

氏 名 (本籍)	篠 原 範 充 (岐阜県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学位授与番号	甲第 259 号
学位授与日付	平成 17 年 3 月 25 日
専 攻	電子情報システム工学専攻
学位論文題目	乳房X線写真における画像特性とコンピュータ支援診断システムに関する研究 (Studies on basic imaging properties and computer-aided diagnosis systems in mammography)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 藤 田 廣 志 (副査) 教 授 岸 田 邦 治 教 授 田 中 嘉津夫 助教授 原 武 史

論文内容の要旨

レントゲンにより 1895 年に X 線が発見されてから、これらを用いて得られる画像は現在の画像診断に大きく寄与している。これまで、医用画像は増感紙とフィルムを用いたアナログ画像が主流であった。しかし、現在は乳房 X 線写真を除いて、アナログ画像からデジタル画像に移行しつつある。

近年におけるデジタル技術の進歩は目覚ましいものがあり、医学分野においても広く応用されるようになってきた。医療におけるデジタル画像は、コンピューテッドラジオグラフィ (Computed Radiography : CR), X 線平面検出器 (Flat Panel Detector : FPD), コンピュータ断層 (Computed Tomography : CT) 装置, 核医学診断装置に代表される X 線を利用した画像に加えて、超音波装置, 磁気共鳴画像 (Magnetic Resonance Imaging : MRI) 装置などその種類は多岐にわたっている。これらの医用画像は、撮像法により様々な特徴をもっている。CT や MRI は、2 次元画像だけでなく 3 次元の情報が取得できるようになり、病変の位置や形状が明らかになった。X 線平面検出器, 超音波装置では、静止画のみならず動画像が取得できるようになった。さらに、核医学診断装置や MRI によって病態や病変の広がりに関する情報が得られるようになった。それに伴い、診断における画像への依存度は高まっており、その量はさらに増大することが予想される。

また、がんを早期発見するための有力な手段として集団検診があり、すでに多くの部位で画像診断が導入されている。医師は、大量の正常な画像から短時間で効率よく、ごくわずかの異常画像を発見することが要求される。そのため、疲労による注意力の低下や経験の浅い医師が診断する場合に病変を見落とす可能性がある。よって、コンピュータ解析により画像上にある病変部の位置や定量評価を医師に提示するコンピュータ支援診断 (Computer-aided Diagnosis: CAD) システムが要望され、これまで多くの報告が行われてきた。

CAD システムの主な目的は、2 つある。1 つ目は、コンピュータにより自動検出した病

変部を医師に提示することにより、見落とし症例を減少させることである。2つ目は、コンピュータにより病変部位の定量的な特徴量を示し、良悪性鑑別のような医師による主観的な診断のバラツキを少なくすることである。また、現在の医療現場医においてもコンピュータの高速な処理能力を用いて表示及び作業を効率化することが行われており、これらも広義の CAD といえる。

本研究では、乳房X線写真における特性曲線の測定法と工学的な画像認識や画像処理を適用したコンピュータ支援診断システムを提案し、その有効性を評価することである。本邦における乳がんの罹患率は増加傾向にあり、すでに平成 12 年には女性のがんの第 1 位になっている。厚生省（現 厚生労働省）からの通達によって、50 歳以上の女性に対しては、視触診と乳房X線写真を併用した検診が原則化された。しかし、読影医は不足しており、乳がんの見落とし率は約 30%もあるという報告もある。そのため、読影補助を目的とする CAD システムへの要望が大きくなっている。

本論文では、乳房X線写真の画像特性で最も重要である特性曲線の作成法について述べている。また、乳房X線写真の微小石灰化像の自動検出処理およびその良悪性鑑別と、すでに開発が進んでいる乳房X線写真用 CAD システムの臨床における有用性について述べている。

まず第 1 章では、本研究の背景および目的について述べ、本論文の位置づけを明確にしている。

第 2 章では、乳房X線写真の特性曲線の測定法について述べる。乳房X線写真は、現在も多くの施設でフィルムを最終出力としている。特性曲線の測定は、画像解析、画像評価を行う際には、必ず測定する必要がある。しかし、撮影条件と装置の構造上、測定することが困難である。そのため、新たに開発したリン酸カルシウムステップウェッジを用いて乳房X線写真の特性曲線を作成する方法を述べている。

第 3 章では、乳房X線写真用 CAD システムにおける微小石灰化像の検出法について述べる。これまで微小石灰化像を検出するための 3 重リングフィルタを考案し、その基本的なシステムはほぼ完成している。しかし、我々のシステムにおいて淡い微小石灰化を検出することは困難である。ここでは、淡い微小石灰化像を検出することを目的とし、高次局所自己相関特徴を用いたパターン認識法を提案する。さらに、この手法をこれまでのシステムに組み込み、その具体的な性能について記述している。

