

RGB-D 情報を同時取得可能な単一撮像素子を用いた 人物向きの推定に関する予備的検討

新村 文郷[†] 出口 大輔[†] 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†] 藤吉 弘亘^{††}

[†] 名古屋大学 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 中部大学 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200

E-mail: [†]shinmuraf@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ^{††}ddeguchi@nagoya-u.jp,

^{†††}{ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp, ^{††††}hf@cs.chubu.ac.jp

あらまし カラー画像と距離画像を同時取得可能な単一撮像素子のセンサを利用し、画像中の人物が向く方向を推定する手法に関する予備的検討の結果について報告する。従来のステレオカメラや距離センサでは、カラー画像と距離画像を画素単位でずれることなく同時に取得することはできなかった。しかし、新たな撮像素子により取得が可能になり、カラー情報と距離情報を画素単位で組み合わせた特徴量が利用可能になったため、本発表では色と距離の特徴を利用した人物向きの推定手法を提案する。

キーワード RGB-D カメラ, 人物向きの推定, SVM

A preliminary study on the estimation of human orientation using an integrated RGB-D sensor

Fumito SHINMURA[†], Daisuke DEGUCHI[†], Ichiro IDE[†], Hiroshi MURASE[†], and Hironobu
FUJIYOSHI^{††}

[†] Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

^{††} Chubu University 1200 Matsumoto-cho, Kasugai-shi, Aichi, 487-8501 Japan

E-mail: [†]shinmuraf@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ^{††}ddeguchi@nagoya-u.jp,

^{†††}{ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp, ^{††††}hf@cs.chubu.ac.jp

Abstract In this paper, we report a preliminary study on estimation of human orientation using an RGB-D sensor. We propose a method to smooth a depth image using an RGB image and estimate a human orientation using features of both RGB and depth. We experimentally confirmed the effectiveness of our proposed method.

Key words RGB-D sensor, Human orientation estimation, SVM

1. はじめに

映像や画像から人間を認識する研究が盛んに行われている。ITS の分野では、歩行者との衝突回避や安全運転支援のため、車載カメラを用いて車の周囲の歩行者を検出する研究が盛んに行われている。車の運転において、危険を回避するために歩行者検出を行うことは重要であるが、同様に歩行者の属性認識を行うことも重要である。例えば、歩行者の向きという属性を把握することで、歩行者が次に進むおおよその方向を予測することができ、衝突回避に役立てることができる。そこで本発表では、画像から人間属性の認識を行うことを目的として、人間の属性として人物の向きを推定する手法について提案する。

人物向きの推定に関連する研究として、画像からの人体姿勢推定の研究が数多く報告されている [1]- [6]。画像から人体領域を抽出し、人体の骨格モデルをフィッティングさせることで姿勢を推定する手法 [4] や、人体の関節位置を推定することで姿勢を推定する手法 [5] が提案されている。また、学習ベースの手法が提案されており、様々な姿勢の画像を学習することで、モデルのフィッティングや回帰による関節位置推定を行うアプローチが有効であることが報告されている [5] [6]。

ここで、人体姿勢推定の研究は、使用するセンサの観点から大きく二つに分けることができる。一つはカラー情報 (RGB 画像) を用いた手法、もう一つは距離情報 (Depth 画像) を用いた手法である。カラー情報を用いた姿勢推定では、RGB 画

像から得られる人体の形状やテクスチャの特徴を利用し、姿勢ごとに特徴を学習することで姿勢推定を行う [1] [3]。これらの特徴を利用することで、姿勢による人体の形状の違いを捉えることができる。また、テクスチャの違いから表裏を区別することができる。しかし、RGB 画像を用いる欠点として、人体の奥行き方向の前後関係を捉えることができない。例えば、体が斜めに傾いていることや、手足が交差していることを認識することが難しい。

