

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：53601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00260

研究課題名（和文）インパルス性雑音除去のための閾値算出法と高速な並列処理型アルゴリズムに関する研究

研究課題名（英文）Adaptive Thresholds and Fast Parallel Algorithm for Multi-directional Switching Median Filter

研究代表者

宮崎 敬（Miyazaki, Takashi）

長野工業高等専門学校・電気電子工学科・嘱託教授

研究者番号：10141889

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：我々が開発した画像中のインパルス性雑音の除去する多方向スイッチングメディアンフィルタ（多方向 SMF）は、 2×2 画素の検出器と多方向走査による複数の結果画像の統合処理を特徴として、良好な結果を得るためには画像ごとに適切なしきい値を必要とする。本稿では、多方向 SMF を基本として、ラスタ走査中の注目画素の雑音検出処理の中でしきい値の計算を行う方法と GPU を用いた並列型のアルゴリズムを提案する。前者は、注目画素周辺のエッジの強さの平均値からしきい値を計算して画質の改善を図るもので、後者は並列処理により高速な処理をするもので、実験によりそれぞれの有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、MDSMF 法に基づくラスタ走査中に行う雑音検出処理に対して適応的な閾値決定法を組み込んだ方法である。注目画素周辺の雑音が除去された走査済み画素を用いて局所的なエッジ量、すなわち濃度の変動量（Total Variation）から閾値を求め、その閾値を用いて雑音の判別を行う。また、走査済み画素を有効に活用することで、閾値の精度を改善し、処理の効率化を行った。また、GPU による並列化方法も処理時間の短縮を達成した。これまで提案されるスイッチングメディアンフィルタの改良方法はアルゴリズムが複雑化する傾向にあったが、本手法は実用性の高い雑音除去方法といえる。

研究成果の概要（英文）：The multidirectional switching median filter (multi-directional SMF) that we have developed to remove impulse noise in images is effective because it features a 2×2 pixel detector and the integrated processing of multiple resulting images by multidirectional scanning. An appropriate threshold value is required for each image to remove noise. In this paper, we propose a novel method to calculate the threshold value in the noise detection process of the pixel of interest during raster scanning and a parallel algorithm using GPU, based on multidirectional SMF. The former calculates the threshold value proportional to the average value of the edge strength around the pixel of interest with a simpler process to improve the image quality, and the latter is a parallel process for high-speed processing. The effectiveness of each was confirmed by experiments.

研究分野：画像処理工学

キーワード：スイッチングメディアンフィルタ インパルス性雑音 雑音除去 閾値 並列処理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

CMOS や CCD による撮像画像は、センサの受光セル間の感度のバラツキや低照度下における撮像などにより、画像に雑音为重畳する場合がある。このような雑音の中に、画像上の不規則な場所に発生し、雑音の濃度値の振幅が大きいインパルス性雑音がある。この雑音を除去する有効な方法としてメジアンフィルタ(MF) 法があるが、全画素に処理を適用するために画質を劣化させてしまう。この改善方法として、走査中の注目画素が雑音と判定された場合にのみ、MF 処理を行うスイッチング型のメジアンフィルタ(SMF)が提案されている。しかし、多くの SMF 法は、雑音検出および除去のためのアルゴリズムが複雑化する傾向にあり、MF 法よりも処理時間がかかる傾向にある。そこで、我々は 2×2 画素の雑音検出オペレータを用いた、多方向走査と平均処理の 2 ステップ方式で雑音除去を行う多方向スイッチングメジアンフィルタ(多方向 SMF)法を提案している。しかし、スイッチング型的手法では、注目画素が雑音か非雑音かの判定にしきい値を必要とするが、画像ごとの最適なしきい値が異なるため、それぞれの最適なしきい値を求めることは難しく、その決定方法について研究が進められているところである。

2. 研究の目的

近年、画像の高解像度化に伴って受光素子の受光面積が縮小する傾向が、インパルス性雑音の発生確率が高めている。しかし、前述したスイッチング型のメジアンフィルタ法は、撮像素子の高解像度化により総画素数が増加しているために処理速度への影響が出る。そこで、高解像度画像に対しても高速で効果的な雑音除去ができる実用性の高い手法の開発が望まれている。そこで本研究では、アルゴリズムがより簡潔で、さらに GPU による並列処理を用いて高速に処理が可能で、効率的な雑音除去アルゴリズムの開発を行うことを目的としている。また、従来から問題となっている画像情報を基にした適切なしきい値の決定方法の開発を行うことも目的としている。

