

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：53601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330218

研究課題名(和文) 並列処理を組み入れた高速なインパルス性雑音の検出法と除去に関する研究

研究課題名(英文) A First Parallel Multi-Direction Switching Median Filter for Reducing Impulse Noises

研究代表者

宮崎 敬 (Miyazaki, Takashi)

長野工業高等専門学校・その他部局等・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)：インパルス性雑音の除去には、スイッチング型のメディアンフィルタが有効である。開発済みの多方向スイッチングメディアンフィルタ(M-SMF)は、2x2画素サイズの検出器と平均化を使った復元器を特徴とする。この手法は対象画素が雑音かを判別するためのしきい値を必要とする。このしきい値の適切な値は画像内のエッジの強さと量により異なる。通常、エッジの強さや量は、画像の場所によっても異なるので、場所ごとの適切なしきい値も異なる。本研究では、しきい値の設定範囲を分割し、分割画像ごとにエッジの平均値に応じたしきい値を設定するM-SMFの改善方法と、GPUを用いた並列処理アルゴリズムの方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Many kinds of switching-type denoising filters have been proposed to detect and denoise noisy pixels in an image effectively. Our multi-directional switching median filter uses a 2x2 pixels noise detector and an averaging method. To discriminate noisy pixels in the image, our filter requires a threshold like other switching-type filters. The optimal value of the threshold varies depending on the strength and quantity of the edge of the image, which means the optimal threshold varies from area to area of the same image. Focusing on this point, we proposed a new method. It divides the image into segments and, for each of them, sets a threshold proportional to the average edge strength of the segment. Furthermore, we developed the method of the parallel computation using GPU. Our experiment verified that this method could improve image quality.

研究分野：画像処理

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 しきい値 並列処理 GPU 復元器 検出器

1. 研究開始当初の背景

デジタル画像に加わるインパルス性雑音の除去にはメディアンフィルタ(MF)が有効とされる。しかし、MFは、画像の全ての画素に処理を適用するため、雑音でない画素(信号画素)にも雑音除去(復元)処理を適用し、画質を劣化させる短所がある。この問題を改善するため、スイッチング型と呼ばれる雑音検出型のフィルタが、数多く提案されている。スイッチング型のフィルタは、雑音と判定した画素のみに雑音除去処理を適用するため、信号画素の劣化を局限し、画質の改善を可能としている。スイッチング型のフィルタの雑音除去処理には、MF または、拡張型のMFが使われることが多く、これらはスイッチングメディアンフィルタ(SMF)と呼ばれる。この手法には、あらかじめ設定したしきい値と近傍画素と注目画素の濃度差を比較して雑音か否かを判定するしきい値型の手法、雑音は近傍画素の中で極端な階調の濃度(大振幅濃度)の画素であることに注目して雑音検出を行う大振幅型の手法、しきい値型の手法を大振幅型の考えでさらに発展させた手法、ニューラルネットワークを利用した手法などが提案されている。このように、雑音除去の方法は長年にわたって改善が進められてきている反面、さらに性能が良い方法が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、高解像度化が進むイメージセンサの受光セルの感度差によって生じるインパルス性雑音を高速に検出・除去する雑音除去フィルタを開発することが目的である。現在までに、多方向走査による2x2画素サイズの雑音検出器と雑音除去器をもったしきい値型スイッチング・メディアンフィルタ(M-SMF)の開発と改良をしてきている。今回はさらに、画像の周波数情報(エッジ量)を基にした雑音検出のための最適なしきい値を自動的に決定する方法と、並列処理プログラミングによる高速で雑音除去率の高い方法を実現することを目標としている。具体的には、M-SMFについて以下の3項目を改良することにより実用性の高いフィルタを実現するのが目的である。その内容とは、(1) 誤検出率・未検出率の改善による雑音除去性能を向上させる、(2) 画像に応じた雑音検出のしきい値を画像の周波数情報(エッジ量)を基に自動的に決定する、(3) アルゴリズムの並列処理化により速度を向上させる、ことである。

3. 研究の方法

本研究では、すでに開発済みのM-SMFを基に、マルチコアCPUとGPUをもつパソコンと並列処理コンパイラを導入して、以下の3項目を達成していく。(1) 雑音の未検出率・誤検出率の低減を図る、(2) 雑音検出に使用するしきい値を画像の周波数情報(エ