第 4 章では、乳房X線写真用 CAD システムにおける微小石灰化像の良悪性鑑別法について述べている。微小石灰化像の良悪性鑑別では、あまり用いられていないサンプリング間隔 $50\mu\text{m}$ の画像を使用した鑑別性能について述べている。この画像は従来の画像よりも淡く細かい微小石灰化像を認識できるが、それに伴い雑音も増大する。ここでは、前処理として信号対雑音比を効果的に改善するフィルタについて検討し、その具体的な性能について記述している。

第 5 章では、これまで同研究グループが開発を行ってきた乳房X線写真用 CAD システムが、実際の臨床において有用であるかを検討した結果について述べている。ここでは、医師が、フィルムのみで読影を行った結果と CAD システムを参考にして読影した場合の検出性能を評価した結果について述べている。これらの実験により、医師が検出する病変

と CAD システムが検出する病変の関係を明らかにしている。

第 6 章で本論文の結論をまとめている。

論文審査結果の要旨

本論文は、乳房 X 線写真を対象とした画質特性とコンピュータ支援診断 (Computer-aided Diagnosis : CAD) システムに関する研究成果をまとめたものである。その内容は、乳房 X 線写真に関する研究が中心であり、(1) 乳房 X 線写真の特性曲線の測定法、(2) CAD システムにおける微小石灰化像の検出法、(3) CAD システムにおける微小石灰化像の良悪性鑑別法、および、(4) CAD システムの臨床的な有効性に関する研究である。それらの研究過程では、画像処理、人工知能などの工学的な知見が多く用いられている。

X 線写真の特性曲線は、画像解析や画像評価を行う上で測定しておく必要がある基本的な特性である。しかし、これまで乳房 X 線写真においては、その撮影条件と装置の構造上の理由により、測定することが困難であった。本論文では、新たに開発したリン酸カルシウムステップウエッジを用いて、乳房 X 線写真の特性曲線を作成する方法を提案している。この測定法では、簡便に特性曲線が得られるため、臨床現場で画像解析・評価等に広く用いられることが期待される。

CAD システムにおける微小石灰化像の検出法の研究では、従来のシステムの問題点であった淡い微小石灰化像の検出性能を改善することを目的としている。本論文では、そのような淡い微小石灰化像を検出するために、高次局所自己相関特徴を用いたパターン認識法を提案している。そして、556 枚の乳房 X 線写真を用いて性能評価を行った結果、従来のシステムでは検出が不可能であった微小石灰化クラスタを検出しており、真陽性率 94%、偽陽性数 0.6 個/枚という高性能な結果を得ている。

CAD システムにおける微小石灰化像の良悪性鑑別法の研究では、 $100\mu\text{m}$ 画素を有する画像と $50\mu\text{m}$ 画素を有する画像を組み合わせる手法を提案している。そして、137 枚の乳房 X 線写真を用いて性能評価を行った結果、良悪性の鑑別の正解率が 70% となり、同じデータに対し従来法を適用した場合に比べ、正解率が約 10% 向上することが示された。

微小石灰化に対する検出性能と鑑別性能の向上は、CAD システムの今後の実用化に向けて重要である。これらの新しい手法は、高性能な CAD システムの実現を可能にし、医師に対するより正確な支援診断システムの提供が期待される。

CAD システムの臨床での有効性に関する研究では、これまで開発してきた CAD システムの検出性能と、経験別の医師の読影結果を比較し、潜在的な CAD システムの有効性を検証している。142 名の医師に対して実験を行った結果、医師が検出することが困難な症例についても、CAD システムは病変を指摘できることを確認している。本論文では、医師に CAD システムの結果を提示していないため、CAD システムの直接的な有効性は示されていないが、医師の検出結果と CAD システムの検出結果とを合わせることで、検

出率は向上し、経験の少ない医師でも高い検出率を得られる可能性がある。

総合して、本論文は画質特性とコンピュータ支援診断(CAD)システムの開発において、多くの新しい知見と成果を示しており、学術的に高い価値を有すると判断する。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

最終試験結果の要旨

提出された学位論文を熟読し、その内容が独創的かつ実用的であり、また、工学の分野においても高い価値を有すると判断した。また、公聴会後に学位論文に関する口頭試問を行ったが、論文提出者はそれらの試問に的確に回答し、工学的な知識だけでなく、医学的な知識を含めたコンピュータ支援診断システム全般に関する幅広い知識を有することを確認した。これらのことから、論文提出者は学位を授与するに十分な専門的知識を有していると判断できる。

以上の理由により最終試験を合格と判定した。