

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420350

研究課題名(和文) スパースコーディングに基づく医療画像処理技術の開発とハードウェア実装

研究課題名(英文) Development of Medical Image Processing Technology Based on Sparse Coding and Hardware Implementation

研究代表者

今村 幸祐 (Imamura, Kousuke)

金沢大学・電子情報学系・准教授

研究者番号：00324096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、医療画像処理アルゴリズムとして、スパースコーディングに基づくX線画像のためのノイズ除去手法を開発し、実用化に向けてハードウェア実装を検討した。主な成果は、ポアソンノイズに対応したスパースコーディングの辞書設計、および初期内積値を利用した高速な辞書選択法の開発である。これらの提案法は良好なノイズ除去性能を実現した。また Cholesky 分解を用いた高速処理アルゴリズムのハードウェア設計を行い、その評価を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a noise reduction method based on sparse coding for X-ray image as medical image processing algorithms, and we studied hardware implementation for the purpose of practical use. The major achievements were development of a dictionary design technique for sparse coding corresponded to Poisson noise and a fast atom selection method using initial inner product. These proposed method provided good noise reduction performance. On the other hand, we designed hardware of a fast processing algorithm using Cholesky decomposition, and evaluated the performance.

研究分野：Image Processing

キーワード：Sparse coding Medical image processing Noise reduction Non-local means Hardware design

1. 研究開始当初の背景

医療現場では放射線診断と呼ばれるX線撮影などにより得られた様々な画像を用いた検査・診断が日々行われている。これまでは診断における正確性と効率の向上に向けて、表示装置における解像度や発色性に対する性能向上に注力されてきた。しかし、診断の正確性は医師の経験や能力に依存する部分が多く、これが診断精度や効率の飛躍的な進展を妨げる大きな課題となっている。

これを打開する方法が医療画像処理であるが、医療画像は高い解像度と分解能を持つため、一般にソフトウェアでは即時適用できる画像処理が限定されてしまう。また、開発には現場の医師と開発者の綿密な連携が必要不可欠であることが開発を困難にする要因となっている。

2. 研究の目的

診断画像に対して予め患部が示す特徴の強調やノイズの除去といった画像処理を施せば、診断における医師の経験や技術の不足を補い、誤診や見逃しといった危険性も低減することが期待できる。これに対してスパースコーディングを基礎技術とする新たな医療画像処理アルゴリズムを開発することが目的である。

また、医療画像に対する有用な画像処理技術が開発されても、それが実用に足る性能で、速やかにハードウェア実装されなければ、その価値は半減する。実用化までの時間を最小限にするため、現場の医師と連携を含め、ハードウェア実装を前提とした開発を行い、速やかに試作の作成と評価を行う。

3. 研究の方法

画像処理アルゴリズム開発を専門とする金沢大学の今村幸祐准教授を研究代表者、VLSIアーキテクチャ設計を専門とする金沢大学の松田吉雄教授を研究分担者とした研究グループを構成した。アルゴリズム開発は、所属機関の計算機を用いたシミュレーション実験、解析に基づき研究代表者が中心となって実施した。ハードウェア実装については、所属機関の計算機とVDECにより、研究分担者が中心となって行った。研究協力者の雇用は行わないが、所属機関(金沢大学自然科学研究科)の大学院生との共同研究により、各テーマの進行の効率化を図った。

4. 研究成果

(1) スパース表現による医療画像のノイズ除去に関する成果についてまとめる。

画像のスパース表現は、ノイズ除去や超解像などに応用可能な、近年注目される画像処理技術の一つである。スパース表現を用いた画像のノイズ除去においては、そのノイズ量に応じて許容する表現誤差量を設定する必要がある。X線画像が含む雑音は、線量に応じたポアソン分布であるため、この表現誤差量を局所的な線量(画素値)に応じて設定す

ることが望ましい。

第1の提案法では画素を線量で大別し、それぞれでノイズ量推定を行い、最適な辞書設計およびパラメータ設定を行うことで、診断に重要な情報を保持しつつ、効果的なノイズの除去を行った。(学会発表①)

ディスプレイの高精細化や医療画像への応用が進み、急激に高解像度画像に対する画像処理の需要が高まったことにより、要する計算量の削減が大きな課題の一つとなっている。画像をスパース表現するためには、信号近似に用いる基底辞書選択に多くの内積演算が必要であり、高解像度画像への適用時は無視できない。

第2の提案法では、スパース表現を用いた画像のノイズ除去における画像パッチと基底辞書の内積順位と残差信号に基づいた基底辞書選択手法を提案し、近似精度の低下を抑えながら計算量の削減を行った。具体的なアルゴリズムは以下の通りである。