ッジ量)を基に決定する方法を確立する、(3) 改善した手法のアルゴリズムを並列処理化する、である。この項目(1) ~ (3)を順次開発した段階で、現在までにインプリメントしてある他の代表的な他手法のプログラムを用いて、アルゴリズムの速度および復元画像の画質について比較実験をして評価を行う。

しきい値は、雑音除去とエッジ保存の優先度に関係し、雑音除去優先の場合には低い値、エッジ保存優先の場合には高い値を設定する。エッジが多い画像ほど、適切なしきい値が高くなる傾向がある。この点に着目し、我々は、M-SMFの発展型の手法として、画像を小画像へ分割し、各小画像のエッジ量に比例したしきい値を設定する手法(画像分割型M-SMF)を提案した。画像分割型M-SMFは、最終的な雑音除去処理の前に、エッジ検出のため前処理を必要とする。この前処理を省いた改善型のフィルタとして、1回の走査中に注目画素周辺の雑音除去済み画素の濃度差分値の平均値をしきい値に加えることで、前処理を必要することなく、M-SMFの画質の改善を図った。このエッジ検出と分割画像のしきい値計算法を用いた本手法の手順の詳細について述べる。本手法では、画像を分割して分割画像ごとにしきい値を設定する。分割は1回の分割につき縦横それぞれ2分割、すなわち格子状の4分割を基本とする。分割後の画像をさらに分割する場合には入れ子状に4分割する。しきい値は分割終了後に各分割画像ごとに値を設定する。このしきい値を、分割画像のエッジ量に比例させれば、エッジ量の多い分割画像ほど高いしきい値が設定できると考えた。エッジ検出オペレータによるエッジ検出画像の各画素はエッジの強さを表すので、分割されたエッジ検出画像の全ての画素値を平均することで分割画像のエッジの強さとする。分割画像のエッジ強度には、画像の局所的な濃度変化に対応した高低があるので、全ての分割画像のしきい値をこのエッジ強度に比例した値として分割画像のしきい値を計算する。これらの処理は次の5段階で行い、処理の流れを図1に示す。

エッジ検出と分割画像のしきい値計算法を用いた本手法の手順について述べる。

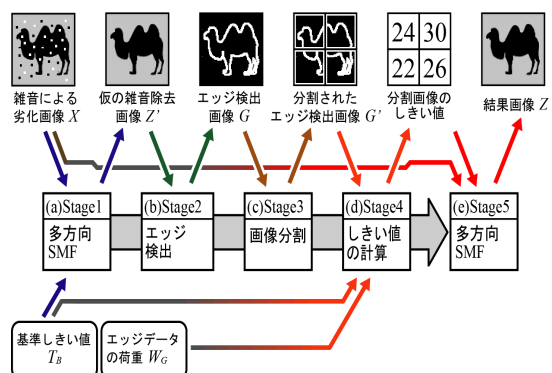


図1 処理の流れ

Stage 1: 雑音の影響を除くため、雑音重畳画像  $X$  に M-SMF を適用し、仮の雑音除去画像  $Z$  を得る(図 1(a)) .

Stage 2: 仮の雑音除去画像  $Z$  にエッジ検出オペレータを適用し、エッジ検出画像  $G$  を得る(同図(b)) .

Stage 3: エッジ検出画像  $G$  を、格子状に分割する。分割後のエッジ検出画像  $G$  が、しきい値計算のための分割画像となる(同図(c)) .

Stage 4: 分割画像ごとのしきい値を計算する。しきい値は、分割画像のエッジ強度に比例した値とする(同図(d)) .

Stage 5: 各分割画像のしきい値を使い M-SMF を適用し、最終的な結果画像  $Z$  を得る(同図(e)) .

