

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：54301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760325

研究課題名（和文）複数の低解像度情報に基づく離散値出力システムの状態推定論

 研究課題名（英文）State Estimation for Discrete-valued output systems  
based on Low-resolution Information

研究代表者

南 裕樹（MINAMI YUKI）

舞鶴工業高等専門学校・電子制御工学科・助教

研究者番号：00548076

研究成果の概要（和文）：

本研究では、低解像度信号が出力されるシステムに注目し、低解像度信号から高解像度信号を推定する問題を検討した。その成果として、まず、2値画像から濃淡画像を復元するアルゴリズムを超解像処理のアイデアに基づいて開発した。つぎに、低解像度画像を利用してロボットを制御するための超解像視覚フィードバック制御手法を考案した。さらに、分散電源ネットワークの需給バランス制御問題を考察し、シンプルな分散制御アルゴリズムを提案した。

研究成果の概要（英文）：

In this project, we have focused on systems with low-resolution output signals, and addressed the problem of restoring from low-resolution signals to high-resolution ones. For the problem, we first have proposed an inverse halftone algorithm based on super-resolution image processing, and then developed a visual feedback control algorithm with low-resolution images for robot manipulators. Furthermore, we have considered the supply and demand balance problem of distributed generation networks.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	800,000	240,000	1,020,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：制御工学

キーワード：低解像度情報，超解像処理，逆ハーフトーン，視覚フィードバック，分散電源

## 1. 研究開始当初の背景

**[研究動向]**：近年、離散値システムの制御に関する研究が盛んに行われている。とくに、連続値信号を離散値信号に変換する量子化（信号の離散値化）の問題が注目されており、量子化器の解析・設計に関する多くの成果が得られている。しかしこれまでは、入力が離

散値に制限された離散値入力システムを対象とする場合が多かった。そのため、出力が離散値となる離散値出力システムに対する成果は少なく現段階で決定的な手法が得られているとはいえない状況であった。

**[着想に至った経緯]**：申請者はこれまでに、離散値入力システムを対象とし、量子化器の

設計に関する研究を行ってきた。そして、制御の観点から、動的量子化器の最適設計論というひとつの枠組みを完成させた。しかし、対象としている問題は、「高解像度の連続値信号を低解像度の離散値信号に圧縮する」というものであり、その逆問題に対応する「低解像度の離散値信号から高解像度の連続値信号を復元する」という問題は未解決であった。一方、画像処理分野において、超解像処理とよばれる低解像度の画像から高解像度の画像を再構成する処理が注目されている。これは、分解能の低いカメラで撮影された複数枚の画像（低解像度画像）から一枚の画像（高解像度画像）をソフトウェア的に生成するというものである。この技術は、テレビなどの映像産業に大きな影響を与えているが、この画像処理分野の重要な知見を制御に応用する研究はこれまでになかった。

上記の背景から、離散値出力システムの制御に向けて、「離散値信号から連続値信号を推定する理論を超解像処理の考え方を利用して構築する」ことを研究課題とした。

## 2. 研究の目的

本研究では、離散値出力システムのための状態推定理論の構築を目的とする。具体的には、複数の低解像度信号がシステムの出力として得られる状況を考え、低解像度信号から高解像度信号を推定する手法を超解像処理のアイデアに基づいて構築する。これを達成するために、つぎの二つを目標とする。

- (1) 推定理論の提案：低解像度情報（離散値信号）から高解像度情報（連続値信号）を推定する理論を構築する。その際、複数の低分解能センサから複数の情報を取得する、一つのセンサを動かして複数の情報を取得する、センサの時系列データを複数利用する、などの状況を考える。
- (2) 有用性の検証と実用化に向けた改善：推定理論をメカトロニクス系の制御に応用する。実験検証を行うことによって、提案手法の有用性を確認する。また、実用を志向し、ロバスト性やリアルタイム性を向上させることを試みる。

## 3. 研究の方法

申請当初の予定は、つぎのとおりであった。1年目は、低解像度情報から高解像度情報を推定する理論を構築する。まず、超解像処理の考え方を離散値出力システムの制御に応用するための議論をした後、推定手法を考えていく。2年目と3年目は、実験システムを用いた制御実験を通して、理論の有用性の検証および改善を行う。また、システムに不確かさや外乱がある場合にも、高い精度で推定が行えるような理論を整備する。さらに、推定理論の計算時間・コストなどを考察し、実

