

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	同時生起行列を用いた 医用超音波画像解析による肝線維化定量診断
Title(English)	
著者(和文)	磯野洋
Author(English)	Hiroshi Isono
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10314号, 授与年月日:2016年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:蜂屋 弘之,奥富 正敏,大山 真司,黒澤 実,田中 正行
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10314号, Conferred date:2016/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

本論文は、「同時生起行列を用いた医用超音波画像解析による肝線維化定量診断」と題し、和文全6章で構成されている。

第1章「序論」では、背景となる医用超音波画像診断の現状と問題点について述べ、構築が進められている超音波定量診断学の枠組みと、その中での本研究の位置づけと目的について述べている。医師は、病変の進行により生じる超音波画像上の変化により診断情報を得ているが、生体組織構造の変化との定量的な関係は明らかでない。本研究では、画像の変化を評価する解析手法として画素間の空間的な依存関係を示す同時生起行列に着目し、超音波エコー信号の振幅分布モデルであるマルチレイリーモデルと組み合わせることで、肝病変組織からのエコー信号に含まれる線維構造情報を定量的に取得することを目的としている。

第2章「肝線維化と医用超音波画像」では、研究対象となるびまん性肝疾患の線維化のメカニズムを理解するための基礎的な知見についてまとめている。まず肝臓の解剖学的な所見と組織構造に関する知識を整理して提示している。次に、肝臓組織の炎症に対する生理学的な反応を考慮した生体組織変化シミュレーションにより、線維化の進展に伴う組織構造の変化を系統立てて作成できることを示している。本シミュレーションは様々な線維化ステージの病変組織散乱体分布を構築でき、この散乱体分布を用いて作成した超音波画像を、本論文で提案する定量化手法により解析し、解析結果とシミュレーションで設定した線維化パラメータを比較することで、提案手法の有効性の評価が可能になることを述べている。また、肝臓のエコー信号を取得するために用いた医用超音波診断装置の構成と原理を示し、超音波断層画像の分解能についても述べている。

第3章「同時生起行列の超音波画像への適用」では、本研究の中心となる同時生起行列による画像テクスチャ解析の原理とテクスチャ特徴量について説明し、肝臓の超音波画像に適用する際の適切な解析窓サイズなどについて、装置の分解能やスペックルパターンによる統計揺らぎと関連付けて検討している。検討結果より、今後用いる解析領域のサイズを決定し、病変による画像変化に対する定量性の高いテクスチャ特徴量コントラストに着目しながら解析を進めることを述べている。

第4章「同時生起行列の画素間距離に対する応答解析」では、超音波画像を構成するエコー信号の振幅分布特性について説明し、線維化の進展に応じて変化する同時生起行列の分布形状がエコー信号の振幅分布と対応づけられることを示している。次にエコー信号から病変構造の空間的な情報を取得するため、同時生起行列の画素間距離応答を中心に解析を進め、線維化の進展した病変肝モデルにおいては、特徴量コントラストに線維組織の空間情報を反映した揺らぎ信号が発生することを見出している。この揺らぎ信号の発生メカニズムを明らかにするため、短冊状に配置した線維組織散乱体に、マルチレイリーモデルに基づいた振幅分布関数を適用して解析を行っている。その結果、画素間距離の変化方向に沿った線維組織構造に対応して線維部の高輝度画素と肝実質組織の低輝度画素の組み合わせ画素対の数が変動することで、コントラストの揺らぎ信号が生み出されることを定量的に明らかにしている。

第5章「揺らぎ信号を利用した線維化診断情報」では発生メカニズムが明らかとなったコントラストの揺らぎ信号を用いて、病変肝のエコー信号から線維組織画像を定量的に抽出する手法を提案している。まず揺らぎ信号を構成する画素対のうち高輝度側の画素を線維組織とみなして揺らぎ成分の値による重み付けを行うことで、画像の線維部が選択的に抽出されることを短冊状線維構造モデルで示した。次に画素間距離に応じて変動する揺らぎ成分を積算し、線維化進展度と定量的な相関関係を持つコントラストの収束値を重み付けに用いることで、正常組織のスペックル信号中の高輝度画素を線維組織と誤認識しないようにでき、高精度で線維組織画素のみを定量的に抽出できること示した。提案した手法は、病変肝散乱体モデルによるシミュレーション画像と臨床画像にそれぞれ適用し、その有用性を明らかにしている。

第6章「結論」では本論文を総括し、残された課題と今後の展望について述べている。

Abstract

It is highly desired to develop a quantitative diagnosis method for liver fibrosis based on ultrasonic imaging system which visualizes the organ safely in real time. To clarify quantitative relationship between the diagnostic information based on the ultrasonic image and the structural change of the liver tissue, a co-occurrence matrix that characterizes the spatial relation of pixel pairs was used in combination with a multi-Rayleigh model expressing the echo amplitude distribution.

Ultrasonic images of different types of fibrotic livers were created by simulation and the texture feature contrast was calculated to quantify the co-occurrence matrices generated from the images. The results show that the contrast converges to the value which can be theoretically estimated by multi-Rayleigh model. It is also found that the contrast value increases as the liver fibrosis progresses and fluctuates depending on the size of fibrosis structure such as nodules.

Next, the fluctuation of the contrast reflecting fibrous tissue structure in response to the pixel pair distance was analyzed. Analysis using the periodic fiber structure model quantitatively clarified the contrast fluctuation is generated by the modulation in the number of pixel pairs with combination of high brightness from fibrous tissue and low brightness from normal tissue. This fluctuation give the structural information of the fibrotic liver tissue that is useful for diagnosis of liver fibrosis stage.

Then, we proposed a new quantitative method of fibrous tissue imaging using the contrast fluctuation. In this method, a higher brightness pixel of a pair contributing fluctuation is selected and weighted by the fluctuation value. In addition, integration along the pixel pair distance and weighting by the contrast convergent value enable the precise and quantitative fibrous tissue imaging without false recognition of high brightness pixels from the normal tissue. This method was verified in both the simulated and clinical images. It is concluded that these methods give quantitative information to diagnose degree of liver fibrosis.