これに対し、距離情報を用いた姿勢推定では、人体の各部位の奥行き情報を利用し、姿勢ごとに特徴を学習することで姿勢推定を行う [5] [6]。これらの特徴を利用することで、人体の凹凸や各部位の前後関係を捉えることができる。また、人体と背景の分離が容易なため精度良く人体領域を抽出することができる。しかし、テクスチャの情報を得られないため、表裏の区別が難しく、例えば前姿と後姿の区別が困難である。

このように、カラー情報を用いた手法と距離情報を用いた手法には、それぞれ特有の利点と欠点が存在する。そこで、カラー情報と距離情報の両方を利用し、それぞれの利点を活用することでより高精度な姿勢推定や人物向き推定が可能になると考えられる。ところがこれまで、カラー情報と距離情報を同時に取得するセンサは開発されていなかった。そのため、RGB 画像の取得と Depth 画像の取得には異なる方法が用いられ、既存のセンサでは厳密には両画像を同時に取得することができなかった。それにより、RGB 画像と Depth 画像には必ず位置ずれが発生し、キャリブレーションの問題が生じるため、RGB 画像と Depth 画像を同軸に扱う特徴量は検討されてこなかった。

しかしこのたび、RGB-D 情報の同時取得可能な単一撮像素子が新たに開発された。この画像素子については次章にて説明する。これにより、RGB 画像と Depth 画像を同軸で扱うことを前提とした新たな手法を提案することが可能となった。この新たな撮像素子の登場により、これまでの RGB 画像や Depth 画像の特徴量を用いていた手法を進展させ、より高精度な姿勢推定や人物向き推定を実現できる可能性が出てきた。例えば、RGB 画像のみでは困難であった人体の凹凸や各部位の前後関係を、Depth 画像を用いることで捉えることが可能となった。逆に、Depth 画像のみでは困難であった人体の表裏の区別を、RGB 画像を用いることで捉えることが可能となった。このように、新しい撮像素子を用いたセンサの登場により、カラー情報と距離情報を同軸で扱うことができるようになったことで、双方の欠点を補う形での利用が可能となり、RGB 画像と Depth 画像を組み合わせた新たな特徴量を検討可能になった。

しかし、新しい撮像素子にも問題点がある。それは、撮像素子の構造上、Depth 画像にノイズが多く生じることである。ノイズが多い画像から特徴量を算出した場合、ノイズの影響により求めたい特徴量が正確に得られず、人物向きの推定精度が低下する可能性がある。そのため、Depth 画像に対してノイズ除去を行う必要がある。また、これまでセンサが開発されていなかったため、カラー情報と距離情報を組み合わせた特徴量について十分な検討が行われていない。そのため、人物向きの推定に有効な特徴の組み合わせを検討する必要がある。

そこで本発表では、まず Depth 画像のノイズ除去について、RGB 画像と Depth 画像が同時に得られる利点を生かして平滑化を行う方法を提案する。次に、RGB 画像と Depth 画像を組み合わせた特徴量について、両方を組み合わせた特徴量を用いて人物向きの推定を行う手法を提案する。このとき、人物向きの推定に有効な特徴量の組み合わせについて検討を行う。これら二つの事項について、予備的検討を通して得られた結果とともに、人物向きの推定における有効性について報告する。

2. RGB-D 情報の同時取得可能な単一撮像素子

従来の距離センサでは、ステレオカメラを利用して奥行きを計測する方法や、近赤外光等を照射して光が反射し返ってくるまでの時間を計測することで計測する方法 (ToF : Time-of-Flight) が用いられている。ステレオカメラを用いた方法は、テクスチャの無い物体の計測精度が低い、照明変動等の外乱の影響を受けやすいといった欠点があり、近年では ToF 方式の距離センサが注目されている。ToF 方式の距離センサは照射した光の反射光を受光するため、カラー情報を同時に取得することができなかった。そのため、カラー情報と距離情報は異なるセンサから取得するしかなかった。これにより、RGB 画像と Depth 画像には必ず撮影位置のずれが生じ、両画像の特徴量を同軸で扱うことが困難であった。

