

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00246

研究課題名(和文)画像のカラリゼーション法に基づくロバスト超解像深度情報復元手法の研究

研究課題名(英文)Robust super-resolution method for depth images based on image colorization

研究代表者

小西 克巳(KONISHI, KATSUMI)

工学院大学・情報学部(情報工学部)・准教授

研究者番号：20339138

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、グレースケール画像と僅かな数の画素の色情報のみからフルカラー画像を復元するカラリゼーション手法を発展させることで超解像度深度画像を復元する手法を構築した。『隣り合う画素の輝度値が近い場合は、ほとんど同じ深度値』という仮定に基づき、この逆問題を最適化問題として定式化し、この問題を解くことで超解像度深度画像を復元する手法を提案した。数値実験により、その有効性を確認した。

研究成果の概要(英文):This work proposed a new depth image recovery method based on image colorization. Assuming that neighbor pixels of a depth image have almost the same values when neighbor pixels of a chrominance image have almost the same values, the depth image recovery problem was formulated as the mixed  $l_1$  and  $l_2$  minimization problem and provides an iterative algorithm. Numerical examples show the efficiency of the proposed algorithm.

研究分野：数理工学

キーワード：画像復元 画像修復 最適化

## 1. 研究開始当初の背景

Microsoft 社の Kinect に代表されるように、深度センサーの高度化、低価格化が進み、誰でも簡単に深度センサーを利用して深度情報を取得することができるようになってきている。通常のカメラから得られるカラー画像 (RGB 画像) と深度センサーから得られる深度情報を 2 次元に可視化した深度画像 (Depth 画像) を同時に取得する RGB-D カメラを利用した応用研究が盛んに行われている。CMOS/CCD カメラが小型化、低コスト化、高解像度化されたのに対し、深度センサーは同程度までに高度化されておらず、CMOS/CCD カメラと同程度のサイズと価格で、同程度の高解像度深度画像を得られる深度センサーは未だ開発されていない。前述の Microsoft 社製 Kinect の最新モデルでも、その深度センサーの解像度は  $512 \times 424$  ピクセルであり、RGB センサーの解像度の  $1920 \times 1080$  ピクセルに比べると解像度は大幅に低い。一方で、深度センサーの自動車への搭載が進められ、Google Car に代表される自動車の自動運転に利用されつつある。精度高い自動運転を実現するには、高解像度な深度情報が必要不可欠である。そのため、レーザーを利用した解像度の高い深度センサーが利用されているが、コストが高いことと、雨や霧、煙に弱い (正しく計測できない) ことから、市販車への搭載は実現されていない。現在の市販車では、自動駐車機能を目的とした超音波ソナーによる深度情報取得が主流である。このような車載ソナーは三角測量を原理として深度情報を計測しており、その空間解像度は極めて低い。そのため、自動車の高精度な自動運転に必要な手法で自己位置推定と環境地図作成を同時に行う SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を実現することができない。今後は、雨や霧に強いミリ波レーダーを利用した深度計測による深度画像取得技術が発展することも予想されるが、近い将来に SLAM が実現可能な程度の高解像度深度画像が得られるまで発展し、RGB カメラと同程度まで低コスト化されることは期待できない。このような状況の中で、安価かつ高性能な深度センサーの開発が望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究では、安価かつ高性能な深度センサーを実現するため、RGB カメラで得られる高解像度カラー画像と安価な深度センサーで得られる低解像度深度画像から高解像度深度画像を復元する手法の確立を目指す。これにより、すでに高解像度 RGB カメラが搭載されている携帯端末や自動車において、低コストで高解像度深度画像取得が可能となり、幅広いアプリケーション、および、利便性・安全性の高い自動車の実現が可能となる。

