

氏名	板井善則		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	工博甲第275号		
学位授与の日付	平成21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画像の経時的差分技術の開発と結節状陰影の自動検出への応用に関する研究		
論文審査委員	主査	准教授	金 亨 燮
		教授	石 川 聖 二
		〃	田 川 善 彦
		〃	前 田 博
		〃	桂 川 茂 彦

## 学位論文内容の要旨

近年、画像診断の分野では診断の高精度化・診断精度のバラツキの低減を目的としたCAD (Computer Aided Diagnosis) が注目されている。CADとは、計算機により医用画像を解析・定量化した結果を、医師が「第2の意見」として利用する診断のことを指す。これまでに、マンモグラフィを始め、胸部単純X線写真、超音波画像、CT、MRI、PET、SPECT等の様々な医用画像に対するCADの研究・開発が行われてきた。これらの技術は、診断能向上に関する研究だけではなく、CADを利用した読影実験に関する研究も盛んに行われ、その効果が期待されている。

本研究では以下の三つの課題を取り上げ、その解析法について述べる。

- ① 関心領域のセグメンテーション手法
- ② アーチファクトの少ない経時的差分技術の開発
- ③ 経時的差分技術の結節状陰影の検出への応用

これらの技術を開発することにより、多数の画像診断を行う医師への診断支援を行うためのコンピュータ画像診断支援法の構築が図られる。

本論文は、以下に示す全八章から構成されている。

第一章では、本論文の序論として、医療分野におけるCADの位置付けや関連研究、また本研究を遂行するに至った研究背景、および研究目的を述べた。

第二章では、胸部CT画像からの肺領域の自動抽出法について述べた。本章では、閾値処理と動的輪郭モデルを併用した領域抽出法を提案し、胸部MDCT画像上の肺領域の自動抽出を試みた。結節状陰影を含む胸壁部位や、形状が複雑な縦隔部位において、閾値処理による抽出結果と比較することにより、提案手法の有効性を確認した。

第三章では、胸部MDCT画像に対する経時的差分技術に関する研究成果を述べた。始めに、従来提案された胸部単純X線画像に対する2次元画像変形手法を、新たに3次元画像変形手法へと拡張し、胸部MDCT画像に適用した。また、変形量の整合性を考慮したElastic matching法を3次元に拡張することにより、位置合わせ精度の向上を試みた。さらに、GAを適用することにより、ローカルマッチングにおける計算アルゴリズムの高速化を行い、計算時間の短縮を実現した。実験結果より、胸部CT画像に対する経時的差分技術により、結節状陰影の強調および正常影の抑制効果を確認した。また、ヒストグラムを用いた画質解析により経時的差分画像のアーチファクトを定量化した結果、提案手法による経時的差分画像の画質改善を確認した。また、GAにより計算時間の大幅な軽減が達成され、変形パラメータの増加に対する提案手法の有効性についても示唆された。

第四章では、ボクセルマッチング (VM) 法による経時的差分画像のアーチファクトの低減に関する研究を述べた。第三章で提案した経時的差分技術に対し、新たに開発したVM法を応用し、胸部MDCT画像に適用した結果、大幅なアーチファクトの低減を確認した。また、アーチファクトの低

減に伴い、新たに出現した結節状陰影や結節状陰影の経時変化の強調表示を確認した。ヒストグラムおよび ROI (Region of Interest) を用いた解析により、VM 法によるアーチファクトの低減量を定量的に評価し、また、VM 法による血管領域の除去能力を確認した。

第五章では、経時的差分技術を用いた胸部 CT 画像からの結節状陰影の検出に関する研究について述べた。第四章で提案した VM 法により得られる経時的差分画像を入力画像として与え、結節状陰影の偽陽性陰影の削減を試みた。経時的差分技術に識別処理を併用することにより、直径 20 [mm] 以上の結節状陰影に関しては、検出感度が 97 [%] のとき偽陽性陰影が 1.2 [個/scan] と良好な結果が得られた。また、直径 20 [mm] 以下の結節状陰影についても、良好な検出結果が得られた。