新たに開発された撮像素子では、単一の撮像素子にて可視光 (RGB) と近赤外光 (IR) を同時に取得することができる。そのため、近赤外光を照射する ToF 方式を利用することで、カラー情報と距離情報を同時取得することができる。これにより、RGB 画像と Depth 画像を位置ずれを生じさせることなく取得することができ、両画像を同軸で扱うことが可能となった。キャリブレーションや位置合わせがなくなったことで、両画像の特徴量を組み合わせる利用が可能となった。

しかし、この撮像素子を用いて得られる Depth 画像はノイズが多いという問題がある。一般的に、RGB 画像に比べて Depth 画像はノイズが多い。新しく開発された撮像素子は、RGB-D 情報を同時取得できる一方で、単一の素子にて RGB と IR を取得するため、特に IR がノイズの影響を受けやすい。そのため、Depth 画像にノイズが生じやすく、平滑化による補正が必要となる。

3. 人物向きの推定

RGB-D 情報の同時取得可能な単一撮像素子により構成されたカメラ (以下、RGB-D カメラ) を用いて撮影された RGB 画像と Depth 画像から、画像に写る人物の向く方向を推定する。本発表で推定する人物向きは、45° ほどの 8 方向とする。

人物向き推定を行う手順を説明する。まず、各処理を行う前に Depth 画像に対して平滑化を行う。先に述べたとおり、RGB-D カメラを用いて撮影された Depth 画像にはノイズが多く含まれる。そこで、ノイズの少ない RGB 画像を利用して、Depth 画像の平滑化を行う。次に、学習により人物向き推定器を構築する。この推定器の構築は事前処理である。学習データの RGB 画像および Depth 画像から画像特徴量を得て、それを人物向

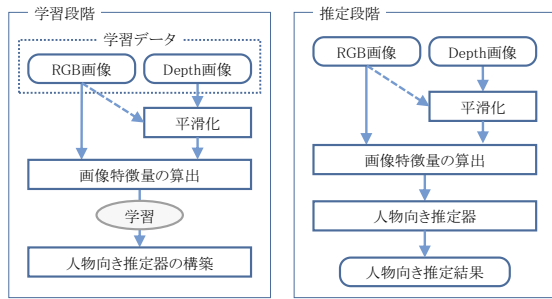


図1 処理の流れ
Fig.1 Flowchart.

きごとに学習することで、画像特徴量から人物向きを推定するための推定器を構築する。最後に、推定処理では、人物向きを推定する画像から画像特徴量を算出し、それをもとに構築した推定器を用いて人物向きを推定する。処理の流れを図1に示す。

以下の節では、まず Depth 画像の平滑化について説明する。その後、推定に利用する画像特徴量について、RGB 画像の特徴量、Depth 画像の特徴量の順に説明する。最後に、人物向き推定器の構築と人物向きの推定について説明する。

3.1 Depth 画像の平滑化

まず、図2に平面の板を撮影した画像を示す。右の図は距離 (Depth) を可視化した画像であり、黒色から白色に近づくほど距離が遠いことを示している。青色で示した領域はセンサの計測可能距離よりも遠い場所である。右の図から確認できるように、Depth 画像には砂嵐のようなランダムなノイズが生じている。そのため、ノイズを低減するために平滑化を行う。

ノイズが多い画像を平滑化する際に、ノイズが少ない別の画像を利用することで効果的に平滑化を行う手法が提案されている。クロスバイラテラルフィルタ [7] [8] は、注目画素との画素値差に応じたガウス重みを与える際に、ノイズの少ない画像の画素値を利用することで効果的に平滑化を行う。このとき用いる複数の画像は、照明条件を変えて同物体を撮影した画像や、ブロックマッチング等の手法により位置合わせした RGB 画像と Depth 画像が用いられている。