本手法は、基準しきい値  $TB$  とエッジの加重  $WG$  の 2 つのパラメータを手動で設定する必要がある。  $TB$  は、Stage 1 と Stage 4 で、  $WG$  は Stage 4 で使用する。 Stage 1 と Stage 5 の走査方向数  $SD$  は、画質優先の 4 を選択する。

GPUを用いた 2x2MD の並列処理アルゴリズムとして、画素単位の並列化を行うために次のような改良をした。 2x2MD は再帰処理のため、画素単位の並列化が難しい。そこで本手法は、再帰処理の代わりに反復処理を用いることにより、画素単位の並列化を実現する。以下に処理の流れを示す(詳細は論文を参照)。

( ) 画像データをホストから GPU へ転送する。

( ) すべての画素に対し、GPUMD を実行する。 2x2MD の 4 方向に対応した雑音検出オペレータとの積和演算により濃度差分値を求める。

( ) しきい値より大きければメディアンフィルタをかける

( ) 処理( ),( ) を一定回数だけ繰り返す。反復処理が終了したら、結果画像を GPU からホストに転送し、終了する。画素単位の並列化では、2x2MD の再帰処理による処理済み画素の利用ができない。そこで、反復処理により、注目画素の処理に、1 つ前の反復の周辺画素の処理結果を利用する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 画像分割型 M-SMF の結果

提案法と他手法の雑音除去性能を比較した結果を図 2 に示す。雑音の割合は、 $p = 0:1 \sim 0:6$  とした。比較手法は、しきい値型フィルタから SS-I(Switching Scheme I for median filter) , R-EPR(Rank-order logarithmic difference and Edge Preserving Regularization) , I-PSM(Improved Progressive Switching Median filter) , CD-DA(Convolution-based impulse Detector and Decision-based Algorithm) , M-SMF(Multidirectional SMF , =2x2MD) を選択した(詳細は論文を参照)。

また、参考基準として、通常の MF(Median Filter)も選択した。しきい値、繰り返し回数などのパラメータ設定に関しては、手法により最適値が異なるので、全ての手法について画像や雑音重畳率ごとに総当たり式にパラメータを変え結果画像を取得し、最も PSNR が高い結果画像をその手法の結果とした。同図(a)PSNR より、M-SMF および提案法は、 $p = 0:1 \sim 0:5$  において他手法を上回っている。雑音の割合が少ないほど、提案法の PSNR は他手法よりも高い。雑音の割合が多くなると、提案法は、M-SMF と同等となる。画像中の雑音の割合が多い場合、処理対象画像は大きく劣化し、局所ごとのエッジが失われる。提案法で利用する各分割画像のエッジ強度は一律に小さくなり、全ての分割画像のしきい値が低くなる。図 2(b)NDA と同図(c)NDE から、提案法は雑音が少ない  $p = 0:1$  で約 80%の雑音を検出し、約 10%の検出誤りがあることが確認できる。雑音の割合が増え