3. 研究の方法

本研究で開発した方法は、これまでに我々が開発済みの多方向スイッチングメジアンフィルタ(MDSMF) [1]を基に、この中で行う雑音検出処理に対して、適応的な閾値を決定するアルゴリズムを組み込んだものである。注目画素周辺の雑音が除去された走査済み画素を用いて局所的なエッジ量、すなわち濃度の変動量 (Total Variation) から閾値を求め、その閾値を用いて雑音の判別を行うのが特徴となっている [2]。また、この手法のラスタ走査による雑音検出について GPU を用いた反復型の並列処理アルゴリズムに変更した。これらの手法の性能を以下の実験により調べながら改良を加えた。

(1) 画質の定性的な比較

試験画像 12 枚にインパルス性雑音を加え、その除去性能を従来法と比較した。用いる従来法は、MF、SS-I、R-EPR、I-PSMF、MDSMF、D-MDSMF の 6 つの方法である。提案法(Prop. と記す)、MDSMF、D-MDSMF で用いる走査セットは、画質を優先して、SD=4 を用いた。全ての方法について、最良の結果を比較するため、画像と雑音の割合ごとに最適なパラメータを求めた。雑音検出に用いる窓サイズは、SS-I では 3×3 に統一し、R-EPR と I-PSMF では、 3×3 と 5×5 のうち、雑音の割合に応じて良好な方を選んだ。雑音除去に用いるメジアンフィルタなどの窓サイズは、R-EPR では注目画素周辺の雑音の割合により動的に変更し、それ以外の方法では 3×3 に統一した。

(2) 雑音の検出性能の比較

閾値処理による雑音検出を行なう従来法として、SS-I、R-EPR、I-PSMF、MDSMF、D-MDSMF の 5 つの方法を用いて、検出性能の比較実験を行なう。複数の閾値を用いる方法は、R-EPR、I-PSMF、D-MDSMF、Prop. である。また、MDSMF、D-MDSMF、Prop. では走査方向ごとに雑音検出結果が異なるため、4 つの走査方向のうち 3 方向以上で検出された画素数を数え、評価値を計算した。再現率(Re-call)、適合率(Precision)、F 値(F-measure)は 12 枚の試験画像の平均値である。

(3) パラメータの設定指標

提案法のパラメータは 4 つあり、走査方向数 SD、閾値計算範囲の大きさ l_r 、基準閾値 B、エッジ量の調整重みである。各パラメータの最適値付近の PSNR 値の遷移を確認するため、最も高い PSNR 値を与える最適パラメータの組を網羅探索で得た。次に、特定のパラメータの変化に対する PSNR 値の遷移を観察するため、注目パラメータ以外は最適パラメータを用いて固定し、注目パラメータのみを変化させて調べた。

(4) 並列処理化

提案する並列処理手法は、多方向 SMF 法の中の多方向からの走査による逐次処理の代わりに、並列処理と反復処理を用いることで高速化する。用いる言語は GPU 向けの汎用並列コンピューティングアーキテクチャである CUDA (Compute Unified Device Architecture) とし、画像の 1 画素を GPU の 1 スレッドに対応させて画素ごとで並列処理を実現する方法である。

4. 研究成果

(1) 画質の比較

a) 画質の定性評価

画質の視覚的に評価からは、雑音検出を行わない MF が最も雑音除去されたように感じられるが、鮮明さの低下は最も大きい。雑音検出を行う方法では、Prop. が最も雑音の除去と鮮明さの

維持を両立できている。D-MDSMF と R-EPR がそれに続くが、少し雑音が残る。更に、MDSMF, SS-I, I-PSMF が続き、この順に雑音の残留程度が増える。

b) 画質の定量評価

図1の雑音の割合について、PNRが0.05から0.50の範囲では、Prop., D-MDSMF, MDSMFの順にPSNR値が高く、PNRが0.55から0.60の範囲では、I-PSMFがProp.を上回ることが分かった。PNRが低ければProp.のPSNRは他の方法より高いが、PNRが高いとその差は小さくなる。画像ごとにMDSMFとProp.の結果を比較すると、画質の改善程度に違いがみられた。改善差が大きい画像は、平坦な箇所と濃度変化が大きい箇所の両方を持ち、それぞれが鮮明な傾向がある。