## 3. 研究の方法

本研究では、グレースケール画像と僅かな数の画素の色情報のみからフルカラー画像を復元するカラリゼーション手法を発展させることで超解像度深度画像を復元する手法を構築する。僅かな色情報とグレースケール画像からカラー画像を復元する問題は ill-posed な逆問題であるが、『隣り合う画素の輝度値が近い場合は、ほとんど同じ色』という仮定に基づき、この逆問題を最適化問題として定式化し、この問題を解くことでカラー画像を復元する手法を提案している。このカラリゼーション手法において、僅かな数の画素が持つ色情報を深度情報に置き換えることで、高解像度深度画像復元が実現される。つまり、隣接する画素の輝度値が近い場合には、深度も近いと仮定して深度を復元する方法を導出する

## 4. 研究成果

本研究では、『隣り合う画素の輝度値が近い場合は、ほとんど同じ深度値』という仮定に基づき超解像度深度画像復元手法を導出した。画像の超解像度化には、TV ノルムと呼ばれる隣り合う輝度値間のノルムを最小にする手法が持ちられ、以下のような問題として定式化することができる。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad \|Jx\|_1 \\ & \text{subject to} \quad \|x - d\|_2^2 \leq \gamma \end{aligned}$$

ただし、 $x$  は超解像画像、 $d$  は与えられた輝度値、 $\gamma$  は小さい値の定数である。行列  $J$  は隣り合う画素値の差分を計算する行列である。本研究では、上記の問題を拡張し、『隣り合う画素の輝度値が近い場合は、ほとんど同じ深度値』という仮定を満たすように超解像度深度画像を復元する問題を以下のように定式化した。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad \|Jx\|_1 \\ & \text{subject to} \quad \|x - d\|_2^2 \leq \gamma \\ & \quad \quad \quad |(Jx)_i| = \alpha f(|(Jy)_i|) \end{aligned}$$

ただし、 $x$  は超解像度深度画像、 $y$  は解像度の高い輝度画像、 $d$  は与えられた低解像度の深度画像、 $\gamma$  は小さい値の定数、行列  $J$  は隣り合う画素値の差分を計算する行列、 $f$  は既知の単調増加関数である。関数  $f$  により、輝度値と深度値の相関を表現している。上記問題において  $\alpha$  は変数であるが、目的関数および制約式の両方に  $Jx$  があることに注目すると、上記問題は以下のように変形することができる。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad \|FJx\|_1 \\ & \text{subject to} \quad \|x - d\|_2^2 \leq \gamma \end{aligned}$$

ただし、 $F$  は  $(i, j)$  成分が以下のように表される行列である。

$$F_{ij} = \frac{1}{f(|(Jy)_i|)}$$

この問題を厳密に解くには計算コストを要するため、以下のようなラグランジュ緩和問題を与えた。

$$\text{Minimize } \|FJx\|_1 + \tau\|x - d\|_2^2$$

$\tau$  は定数である。上記問題は凸最適化問題であり、本研究では IRLS (Iterative Reweighted Least Squares) を用いて解く手法を導出した。具体的には、以下の式に従って収束するまで更新する手法である。

$$x^{(t+1)} = \arg \min_x \|W^{(t)}FJx\|_2^2 + \tau\|x - d\|_2^2$$

$$W_{ij}^{(t)} = \frac{1}{\sqrt{|(FJx^{(t)})_i| + \varepsilon}}$$

$\varepsilon$  は小さい値の正の定数である。この更新は最小二乗法を解くことで簡単に計算できる。

本研究では超解像深度画像の復元精度を向上するために、画像上の大まかな物体までの距離の復元と、物体の表面の詳細の形状復元の2つに分けて深度画像を復元する手法を導出した。画像上の物体を分ける手法としては、この分野で幅広く用いられている super-pixel clustering 法を用いて大まかな物体を検出して、その物体の平均距離を復元し、次に詳細の深度を復元する手法である。

数値実験により、従来法よりも精度高く超解像深度画像が復元されることが確認された。図1と図3は与えた輝度画像、図2と図4は輝度画像を利用して復元された深度画像である。解像度の高い深度画像が精度高く復元されているのが確認できる。