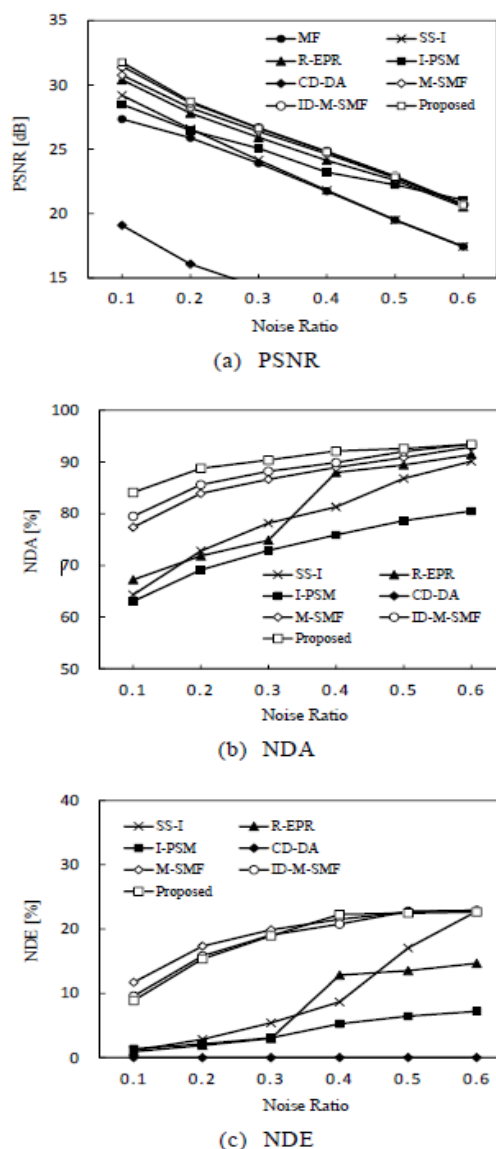


図 2 雑音除去性能の比較



るに従い, NDA, NDE とともに増加し,  $p = 0:6$  で, 約 90%の雑音を検出し, 約 20%の検出誤りとなる. 提案法の NDA, NDE を他手法と比べると, M-SMF 同様に, NDA, NDE とともに最も高いことから, 比較的検出誤りも多いが, 検出率も高い手法であるといえる. なお, 図 2 では, M-SMF と提案法は, 多方向走査の同位置の画素の雑音検出において, 4 つの走査方向全てにおいて重複して雑音検出した場合も, 1 つの走査方向のみで雑音検出した場合も, 同じ 1 回の雑音検出として数えた. これにより, M-SMF と提案法の NDA, NDE が, 他手法よりも高くなっている.

視覚的に結果画像を比較するため, 図 3 に結果画像の一部拡大を示す. 画像 Lenna に  $p = 0:1$  の雑音を加えたとき, M-SMF に比べて最も改善が大きかったため, これを選択した. 同図には各手法で用いたパラメータ, PSNR も書き加えた. 同図(h)M-SMF および (i)Proposed 以外の各手法のパラメータについて述べる. 同図(d)SS-I の  $T$ , (e)R-EPR の  $T_0$ , (f)I-PSM の  $T_d$ , (g)CD-DA の  $T$  は各手法のしきい値である. 同図(e)R-EPR の  $q$  は繰り返し時にしきい値に掛ける減衰係数, (e)R-EPR の  $K$ , (f)I-PSM の  $N_d$ , (g)CD-DA の  $K$  は反復処理の繰り返し回数である. 同図(g)CD-DA を除く (d)SS-I ~ (i)Proposed の雑音検出型の手法は, 雑音検出をしない(c)MF と比較して, 鮮明さを維持しつつ, 雑音を除去できている. これらの結果の優劣を視覚的に確認することは難しい水準にあるが, その中でも同図 (i)Proposed は, 人物の顔や頬などの平坦な部分で, 雑音の残留が比較的少ないことが確認できる.

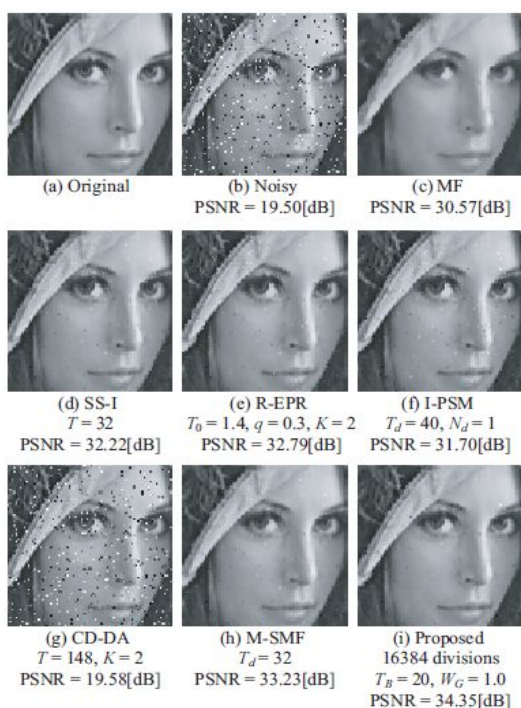


図 3 結果画像の比較

## (2) 2x2pMD 法および提案法の結果

画像サイズに対する各手法の処理時間を表 2 に示す. SP の数が 448 個と固定のため, 提案法も試験画像の画素数が増えるに従い処理時間が増加している. 表 1 より, 従来法の中では 2x2pMD が最も速い. その時間の内訳は, 多方向走査で 20.5[ms], 平均処理で 5.8[ms] となり, 合計 26.3[ms] である. これらは, 画像サイズに比例して大きくなる. 多方向走査の時間が MF に比べて速いが, これは, 雑音重畳率が 30%であるため, 雑音でない多くの画素に対し, MF の適用をスキップできるからである. 表 2 から分かるように, 2048x2048 の画像サイズで, 提案法は 2x2pMD よりも約 20 倍速と, 速度に関して大幅な改善が得られたと言える.

画質評価では, 2x2MD と 2x2pMD は同じ画質であること, および PSM が MF や ANID よりも良好な結果を示すことより, PSM および 2x2pMD を比較対象として用いた. 画像サイズによる PSNR の比較を図 4 に示す. 図 6 は画像のサイズによる PSNR の比較を示しているが, 2048 の高解像度画像に対しても, 2x2pMD にはわずかに劣るものの, PSNR が約 35[dB] の高画質画像を高速に得ることができ, この点からも本手法は有効な手法であると考えられる.

表 1 画像サイズに対する各手法の処理時間

画像サイズ	各手法の処理時間[ms]		
	MF	PSM	ANID
256x256	41.3	162.4	59.2
512x512	175.5	649.5	237.7
1024x1024	794.8	2604.5	944.4
2048x2048	3229.5	10141.7	3741.3

画像サイズ	各手法の処理時間[ms]		
	2x2MD	2x2pMD	提案法
256x256	78.8	26.3	2.1
512x512	317.3	100.9	6.2
1024x1024	1145.6	364.7	21.2
2048x2048	4784.4	1518.0	71.4

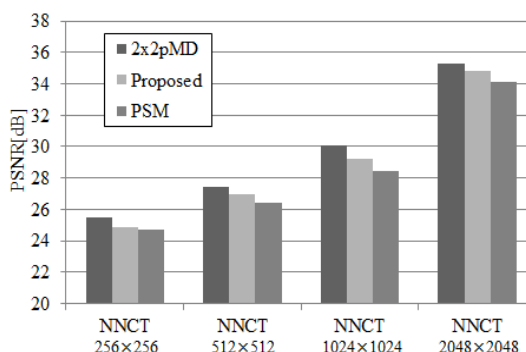


図 4 画像サイズと PSNR

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 2 件)

GPU に向けた高速並列多方向スイッチングメジアンフィルタ, 越山翔太, 山本博章, 宮寄敬, 横山靖樹, 曽根光男, 電子情報通信学会論文誌 Vol.J99-A, No.1, Jan. 2016, pp.69-72, (2016). 査読有

多方向スイッチングメジアンフィルタのための画像分割とエッジ情報によるしきい値設定, 横山靖樹, 宮寄敬, 曽根光男, 山本博章, 画像電子学会誌, 第 44 巻, 第 3 号, pp.436-446, (2015). 査読有

### 〔学会発表〕(計 18 件)

横山靖樹, 宮寄敬, 曽根光男, 山本博章: 多方向スイッチングメジアンフィルタのしきい値可変のための周辺画素の活用, 画像関連学会連合会第二回秋季合同大会プログラム, (2015.11.20), B06.

宮寄敬, 西沢拓未, 横山靖樹, 山本博章, 越山翔太: 多方向 SMF に対する L1 ノルムを用いたしきい値自動調整法 - ランダム値インパルス性雑音の除去 -, 平成 27 年度電子情報通信学会信越支部大会 IEEE 信越支部セッション講演論文集, 120, (2015.10.3), 9A-2.

越山翔太, 山本博章, 横山靖樹, 宮寄敬, 曽根光男: GPU に向けた高速並列多方向 SMF 法の検討, 平成 27 年度電子情報通信学会信越支部大会 IEEE 信越支部セッション講演論文集, 119, (2015.10.3), 9A-1.

宮寄敬, 西沢拓未, 横山靖樹, 越山翔太, 山本博章, 曽根光男: 画像分割とエッジ情報を用いた多方向 SMF による大振幅値インパルス性雑音除去, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2015 講演論文集, (2015.9.24).

T. Miyazaki, Y. Yokoyama, S. Hatakoshi, T. Minamisawa, Y. Toya, M. Murata, K. Oshida, K. Takeuchi, M. Endo: Structural Analysis of Potassium-Graphite Intercalation Compounds by Transmission Electron Microscopy Combined with Image Processing, The Annual World Conference on Carbon (CARBON2015), (2015.7.13), 40. 査読有

横山靖樹, 宮寄敬, 越山翔太, 山本博章, 曽根光男: 大規模画像に対する画像分割とエッジ検出を用いた多方向 SMF の評価,

画像電子学会 第 272 回研究会講演予稿, (2015.2.28), pp.78-83.

宮寄敬, 横山靖樹, 越山翔太, 山本博章, 曽根光男, 淀優介, 田中則幸: 並列処理を前提とした画像分割を用いた雑音除去フィルタ - 実画像のランダム雑音除去 -, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2014 講演論文集, (2014.9.19) pp.29-30.

越山翔太, 山本博章, 横山靖樹, 宮寄敬, 白井啓一郎: GPU を用いた多方向 SMF の並列化について, 第 13 回情報技術フォーラム, (2014.9.5), 253.

Yasuki YOKOAMA, Takashi MIYAZAKI, Shota KOSHIYAMA, Hiroaki YAMAMOTO, Mitsuo SONE: Impulse Denoising Filter Using Edge Detection and Image Segmentation, The Shin-Etsu Chapter of The Institute of Electronics, The IEEE Shin-etsu Session, 2014 Convention Record, (2014.10.4), 197.

宮寄敬, 池田高幸, 横山靖樹, 越山翔太, 山本博章: エッジ情報と画像分割を用いた多方向 SMF の実画像に対する雑音除去, 平成 26 年電子情報通信学会信越支部大会 IEEE 信越支部セッション講演論文集, (2014.10.4), 174.

越山翔太, 山本博章, 横山靖樹, 宮寄敬: GPU を用いた多方向 SMF の反復回数の検討”, 平成 26 年電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, 平成 26 年電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, (2014.10.4), 46.

Takayuki Ikeda, Takashi Miyazaki, Yasuki Yokoyama, Shota Koshiyama, Hiroaki Yamamoto and Mitsuo Sone: Improving Image Denoising Filters Using Image Segmentation Based on the Premise of Parallel Processing of Segments, 4th International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2014), 341, (2014.11.21), 186. 査読有

横山靖樹, 宮寄敬, 曽根光男, 山本博章: 多方向スイッチングメジアンフィルタのエッジ情報をもとにしたしきい値算出の基礎検討, 映像情報メディア学会技術報告, (2013.8.1), pp.23-26.

宮寄敬, 小山卓耶, 横山靖樹, 曽根光男, 山本博章: 多方向スイッチングメジアン

フィルタのためのしきい値算出手法に関する一考察 -画像のエッジ情報の統計値をもとにした-,計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2013 講演論文集, (2013.9.20), pp.48-49 .

宮寄敬,小山卓耶,横山靖樹,曾根光男,山本博章:多方向 SMF の分割化におけるしきい値とエッジ情報についての一考察,電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, P-3, p190, (2013.10.5) .

越山翔太,山本博章,横山靖樹,宮寄敬,曾根光男:2×2 ノイズ検出オペレータを用いた SMF の並列化,電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, 6C-1, p96, (2013.10.5) .

T. Koyama, T. Miyazaki, Y. Yokoyama and H. Yamamoto: Statistic analysis of edge data to calculate threshold for multi-directional switching median filter, 3rd International Symposium on Technology for Sustainability, ISTS 2013, Nov. 2013, (2013.11.21) , pp.162-163 . 査読有

横山靖樹,宮寄敬,曾根光男,山本博章:エッジ検出結果に基づくしきい値設定を用いた多方向スイッチングメジアンフィルタの一改良法,第36回情報理論とその応用シンポジウム, (2013.11.28), pp.210-215 .

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

宮寄 敬 (MIYAZAKI Takashi)  
長野工業高等専門学校電気電子工学科・教授  
研究者番号: 10141889

### (3)連携研究者

山本 博章 (YAMAMOTO Hiroaki)  
信州大学工学部情報工学科・教授  
研究者番号: 10182643

曾根 光男 (SONE Mitsuo)  
東海大学情報理工学部・教授  
研究者番号: 40187894

### (4)研究協力者

横山 靖樹  
長野工業高等専門学校技術支援部・技術職員  
研究者番号: