

論文題目：仮想化内視鏡システムを用いたナビゲーション診断と治療支援に関する研究
氏名：林雄一郎（480134030）

論文要旨

本研究では、仮想化内視鏡システムを用いたナビゲーション診断と治療支援について述べる。

近年、X線CT装置やMRI装置などのイメージング装置の発達により人体内部の高精細な画像が得られるようになった。この3次元画像は、計算機上に取り込むことで、計算機上で再構築された人体とみなすことができる。これを仮想化された人体（Virtualized Human Body; VHB）と呼び、計算機上で自由に操作して実際の患者の診断や治療に役立てようとする動きがある。VHB内部を自由に探索し、必要なら様々な特徴量を計測して、実際の患者を診断することをナビゲーション診断という。また、VHBに変形を加えて、その様子や結果を自由に観察することは治療支援につながる。このナビゲーション診断と治療支援を実現するツールの一つとして、仮想化内視鏡システム（Virtualized Endoscope System; VES）がある。VESは人体内部の自由な観察環境を提供するものであり、ユーザはVHBの内部・外部を問わず、自由に視点位置・視線方向を変更しながら臓器を観察することができる。

本研究では、VESを用いてVHBを扱い、ナビゲーション診断と治療支援を高度化する技術について述べる。具体的には、

- (1) 多時相造影CT像からの肝臓領域抽出手法、
- (2) 仮想化内視鏡システムにおける未提示領域の検出と提示手法、
- (3) 未提示領域に基づくバーチャルコロノスコピーの観察手法の定量評価、
- (4) 腹腔鏡下手術支援のための仮想腹腔鏡像作成、

について述べる。

(1) 多時相造影CT像からの肝臓領域抽出手法

VESにおいて高度なナビゲーション診断と治療支援機能を実現するためには、入力された3次元画像から各臓器領域を抽出することが重要な前処理となる。そのため、人体内部の様々な臓器の抽出法が研究されているが、本研究では肝臓に注目してその抽出手法を検討する。肝臓の診断には多時相造影CT像が用いられるが、本研究では、肝細胞がんの診断に重要とされる早期相、晚期相からの肝臓領域抽出を行う。晚期相においては、CT値ヒストグラムの解析から、肝臓に対応するCT値の範囲を自動決定し、しきい値処理によっておおまかな肝臓領域を抽出する。次に、ユークリッド距離に基づく図形分割・統合処理により、肝臓に接している他臓器を除去し、最後に輪郭を補正して肝臓領域を得る。早期相に対しては、晚期相から抽出した肝臓領域を早期相のCT像にマッピングし、輪郭を修正することで肝臓領域を得る。本手法を実際の多時相X線CT像に適用した結果、肝臓領域が良好に抽出可能であった。

(2) 仮想化内視鏡システムにおける未提示領域の検出と提示手法

ナビゲーション診断において観察対象の臓器全体を観察することは重要である。特に異常部位が存在するかを診断する場合には、観察していない領域に病変などが存在すると見落とすことになる。VESでは臓器内をフライスルーしながら対象臓器の観察を行うが、丁寧に観察したとしても臓器の形状から全ての領域を観察することが困難な場合がある。そこで本研究では、ユーザがVESでフライスルーを行った時に画面に表示しかなかった領域（未提示領域）を特定し、フライスルー終了後に未提示領域を提示することで臓器全域の観察

を補助する手法を提案する。VES の主な表示法として、サーフェスレンダリング(SurR)法とボリュームレンダリング(VolR)法がある。SurR 法では、臓器形状は三角形パッチ群を用いて表現されるため、フライスルーの間に画面に表示されたパッチを特定する。VolR 法では画面に表示された領域を陽には決定できないため、フライスルー中の各仮想化内視鏡像において、投影面(画面)に表示された 3 次元画像の画素を推定する。本手法を実際の気管支、大腸のデータに適用し、未提示領域の検出が可能であることを確認した。

(3) 未提示領域に基づくバーチャルコロノスコピーの観察手法の定量評価

VES を大腸に適用したものをバーチャルコロノスコピー(Virtual Colonoscopy; VC)と呼び、現在、欧米を中心として大腸がんのスクリーニングへの利用が注目されている。医師は手動あるいは自動で大腸内部をフライスルーし、臓器内壁を観察するが、大腸内部に存在するハウストラと呼ばれるひだによってフライスルー中に死角が生じ、病変部等を見落とす危険性がある。そのため、大腸観察時に用いられている VC の自動フライスルーにおいて、どの程度観察できない領域が存在するか調べることは重要である。そこで本研究では、未提示領域検出手法を用いて大腸内部の自動フライスルー時に未提示領域がどの程度存在するかの調査を行った。実際の腹部 X 線 CT 像 10 例より得られた大腸領域に対してその芯線に沿った自動フライスルーを実行し、フライスルー後に大腸領域に占める未提示領域の割合を調査した。実験の結果、SurR 法、VolR 法どちらの表示法でも全大腸領域の約 30%が未提示領域となった。これはどの症例においてもほぼ同じであり、芯線に沿った自動フライスルーでは多くの領域が表示されないことが明らかになった。

(4) 腹腔鏡下手術支援のための仮想腹腔鏡像作成

ナビゲーション診断の過程で対象の臓器を積極的に変形することは、外科手術のシミュレーションとなり、治療の支援に結びつく。本研究では、CT 像の腹壁領域を変形することで仮想腹腔鏡像作成する手法について述べる。近年、低侵襲手術の一つである腹腔鏡下手術が広く行われるようになってきた。腹腔鏡下手術で用いられる腹腔鏡は視野が狭く観察範囲が限定されたため、外科医の負担は大きい。そこで本研究では、気腹(腹腔内にガスを注入して、腹腔内にスペースを作成すること)をシミュレートして、術前に撮影した CT 像から仮想的な腹腔鏡像を作成することで医師を支援する方法を検討する。仮想腹腔鏡像が作成できれば、術前に病変と周辺臓器の位置関係を把握することで、手術法の検討を行い、腹腔鏡や鉗子の挿入位置などといった手術法を計画することが可能となる。手術中には、実際の腹腔鏡からは見ることのできない様々な位置・方向から臓器を観察できることから、鉗子の周辺にどのような臓器が存在するかを知ることが可能となり非常に有用である。本研究では、術前に撮影した X 線 CT 像から腹壁を抽出し変形することで、腹壁が持ち上げられた仮想腹腔鏡像を作成する。まず腹壁領域を抽出し、抽出した腹壁領域から四面体の各辺をばねとする変形用モデルを作成する。このモデルに対し、ばねによる力、各四面体の体積を保存するような力をかけて変形させる。変形前と変形後のモデルの位置関係を用いて CT 像を再構成することで変形後の CT 像が作成される。本手法を実際の X 線 CT 像に対して適用した結果、腹壁が持ちあがった状態での仮想腹腔鏡像が得られたことを確認した。