

氏名	前田 真也		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	工博甲第363号		
学位授与の日付	平成26年3月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	胸部CT画像における経時的画像解析手法に関する研究		
論文審査委員	主査	教授	金 亨燮
		教授	石川 聖二
		教授	田川 善彦
		教授	坂本 哲三
		教授	前田 博
	産業医科大学 准教授		青木 隆敏

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、胸部 CT 画像における経時的画像解析手法について述べる。

医用画像技術の発展により、臨床における画像診断は必要不可欠なものとなっている。その一方で、被験者一人当たりの画像枚数の増大に加え、集団検診における多人数を対象とした画像読影や、定期検診における同一被験者の時系列的な画像読影など、多量の画像読影が必要不可欠な現状では、医師への負担増は大きな問題である。このような背景から、コンピュータ支援診断システム (Computer Aided Diagnosis ; CAD) が注目されている。CAD システムとは、計算機による画像解析により診断に有用な情報を抽出し、「第 2 の意見」として医師へ提示することにより、画像診断を支援するシステムである。本研究では、重要疾患のひとつである肺がんの診断に用いられる、胸部 3 次元 CT 画像における画像診断支援のための、経時的画像解析手法についての検討を行った。

経時的画像解析では、経時画像間の変化部分を検出することが必要であり、経時画像間の差分処理により実現される。このとき、経時的変化の正確な検出には経時画像間の位置合わせ (レジストレーション) が必要不可欠な前処理となる。さらに、検出された経時的変化から、診断に必要な情報を抽出することにより、有用な CAD システムの実現が期待される。そこで、本論文では、画像レジストレーション、経時的差分手法、CAD システムを対象とし、胸部 CT 画像においてこれらを実現するための画像解析手法について述べる。本論文は、以下に示す全 6 章から構成される。

まず、第 1 章では、序論として医療分野における画像利用の状況やその問題点、また関連研究について述べ、本研究の背景および研究目的を示した。

第 2 章では、経時画像解析の前処理として重要となる、経時 CT 画像間のレジストレーション手法について述べた。ここでは、レジストレーション精度を保ちつつ、計算量を低減する手法について検討した。具体的には、Octree データ構造により画像を適応的に細分化しながら、レジストレーションを行う手法を提案した。本手法では、Octree による各分割レベルにおいてレジストレーションを行うことにより、階層的な処理が可能となる。このとき、Octree のノー

ドが肺野領域を含むかどうかを条件として用いることにより、計算対象ノードを限定することが可能となり、計算量増加を抑制することが可能であることを示した。また、13 症例の正常症例の経時 CT 画像データ群に対して実験を行い、レジストレーション精度を損なうことなく、処理時間を削減可能であることを示した。

また、第 3 章では引き続き、第 2 章で問題となった経時 CT 画像間のレジストレーションの精度向上のための改良法について述べた。ここでは、胸部 CT 画像を対象としたレジストレーションにおいて問題となる、肺血管などの微細構造部分のレジストレーション精度の改善について検討した。提案手法では、レジストレーションにおける類似度の尺度として、血管構造情報に着目した新しい類似度の尺度を提案した。具体的には、血管構造らしさ、および血管走行方向を血管構造情報とし、経時 CT 画像間における血管構造情報の類似度を、新しい尺度として取り入れた。この血管構造の類似度を、最適化処理における評価関数に組み込み、経時 CT 画像間の非剛体変形を求めた。提案手法を 17 症例（正常 13 症例、異常 4 症例）の経時 CT 画像データに適用した結果、細部の血管部分の位置合わせが可能となり、微細構造を持つ画像間のレジストレーション手法としての有用性を示すことができた。

次に、第 4 章では、経時 CT 画像間の濃度分布の違いに起因する、経時的差分画像上のアーチファクトの低減法について述べた。濃度分布の違いによるアーチファクトは、レジストレーションの改善のみでは対応が困難である。そこで提案手法では、背景濃度傾向補正により、三次元 CT 画像全体にわたる濃度分布の背景傾向を補正した。また、濃度情報とは独立した情報として Generalized Gradient Vector Flow から得られる濃度勾配情報をもとにレジストレーションを行った。提案手法を、69 症例（正常 4 症例、異常 35 症例）の経時 CT 画像データに適用し、経時 CT 画像間の背景濃度傾向の違いによる、アーチファクトの低減を確認した。