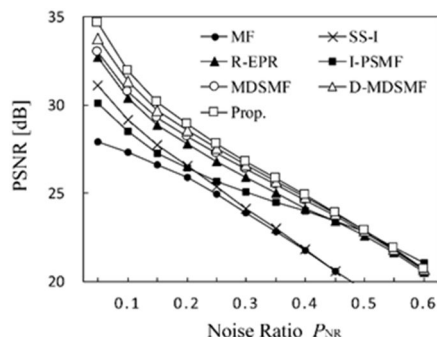
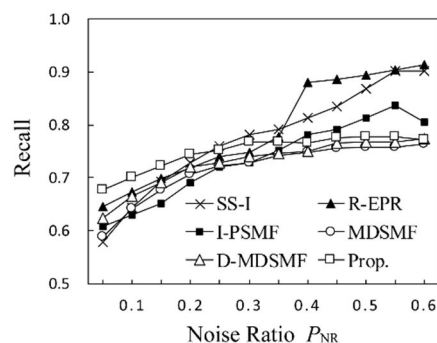


図1 雑音除去性能の比較

(2) 雑音の検出性能の比較

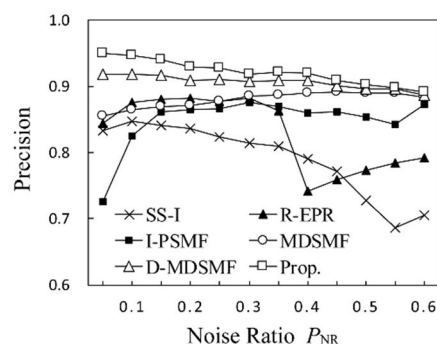
図2に雑音検出性能の比較結果を示す。DSMF, D-MDSMF, Prop.の順で雑音検出性能は改善している。また、MDSMF, MDSMFに基づくD-MDSMF, および, Prop.は、PNRの増加に伴い3つの雑音検出精度が低下する。他の方法と比較して、これらの方法は、雑音検出に2x2の小さな処理窓を共通に用いており、雑音の割合が多い場合、窓内に正常な画素値が含まれる確率が低くなり、正常な画素値を参照した雑音検出処理が難しくなったためと考えられる。



(a) Recall

(3) パラメータと画質の関係

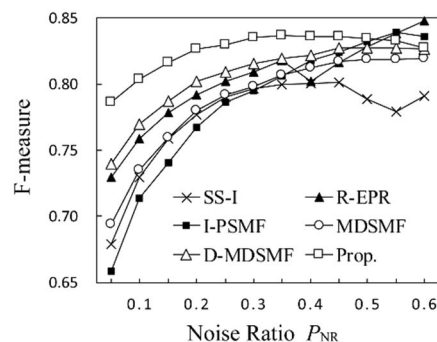
図3に提案法の各パラメータとPSNR値との関係を示す。雑音の割合はPNRが[0.1, 0.4]の範囲で、0.1刻みで設定した。(b)(d)はSD=4の結果であり、12枚の試験画像のいずれかで最適値が得られる範囲を太線とした。同図(a)のSDとPSNR値の関係では、いずれの雑音の割合においてもSDが多いほどPSNR値が向上するが、向上の程度は頭打ちとなる。走査の処理数を考えると、MDSMF法と同様に、速度を優先する場合はSD=2を用い、画質を優先する場合はSD=4を用いることが適切である。同図(b)(d)では、いずれも横軸の最適パラメータの位置に頂点を持つ単峰状のグラフとなった。(b)のI_rについては、パラメータの変化に対するPSNR値の変化は、全体的に小さく、他のパラメータが適切に調整されていれば、最適パラメータの範囲内でパラメータを固定しても良い。(c)のBと(d)については、パラメータの変化に対するPSNR値の変化が大きいため、画質の向上にはこれらのパラメータを適切に調整する必要がある。



(b) Precision

(4) 並列型の性能

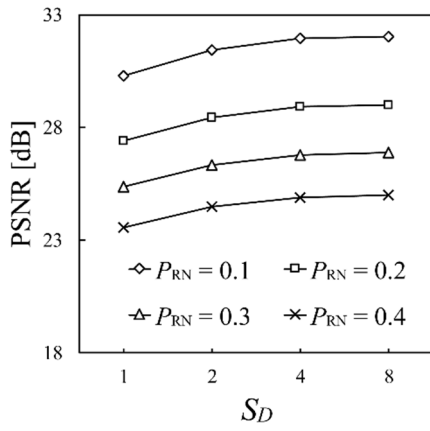
図4に、雑音の重畳率が30%の画像における各手法の復元画像の画質を比較したものと、処理速度の比較結果を示す。これらは、5枚の試験画像における平均値で表している。図より、GPUを用いることで高画質化に伴う処理速度の低下が抑制できることがわかる。また、今回の提案手法において、先行研究でのGPU_SMFより処理速度が若干改善できた。これは、MF処理の回数を減らすことで、並列度をより高めた手法とすることができたためだと考えられる。また、従来法において、解像度が上がるにつれて2次関数的に処理速度が増えているのに対し、GPUを用いることで処理速度の増加を大幅に抑えることができ、より高解像度の画像に対しても高速な処理が期待できる。



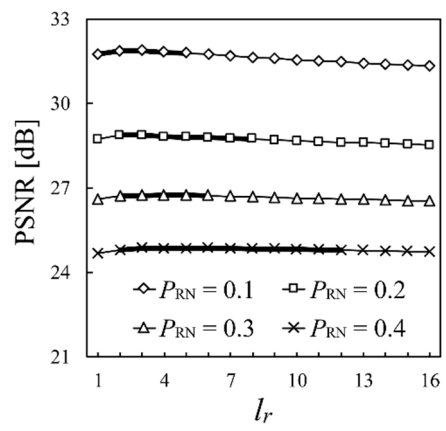
(c) F-measure

図5の、復元された画質において、高解像度の画像ではGPU_SMFの雑音除去結果より、本手法の方が良い画質が得られることがわかった。低解像度の画像では、いくつかの手法より低い画質となっているが、解像度が増加につれて、他の手法と比べて画質が向上することがわかった。

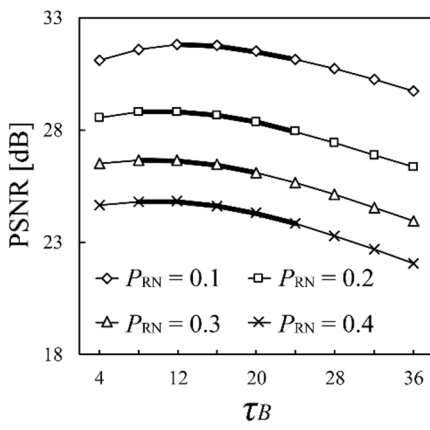
図2 雑音検出性能の比較



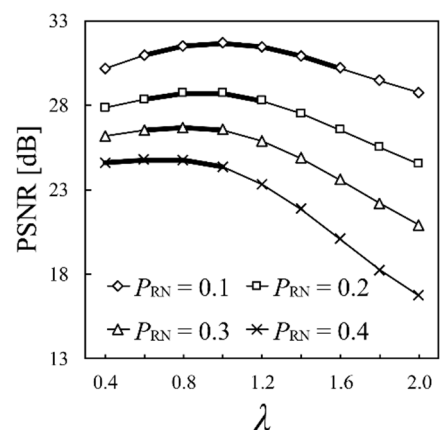
(a)



(b)



(c)



(d)

