

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主論文の要旨

論文題目 CT画像を用いた大腸がん診断支援に関する研究

氏名 小田 昌宏

論文内容の要旨

本論文では、画像処理技術に基づく、CT画像を用いた大腸がん診断支援に関する研究について述べる。

わが国および諸外国において大腸がんによる死亡数は多く、肉食の増加に伴いその数は増え続けている。大腸がんが進行すると他臓器へ転移し治療が困難となるため、定期健診において大腸がんの前段階であるポリープを発見し切除することが重要である。しかし、現在の大腸診断法は患者へ多くの負担を与え、穿孔など合併症を起こす場合があるため、定期健診で実施することが難しい。近年、X線CTなどの医用イメージング機器の発達により、人体内部を画像化し計算機に取り込むことが可能となった。腹部のCT画像を用いて計算機上で大腸の画像診断を行う手法はCT colonography (CTC)と呼ばれており、現在の大腸診断法の問題点を解決する新たな診断方法として利用が期待されている。CTCは現在の大腸診断法と比較し、患者にかかる負担を軽減するものであるが、診断を行う上で医師にかかる負担は軽減されていない。本論文では、CTCを用いた大腸診断における医師への負担を軽減する手法について述べ、患者と医師双方の負担が少ない大腸診断の実現を目指す。具体的には、

- (1) ひだや屈曲の多い管腔臓器である大腸の内壁面全体を効率的に観察可能な可視化手法 (大腸仮想展開像の歪み軽減手法)、
- (2) 大腸診断時の病変見落としを軽減するための病変検出手法 (ポリープ検出手法)、
- (3) 2姿勢のCT画像上の大腸の位置対応関係を求め、表示部位の同期をとりながらの観察を行うための手法 (大腸ひだ検出手法)、

の3項目について述べる。

(1) 大腸仮想展開像の歪み軽減手法

大腸はその壁面に多数のひだが存在し、屈曲の多い複雑な形状である。そのため、CTCを用いた診断時、大腸壁面を観察するために仮想カメラの視点位置・視線方向変更操作を何度も行う必要があり、診断を行う医師の大きな負担となる。そのため、大

腸壁面を効率的に観察可能な可視化手法が必要である。大腸を仮想的に切り開き2次元平面に展開した大腸仮想展開 (virtual unfolded: VU) 像は、大腸壁の広範囲を一目で観察可能とする。大腸中心部を通る芯線に直交する方向に大腸を輪切りにし、内壁面情報を含む輪切りのスライスを直線状に再構成して平面上に配置することで、VU像を作成することができる。このような簡単な方法では、大腸の曲がった箇所ですлайスが互いに交差し、像に穴状の歪み (偽穴) が生じる場合がある。また、大腸の局所的な太さに関係なく一定の縦幅の像を生成するため、VU像上で大腸の細くくびれた部分が引き伸ばされる。これらの問題を軽減したVU像生成手法がいくつか提案されているが、どれも像の生成に長い時間を要するという問題を持っていた。CTCでは、利用者の観察したい部分のVU像を即座に提示できることが利便性につながるが、従来のVU像生成手法では利用者の操作に応じて即座にVU像を生成することが困難であった。本論文では、ばねモデルによる偽穴軽減と、VU像の縦幅変更による歪み軽減を行う。ばねモデルを用いた偽穴軽減では、芯線に直交する平面の間にばねを張り、ばねの力に従って平面の向きを変更することで、互いの交差が少ない平面の向きを求める。さらに、歪みを軽減したVU像を1秒間に数十回描画可能とし、VU像の端部で病変部が切れて表示されている場合でも、VU像の表示領域を変更して病変部が切れ目なく表示された像を即座に得ることを可能にした。また、ボリュームレンダリングの描画パラメータを変更することで大腸壁面下の様子も観察できる。

(2) 電子洗浄が不要な残渣マーキング CT画像からの大腸ポリープ検出手法

大腸がんの前病変であるポリープを計算機により自動検出し医師に提示することで、診断時の見落とし軽減と発見率向上が期待できる。大腸診断においては、ポリープを発見することが大腸がん発生の減少に結びつく。ポリープは大腸壁面から凸状に突起した形であり、この特徴的な形状を基に、計算機による検出が可能である。しかし、大腸内には液体や便などの残渣が存在し、残渣に埋もれたポリープもある。この残渣中のポリープは、計算機による検出において見落とされる場合が多い。CT画像からのポリープ検出手法はこれまで様々なものが提案されているが、そのほとんどは残渣に埋もれたポリープを検出することができない。残渣マーキング CT画像を用い、画像処理により残渣を除去 (電子洗浄) すれば残渣に埋もれたポリープも検出可能となる。しかし、電子洗浄はポリープの見落としや誤検出増加を引き起こす場合がある。本論文では、電子洗浄を使わずに残渣マーキング CT画像からポリープを検出する手法について述べる。ポリープのCT値は空気領域より高く、造影された残渣より低い。空気領域中に存在するポリープは、中心に向かうほどCT値が高くなる濃淡構造 (塊状構造) を持つ。逆に、造影された残渣領域中に存在するポリープは中心に向かうほどCT値が低くなる濃淡構造 (逆塊状構造) を持つ。本論文ではヘッセ行列の固有値を用いた局所濃淡構造の分類手法を利用し、空気領域内のポリープ (塊状構造) ならびに造影された残渣領域内のポリープ (逆塊状構造) を同一モデルのフィルタにより検出する手法を提案する。

(3) 大腸ひだ検出手法

CT画像上で残渣に埋もれて観察困難な領域をなくすため、大腸検査では仰臥位と伏

臥位の 2 姿勢で CT 画像の撮影を行う。CTC システムにおいて、2 姿勢の CT 画像それぞれの仮想大腸内視鏡像を提示する場合、大腸の観察中に仮想カメラ操作を 2 姿勢それぞれに対して別々に行う必要がある、操作する医師の負担が大きい。そこで、CTC システム上で自動的に表示位置の同期をとりながら 2 姿勢の画像を同時に提示することで、診断を行う際の医師の負担が軽減すると考えられる。この表示位置同期のため、2 姿勢の大腸の位置対応関係を求める必要がある。この位置対応関係とは、大腸内で位置的な目印となるもの（ランドマーク）を認識し、2 姿勢間で同一のランドマーク同士を対応付けたものを指す。大腸内には多数の大腸ひだが存在し、それぞれの大腸内での位置は姿勢を変えても変化しない。そのため、大腸の位置対応関係を求める上で大腸ひだの位置対応関係が利用可能である。つまり大腸ひだをランドマークとして使う。本論文では、2 姿勢の大腸の位置対応付けを目的とした大腸ひだ検出手法について述べる。大腸ひだ先端部分の濃淡構造は尾根型であり、この部分の局所領域を近似した多項式からヘッセ行列の固有値を算出すると特徴的な値を示す。そのため、ヘッセ行列の固有値を用いた尾根型構造強調フィルタを作成し、大腸ひだの検出を行う。

本論文は 6 つの章からなる。第 1 章は序論であり、大腸がんや医用画像を用いた大腸がん診断支援の説明などを含めた研究の背景、大腸がん診断支援に必要とされる事柄および、これらを踏まえた本研究の位置づけと目的を述べる。第 2 章では、これ以降の章で CT 画像の 3 次元表示に用いるボリュームレンダリングの方法を簡単に紹介する。

第 3 章では、歪みの少ない VU 像の生成手法について述べる。従来の VU 像生成手法では像に偽穴を生じる。また、大腸の局所的な太さが考慮されず、一定の縦幅の像を生成すると、VU 像上で大腸の細くくびれた部分が引き伸ばされてしまう。これらの問題を軽減するため、レイ交差軽減と VU 像の縦幅変更により歪みを軽減する手法を本章で説明する。本手法を用いて CT 画像から大腸の VU 像を生成し、レイ交差軽減と VU 像の縦幅変更が像の歪みを軽減することを示す。

第 4 章では、電子洗浄が不要な残渣マーキング CT 画像からの大腸ポリープ検出手法について述べる。残渣内のポリープを検出することができないという従来手法の問題点を解決するため、空気領域中のポリープだけでなく残渣領域中のポリープも検出可能な手法を作成する。具体的には、ヘッセ行列の固有値を用いた塊状および逆塊状構造強調フィルタを用いて、空気領域中および残渣領域中のポリープをそれぞれ検出する。この手法を CT 画像 104 例に適用し、検出性能の評価を行う。

第 5 章では、大腸ひだ検出手法について述べる。仰臥位と腹臥位の 2 姿勢の CT 画像を用いた大腸ポリープ診断時の医師の負担を軽減するため、2 姿勢の大腸の位置対応関係を求めることが必要となる。位置対応関係を求めることで、CTC システム上で 2 姿勢の CT 画像を表示位置の同期をとりながら提示することが可能となる。本章で説明する手法は、大腸の位置対応関係を求めるためのランドマークとして利用可能な、大腸ひだの検出を行うものである。大腸ひだ検出のため、ヘッセ行列の固有値を用いた尾根状構造強調フィルタを作成する。このフィルタを用いた検出処理を実際の CT 画像に適用し、検出性能を評価する。

最後に、第 6 章において本論文を総括し、今後の課題と展望について述べる。