第六章では、構造マッチング法による偽陽性陰影の削減について述べた。新たに提案する構造マッチング法を用い、画素単位の差分では除去が困難であったアーチファクトと経時変化の識別を試みた。実験結果より、構造マッチング法を用いることにより、結節状陰影の空間特徴では取り除くことが困難であった偽陽性陰影の除去を確認した。

第七章では、第二章から第六章までに述べた研究を総括し、考察を述べた。

第八章では、本論文で得られた結論をまとめ、今後の課題や展望などについて述べた。

## 学位論文審査の結果の要旨

近年、診断の高精度化・診断精度のバラツキの低減を目的としたコンピュータ画像診断支援 (CAD; Computer Aided Diagnosis) が注目されている。CAD とは、計算機により医用画像を解析・定量化した結果を、医師が「第 2 の意見」として利用する診断のことを指す。これまでに、マンモグラフィを始め、胸部単純 X 線写真等の様々な医用画像に対する CAD の研究・開発が行われ、読影実験に関する成果から疾病の早期発見・早期治療に関する効果が期待されている。

本研究では、胸部の CT 画像を処理対象とし、CAD を開発するための解析法を提案した。具体的には、

- ① CT 像からの関心領域の自動抽出法
- ② 経時間の変化を強調表示するための差分像におけるアーチファクトの低減法
- ③ 経時的差分技術を利用した結節状陰影の候補陰影の自動検出法

の開発を行い、実画像データを用いた実験から、その有効性を確認した。

まず、胸部 CT 画像からの肺領域の自動セグメンテーション法の開発では、閾値処理と動的輪郭モデルを併用したセグメンテーション法を提案し、閾値処理では抽出が困難であった結節状陰影を含む胸壁部位や、形状が複雑な縦隔部位において良好なセグメンテーション結果を得ることができた。

次に、胸部 MDCT 画像に対する経時的差分技術の開発では、従来提案された胸部単純 X 線画像に対する 2 次元画像変形手法を、新たに 3 次元画像変形手法へと拡張し、胸部 MDCT 画像に適用した。また、変形量の整合性を考慮した 3 次元 Elastic matching 法を新たに考案し、位置合わせ精度の向上を図った。また、GA を適用することによる計算アルゴリズムの高速化を行い、大幅な短縮を実現した。

経時的差分画像には、数画素程度の位置ずれや経時画像間の正常構造の画素値の相違による Artifacts が含まれるため、Artifacts を低減するためにボクセルマッチング (VM) 法を新たに開発した。VM 法は、変形画像を生成する際に、参照画像の画素値に最も近い目的画像の画素を探索する手法であり、位置ずれと画素値の相違の補正を同時に行うことが可能である。経時的差分技術に VM 法を応用した結果、大幅な Artifacts の低減を確認した。これにより、新たに出現した結節状陰影や結節状陰影の経時変化の強調を確認した。VM 法を用いた経時的差分技術は、胸部 MDCT 画像だけではなく、他のモダリティに対しても応用が可能である。

また、経時的差分技術を用いた胸部 CT 画像からの結節状陰影の検出に関する研究を行い、VM 法により得られる経時的差分画像を入力画像として与え、結節状陰影の偽陽性陰影の削減を試みた。さらに、構造マッチング法による偽陽性陰影の削減手法を提案した。本研究では、結節状陰影を検出するため、選択強調フィルタや特徴量の導出、ルールベース法、ANN による識別を行った。実験結果より、比較的大きな結節状陰影に関しては、良好な結果が得られた。

以上より、本研究では画像診断の高精度化・診断精度のバラツキの低減を目的とした CAD の開発を行うため、胸部 CT 像からの関心領域の自動抽出法の開発、経時的な変化を効率的に強調表示する

ための差分像生成法の開発、さらに、差分像からの異常陰影候補領域の自動抽出法の開発を行った。特に、経時的差分技術は、コンピュータビジョンを主とする画像解析分野への応用が可能であり、大きな学術的知見を与えている。また、差分像からの候補陰影の強調表示法の開発は、医師不足が深刻化されている現状から、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。

本論文に関して、公聴会に出席した教員や審査委員から専門的な質問がなされ、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、公聴会終了後の審査会においても、本研究の専攻分野との関連性や将来展望等の試問がなされ、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。