本手法で利用するセンサでは RGB-D 情報を同時取得できるため、RGB 画像と Depth 画像間での位置合わせの必要がなく、クロスバイラテラルフィルタを活用できる。そこで、ノイズの少ない RGB 画像を用いて、クロスバイラテラルフィルタにより Depth 画像を平滑化する。

クロスバイラテラルフィルタは以下の式であらわされる。

$$g(i, j) = \frac{\sum_{n=-w}^w \sum_{m=-w}^w d(i+m, j+n)w(m, n)c(f)}{\sum_{n=-w}^w \sum_{m=-w}^w w(m, n)c(f)} \quad (1)$$

$$w(m, n) = \exp\left(-\frac{m^2 + n^2}{2\sigma_1^2}\right) \quad (2)$$

$$c(f) = \exp\left(-\frac{(f(i, j) - f(i+m, j+n))^2}{2\sigma_2^2}\right) \quad (3)$$

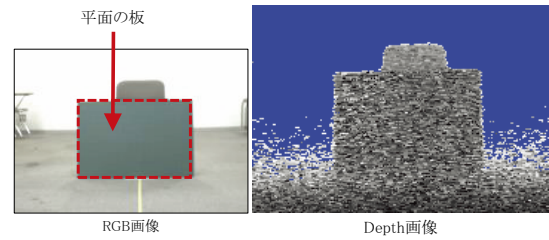


図2 平面の板を撮影した画像
Fig.2 Image of flat board.

本手法では、 g は平滑化された Depth の出力値、 d は平滑化前の Depth の入力値、 f は平滑化に用いる RGB の入力値である。また、 σ_1, σ_2 はそれぞれ距離差と画素値差に関わるガウス重みを決めるパラメータ、 (i, j) は注目画素の座標、 m, n は注目画素からの距離、 w はカーネルの大きさである。この式より、注目画素からの距離が小さく、対応する RGB の画素値間の差が小さいほど、比較画素に大きな重みが与えられ、平滑化の際に利用される。通常のバイラテラルフィルタでは、ノイズの影響により画素値の差に応じた重みが小さくなり、適切な平滑化が行われないという可能性がある。しかし、クロスバイラテラルフィルタでは、ノイズの多い Depth 画像の画素値に代わり、ノイズの少ない RGB 画像の画素値を用いることで、適切な重みが与えられ平滑化が行われる。

3.2 RGB 画像の特徴量

RGB 画像からは、人体の形状やテクスチャの特徴を得ることができる。人物の向きによって見た目の人体の形状が変わるため、人体の形状は向き推定に有効と考えられる。また、人体のテクスチャの特徴は、Depth 画像からは得られない情報であり、人体の表裏の識別、すなわち前姿と後姿を識別する際に有効と考えられる。

以上のことから、RGB 画像から得られる特徴量として、局所的な形状を表現する特徴量が有効と考えられる。そのため、本手法では Histograms of Oriented Gradients (HOG) 特徴量を利用する。

3.3 Depth 画像の特徴量

Depth 画像からは、人体の凹凸や各部位の位置関係を得ることができる。これらの特徴は人体のおおよその傾きを捉えることができるため、向き推定に有効と考えられる。

人物向きの推定に有効な Depth 画像の特徴量として、RGB 画像と同様に局所的な形状を表現する特徴量と、離れた領域間の関係を表現する特徴量が考えられる。局所的な形状を表現する特徴量は人体の凹凸を捉えることができる。一方、離れた領域間の関係を表現する特徴量は各部位の位置関係を捉えることができ、例えば人体の傾きを捉えることができる。

局所的な形状を表現する特徴量として、RGB 画像と同様に HOG 特徴量がある。また、離れた領域間の関係を表現する特徴量として、各領域間の Depth の差がある。人物向きの推定においては、人体の傾きのような各部位の位置関係を捉える特徴量がより有効と考えられる。そのため、本手法では各領域間の Depth の差を特徴量として利用する。具体的には、画像中

