

令和元年9月9日現在

機関番号：55502

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05913

研究課題名(和文)多列深層学習と物質分解情報を用いた大腸電子洗浄システムの構築

研究課題名(英文)Development of electronic cleansing system for CT colonography using multiple deep learning and material decomposition

研究代表者

橘 理恵 (Tachibana, Rie)

大島商船高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：90435462

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多列深層学習と物質分解情報を用いて大腸の電子洗浄を行う手法の開発を行うことを目的とした。実験の結果、多列深層学習と物質分解情報を用いた大腸電子洗浄法は、従来の機械学習を用いた電子洗浄手法に比べて、電子洗浄時に生成されやすいアーティファクトを低減させることができた。しかし、各画素ごとに54枚の断面画像の生成と解析を必要とするため、膨大な処理時間を要す手法となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案した医用画像における領域分割のための多列化深層学習は、複数の画像情報を用いて高精度な領域分割を行うことを可能とし、PET-CT画像などの複数モダリティ画像を用いたシステム構築にも応用が可能であると推測する。提案手法により高精度な大腸電子洗浄法が可能となったが、実用化に至るレベルには達しなかった。しかし、本研究による成果は、前処置なしのCT撮像のみによる大腸がん検診の可能性を示唆しており、多くの人が抵抗感なく大腸がん検診を受診できるシステムの実現につながると考える。

研究成果の概要(英文)：This goal of this project was to develop an electronic colon cleansing system using multiple deep convolutional neural networks (DCNNs) and material decomposition information. Preliminary results suggested that the EC method using multiple DCNNs and material decomposition information can remove residual fecal material from CTC images without generating major EC artifacts in the accuracy of EC over using previous method. However, the EC method using multiple DCNNs and material decomposition information was computationally expensive because it had been designed to analyze 54 cut-plane images at each voxel.

研究分野：医用システム

キーワード：深層学習 医用システム CTコロノグラフィ Dual energy CT

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

欧米のみならず日本においても大腸がんによる死亡数は多くなっており、国立がん研究センターは2015年4月に2015年に新たにがんと診断される罹患数は大腸がんが第1位、がんで亡くなる人の死亡数は第2位となるであろうと発表していた。大腸がんは良性的な腺癌が癌化するまでの進行速度が5から10年程度と遅く、検診による予防が有効であるため、大腸がん検診の重要性が高まっていた。低侵襲で安全な検査として、CT画像から仮想的に大腸内視鏡画像を生成する「CTコロノグラフィ」が検診のツールとして有望視され、臨床運用が始まっているが、検査前は内視鏡検査と同様に、食事制限および下剤による腸洗浄が必要となるため被験者の心理的抵抗感のみならず時間的・肉体的負担が大きい。

そこで、画像処理技術を用いて電子的に腸管洗浄を行う「Electronic cleansing (EC)」の研究が行われている。しかし、造影剤と残渣の混合具合によってCT値のばらつきが大きいため、シングルエネルギーCT画像情報のみではクレンジング後に偽陽性が多く残るため臨床応用できるレベルには至っていない。また、デュアルエネルギーCT画像を用いたEC法が提案されているがデータごとに細かなパラメータ調整が必要となるため臨床応用には至っていないのが現状であった。

2. 研究の目的

本研究では、画像認識分野で高い識別性能をもつ深層学習(Deep learning)とデュアルエネルギー画像から得られる物質分解情報を用いた高精度な大腸のEC法を開発し、低侵襲・低負担の大腸がん検診用CTコロノグラフィシステムを新たに開発することを目的とした。

3. 研究の方法

研究期間内には、まず多列深層学習を用いた3次元医用画像の領域分割法を開発を行った。続いて、多列深層学習を用いた領域分割法と物質分解処理を用いた大腸EC法を開発した。最後に、臨床運用のためのEC画像生成システムの構築を試みた。以下にそれぞれの方法について述べる。

