

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23602004

研究課題名(和文) 相互情報量によるデジタル医用画像の総合的画質評価法の確立

研究課題名(英文) Establishment of an integrated evaluation metric for medical image quality using mutual information

研究代表者

佐井 篤儀 (TSAI, Du-Yih)

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号：50178464

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、情報理論における相互情報量に基づくデジタル医用画像の総合的画質評価法を確立することを目的として、画像のノイズ特性、解像特性、コントラスト特性の3つの特性と相互情報量の相関関係を明らかにし、提案手法の優位性と汎用性を実証した。また、解像特性とノイズのトレードオフの関係について解明すると共に両特性の画質へのそれぞれの寄与率を定量的に明らかにした。さらに、相互情報量という画質の評価尺度を異なるモダリティ画像、特にマンモグラフィ画像の画質評価への応用展開を行い、その有用性を確認した。以上の結果から、相互情報量によるデジタル医用画像の総合的画質評価法の確立ができたと考える。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed an information-theoretic method for quantifying overall image quality in terms of mutual information (MI). The MI is used to express the amount of information that an output image contains about an input object. We investigated the utility of this method by applying it to evaluate images obtained from various modalities. We also compared evaluation results in terms of MI against that in terms of the detective quantum efficiency, signal-to-noise ratio, standard deviations, which are conventionally used for characterizing the efficiency performance of imaging systems. Our results demonstrated that the proposed method is simple to implement, and has potential usefulness for evaluation of overall image quality. In conclusion, we reveal that the approach using mutual-information-base image quality metric is well established.

研究分野：時限付き分科細目

科研費の分科・細目：医学物理学・放射線技術学

キーワード：画像工学 画像評価 相互情報量 医用放射線情報学

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 我々は2008年に、情報理論における相互情報量をデジタル医用画像の画質総合評価の1つの測度とすることができることを示し、これが高精度かつ簡便な評価法であることを明らかにした。

(2) 医療用 X 線画像の基本的な画質特性として、ノイズ特性、解像特性とコントラスト特性(又は入出力特性)があげられる。これらの特性は、それぞれノイズ・パワースペクトル(NPS)、振幅伝達関数(MTF)と入出力の変換曲線で測定することができる。また、この3つの特性に加えて単位面積当たりの入射 X 線光子数を測定することで検出量子効率(DQE)を求めることができる。DQEは、総合的な画質評価の指標として用いられている。しかし、各特性や入射 X 線光子数の測定誤差に敏感であり、それらすべてを正確に計測しなければ正しい画質評価はできない。また、それらの測定をすべて精度良く行うことは非常に面倒で多大な労力を要する。

(3) このような背景から、我々は2006年から、相互情報量によるデジタル医用画像の画質総合評価に関する研究に取り組んできた。しかし、シミュレーション画像及びファントム画像を用いた研究・実験に、まだいくつか未解明のことが残されており、今後は再実験・追加検討を行うことで、相互情報量は、異なるモダリティ画像に対する評価も可能であることをさらに確認していく必要がある。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究は、画質の物理特性の中で特に重要な位置づけである解像特性とノイズ特性の trade off (トレードオフ) の関係について定量的に解明すると共に両特性の画質へのそれぞれの寄与率を定量的に明らかにする。

(2) 相互情報量を異なるモダリティ画像の画質評価へと展開し、この相互情報量による医療用画像の総合的な画質評価法を確立する。

### 3. 研究の方法

(1) 解像特性とノイズ特性の画質への寄与率の定量的解明: 本研究の先行研究はすでに初期成果が出ている(Matsuyama, Tsai, *et al.* Journal of Software Engineering and Applications, 2010)。その初期成果として、ボケよりもノイズが画像の総合画質に対する寄与が大きいことをシミュレーション実験で確認できた。その寄与率は、解像特性: ノイズ=1.7:8.3の初期結果を得ている。それに関連して、2007年の Medical Physics 誌の Li らの論文では、ノイズは空間解像特性の約4乗に比例して変化すると述べているが、この論文報告では、ポリウム CT 画像のみを対象にした初期実験結果を示してい

る。これらの結果を踏まえて、次のことについて解明し明らかにする。

ステップ・ウェッジ型のシミュレーション画像だけでなく、より複雑のグリッドパターンでのシミュレーション画像を作成し、シミュレーションによるノイズとボケの画質への寄与率の解明を行う。

グリッド・ファントムを製作し、デジタルマンモ装置や核医学装置(SPECT)で撮影した画像の画質を解析し、ノイズとボケの画質への寄与率の算出と確認を行う。

このようなシミュレーション及びファントム実験から、画像コントラストが一定の場合の解像特性とノイズ特性の総合画質への寄与率を定量的に明らかにできる。

(2) 検出量子効率(DQE)の測度に対する相互情報量による評価法の優位性の確認: DQEを求めるためには、MTF, NPS, 入射 X 線光子数などの精度の高い測定と煩雑な計算が必要となる。本研究では、DQEによる評価結果と、相互情報量による評価法を用いる評価結果との比較検討を行い、相互情報量による評価法の優位性を明らかにする。

空間周波数領域(cycles/mm)で表現するDQEと空間領域で得られる相互情報量との相関や相違点を調べる。

DQEと相互情報量の計測に関する再現性について調べる。

相互情報量の優位性を明らかにする。具体的に、相互情報量から直接にトレードオフの特異点を見出すことができるが、一方ではDQEからは可能かどうかを調べる。

(3) 相互情報量を異なるモダリティ画像の画質評価への応用展開の有効性の解析: 本研究の先行研究はすでに初期成果が出ている(Tsai, *et al.* Journal of Digital Imaging, 2008)。その初期成果として、相互情報量とコントラスト特性、ノイズ特性、解像特性との間の相関関係を明らかにした。また、物理的評価結果と視覚的比較評価結果の一致性を初歩的に確認した。これらの初期結果を踏まえて、次のことについて解明し明らかにする。

相互情報量によるCT画像の画質評価実験の方法の開発とその有効性を検討する。このため、当研究室にあるCT装置専用のファントムを用いて、異なる撮影条件や異なるCT装置(新潟大学・医歯学総合病院)で様々な条件の場合の検討を行う。

SPECT 画像の画質評価実験の方法の開発

とその有用性の初期検討を行う。さらに、相互情報量による画質評価法を、ノイズ低減策としてウェーブレットしきい値処理を施したプラナー画像に応用し、最適な画質改善をもたらすウェーブレット基底関数の選択手法について研究する。

相互情報量によるMRI画像の画質評価実験の方法の開発とその有効性の確認を行う。MR画像の場合では、イメージング方式や撮像条件による画質の変化の程度を定量的に解析し、相互情報量による評価法の有効性を調べる。

相互情報量による超音波画像の画質評価実験の方法を開発し、その有効性を調べる。比較的画質がやや劣る超音波画像の場合の相互情報量による評価に関する問題点やその原因を調べ、対応策を検討する。

#### 4. 研究成果

(1) 本研究では、情報理論における相互情報量に基づくデジタル医用画像の総合的画質評価法を確立することを目的として、画像のノイズ特性、解像特性、コントラスト特性の3つの特性と相互情報量の相関関係を明らかにし、提案手法の優位性と汎用性を実証できた。

(2) 解像特性とノイズのトレートオフの関係について解明すると共に両特性の画質へのそれぞれの寄与率を定量的に明らかにした。さらに、相互情報量という画質の評価尺度を異なるモダリティ画像、特にマンモグラフィ画像の画質評価への応用展開を行い、その有用性を確認できた。

(3) 以上の結果から、相互情報量によるデジタル医用画像の総合的画質評価法の確立ができたと考える。本研究の成果を、研究結果を以下にあげる雑誌論文、学会発表、著書にまとめ、公表した。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

Du-Yih Tsai, Eri Matsuyama, Hsian-Min Chen, Improving image quality in medical images using a combined method of undecimated wavelet transform and wavelet coefficient mapping, International Journal of Biomedical Imaging, Vol.2013, 2013, pp.1-11 (DOI: 10.1155/2013/797927) (査読有り)  
Eri Matsuyama, Du-Yih Tsai, Yongbum Lee, Masaki Tsurumaki, Noriyuki Takahashi, Haruyuki Watanabe, Hsian-Min Chen, A modified undecimated discrete wavelet transform based approach to mammographic image denoising, Journal

of Digital Imaging, Vol.26, 2013, pp.748-758 (査読有り)

Eri Matsuyama, Du-Yih Tsai, Yongbum Lee, Haruyuki Watanabe, Masaki Tsurumaki, Katsuyuki Kojima, Improving image quality of digital mammographic images using an undecimated discrete wavelet transform method: performance assessment, Proc. of XX IMEKO World Congress, TC13-P-3 (344), 2012, pp.1-4 (査読有り)

Du-Yih Tsai, Eri Matsuyama, and Yongbum Lee, Quantitative Image Quality Evaluation of Digital Medical Imaging Systems Using Mutual Information, Proc. of 2011 4th International Conference on Medical Engineering and Informatics, 2011, pp. 1528-1532 (査読有り)

松山江里, 佐井篤儀, 李鎔範, 渡部晴之, 弦巻正樹, 高田敦子, 離散定常ウェーブレット変換の展開係数の階層的相関関係を利用したマンモグラムのノイズ低減, 電子情報通信学会 技術研究報告, (MI2011-38), Vol. 38, 2011, pp. 31-36 (査読無し)

〔学会発表〕(計6件)

松山江里, 佐井篤儀, 李鎔範, 高橋規之, Wavelet 変換を用いたマンモグラフィにおけるノイズ除去手法の性能比較, 第32回日本医用画像工学会学術学会, 東京, 8/1-3, 2013.

Eri Matsuyama, Du-Yih Tsai, Yongbum Lee, Noriyuki Takahashi, Comparison of a discrete wavelet transform method and a modified undecimated discrete wavelet transform method for denoising of mammograms, 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Osaka, Japan, 3-7 July, 2013.

Haruyuki Watanabe, Du-Yih Tsai, Yongbum Lee, Eri Matsuyama, Katsuyuki Kojima, Improvement of image quality and radiation dose reduction in digital radiography using an integrated wavelet-transform-based method, XX IMEKO World Congress, Busan, Republic of Korea, Sept. 9-14, 2012.

Eri Matsuyama, Du-Yih Tsai, Yongbum Lee, Haruyuki Watanabe, Katsuyuki Kojima, A method mammographic image denoising based on hierarchical correlations of the coefficients of wavelet transforms, IFMBE (International Federation for Medical and Biological Engineering) World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Beijing, China, May 26-31, 2012.

Du-Yih Tsai, Eri Matsuyama, Yongbum Lee, Quantitative images quality evaluation of digital medical imaging systems

using mutual information, The 4th International Congress on Image and Signal Processing, The 4th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics, Shanghai, China, October 15-17, 2011.

松山江里, 佐井篤儀, 李鎔範, 渡部晴之, 弦巻正樹, 高田敦子, 離散定常ウェーブレット変換の展開係数の階層的相関関係を利用したマンモグラムのノイズ低減, 電子情報通信学会医用画像研究会, 札幌, 7/12-13, 2011.

[ 図書 ] ( 計 2 件 )

Du-Yih Tsai, Eri Matsuyama, Springer, Recent Advances of Quality Assessment for Medical Imaging Systems and Medical Images, Visual signal Quality assessment - Issues of Quality of Experience, W. Lin, K. N. Ngan, C. Deng, L. Ma (Ed), Chapter 9, 2014, (To be Published)

Du-Yih Tsai, Eri Matsuyama and Yongbum Lee, InTech, ISBN: 978-953-307-774-1, A Mutual Information-Based Image Quality Metric for Medical Imaging Systems, Medical Imaging, Okechukwu Felix Erundu (Ed.), Chapter 9, 2011, pp.195-212, Available from: [InTech web site](http://www.intechopen.com/books/medical-imaging/a-mutual-information-based-image-quality-metric-for-medical-imaging-systems) (<http://www.intechopen.com/books/medical-imaging/a-mutual-information-based-image-quality-metric-for-medical-imaging-systems>)

[ その他 ]

ホームページ:

<http://www.clg.niigata-u.ac.jp/~tsai/>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

佐井 篤儀 ( TSAI Du-Yih, SAI Tokugi )

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号 : 5 0 1 7 8 4 6 4

(2) 研究分担者

李 鎔範 ( LEE Yongbum )

新潟大学・医歯学系・准教授

研究者番号 : 1 0 3 3 4 6 5 8