応用を志向した理論を考えていく。

これに対して、実際の研究では、低解像度信号が出力される3種類のシステム（図1）を対象として、研究を進めることにした。

- (1) 階調数の少ない2次元信号（画像）が出力されるシステムを対象とする。そして、2値画像（低解像度）から濃淡画像（高解像度）を推定するアルゴリズムを構築する。
- (2) 画素数が少ない2次元信号が出力されるシステムを対象とする。具体的には、解像度の低いカメラからの情報を利用して、ロボットの視覚フィードバック制御を行う。そして、これを実現するために、高周波成分の少ない画像（低解像度）から高周波成分の多い画像（高解像度）を復元する方法を検討する。
- (3) 複数のON/OFF信号が出力されるシステムを対象とする。ここで考えているシステムは、複数の分散電源から構成される電源ネットワークである。このシステムに対し、電源のON/OFF信号（低解像度）と電力分布（高解像度）の対応付けを検討する。そして、そのもとで、どのようなON/OFF信号パターンを生成すれば、所望の電力分布が得られるかという問題を考察する。

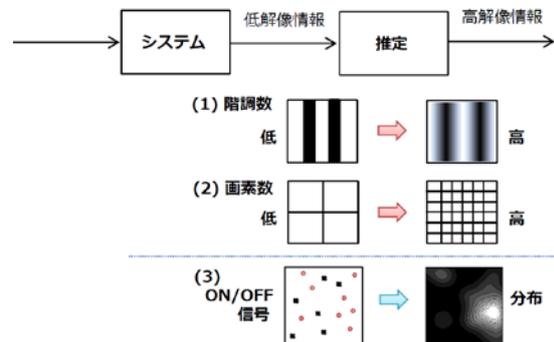


図1 対象システム

## 4. 研究成果

本研究課題によって、得られた成果はつぎのとおりである。

- (1) **超解像処理に基づく逆ハーフトーン処理の構築**：ハーフトーン画像（2値画像）から濃淡画像を復元するシンプルかつ有効な手法を提案した。この手法は、2段階アルゴリズム（図2）となっており、(i) 複数のローパスフィルタを用いて濃淡画像を生成する、(ii) 生成した濃淡画像に対して最適化を行う、という2つの処理を組み合わせたものである。この手法は、従来手法と比べてシンプルであることに加えて、ハーフトーン処理に関する事前情報を必要としないという利点がある。さまざまな条件のもとで、画像復元実験を行い、提案手法が従来手法に劣ら

ない有用な手法であることを確認した。

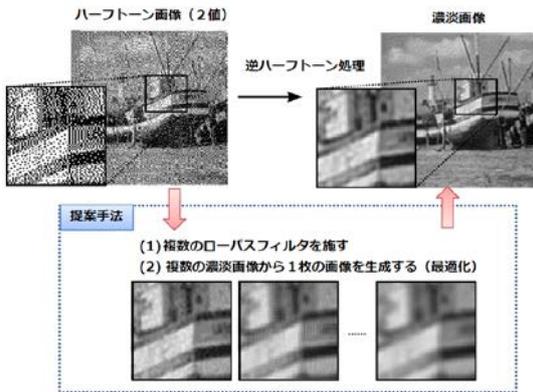


図2 逆ハーフトーンアルゴリズム

(2) ロボットアームの超解像視覚フィードバック制御：低分解能カメラから得られる画像情報（低解像度画像）を利用してロボットアームを制御することを試みた。提案手法は、超解像処理を用いて、複数の低解像度画像から高解像度画像を再構成し、その画像を利用して視覚フィードバック制御を行うというものである（図3）。本研究では、実機実験によって提案手法の性能を検証した。また、ロボットアームの手先に取り付けられた1台のカメラで複数枚の低解像度画像を取得する方法について考察した。さらに、手先（カメラ）の動きの情報を事前情報として高解像度画像復元に利用することで、復元精度を向上できることを確認した。

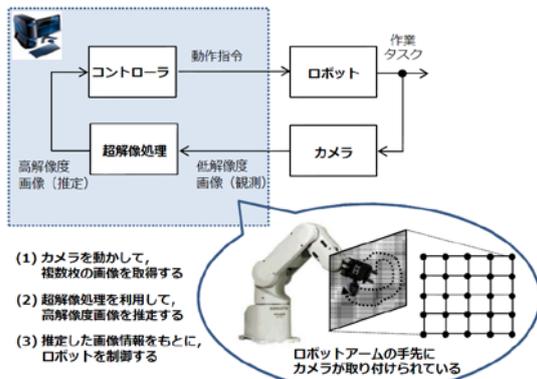


図3 超解像視覚フィードバック制御

(3) 分散電源ネットワークの制御：複数の分散電源（ガスタービンなど）によって構成される電源ネットワークに対して、重要家が要求する電力と電源が供給する電力をバランスさせる問題を検討した。本研究では、まず、電源ネットワークが作る電力供給分布が需要分布とほぼ等しくなるように各電源の運転モード（ON/OFF）を決定するという基本的な問題を定式化した。そして、問題のひとつ

の解として、シンプルな分散制御手法を与えた（図4）。なお本研究では、各電源のON/OFFの情報（低解像度）と電力供給分布（高解像度）を対応付けるために、拡散方程式の解を用いた。これは、電源から供給されるエネルギーが平面的に広がるというマクロな視点における定性的な性質をモデル化したものであり、この点に着目することで、分散制御アルゴリズムの導出に成功した。