(1) 多列深層学習を用いた3次元医用画像の領域分割法の開発

深層学習は、多層構造のニューラルネットワークであり、学習データ数やモデル規模(階層、パラメータ)が非常に大きいという特徴があるため、多数の学習データ数や大規模なモデルを用いることで精度が著しく向上するといわれている。そこで、提案手法では、図1に示すように注目点を中心として様々な角度の断面画像を生成し各断面ごとに深層学習による学習・識別を行うことで深層学習の多列化を図った。その後、各断面ごとの識別確率を特徴量としてrandom forestによる多クラス分類を行い、注目画素がどのラベルに分類されるか決定することにより領域分割された画像を得ることを可能とした。

(2) 多列深層学習を用いた領域分割法と物質分解処理を用いた大腸EC法の開発

デュアルエネルギーCT装置は、異なる管電圧で撮影された複数の画像を生成し、各画像上では同一の物質が異なるCT値を示す。そのため、デュアルエネルギー画像(80kVp, 140kVp)に物質分解処理を施すことにより、複数の物質画像(waterとiodine)の生成が可能となる。また、得られた物質画像から任意のエネルギー値によるVirtual monochromatic(VM)画像を生成することができる。これにより複数のエネルギー画像および物質画像を得ることができる。

図2に示すように、デュアルエネルギー画像(80kVp, 140kVp)、物質画像(water, iodine)、VM画像(120keV, 160keV)の6つの画像を準備し、各画像の各画素から複数の断面画像を作成し、開発した多列深層学習法を用いて組織別ラベル画像を生成する。得られた組織別ラベル画像と120keVのVM画像からEC画像を生成するEC法を開発・実装した。

