

訪問日 2016年11月4日

大阪大学 大学院 基礎工学研究科 小林 洋 准教授

研究題名：内視鏡外科手術の視野改善を目的とした擬似的視点変更システムに関する研究

大阪大学・小林洋先生を訪ねて

訪問したのは、文科省の博士課程教育リーディングプログラムに採択された早稲田大学の実体情報学プログラムの工房です。実体情報学は機械技術（=実体）と情報・通信技術を融合したもので、関連する研究室が大部屋に集まった工房にて異分野交流できる環境になっています。機械の出身の学生は情報の勉強をしなければならず、逆もありますので融合ができます。この融合分野で戦える博士人材の育成を目指した大学院の修士課程から博士課程の5年間の一貫プログラムです。普通の大学院入学より厳しい選考があり、入れば学生は奨学金をはじめ、充実した経済的サポートを付与されます。日本では博士号を取得して企業に就職する人が少ないことが文科省の危機感としてあり、博士学生の支援をするが大きな目的のようです。小林先生はこの8月に大阪大学に異動され、当日朝大阪から駆けつけてくれました。主に藤江研究室の博士課程3年の曹陽さんが分かり易いプレゼンをしてくれました。

研究は、医師がジョイスティックなどを操作することで、カメラが同じ視点に対して視角変更を実行し、それにより視野が見やすくなるシステムを構築するものです。従来の手術支援ロボットのダ・ヴィンチは立体画像を用い、物理的にカメラの位置・視角を変えることで、視点変更をしています。一方、この研究ではカメラの位置を変える必要がなく、画像処理を使ったバーチャルリアリティ(VR)を作っています。

現在、内視鏡手術の対象が拡大しており、小児外科では手術創が小さいので内視鏡を使って手術創の画面を拡大し、高齢者には、内視鏡手術は低侵襲のため手術後の早期の社会復帰が可能となります。標準的な内視鏡手術では、直径30mm程度の切開創に内視鏡などを差し込み、カメラの映像を外のディスプレイに表示して、医師はそれを見て手術をします。標準的な棒形の内視鏡の直径は10mm程度です。普通の内視鏡手術では3つ程度の切開創に、真中に内視鏡を挿入しますが、単孔手術もあり、内視鏡と術具を同じ切開創から入れます。内視鏡手術は患者には色々なメリットがありますが、医師は画面を見ながら術具を操作しますので、普通の手術より非常に難しく、高いテクニックが要求されています。そのため手術支援ロボットの開発が行われており、この研究も小児を対象とし、小さいロボットの手で手術を行う手術支援ロボットを開発しています。

手術支援ロボットの内視鏡の課題は、一つは視野の解像度の低いこと、もう一つは切開創から差し込むので、その位置により視点が制限され、カメラの自由度が低いことです。この問題を解決するために、直視から斜視に切替可能な臨床応用済の内視鏡とか、多関節の蛇型ロボットの先端にカメラを付けたロボティクスの手法も行われています。ただ、手術の条件とか異なる症状によって、ロボットの自由度の要求も異なり、標準化が必要になります。また、自由度を増やすと関節が増え、制御が難しくなり、患者の組織との干渉のリスクも増大します。医療の分野では、臨床試験が必要なので標準化は現実には困難のようです。先生らの研究は、狭い手術空間でも展開できる物理的な制約のない自由な視点を実現するものです。その手段として画像処理により疑似的な視点変更を実現します。画像処理というソフトウェア的な手段のため、普通の内視鏡でも搭載でき、手術分野で高い汎用性を持ちます。画像処理を用いる先行研究として、対象を囲むように配置したカメラアレイの画像から3次元形状を再構成する研究とか、画像処理技術を用いた内視鏡映像の疑似的視点変更システムの開発がされていますが、これらは医師とのリアルタイムのインタラクティブ性が欠如し、また手術への影響が評価されていません。研究はインタラクティブに操作できる疑似的視点変更システムを開発し、これが手術手技への影響を検証