図1 輝度画像

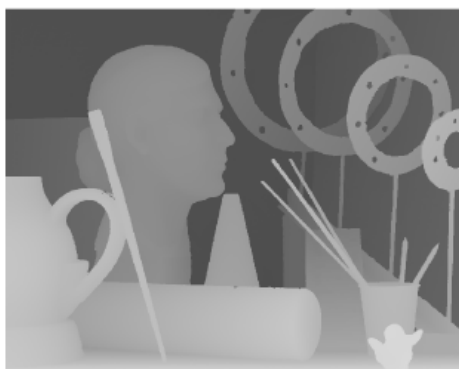


図2 図1の深度画像復元結果

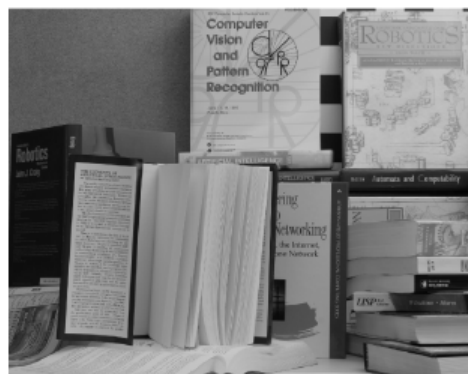


図3 輝度画像

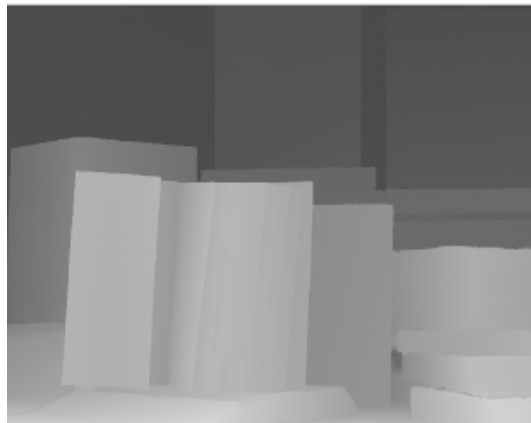


図4 図3の深度画像復元結果

## 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 0 件)

[学会発表] (計 8 件)

- (1) K. Uruma, K. Konishi, T. Takahashi and T. Furukawa, "Representative Pixels Compression Algorithm Using Graph Signal Processing for Colorization-Based Image Coding," Proc. of IEEE International Conference on Image Processing, 2017
- (2) K. Uruma, K. Konishi, T. Takahashi and T. Furukawa, "High resolution depth image recovery algorithm based on the modeling of the sum of an average distance image and a surface image," Proc. of IEEE International Conference on Image Processing, 2016
- (3) K. Uruma, K. Konishi, T. Takahashi and T. Furukawa, "Depth Image Coding Algorithm Via the Colorization Based Image Coding," Proc. of IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2016
- (4) 雨車和憲, 小西克巳, 高橋智博, 古川利博, "復元誤差のL1ノルム最小化に基づ

- くカラー画像を用いた深度画像符号化手法の提案”，電子情報通信学会ソサイエティ大会，2016
- (5) 雨車和憲，小西克巳，高橋智博，古川利博，“スーパーピクセル分割を用いたカラリゼーション符号化に基づく深度画像符号化手法の提案”，第15回情報科学技術フォーラム，2016
  - (6) 雨車和憲，小西克巳，高橋智博，古川利博，“RGB画像から得られる小平面の張り合わせによる深度画像の超解像手法の提案”，第30回信号処理シンポジウム，2015
  - (7) K. Uruma, K. Konishi, T. Takahashi and T. Furukawa, “Depth Image Recovery Algorithm using Image Segmentation and Sparse Optimization,” Proc. of International Conference on Simulation Technology, 2015
  - (8) K. Uruma, K. Konishi, T. Takahashi and T. Furukawa, “High resolution depth image recovery algorithm using grayscale image,” Proc. of 23rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2015

〔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〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小西 克巳 (KONISHI, Katsumi)  
工学院大学・情報学部・准教授  
研究者番号：320339138

### (2) 研究分担者

古川 利博 (FURUKAWA, Toshihiro)  
東京理科大学・工学部・教授  
研究者番号：00190140

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者