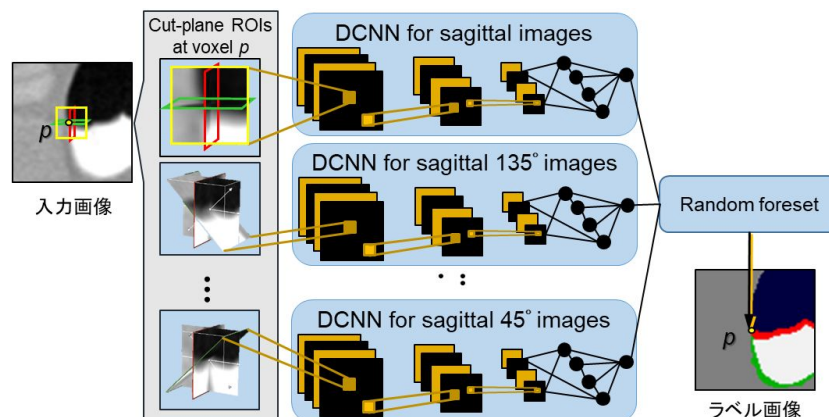


図1. 多列深層学習を用いた3次元医用画像の領域分割法

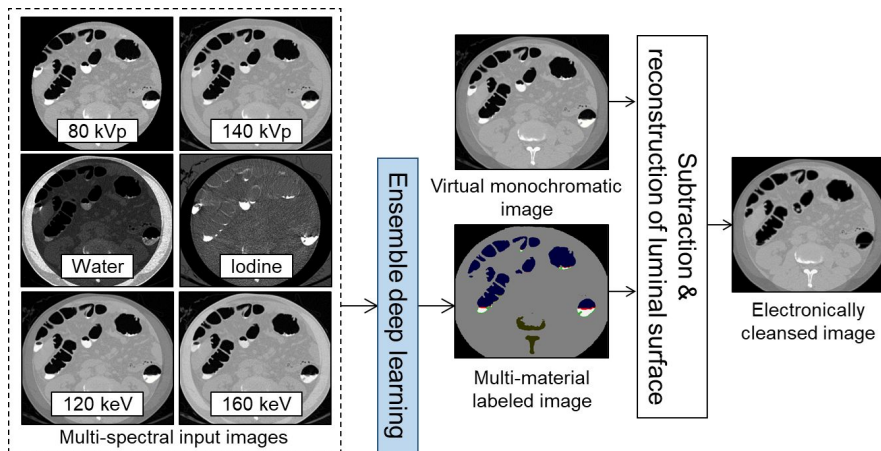


図 2. 多列深層学習を用いた領域分割法と物質分解処理を用いた大腸 EC 法 の概念図

(3) 臨床運用のための EC 画像生成システムの構築

深層学習は学習モデルの構築だけでなく、自動で特徴抽出を行い識別を行うことから未知画像を識別する際にも膨大な計算を要する。特に提案手法は複数の物質画像や多数のエネルギー画像を用いるため、複数 GPU による並列処理環境下においても膨大な計算時間を要する。そのため、腹部 CT 画像全体に対して、提案手法を用いてクレンジング処理を施すには膨大な時間を要するため、検診における実運用は難しい。そこで、先行研究で開発した Random forest 法を用いて、画像全体のラベル画像を生成し、各組織の境界とその周囲の画素のみに対して、深層学習を適用することにより、高精度なラベル画像を生成するようにした。以上の方法で、深層学習における計算量を減らしつつ、高鮮明な EC 画像を生成するシステムを構築した。

4. 研究成果

(1) 多列深層学習を用いた 3 次元医用画像の領域分割法の開発

多列深層学習を用いたラベル画像生成法の精度評価を行うために、断面画像として、axial, coronal, sagittal の 3 断面を用いる方法と axial, coronal, sagittal の 3 断面のほか axial, coronal, sagittal の各断面に対して 45° および 135° でカットした断面画像の計 9 断面を用いる方法の二手法を実装し、実験を行った。図 3 にシングルエネルギー CT 画像に対して、多列深層学習を適用し、生成したラベル画像例を示す。ラベル画像の色は、紺色が空気、灰色が軟組織、白色が残渣、赤色が空気と残渣の間のパーシャルボリューム、緑色が軟組織と残渣の間のパーシャルボリュームを示している。また、図 3 原画像上(a)の黄色の四角形は空気、軟組織、残渣の三要素が混合して CT 値が再構成されるため、EC アーティファクトが生じやすい箇所を示している。3 断面上(c)の矢印はパーシャルボリュームとして分類されるべき画素が軟組織として誤分類された例を示している。この数画素による誤分類が CT コロノグラフィ像上では EC アーティファクトとして生成されることになる。実験の結果、図 3 に示すように断面数を多くすることにより、より精度よく領域を分割することが可能であることが分かった。また、学習は 2 次元画像を用いているが、多断面画像を用いることにより 3 次元情報を考慮した領域分割を可能とした。

(2) 多列深層学習を用いた領域分割法と物質分解処理を用いた大腸 EC 法の開発

デュアルエネルギー画像(80kVp, 140kVp)、物質画像(water, iodine)、VM 画像(120keV, 160keV)の 6 つの画像の各断面画像(9 断面)に対し、深層学習を施した。生成された 54 の学習モデルから得られる特徴量から random forest 法を用いて組織別ラベル画像を生成し、ラベル画像に基づいて EC 処理を施すことにより、EC 画像を生成することを可能にした。図 4 に示すようにシングルエネルギー CT のみによる学習(c)に比べ、6 つの画像情報を用いた学習(d)の方が EC アーティファクトの少ない CT コロノグラフィ像を得ることに成功した。また、同じ 6 つの画像情報を用いた場合においても、k-NN 法による学習(b)に比べ、深層学習による学習(d)の方が EC アーティファクトの少ない画像を得ることが可能であることが分かった。

(3) 臨床運用のための EC 画像生成システムの構築

計算量を削減するために、限定した画素のみに対して深層学習を適用するシステムを開発したが、6 つの画像を使用する際には、一画素につき、54 断面の断面画像を用意する必要があった。そのため、複数の GPU を用いた学習においても 1 症例に約 1 週間の時間を要することになった。

そのため、実用化に用いることができるほどの高速性を得ることができない手法となった。また、提案手法により EC アーティファクトを大幅に減らすことが可能となったが、依然として臨床応用可能なレベルには至っていない。そのため、さらに EC アーティファクトの少ない高速な EC 手法の開発が課題として残った。