するものです。

研究のプロセスは、まず疑似的視点変更システムの構築、次にその性能評価、特に仮想の現実感の検証が必要で、そして、システムの検証が終わりましたら、臨床的な実験環境での有用性の評価を行います。有用性評価は、腹腔鏡下手術訓練タスクを参考として、実験モデルを構築します。最後に、研究室が開発したロボットに搭載して、有用性評価実験を行う予定です。ここでの手術訓練タスクは、医師が内視鏡でトレーニングすることです。腹腔鏡手術練習のために、患者の腹部、切開創を模擬したアクリル製トレーニングボックスを用い、鉗子などの術具を用いて訓練をします。有用性が評価されたら、九州大学病院の医師と連携して動物実験に移りますが、こういう実験タスクの設計も医師と相談しながら進めています。

次に疑似的視点変更システムの原理ですが、内視鏡から得た2次元画像のドロネー三角形分割を行い、両眼内視鏡の視差に基づく測距技術から得た距離情報を用いて、OpenGLにより三角形メッシュ描画で3次元再構成を行います。これをリアルタイムで行っています。手術部位が常に視界の中心にする必要がありますので、ジョイスティックを操作して、視界の中心を回転中心として視点の3次元位置の変換を行うことにより、異なる視点から手術部位を観察できる疑似的視点変更システムを構築します。現在このシステムの構築が完了しましたので、物理的にカメラの位置・視角を変えた時の映像と比較して、描画精度と遅延時間の2点からこのシステムの評価しました。2つの画像の間にどの位視覚の誤差があるかですが、視点変更が+25度~-25度の間なら、視覚誤差が許容値2.85度以内に抑えられ、システムは正常に使用者に正しい画面を提示できます。また、3次元でのデータ処理になるので遅延が懸念されます。実際の手術を行っている部位の画面から医師が見ている画面の遅延が、200m秒なら手術には影響がないという知見があります。そこで、目標として200m秒を設定、測定値は平均で113m秒、ばらつきは±10m秒程度で、違和感がないようです。

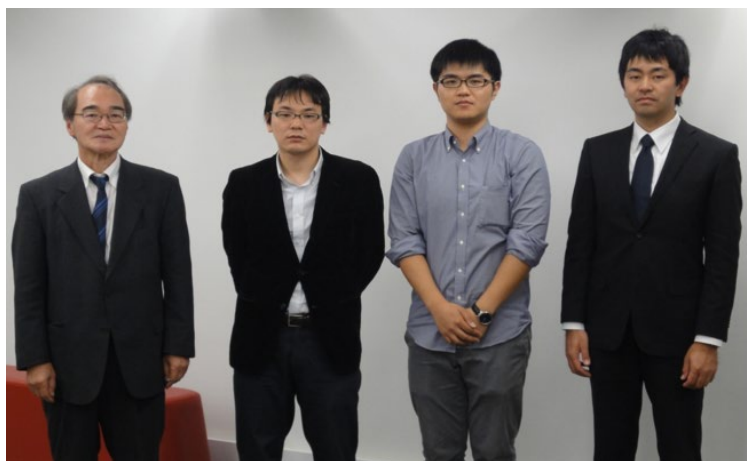
現在ここまで進んでおり、次の段階は臨床的有用性です。医師の協力を得て、視点変更の仮想現実感により操作性が向上するか、何か違和感があるかどうかの評価を前述の手術訓練タスクで行ってもらいます。最後はロボットに実装して有用性評価実験を行います。これからが本当の勝負のようで、特に医師に協力してもらうので、被験者数も必要になり、長くなるということです。新しい医療機器は、提案し承認審査を経て実際に使えるまで10年程度掛かり、多くの動物とか患者のデータが必要で、臨床実験の繰り返しでコストも掛ります。また、医工連携の研究は非常に難しく、現場に寄り添った研究の中で、如何に学術的な新規性をもさせるかに挑戦しているということです。