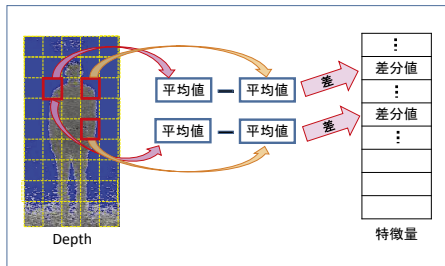


図3 Depth画像の特徴量(離れた領域間のDepthの差)
Fig.3 Feature of depth.

の人物領域を一定の大きさの領域に分割し、その中から二つの領域を選択して、各領域のDepthの平均値を計算してその差を求める。そして、これをすべての領域の組で総当たりで計算したものを、特徴量として利用する(図3)。

3.4 人物向き推定器の構築

画像から推定する人物向きは45°ごとの8方向とするため、本発表では人物向きの推定を8方向の多クラス識別問題として扱う。よってここでは、画像特徴量をもとに8方向のいずれかに分類を行う識別器を構築する。

推定器の構築は、図1の左側に示した学習段階の手順により行う。まず、RGB画像と平滑化したDepth画像から画像特徴量を算出する。得られたRGB画像とDepth画像の特徴量を連結し、組み合わせ特徴量とする。この特徴量を用いて識別器を学習する。識別器の学習にはサポートベクターマシン(SVM)を利用する。これにより、人物向きごとの画像特徴量を学習する。学習により構築したSVM識別器を、人物向きの推定に利用する。

3.5 人物向きの推定

人物向きの推定処理では、図1の右側に示した推定段階の手順により行う。まず、推定器の構築のときと同様に、RGB画像と平滑化したDepth画像から画像特徴量を算出する。得られた特徴量を組み合わせ、それをもとに学習段階で構築した人物向き推定器を用いて、人物の向きを推定する。

4. 実験

実際にRGB-Dカメラを用いて人物を撮影した画像に対し、提案手法を適用して人物向きを推定する実験を行った。

本実験では、次の3種類の比較を行い、その結果について考察を行った。

- Depth画像の平滑化を行う場合と行わない場合の比較。
- Depth画像の特徴量について、局所的な形状の特徴量と離れた領域間の特徴量の比較。
- RGB画像とDepth画像の特徴量を組み合わせの場合と片方の特徴量のみの場合の比較。

4.1 データセット

実験に使用したRGB画像およびDepth画像は、RGB-Dを同時撮影可能なイメージセンサ(Panasonic MN34901TL)を搭載したRGB-Dカメラを用いて撮影を行った。解像度はRGB画像が640×480画素、Depth画像が320×240画素であ

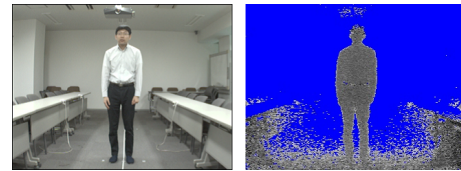


図4 RGB画像およびDepth画像の一例
Fig.4 Samples of RGB and Depth image.

る。RGB-Dカメラから3mの位置に立つ人物を撮影し、計1,347枚の画像を取得した。画像中の人物は45°ごとの8方向のいずれかの方向を向いている。

画像の一例を図4に示す。右の図はDepth画像であり、黒色から白色に近づくほど距離が遠いことを示している。また、青色で示した領域はセンサの計測可能距離よりも遠い場所である。図4の画像では、4m程度の距離までを計測しているため、後方の床や壁が青色で表示されている。

4.2 実験方法

用意した1,347枚の画像は、20代の男性5人を撮影した画像である。人物向き推定の実験では、5人のうちの4人分の画像を推定器の学習に使用し、残りの1人分のデータを用いて人物の向きを推定し、精度評価を行った。この評価を5人分を行い、推定精度の平均を手法の人物向き推定精度とする。精度評価では、推定結果の正解率を評価指標とした。

