

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289117

研究課題名(和文)映像オドメトリのための機能的階層符号化と自律走行監視カメラへの応用

研究課題名(英文)Functionally layered coding for visual odometry and its application to autonomous traveling camera

研究代表者

岩橋 政宏 (Iwahashi, Masahiro)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30251854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：危険個所を自律走行して周囲の状況を映像監視し、通信ネットワークを介して連携できるクローラ型ロボット群が必要とされている。レスキュー現場では事前の環境情報もなく整備された通信インフラもない。本研究では、多方向・多色照明に基づく映像オドメトリを高ダイナミックレンジ・超高速映像に展開することで、雪や煙など視界不良時での自律走行に応用するための高精度な自己位置推定を実現した。更に、ネットワーク連携にはデータ通信量の削減が必須である。本研究では、機能的階層符号化をより深化させ、自己位置推定と監視機能の同時最適化手法を確立した。

研究成果の概要(英文)：It is required to develop a group of crawler robots which can autonomously travel and monitor around a rescue scene. In such a scene, there is no well prepared infrastructure for telecommunications for the autonomous travel robots. This research develops a new video processing method for visual odometry based on high dynamic range image processing techniques. It also develops a new data compression method for a narrow band telecommunication network based on the functionally layered coding technique.

研究分野：通信・ネットワーク

キーワード：画像

1. 研究開始当初の背景

自立走行ロボットの実現には自己位置推定技術が必要であり、GPSやレーザーレンジファインダの他にも、映像を用いた高速な処理方法が望まれていた。

2. 研究の目的

危険個所を自律走行して周囲の状況を映像監視し、通信ネットワークを介して連携できるクローラ型ロボット群が、防災上必要とされている。特にレスキュー現場では、事前の環境情報もなく整備された通信インフラもない。本研究では、申請者らの研究成果である多方向・多色照明に基づく「映像オドメトリ」を、高ダイナミックレンジ・超高速映像に展開することで、雪や煙など視界不良時での高精度な自己位置推定を実現して自律走行に応用する。

更に、ネットワーク連携にはデータ通信量の削減が必須である。汎用的な国際標準方式は視覚特性を考慮しているが、ロボット間通信には適合しない。申請者らの研究成果である「機能的階層符号化」をより深化させ、自己位置推定と監視機能の同時最適化手法を確立する。機械安全工学と雪氷工学との連携により、本研究の成果を安全社会に役立つ防災技術の構築へと還元させる。

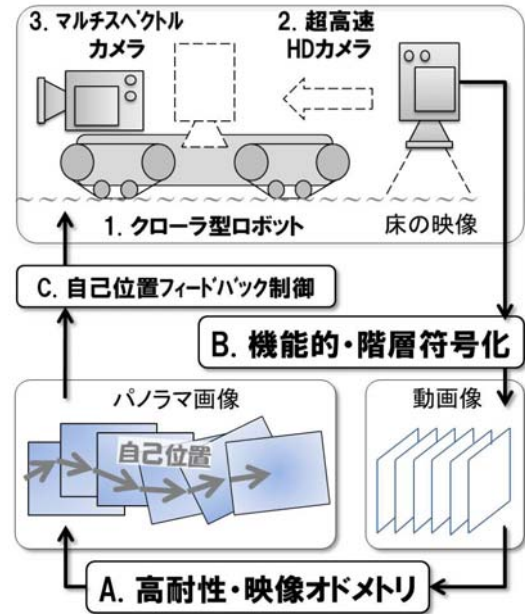
3. 研究の方法

ロボットの自律走行には環境情報の取得が必要となる。従来技術としてGPS (Global Positioning System) が挙げられるが、高精度な位置決めには他の手段との連動を要する。例えば、走行距離は車輪の回転数から逆算できるがスリップ時には精度が低下する。一方、ロボットの「目」から得られる映像から自己位置を推定する方法は、映像オドメトリとして知られており、高精度な推定が可能となる。しかし、映像中の特徴的な模様依存するため、雪、煙、霧といった視界不良時には精度が著しく低下する。申請者らはこの問題を、多方向・多照明に基づく「A. 高耐性・映像オドメトリ」により解決している。本課題では、更に、High Dynamic Range (HDR) 映像へ拡張することで堅牢で高精度な自己位置推定を実現する。