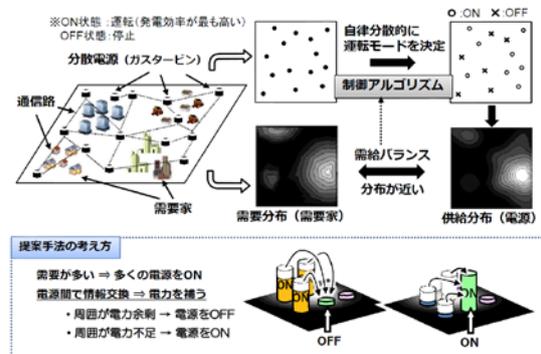


図4 分散電源ネットワークの制御

本節の最後に、本研究課題で得られた成果について補足しておく。

離散値出力システムに対する状態推定論を構築するという本研究の最大の目的は完全に達成することはできなかったが、その一方で、三つの成果を得ることができた。すべての成果が学術雑誌に掲載されており、とくに、「超解像処理のアイデアを利用した逆ハーフトーン処理」や「分散電源ネットワークの制御」に関しては、大きな成果が得られたといえる。実際、それらに対し、計測自動制御学会から二つの賞が授与されている。

以上をまとめると、本研究課題から得られた成果は、高く評価されているものと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計6件）

- ① Y. Minami, S. Azuma, and T. Sugie: Half-tone control of distributed generation networks, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 6, No. 1, pp. 14–21 (2013) 査読有  
DOI: 10.9746/jcmsi.6.14
- ② Y. Minami, S. Azuma, and T. Sugie: Optimal decentralized sigma-delta modulators for quantized feedback control, Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), IEICE Journal, Vol. 3, No. 3, pp. 386–404 (2012) 査読有

- DOI: 10.1587/nolta.3.386
- ③ 南裕樹, 森田陽介: 超解像処理を利用した産業用ロボットの視覚フィードバック制御, 日本高専学会誌, Vol. 17, No. 3, pp. 39-42 (2012) 査読有  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009489254>
- ④ Y. Minami, S. Azuma, and T. Sugie: Inverse halftoning using super-resolution image processing, IEEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 208-213 (2012) 査読有  
DOI: 10.1002/tee.21717
- ⑤ S. Azuma, Y. Minami, and T. Sugie: Optimal dynamic quantizers for feedback control with discrete-Level actuators: unified solution and experimental evaluation, Transactions of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 133, No. 2, Article 021005 (10 pages) (2011) 査読有  
DOI: 10.1115/1.4002952
- ⑥ 南裕樹, 東俊一, 杉江俊治: ハーフトーン画像処理: 画像の量子化による情報圧縮, 計測と制御, Vol. 49, No. 11, pp. 808-813 (2010) 査読無  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/10027445541>

[学会発表] (計 6 件)

- ① 南裕樹, 小阪飛陽: 分散型電源システムの分散協調制御, 第 10 回最適化シンポジウム, 1101 (2012/12)
- ② 森田陽介, 南裕樹: 複数の低解像度画像を用いたロボットアームの視覚フィードバック制御, 機械学会関西学生員卒業研究発表講演会, p. 20-16 (2012/3)
- ③ 森田陽介, 南裕樹: 超解像処理を利用したロボットアームの視覚フィードバック制御, 高専学会第 17 回年会講演会, pp. 145-146 (2011/8)
- ④ Y. Minami, S. Azuma, and T. Sugie: Halftone control of distributed generation networks, 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 128-131 (2011/9)
- ⑤ 南裕樹, 東俊一, 杉江俊治: 分散電源ネットワークのハーフトーン制御, 第 11 回制御部門大会, 162-2-3 (2011/3)
- ⑥ Y. Minami, S. Azuma, and T. Sugie: An inverse halftoning algorithm based on super-resolution image reconstruction, SICE Annual Control Conference 2010, pp. 1110-1113 (2010/8)

[図書] (計 0 件)  
なし

[産業財産権]  
○出願状況 (計 0 件)  
なし

○取得状況 (計 0 件)  
なし

[その他]

○受賞

- ① SICE Annual Conference Young Author's Award (2010.8): SICE Annual Conference 2010
- ② Finalist of SICE Annual Conference International Award (2010.8): SICE Annual Conference 2010
- ③ 2011 年度 計測自動制御学会関西支部支部長賞 (奨励賞) (2012.1): 「分散電源ネットワークのハーフトーン制御」

○研究代表者の web ページ

<http://y373.sakura.ne.jp/minami/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

南 裕樹 (MINAMI YUKI)

舞鶴工業高等専門学校

・電子制御工学科・助教

研究者番号: 00548076

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし