡画像を3次元胎盤上に配置し、広域の内視鏡画像を作成していく。これにより、従来用いられていた外部のトラッキングセンサを用いることなく、内視鏡位置計測が可能であり、広域の内視鏡マップが作成できる。

胎盤ファントムによる誤差評価を行った結果、血管分岐部等の特徴点間の距離誤差が、20フレーム後に RMS 誤差 1.1mm となり、高精度なマッピングが可能であった(図2)。また、サルの摘出胎盤によりマッピングを行った結果、胎盤のおおよそ半分の領域でのマッピング作成が可能であった(図3)。

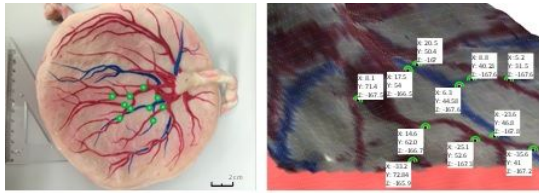


図2 胎盤ファントムによるマッピング結果：左)胎盤ファントム,右)3次元胎盤モデル上へのマッピング結果

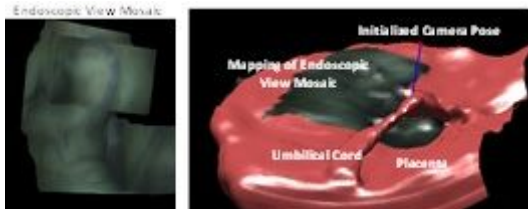


図3 サル摘出胎盤によるマッピング結果：左)内視鏡画像の貼り合わせ結果,右)3次元胎盤モデルへのマッピング結果

(2) 狭帯域光画像を使った血管強調

サルの胎盤評価においては、マッピングは可能であったものの、血管が不鮮明であり、血管の走行状態を把握するのが困難であった。これは実際の術中で吻合血管を把握するのに問題となる。そこで、我々は狭帯域光画像を使った血管強調を試みた。ハイパースペクトルカメラにてサル摘出胎盤を分光撮影し、血管と胎盤組織のスペクトルを取得、その後胎盤組織と血管組織の強度差が大きい波長を選択し、胎盤画像を作成する。今回640-660nm, 525-545nmの狭帯域画像を取得した。結果を図4に示す。左は本手法により血管強調した画像、右はRGBカメラ画像をグレースケールに変換した画像である。画像の輝度値の分散を比較した結果、グレースケール画像0.11に対し、本手法による画像は0.21と大幅に増加しており、血管強調の可能性が示唆された。

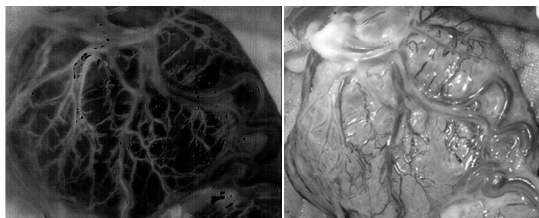


図4 狭帯域光画像による血管強調評価：左)狭帯域画像による画像,右)グレースケール画像

4. 研究成果

手術ナビゲーションシステムでは、光学式や磁気式の位置計測装置が通常用いられている。これらの特殊な位置計測装置は非常に高価であり、また手術室でのセットアップも

煩雑となる。本研究では、それら特殊なセンサを用いず、手術で通常用いられる超音波画像、内視鏡画像のみにて広範囲の胎盤マップを作成可能であり、簡便なシステムを実現することができ、臨床応用に有用なシステムであると考えられる。また、当初予定はしていなかったが、吻合血管の把握をより行いやすくするために、狭帯域画像を導入し、ハイコントラストな血管画像を取得することとした。本研究の内容に対して、博士課程学生が国際学会にて Best Paper Award を受賞し、修士学生が国内学会にて優秀論文発表賞を受賞しており、国内外ともにインパクトのある研究だと言える。

当初予定していた胎盤の移動、変形への対応については十分な成果が得られなかった。今後は移動、変形に対する対策を取るとともに、医師との強固な協力体制の元、臨床使用可能なシステムを実現していくことが重要である。

<引用文献>

H. Liao, M. Tsuzuki, T. Mochizuki, E. Kobayashi, T. Chiba, I. Sakuma: Fast Image Mapping of Endoscopic Image Mosaics with Three-Dimensional Ultrasound Image for Intrauterine Treatment of Fetal Surgery, Minimally Invasive therapy and Allied Technologies, Vol.18, No.6, pp.332-340, 2009

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 4 件)

L. Yang, J. Wang, T. Ando, A. Kubota, H. Yamashita, I. Sakuma, T. Chiba, and E. Kobayashi. "Self-contained image mapping of placental vasculature in 3D ultrasound-guided fetoscopy." *Surgical Endoscopy* (2015)10:1-14 DOI: 10.1007/s00464-015-4690-z

L. Yang, J. Wang, T. Ando, A. Kubota, H. Yamashita, I. Sakuma, T. Chiba, and E. Kobayashi. "Towards scene adaptive image correspondence for placental vasculature mosaic in computer assisted fetoscopic procedures." *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*(Early View). DOI:10.1002/rcs.1700

L. Yang, J. Wang, T. Ando, H. Yamashita, I. Sakuma, T. Chiba, E. Kobayashi. "Vision-based endoscope tracking for 3D ultrasound image-guided surgical navigation" *Computerized Medical*

Imaging and Graphics, Volume 40, March 2015. Pages 205 - 216
[doi:10.1016/j.compmedimag.2014.09.003](https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2014.09.003)

L. Yang, J. Wang, E. Kobayashi, T. Ando, H. Yamashita, I. Sakuma, T. Chiba, Image mapping of untracked free-hand endoscopic views to an ultrasound image-constructed 3D placenta model, the International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted, Surgery, Available on line 2014, doi: 10.1002/rcs.1592, 11(2), pp223-234, 2015

〔学会発表〕(計 8 件)

楊量景, 王君臣, 窪田章宏, 山下紘正, 千葉敏雄, 佐久間一郎, 小林英津子: 胎児外科手術のための外部センサを用いない画像マッピングシステムの開発, 東京大学医学部附属病院先端医療シーズ開発フォーラム 2015 医療イノベーション実現化の潮流, pp56, 2015.1.22

Kubota, L. Yang, J. Wang, T. Ando, I. Sakuma, E. Kobayashi, H. Yamashita, T. Chiba: Contrast enhancement between vasculature and placenta using narrow band images for TTTS surgery, Int. Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.9 Supplement 1, ppS98-S99 June 2014

窪田章宏, 楊量景, 王君臣, 安藤岳洋, 山下紘正, 千葉敏雄, 佐久間一郎, 小林英津子: 双胎間輸血症候群手術支援のための狭帯域光画像を使った血管強調と画像マッピング, 日本生体医工学会関東支部若手研究者発表会 2014, 抄録集 pp30

窪田章宏, 楊量景, 王君臣, 安藤岳洋, 山下紘正, 千葉敏雄, 佐久間一郎, 小林英津子: 狭帯域画像を使った双胎間輸血症候群手術のための画像マッピング, 日本コンピュータ外科学会誌 第23回日本コンピュータ外科学会大会特集号, pp307-308, 2014

Yang, L., Wang, J., Kobayashi, E., Liao, H., Sakuma, I., Yamashita, H., & Chiba, T. : Ultrasound Image-Guided Mapping of Endoscopic Views on a 3D Placenta Model: A Tracker-Less Approach, In Augmented Reality Environments for Medical Imaging and Computer-Assisted Interventions (MIAR2013), pp. 107-116. Springer Berlin Heidelberg, 2013

Yang L, Wang J, Kobayashi E, Liao H, Yamashita H, Sakuma I, Chiba T : Self-registration of ultrasound imaging device to navigation system using surgical instrument kinematics in minimally invasive procedure, The 9th Asian

Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2013). Program and Abstract: 70-71, 2013

Yang, L., Wang, J., Kobayashi, E., Liao, H., Yamashita, H., Sakuma, I., Chiba, T.: Ultrasound Image-based Endoscope Localization for Minimally Invasive Fetoscopic Surgery. In: Engineering in Medicine and Biology Conference, IEEE International Conference on, pp1411-1413 (2013)

Yang, L., Wang, J., Kobayashi, E., Liao, H., Yamashita, H., Sakuma, I., Chiba, T.: An intraoperative framework for mapping of untracked endoscopic vision to 3D ultrasound placenta. Int J CARS. 8 (Suppl 1) S152-153 (2013)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林英津子 (Kobayashi, Etsuko)
東京大学大学院工学系研究科・准教授
研究者番号: 20345268

(2) 研究分担者

千葉敏雄 (CHIBA, Toshio)
日本大学総合科学研究所・教授
研究者番号: 20171944

(3) 連携研究者

佐久間一郎 (SAKUMA, Ichiro)
東京大学大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 50178597