次に研究室の関連テーマの紹介を受けました。一つは内視鏡外科手術の術具遮蔽領域を提示するシステムです。鉗子を透明化することで鉗子に隠れた部分の画像を重ね合わせるAR技術です。二つ目は、医師が手術をしながら、その眼で内視鏡の方向を変えたり、画面を拡大したりする技術です。瞳孔の動きで被験者が画面のどこを見ているかの情報を利用して、カメラの方向を変えたり、画面を拡大したりします。眼の動作はかなり不安定で、その不安定な動作の生データを使うと、ロボットが暴走してしまうという問題も発生しています。それに対して、ロボットシステムで人の眼がどんな時が有意識的動作で、どんな時が無意識的動作か判別する研究も行っています。今までソフトウェア的なものはきちんと規制されていっていませんでしたが、最近は厚生省も認可の対象に入れるようで、議論されているということです。瞳孔の拡張現象を利用して、見ている対象の画面を拡大し、見やすくするシステムを作っていますが、メガネとかコンタクトを付けていると、計測精度が落ちます。ただ、一般的な使用と異なり、それ程不特定多数に対応する必要がありません。実験室の見学では、最初にジョイスティックを使って疑似的な視点変更システムを使った縫合実験の説明を受けました。次は前腕を切断された方を対象とした義手の研究です。研究の殆どが手先の指の操作ですが、研究室の研究は手首を操作するもので、手首を動かそうとすると筋肉が隆起するのに着目したものです。筋肉の隆起度を計測し、義手の手首の角度を変えます。最後に

眼で内視鏡を操作するアイゲイザー（Eye gazer）という視点計測装置を使った実験です。多数のランダムな点が現れ、被験者がその点をじっとみると、システムは被験者が各点を見る時の眼の動作量とかを学習して、その人に合わせて精度を調整します。医師の目線の動きで視点変更ができ、縫合など細かい作業をすると集中力が上がりますので、瞳孔が拡大し、それにより画面が拡大します。基本的にシステムは操作の目標点を画面の中心にもってきます。

手術支援ロボットの開発に向け、実体情報学、医工連携の重要性を認識した訪問でした。

（2016年11月4日、技術参与・飯塚）



中央左が小林先生、中央右が博士課程の曹氏

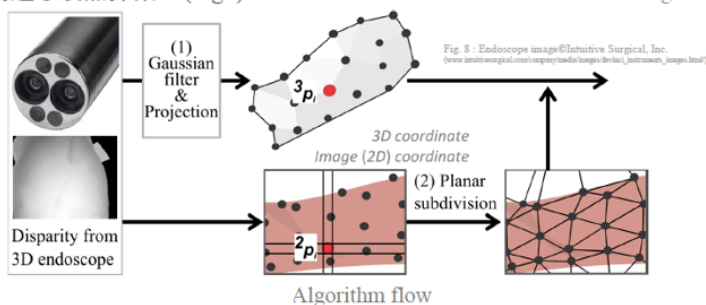
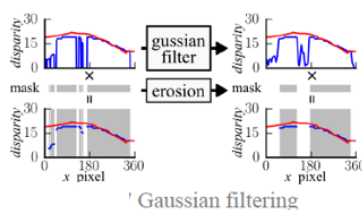
(1) 両眼視差に基づく3次元再構成

(Hirschmuller2005, Birchfield1998)

- マスク付きGaussianフィルタ

(2) ドローン3角形分割 (Chew1989)

- 補間最適な形状
- 高速な頂点探索 $O(\log n)$

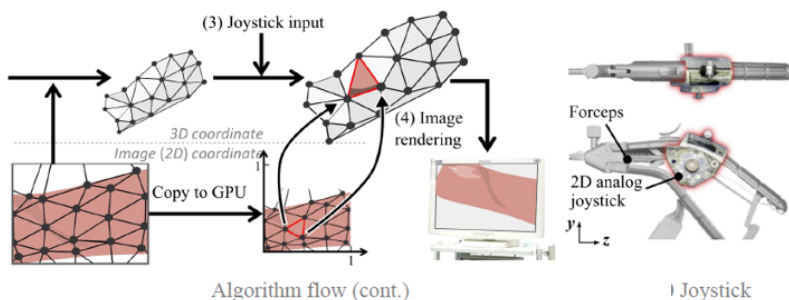


疑似的視点変更システム(1)

(3) 視点変更量の決定

- 組織表面を中心とした回転
- ジョイスティックによる視点入力

(4) OpenGLによるレンダリング



疑似的視点変更システム(2)