さらに、第 5 章では、経時的な画像特徴量を用いた、結節状陰影の検出手法について述べた。提案手法では、経時的差分手法により得られた経時的変化部分を検出し、陰影候補領域とした。また、従来まで用いられてきた現在画像上の形状特徴量に加え、経時的な画像特徴量として、過去画像上の濃度特徴量を用いることにより、偽陽性陰影の削減を試みた。提案手法を、結節状陰影を含む 6 症例（結節状陰影 87 個）の経時 CT 画像データに適用した結果、偽陽性陰影の削減に対する効果を示すことができた。

最後に、第 6 章では、本論文で得られた結果をまとめ、今後の課題や展望について述べた。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

医用画像技術の発展により、臨床における画像診断は必要不可欠なものとなっている。その一方で、被験者一人当たりの画像枚数の増大に加え、集団検診における多人数を対象とした画像読影や、定期検診における同一被験者の時系列的な画像読影など、多量の画像読影が必要不可欠な現状では、医師への負担増は大きな問題である。このような背景から、コンピュータ支援診断システム (Computer Aided Diagnosis; CAD) が注目されている。CAD システムとは、計

算機による画像解析により診断に有用な情報を抽出し、「第2の意見」として医師へ提示することにより、画像診断を支援するシステムである。本論文は、重要疾患の一つである肺がんの診断に用いられる、胸部3次元CT画像における画像診断支援のための、新しい経時的画像解析手法を提案している。

画像上の経時的変化の検出には、画像間のレジストレーション（位置合わせ）技術が必要不可欠である。これまでに提案された3次元胸部CT画像の経時的差分像生成法のほとんどは、テンプレートマッチングを主とした解析で、非剛体の画像位置合わせには限界がある。著者は、3次元非剛体画像位置合わせ法や経時的差分像からの結節状候補陰影の抽出法を提案している。主な成果を以下に示す。

著者はまず、画像解析の前処理として重要となる、異なる時系列から得られるCT画像間の位置合わせ法として、精度を保ちつつ計算量を低減するため、Octreeデータ構造による細分化法を提案している。本論文では、Octreeのノードが肺野領域を含むかどうかを条件として、計算対象ノードを限定することにより、計算量増加を抑制する手法を提案し、実CT画像データ群に適用した結果、位置合わせ精度を損なうことなく、処理時間を削減可能であることを示している。

次に著者は、経時CT画像間の位置合わせのさらなる精度向上を図るため、肺血管などの微細構造部分の位置合わせ精度の改善法を提案している。提案法では、位置合わせにおける類似度の尺度として、血管構造情報に着目した新しい類似度による評価法を提案している。具体的には、血管構造らしさと血管走行方向を血管構造情報として与え、経時的CT画像間における非剛体変形法を提案している。提案法を実CT画像データに適用した結果、細部の血管部分の位置合わせが可能となり、微細構造を持つ血管影の位置合わせ法としての有用性を示している。さらに、濃度分布の違いに起因する、経時的差分画像上のアーチファクトの低減を図るため、背景濃度傾向補正を行った後、Generalized Gradient Vector Flowから得られる濃度勾配情報を用いた画像位置合わせ法を提案している。提案法を実CT画像データに適用し、経時的CT画像間の背景濃度傾向の違いによるアーチファクトの低減を確認している。

最後に著者は、画像特徴量を用いた結節状候補陰影の検出法を提案している。経時的差分法により得られる初期候補陰影から、現在・過去画像上の形状・濃度特徴量による識別器を構築し、結節状陰影を含む実症例のCT画像データに適用した結果、従来法に比べて偽陽性陰影の削減に効果があることを示している。

本論文は、医師不足が深刻化している現状から、読影医の負担軽減を図るための新しい画像解析法を提案したもので、臨床分野における波及効果が大きく、実用化による診断の効率化が期待できる。また、医用画像処理分野のみならず、一般物体の経時的変化を定量的に解析するための画像解析にも応用が可能で、パターン認識を主とした画像処理分野への応用にも貢献できる。

本論文に関して、公聴会に出席した審査委員や聴講者から、非剛体画像位置合わせ法

の精度や実用化のための今後の展開等の質問がなされ、いずれも著者の適切な回答によって理解が得られた。また、公聴会終了後の最終試験においても、最適化法の実装や製品化のための将来展開等の試問がなされ、著者から適切な回答が得られた。

以上より、論文審査及び最終試験の結果に基づき、本学位論文審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。