また、停電時のレスキュー現場の様な仮設の通信環境であっても、ロボット群をネットワーク経由で連携させるには、データ通信量の削減が必要である。MPEG等の標準的なデータ圧縮は、視覚特性に適合するよう設計されている。しかし、自己位置推定においては最適ではない。申請者らは「B. 機能的階層符号化」として、視覚特性と推定機能を同時に考慮する手法を考案している。本課題では、HDR映像に非線形 Tone Mapping を適用し、データ圧縮と推定機能と映像品質を同時に最適化する世界初の研究に取り組む。

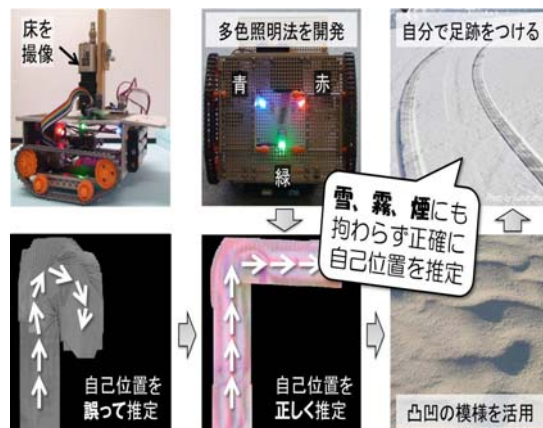
これらの成果を礎として、機械安全工学との連携において「C. 自己位置フィードバック

制御」技術を開発し、視界が悪く危険な個所を自律走行できるクローラ型ロボットを試作する。更には、雪氷工学との連携において、レスキュー現場や高所の他、雪底などの危険個所における状況監視へと応用展開し、本研究の成果を安全社会の構築に役立つ防災技術へと還元させる。



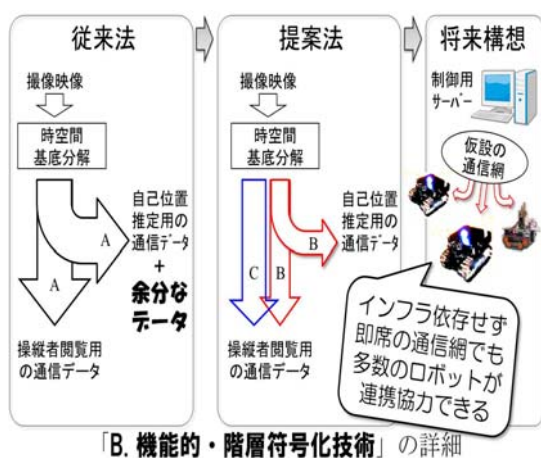
4. 研究成果

「A. 高耐性・映像オドメトリ」については、ロボットの自己位置を床面映像から正確に推定できる独創的な手法を確立した。砂地の様な特徴的な模様が存在しない場所でも、三方向から三色の光を照射することで、路面の凹凸を色差信号として顕在化でき、更に位相限定相関法を適用することで、ロボットの移動量を正確に推定できるという新たな事実を発見した。本研究課題では、非線形な写像を導入して位置推定に寄与する特徴量を抽出し、Hough変換やSIFTの併用により実環境への柔軟性を顕著に発展させた。また、実用的な走行速度での自己位置推定と走行系へのフィードバックを行い、自律走行の制御システムを実現した。