4.3 実験結果1: Depth画像の平滑化

クロスバイラテラルフィルタによるDepth画像の平滑化の効果について、平滑化を行う場合と行わない場合とで人物向き推定精度の比較を行った。比較結果を表1に示す。人物向きの推定には、局所的な形状を表現する特徴量であるHOG特徴量を用いた。Depth画像からHOG特徴量を算出し、それを学習して推定器を構築した。その推定器を用いて人物向きの推定を行い、その結果をもとに精度評価を行った。

4.4 実験結果2: 人物向きの推定に有効な画像特徴量

人物向きの推定に有効な画像特徴量について、RGB画像の特徴量を用いた場合や、Depth画像の局所的な形状を表現する特徴量を用いた場合、Depth画像の離れた領域間の関係性を表現する特徴量を用いた場合、RGB画像とDepth画像を組み合わせた特徴量を用いた場合の人物向きの推定精度の比較を行った。

RGB画像の特徴量では、HOG特徴量を用いた。Depth画像の特徴量では、局所的な形状を表現する特徴量としてHOG特徴量を、離れた領域間の関係性を表現する特徴量として各領域間のDepthの差をそれぞれ用いた。RGB画像とDepth画像を組み合わせた特徴量では、RGB画像の特徴量としてHOG特徴量を、Depth画像の特徴量として各領域間のDepthの差を用いた。

これらの特徴量を画像から算出し、それを学習して推定器を構築した。その推定器を用いて人物向きの推定を行い、その結果をもとに精度評価を行った。その結果を表2に示す。

5. 考察

実験結果をもとに、Depth画像の平滑化と、人物向きの推定

表 1 実験結果 1 (平滑化による効果)

推定手法	正解率
平滑化なし	68.8 %
平滑化あり	76.2 %

に有効な画像特徴量について、それぞれ考察を行った。

5.1 Depth 画像の平滑化

表 1 に示したように、Depth 画像の平滑化を行った方が、平滑化を行わない場合と比較して、人物向き推定精度の向上が見られた。

表 1 の実験では、Depth 画像の HOG 特徴量を用いて人物向き推定を行った。HOG 特徴量は計算時に隣接する画素との輝度勾配を利用する特徴量であり、ノイズの影響を受ける。平滑化を行わない Depth 画像にはノイズが多く含まれており、平滑化を行ったことでノイズが低減されたことにより、人物向き推定精度に向上が見られたと考えられる。よって、クロスバイラテラルフィルタによる平滑化の有効性が確認できた。

また、平滑化により精度が大きく向上したことから、本手法の RGB-D カメラを用いて人物向きを推定する場合には、Depth 画像に対してノイズを除去する平滑化処理が必要である。

5.2 人物向きの推定に有効な画像特徴量

まず、Depth 画像の特徴量について考察を行う。表 2 に示したように、離れた領域間の関係性を表現する特徴量の方が、局所的な形状を表現する特徴量と比較して、人物向き推定精度の向上が見られた。

精度向上が見られた要因として、二つのことが考えられる。一つは、人体の局所的な特徴を捉えるよりも、より広範囲の特徴を捉える方が、人物向き推定に有効ということである。すなわち、人体の凹凸のような細かな特徴よりも、各部位の大まかな位置関係の方が人物向きを表現する点で有効と考えられる。もう一つは、ノイズの影響である。本手法で使用される RGB-D カメラは Depth 画像にノイズが多く、平滑化を行っていてもノイズを完全に低減できるわけではない。そのため、人体の凹凸のような細かな特徴は、ノイズの影響により正確に捉えることができず、各部位の大まかな位置関係の特徴の方が有効に働いたと考えられる。