辞書選択アルゴリズム

1. 画像パッチを平均値で近似した場合の近似誤差 e が ϵ 以下であれば基底辞書を用いず平均値で近似する。
2. パッチの残差信号と全ての基底辞書との内積演算を行い、適用する基底辞書を1つ選択する。
3. 算出した内積値で基底辞書をソートし、以降の処理では上位 $a\%$ のみを使用する。
4. 基底辞書適用後の残差信号エネルギー r が閾値 $TH(=k\epsilon)$ より大きければ、制限された基底辞書で未適用のものとの内積演算を行い、適用する基底辞書を1つ選択する。 r が TH 以下となるまでこの処理を繰り返す。
5. 4.で算出した内積値が高い基底辞書から順に r が ϵ 以下となるまで適用する。

この高速化アルゴリズムにより、辞書選択時の内積演算回数を通常のOMP適用時の約46.8%に削減した。(学会発表②, ③, ④, ⑥)

第3の提案法では、複数回実行される係数最適化のための逆行列演算回数を、係数最適化後の残差信号を推定することで1回のみ削減し、さらなる高速化を行った。具体的なアルゴリズムは、前述の辞書選択アルゴリズムに以下の処理を導入したものである。

1. 基本手法では辞書選択のたびに係数を求めるが、提案手法では、選択辞書と残差信号の内積値を最適化なしの係数として、残差信号を算出する。
2. 残差信号エネルギー E_r に予測係数 β_t をかけた値を終了条件とし、 $E'_r = \beta_t E_r \leq \epsilon$ であれば辞書選択を終了する。
3. 辞書選択の終了条件を満たした後、選択された全ての辞書から、擬似逆行列を1回のみ計算して、最適化された係数を求める。

本手法を導入することにより、OMP法と同等のノイズ除去効果を保ったまま、係数最適化の回数をOMP法適用時の約35.3%に削減でき

た。(学会発表⑤)

(2)ハードウェア設計に関する成果についてまとめる。

ハードウェア化するにあたって、係数計算に必要な逆行列計算部の計算量が多いという課題があった。そこで、スパースコーディングの基幹部であるOMP法のハードウェア化にあたり、Cholesky分解を用いた高速化手法を導入し、計算量の削減導入したハードウェア設計をおこなった。

実際にモデルを用いたシミュレーションでは、選択する基底数が10の場合、全体として処理時間が約13%削減された。(学会発表⑧)

(3)ポアソンノイズの除去に関する成果についてまとめる。

Non-Local Means (NLM) は、ノイズ除去性能の高さから、提案以来注目を集めてきた。しかしながら、ガウスノイズを前提としており、ポアソンノイズを含む医療画像等へは単純には適用できない。そこでNLMの重み関数に、ポアソンノイズに対応した補正項を導入し、ポアソンノイズが良好に除去できる手法を提案した。

ポアソンノイズは各画素の輝度値に依存する。従来の重み w には、この特性が反映されていない。ノイズの輝度値依存性を反映したNLMの重み関数を提案する。輝度値 $I(i)$ と光子量 $\lambda(i)$ の間に、 $\lambda(i) = rI(i)$ の関係があるとき、画像全体に亘るポアソンノイズの分散 σ_n^2 と輝度値の平均 $\langle I_{ALL} \rangle$ には、 $r = \langle I_{ALL} \rangle / \sigma_n^2$ が成立つ。加えて、ポアソンノイズの分散は光子量と等しいという特性を考慮すると、ポアソンノイズに対応した重みが式(1)のように表現できる。

$$w(i, j) = \exp(-rS(i, j)/I_o(i)) \quad (1)$$

ノイズを含まない真の輝度値 $I_o(i)$ を、注目画素を中心とするブロック領域の平均輝度値 $\langle I_B \rangle$ で置き換える。これより、提案する重み関数である式(2)が得られる。

$$w(i, j) = \exp\left(-\frac{S(i, j)}{(\langle I_B \rangle / \langle I_{ALL} \rangle) \sigma_n^2}\right) \quad (2)$$

この新しい重み関数を導入した Non-local means による画像のノイズ除去手法を提案した。実験により、従来の手法と比べて平均PSNRで0.44dBの画質向上が確認でき、ポアソンノイズ除去に対して有効であることを確認した。(学会発表⑨)

また同様に画像のスパース表現を用いたノイズ除去法においても、局所輝度平均に基づくポアソンノイズ除去のための補正項を導入した手法を提案した。先に述べた通り、注目画素のポアソンノイズの分散 σ_p^2 は式(3)で表される。

$$\sigma_p^2 = \frac{I_o(i)}{\langle I_{ALL} \rangle} \sigma_n^2 \quad (3)$$

これにより、スパース表現を用いたノイズ除去におけるノイズ量(許容誤差)の設定を式(4)として

ノイズ除去を行う手法が提案手法である。

$$\varepsilon = 1.15 \sqrt{\frac{\langle I_x \rangle}{\langle I_{ALL} \rangle}} \sigma \quad (4)$$

尚、 σ は画像から推定したノイズ量である。

この手法により、従来の手法と比べてノイズ除去後のPSNR値が向上し、主観による画質の向上も確認できた。(学会発表⑩)

(3)その他

一般的なNLMをマンモグラフィ画像などに適用すると、撮影の際に生じるノイズが低減できるが、一方において、重要な微小石灰化部分などの微細構造が減弱してしまうという問題がある。そこで、NLMを用いたノイズ除去における微小石灰化部分などの重要な画素特徴の減弱を改善する手法を提案した。提案法は、推定されたノイズ量と画像のエッジに基づき、減弱した画素をノイズ除去前の画素に復元する処理である。

実際の医療画像を用いたシミュレーション実験により、画素特徴を保持したままノイズが除去できることを確認し、提案法が有効であることを確認した。(雑誌論文①)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 山下剛史, 大柿護, 加藤真里奈, 今村幸祐, 松田吉雄, 真田茂, "NL-meansを用いた医療画像ノイズ除去における微小石灰化減弱の改善に関する検討", 電子情報通信学会技術報告, 査読無, IE2014-57, pp. 45-50, 2014.

[学会発表] (計10件)

- ① Kousuke Imamura, Naoki Kimura, Fumiaki Satou, Shigeru Sanada, Yoshio Matsuda, "Image Denoising using Non-local Means for Poisson Noise", 2016 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Phuket (Thailand), 2016.10.25
- ② 齊藤美緒, 今村幸祐, 松田吉雄, 藤村誠 "スパース表現によるポアソンノイズの除去", 平成28年度電気・情報関係学会九州支部連合大会, 宮崎大学(宮崎県・宮崎市), 2016.9.30
- ③ 木村直樹, 蟹屋敷祐介, 今村幸祐, 真田茂, 松田吉雄, "ポアソンノイズ除去に対応した Non-Local Means の重み関数", 2016年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 北海道大学(北海道・札幌市) 2016.9.20
- ④ 佐藤文彬, 今村幸祐, 松田吉雄, "ハードウェア化に向けた Sparse Coding における OMP の高速化", 平成28年度気関係学会北陸支部連合大会, 福井工業大学(福井県・福井市), 2016.9.13
- ⑤ 伊藤薫, 今村幸祐, 松田吉雄, "スパース表現を用いた X線画像の高速ノイズ除

- 去”，2016年電子情報通信学会総合大会，九州大学（福岡県・福岡市），2016.3.15
- ⑥ Kousuke Imamura, Kaoru Itoh, and Yoshio Matsuda, “Fast Atom Selection Method Based on the Order of Initial Inner Product Values for Image Denoising Using Sparse Representation”, 2015 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, 2015.11.12, Bali (Indonesia).
- ⑦ 伊藤薫，今村幸祐，松田吉雄，“スパース表現による画像のノイズ除去のための係数最適化後の残差信号予測による高速辞書選択”，平成27年度電気関係学会北陸支部連合大会，金沢工業大学（石川県・野々市市）2015.9.13
- ⑧ 清水孝平，今村幸祐，陳海峰，松田吉雄，“基底辞書と残差信号の内積値順位に基づくスパースコーディングの高速化”，平成27年度電気関係学会北陸支部連合大会，金沢工業大学（石川県・野々市市）2015.9.13
- ⑨ 伊藤薫，今村幸祐，松田吉雄，“スパース表現を用いた画像のノイズ除去のための高速な基底辞書選択”，2015年電子情報通信学会総合大会，立命館大学（滋賀県・草津市），2015.3.13
- ⑩ 伊藤薫，今村幸祐，松田吉雄，“ヒストグラムに基づく画素値分類を利用したスパース表現による医療画像のノイズ除去”，平成26年度電気関係学会北陸支部連合大会，富山高等専門学校（富山県・富山市），2014.9.11

[その他]

金沢大学学術情報リポジトリ

<http://dspace.lib.kanazawa-u.ac.jp/dspace/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今村 幸祐 (IMAMURA, Kousuke)
金沢大学・電子情報学系・准教授
研究者番号：00324096

(2) 研究分担者

松田 吉雄 (MATSUDA, Yoshio)
金沢大学・電子情報学系・教授
研究者番号：20401896