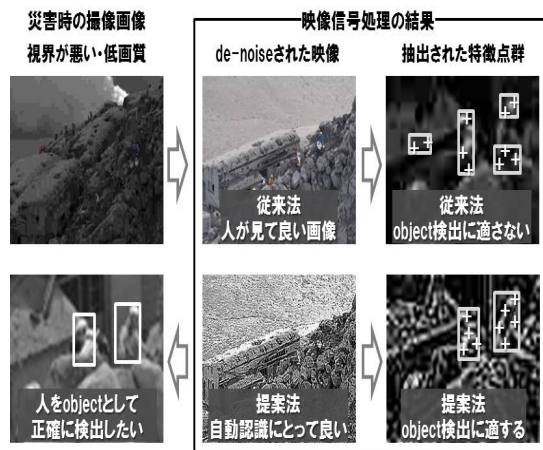
「A. 高耐性・映像オドメトリ技術」の詳細

「B. 機能的階層符号化」については、新規な着想に基づく「機能的階層符号化」を世界に先駆けて継続的に研究しており、河川監視やプライバシー通信など数々の応用へ展開してきた。ロボット群のネットワーク連携への応用では、通信帯域の狭い仮設ネットワークでの円滑な通信が可能となった。本研究では、撮像された映像信号を多次元の時空間基底に分解して、自己位置推定の機能にとって必要な成分のみをロボット間通信時に伝送する方法を開発した。汎用的な国際標準方式とは異なり、自己位置推定という機能に特化された、他に例を見ない学術研究である。映像符号化の課題は映像品質と圧縮率のバランスにある。本研究では、標準方式との互換性の制約下で、位置推定機能をも同時に最適化する方法を開発した。



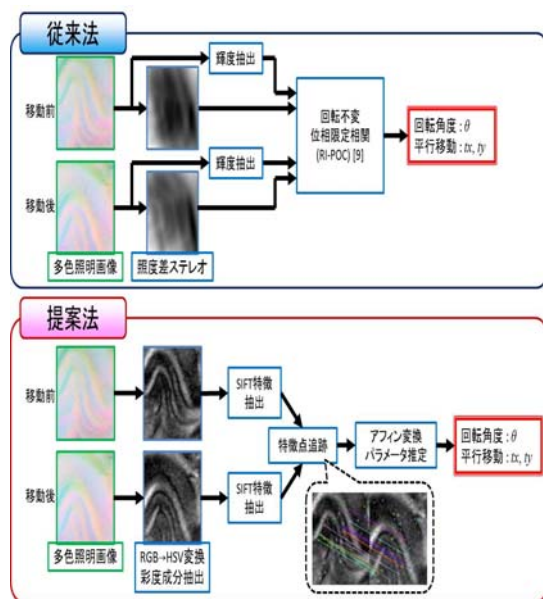
### 【画像処理 Gr】

多方向多色照明による映像オドメトリでは、位置推定の精度は「直線」走行時には高いが「旋回」時には低下することが明らかになった。その後、非線形な HSV 変換と SIFT 特徴量を併用して、アフィン変換パラメータを抽出する方法を試験した結果、高い精度での自己位置推定結果が得られた。しかし、撮像条件によっては位相限定相関の方が良い場合がみられた。このため、状況に応じて推定方法を適応的に切り替える手法を網羅的に調査した。高速カメラを用いて実用的な走行速度での自己位置推定を評価した。そのために DSP 処理ボードによる実時間処理の実験環境を整備した。FFT に基づく位相限定相関を実装し、続いて回転不変な RI-POC に拡張した。SIFT や Hough 変換による方法も実装を試みた。映像信号の実時間処理に予想以上の時間を要したため、CUDA による並列化を試みた。夜間降雪時の映像の鮮鋭化には、エッジ成分を顕在化させる Tone Mapping と時間方向の低域フィルタを併用した。監視状況の自動判別には、時空間基底分解と線形判別手法を活用した。状況に応じて SVM や DNN の適用も試みた。



### 【情報理論 Gr】

汎用符号化器との下位互換性を維持する条件下で、映像品質と圧縮率を同時に最適化する理論を構築した。更に、位置推定機能をも同時に最適化する学術的課題に取り組み、HDR 画像の機能的な階層符号化理論を確立した。機能的階層符号化技術を、映像信号の高次元・時空間基底への分解理論へと展開した。更に HDR 画像へと拡張することで、広いダイナミックレンジの中から暗く見えにくい模様成分を抽出することで、データ伝送量を効果的に圧縮する方法を研究した。構築した信号処理システムについて、実現上回避できない誤差の問題に取り組んだ。加法的白色雑音の影響を解析した。ロボット走行時の振動に起因する Motion Blur や、撮像角度に依存して生じる Affine 写像歪みの、推定精度への影響を解析した。



### 【駆動・制御 Gr】

斜度のあるパネル上を走行可能なロボットを開発した。パネルに特有の模様を Hough 変

換で検出することで、確度の高い自己位置推定を実現できた。推定された位置情報を実時間で駆動系にフィードバックして自律走行させる実験を行った。様々な実環境で試験を繰り返して改良を重ねた。路面の凹凸による推定精度の低下に対しては、撮像方向が互いに直交する3台のカメラによる相互連携補正により、実環境での評価試験を実施した。過負荷となる場合はジャイロセンサを代用した。

#### 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9件)

1. Teerapong ORACHON, Taichi YOSHIDA, Masahiro IWAHASHI, and Hitoshi KIYA, "Channel Scaling for Integer Implementation of Minimum Lifting 2D Wavelet Transform," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E. 99-A, no. 7, pp. 1420-1429, July 2016.
2. Fairoza Amira Binti HAMZAH, Taichi YOSHIDA, Masahiro IWAHASHI, and Hitoshi KIYA, "Adaptive Directional Lifting Structure of Three-Dimensional Non-Separable Discrete Wavelet Transform for High Resolution Volumetric Data Compression," IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E99-A, No. 5, pp. 892-899, May. 2016.
3. Toshiyuki DOBASHI, Masahiro IWAHASHI, and Hitoshi KIYA, "A Unified Tone Mapping Operation for HDR Images Expressed in Integer Data," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E. 99-A, no. 3, pp. 774-776, March 2016.
4. Teerapong ORACHON, Taichi YOSHIDA, Chokchaitam COMCHART, Masahiro IWAHASHI, and Hitoshi KIYA, "Word Length Allocation for Multiplier Coefficients of Minimum Lifting Non-Separable 2D Wavelet Transform," IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol. 136, No. 9, pp. 392-1399, Jan. 2016.
5. M. IWAHASHI, T. Yoshida, N. B. Mokhtar, H. Kiya, "Bit-depth scalable lossless coding for high dynamic range images," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2015, issue 1, no. 22, pp. 1-15, March 2015.
6. Teerapong Orachon, Suvit Poomrittigul, Taichi Yoshida, Masahiro IWAHASHI, Somchart Chokchaitam, "Non-separable 3D integer wavelet transform for lossless data compression," Science

Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, 3(6), pp. 35-46, Jan. 20, 2015.

7. S. POOMRITTIGUL, M. IWAHASHI, H. KIYA, "Reduction of Lifting Steps of Non Separable 2D Quadruple Lifting DWT Compatible with Separable 2D DWT," IEICE Trans. Vol. E97-A, No. 7, pp. 1492-1499, Jul. 2014.
8. S. POOMRITTIGUL, M. IWAHASHI, "Color Image Transcoding of Lossless Encoder and Standard Lossy Decoder based on JP2K," ECTI Transactions on Computer and Information Technology, Vol. 8, No. 2, pp. 113-121, Nov. 2014.
9. Teerapong Orachon, Suvit Poomrittigul, Taichi Yoshida, Masahiro IWAHASHI, Somchart Chokchaitam, "Integer Implementation of 3D Wavelet Transform for Lossy Data Compression," International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 5, Issue 1, pp. 17-25, , Jan. 2015.

[学会発表] (計11件)

1. B Hamzah, F Amira, FAB Hamzah, T Yoshida, M IWAHASHI, "Non-Separable Quadruple Lifting Structure for Four-Dimensional Integer Wavelet Transform With Reduced Rounding Noise", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), New Orleans, March 2017.
2. Daiki Kimura, Akira Kondo, Taichi Yoshida, Masahiro IWAHASHI, "High dynamic range imaging based on camera response estimation and multi-gradients fusion", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), pp. 1-4, Dec. 13-16, Jeju, Korea, 2016.
3. You Umeki, Taichi Yoshida, Masahiro IWAHASHI, "Estimation method of initial labels for propagation-based saliency detection", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), pp. 1-4, Dec. 2016.
4. Fairoza Amira Binti HAMZAH, Taichi YOSHIDA, Masahiro IWAHASHI, and Hitoshi KIYA, "Channel Scaling for Rounding Noise Reduction in Minimum Lifting 3D Wavelet Transform," Proc. APSIPA Annual Summit and Conference, p. 888-891, Hong Kong, China, 17th

- December, 2015.
5. Masahiro IWAHASHI, Fairoza Amira Binti HAMZAH, Taichi YOSHIDA, and Hitoshi KIYA, "Two Layer Coding of HDR Images with Noise Bias Compensation," Proc. APSIPA Annual Summit and Conference, pp.436-439, Hong Kong, China, 18th December, 2015.
  6. Masahiro IWAHASHI, Fairoza Amira Binti HAMZAH, Taichi YOSHIDA, and Hitoshi KIYA, "Noise Bias Compensation based on Bayesian Inference for Tone Mapped Noisy Image," Proc. APSIPA Annual Summit and Conference, pp.440-443, Hong Kong, China, 18th December, 2015.
  7. Tatsuya MUROFUSHI, Toshiyuki DOBASHI, M. IWAHASHI, and Hitoshi KIYA, "An Integer Tone Mapping Operation for HDR Images in OpenEXR with Denormalized Numbers," Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), no. TEC-P10.6, Paris, France, 30th October, 2014.
  8. M. IWAHASHI and Hitoshi KIYA, "Noise Bias Compensation of Tone Mapped Noisy Image," Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), no. TEC-P6.3, Paris, France, 29th October, 2014.
  9. M. IWAHASHI, Taichi YOSHIDA, and Hitoshi KIYA, "L2 Norm Optimization of Tone Mapping for Two Layer Lossless Coding of HDR Images," Proc. APSIPA Annual Summit and Conference, no. TA-P-1156, Siem Reap, Cambodia, 11th December, 2014.
  10. M. IWAHASHI, Taichi YOSHIDA, and Hitoshi KIYA, "Range Reduction of HDR Images for Backward Compatibility with LDR Image Processing," Proc. APSIPA Annual Summit and Conference, no. WP1-2-1160, Siem Reap, Cambodia, 10th December, 2014.
  11. Fairoza Amira Binti HAMZAH, Teerapong ORACHON, Taichi YOSHIDA, M. IWAHASHI, and Hitoshi KIYA, "Non-separable three dimensional discrete wavelet transform with adaptive directional prediction," Proc. APSIPA Annual Summit and Conference, no. WA2-4-1157, Siem Reap, Cambodia, 10th December, 2014.

〔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) 研究代表者

岩橋政宏 (IWAHASHI, Masahiro)  
長岡技術科学大学・工学研究科・教授  
研究者番号：30251854

### (2) 研究分担者

木村哲也 (KIMURA, Tetsuya)  
長岡技術科学大学・工学研究科・准教授  
研究者番号：70273802

上村靖司 (KAMIMURA, Seiji)  
長岡技術科学大学・工学研究科・教授  
研究者番号：70224673

吉田太一 (YOSHIDA, Taichi)  
長岡技術科学大学・工学研究科・助教  
研究者番号：60737914