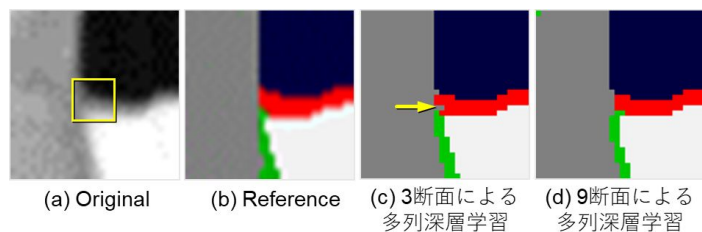


図 3. 多列深層学習を用いた組織別ラベル画像の生成例

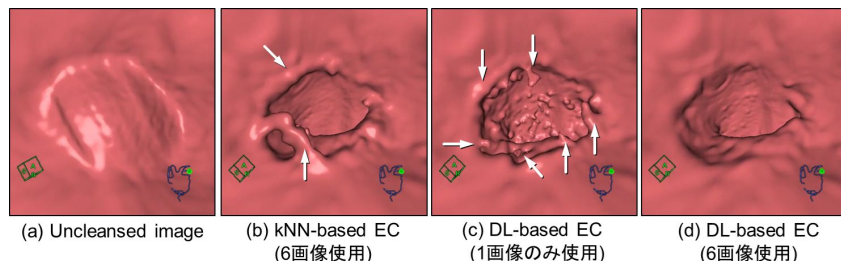


図 4. EC 前および EC 後の CT コロノグラフィ例 (白の矢印は EC アーティファクト)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Tachibana R, Näppi J, Hironaka T, Kim SH, Yoshida H. Deep multi-spectral ensemble learning for electronic cleansing in dual-energy CT colonography. Proc. SPIE Medical Imaging 2017; 10134:101340E.

植村 知規, 陸 慧敏, 金 亨燮, 橋 理恵, 弘 中亨, Nappi Janne J., 吉田 広行. 転移深層学習畳み込みニューラルネットワークを用いた CT コロノグラフィ候補陰影からのポリープ分類法, 医用画像情報学会雑誌, 2017; 34: 80-86.

橋理恵, NAPPI Janne J., 弘中亨, 吉田広行. 深層学習を用いた大腸電子洗浄法の検討. 電子情報通信学会技術研究報告, 2018:118:35-37.

Tachibana R, Näppi J, Ota J, Kohlhase N, Hironaka T, Kim SH, Regge D, Yoshida H. Deep-learning electronic cleansing for single- and dual-energy CT colonography. RadioGraphics 2018; 38(7): 2034-2050.

Tachibana R, Näppi J, Hironaka T, Yoshida H. Electronic cleansing in CT colonography using a generative adversarial network. Proc. SPIE 10954, Medical Imaging 2019; 10954:1095419. doi: 10.1117/12.2512466.

〔学会発表〕(計 5 件)

Tachibana R, Näppi J, Hironaka T, Kim SH, Regge D, Yoshida H. Deep-learning- based Electronic Cleansing for Single- and Dual-Energy CT Colonography. Radiological Society of North America 2016 Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, November-December 2016.

Tachibana R, Näppi J, Hironaka T, Kim SH, Yoshida H. Multi-slice ensemble deep learning of electronic cleansing for computer-aided detection of lesions in multi-spectral CT colonography. 19th International Workshop on Computer-Aided Diagnosis, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2017; 12(suppl 1):S146-S147.

Tachibana R, Näppi J, Ota J, Kim SH, Regge D, Yoshida H, Deep-learning Electronic Cleansing for Single- and Dual-energy CT Colonography. Radiological Society of North America 2017 Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, November-December 2017.

Tachibana R, Näppi J, Yoshida H. Fully convolutional network for electronic cleansing in CT colonography. 20th International Workshop on Computer- Aided Diagnosis, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2018;13(suppl 1):S103-S104.

Tachibana R, Näppi J, Yoshida H. The Next Step in Electronic Cleansing for CT Colonography: Unsupervised Machine Learning. Radiological Society of North America 2018 Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, November 2018.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：吉田 広行

ローマ字氏名：YOSHIDA, Hiroyuki

Massachusetts General Hospital ・ 3D Imaging Research ・ Director / Harvard Medical School ・ Radiology ・ Associate Professor

研究協力者氏名：NÄPPI, Janne J.

Massachusetts General Hospital ・ 3D Imaging Research / Harvard Medical School ・ Radiology ・ Instructor

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。