図3 パラメータと画質 PSNR の関係

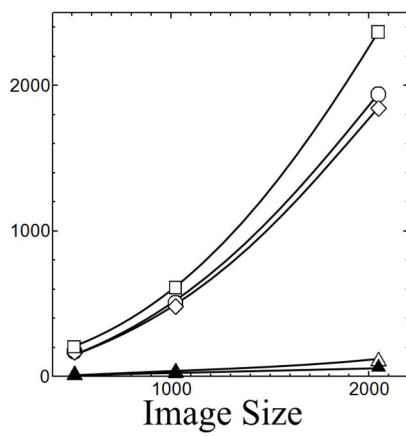


図4 処理速度の比較

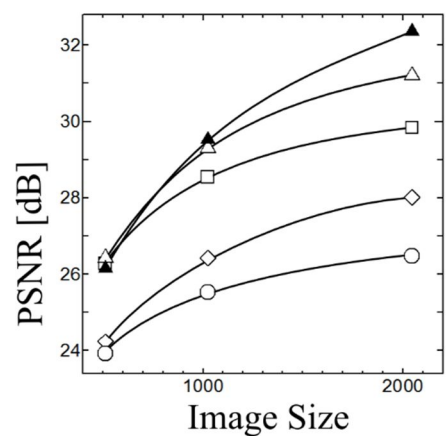


図5 画質の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yusuke Koshimura, Takashi Miyazaki, Yasuki Yokoyama, Yasushi Amari and Hiroaki Yamamoto	4. 巻 ICISIP2018
2. 論文標題 Fast Paralleled Removal Method of Impulsive Noise Using Edge Strength	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2018	6. 最初と最後の頁 382-389
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 横山靖樹, 宮寄敬, 白井啓一郎, 山本博章, 曾根光男	4. 巻 No.4
2. 論文標題 注目画素周辺のエッジ量に基づく適用的しきい値を用いた多方向スイッチングメジアンフィルタ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D	6. 最初と最後の頁 324-335
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） DOI:10.14923/transinfj.2018JDP7058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takashi Miyazaki, Yusuke Koshimura, Yasushi Amari, Yasuki Yokoyama, Hiroaki Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 A Study on Fast Removal Method of Impulsive Noise Using Parallel Processing with GPU	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The 6th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2018, Proceeding	6. 最初と最後の頁 327-334
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yasushi Amaria, Takashi Miyazaki, Yusuke Koshimura, Yasuki Yokoyama, Hiroaki Yamamoto	4. 巻 1
2. 論文標題 A Study on Impulse Noise Reduction Using CNN Learned by Divided Images	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The 6th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2018, Proceeding	6. 最初と最後の頁 93-100
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 横山靖樹, 宮寄敬, 越村勇介, 山本博章
2. 発表標題 適用的閾値を用いた多方向スイッチングメジアンフィルタの閾値決定に用いるエッジ量の計算方法の比較
3. 学会等名 計測自動制御学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村上舜, 天利安志, 宮寄敬, 横山靖樹, 山本博章
2. 発表標題 深層学習を用いたガウス性雑音除去に関する誤差関数の検討
3. 学会等名 計測自動制御学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天利安志, 宮寄敬, 村上舜, 越村勇介, 横山靖樹, 山本博章
2. 発表標題 インパルス性雑音除去への深層学習の応用に関する検討
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Koshimura, Takashi Miyazaki, Yasushi Amari, Yasuki Yokoyama and Hiroaki Yamamoto
2. 発表標題 Fast Improved Parallel Algorithm for Removing Impulse Noises in Images
3. 学会等名 IEEE (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村上舜, 天利安志, 宮寄敬, 越村勇介, 横山靖樹, 山本博章
2. 発表標題 Squeeze and Excitation を用いた深層学習によるインパルス性雑音除去に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天利安志, 宮崎敬, 村上舜, 越村勇介, 山本博章
2. 発表標題 Multi-scale Convolutionを用いた深層学習によるインパルス性雑音除去に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越村勇介, 宮崎 敬, 天利安志, 横山靖樹, 山本博章
2. 発表標題 多方向スイッチングメディアンフィルタ法のGPUを用いた並列処理法
3. 学会等名 計測自動制御学会中部支部シンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮崎 敬, 天利安志, 越村勇介, 横山靖樹, 山本博章
2. 発表標題 深層学習を用いたインパルス性雑音除去における学習データの雑音量の影響
3. 学会等名 計測自動制御学会中部支部シンポジウム2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 ・ Yasushi Amari, Takashi Miyazaki, Yusuke Koshimura, Yokoyama Yasuki, Yamamoto Hiroaki
2. 発表標題 Application of Deep Learning to removing impulse noises in images
3. 学会等名 The Shin-EtsuChapter of The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, IEEE Shin-etsu Section
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮崎敬, 越村勇介, 天利安志, 横山靖樹, 山本博章
2. 発表標題 GPUを用いたインパルス性雑音除去のための高速な並列処理方法
3. 学会等名 平成29年度電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横山靖樹, 宮崎 敬, 山本博章
2. 発表標題 エッジ情報に基づく可変しきい値を用いた雑音検出式フィルタの実画像対する性能評価
3. 学会等名 2017年度信州大学実験・実習技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山靖樹, 宮崎 敬, 曾根光男, 山本博章
2. 発表標題 インパルス性雑音を除去する雑音検出型フィルタの限界的な性能についての実験的検討
3. 学会等名 情報処理学会第80回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山靖樹, 天利安志, 越村勇介, 宮崎敬, 山本博章
2. 発表標題 多方向スイッチングメジアンフィルタのためのPSNRを指標としたしきい値決定法の基礎検討
3. 学会等名 計測自動制御学会中部支部シンポジウム2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 宮崎敬, 横山靖樹, 越村勇介, 天利安志, 山本博章
2. 発表標題 多方向SMFのしきい値自動調整のための雑音分布を考慮したL1ノルムの活用の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会IEEE信越支部セッション
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 画像処理プログラム、画像処理方法及び画像処理装置	発明者 宮崎 敬, 横山靖樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、第6198114号	取得年 2017年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	横山 靖樹 (Yokoyama Yasuki)	長野工業高等専門学校・技術支援部・技術職員 (53601)	
連携研究者	山本 博章 (Yamamoto Hiroaki) (10182643)	信州大学・工学部・教授 (13601)	