次に、比較したすべての画像特徴量を見て、人物向きの推定に有効な画像特徴量について考察を行う。表 2 に示したように、RGB 画像と Depth 画像の特徴量を組み合わせたときの人物向きの推定精度が最も高精度である。RGB 画像のみを用いた場合の精度と Depth 画像のみ (Depth 差) を用いた場合の精度は同程度であるため、両者を組み合わせたことで人物向きの推定精度が向上したことがわかる。したがって、RGB 画像と Depth 画像の特徴量を組み合わせることが、人物向き推定において有効であることが確認できた。

6. む す び

RGB-D カメラを用いた人物向き推定について予備的検討を行った。まず、カメラの特長を生かして Depth 画像の平滑化を行い、実験を通して有効性を確認した。次に、Depth 画像の特

表 2 精度評価 2 (Depth 画像特徴量の比較)

推定手法	正解率
RGB 画像のみ	88.1 %
Depth 画像のみ (HOG 特徴量)	76.2 %
Depth 画像のみ (Depth 差)	87.0 %
RGB 画像と Depth 画像	95.1 %

徴量について検討し、局所的な形状よりも離れた部位間の位置関係性を表現した特徴量が、人物向きの推定により有効であることを確認した。最後に、RGB 画像と Depth 画像から得られる特徴量を組み合わせて利用することにより、人物向きの推定精度が向上することを確認した。

今後の課題として、RGB 画像と Depth 画像から得られる特徴量の組み合わせ方法を検討し、RGB-D 情報の同時取得可能な特長を生かした新たな特徴量の提案が必要である。本発表では、RGB 画像と Depth 画像からそれぞれ特徴量を算出した後、それらを組み合わせて人物向き推定に利用した。そのため、RGB-D 情報を同時取得可能という利点を十分に活用していない。本発表により、両者を組み合わせることで人物向き推定精度の向上が確認されたため、今後は両者を同時に用いた新たな特徴量について検討していく予定である。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金、JST 名古屋大学 COI による。

文 献

- [1] G. Rogez, J. Rihan, S. Ramalingam, C. Orrite, P. H. S. Torr, "Randomized Trees for Human Pose Detection", Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR2008, pp. 1-8, 2008.
- [2] M. Dantone, J. Gall, C. Leistner, L. V. Gool, "Human Pose Estimation using Body Parts Dependent Joint Regressors", Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR2013, pp. 3041-3048, 2013.
- [3] G. Bo, K. Onishi, T. Takiguchi, Y. Ariki, "3D Human Pose Estimation from a Monocular Image Using Fitting in Eigenspaces", Journal of Software Engineering and Applications, Vol. 3, No. 11, pp. 1060-1066, 2010.
- [4] M. Straka, S. Hauswiesner, M. Ruther, H. Bischof, "Skeletal Graph Based Human Pose Estimation in Real-Time", Proceedings of the British Machine Vision Conference, pp. 69.1-69.12, 2011.
- [5] J. Shotton, R. Girshick, A. Fitzgibbon, T. Sharp, M. Cook, M. Finocchio, R. Moore, P. Kohli, A. Criminisi, A. Kipman, A. Blake, "Efficient Human Pose Estimation from Single Depth Images", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 35, No. 12, pp. 2821-2840, 2013.
- [6] 縣禎輝, 藤吉弘宣, "距離情報を用いた回帰分析による人体姿勢推定", 情報処理学会研究報告. CVIM, 2011-CVIM-177(16), pp. 1-8, 2011.
- [7] 松尾琢也, 福嶋慶繁, 石橋豊, "重み付きクロスバイラテラルフィルタによる奥行き推定精度の向上", 映像情報メディア学会誌, Vol. 66, No. 11, pp. J434-J443, 2012.
- [8] Q. Yang, K-H. Tan, J. Apostolopoulos, "Fusion of Median and Bilateral Filtering for Range Image Upsampling", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 22, No. 12, 2013.