

TOF 距離画像センサとステレオカメラの組み合わせによる高精度距離画像生成

中央大学 ○福田 智章, 池 勇勲, 梅田 和昇

High precision range image generation by combination of TOF distance image sensor and stereo camera

Chuo Univ. Tomoaki Fukuda, Yonghoon Ji, Kazunori UMEDA

This paper proposes a system for measuring high precision range images under various conditions by combining range image sensors with different measurement principles. We utilize a stereo camera and a TOF (Time-of-Flight) range image sensor for our measuring system. Stereo cameras can measure relatively long range; however, measurement errors occur frequently. On the other hand, TOF sensors can provide relatively accurate distance measurements, but it cannot deal with under sunlight condition. In this respect, we develop a novel system that is able to generating a range image under any environment by sensor fusion. Experiment results demonstrate that the proposed system can generate the range image accurately.

1. 諸言

近年、様々な距離画像センサが開発されている。距離画像の計測手法は大きく 2 通りに分けることができる。1 つはセンサから発した光が計測対象に反射し戻すまでの時間から距離を計算する TOF (time-of-Flight) 法、もう一つは、ステレオカメラに代表される、複数の計測位置において、距離に応じて光路がずれることを利用して距離を求める手法である[1]。これらのセンサは自律移動ロボットなどに搭載され、人物追跡や障害物認識などに利用される。したがって、様々な条件下で正確に測定できることが要求される。しかし、照明環境や計測対象の特性、計測範囲などにおいて、計測手法ごとに計測を苦手とするシーンが存在する[2]。このような問題を解決するために、特製の異なるセンサを組み合わせ、ロバスト性を高めるセンサフュージョン技術が注目されている。森らは、単眼カメラと超音波センサを用いたセンサフュージョンシステムを提案している[3]。このシステムは、単眼カメラを用いて計測対象の左右方向の位置を特定できない超音波センサの欠点を補うものである。しかし、モノクロカメラを使用しているため測定対象色の影響を受けるという問題がある。五福らは中焦点レンズを用いたステレオカメラと広角レンズを用いた単眼カメラを組み合わせたシステムを提案している[4]。しかし、このシステムは背景が複雑な環境では正確な測定が困難である。

本研究ではステレオカメラと TOF 距離画像センサを組み合わせることにより、照明環境や計測対象の変化に強く、精度の高い距離画像計測システムを提案する。

2. センサの構成

本研究では、TOF 距離画像センサとして Microsoft Kinect v2 を、ステレオカメラとして STEREO LABS ZED を使用する。ZED は比較的長距離でも計測が可能であり、太陽光下でも使用できる。しかし、暗所や特徴のない表面では計測が不安定になる場合がある。一方、Kinect は ZED より、暗所や均一な表面でも高精度な計測が可能である。しかし太陽光下では計測可能な距離が短くなり、赤外光を反射しにくい物体は計測できない。これらのセンサを組み合わせることで、このような双方のセンサの短所を互いに補う。

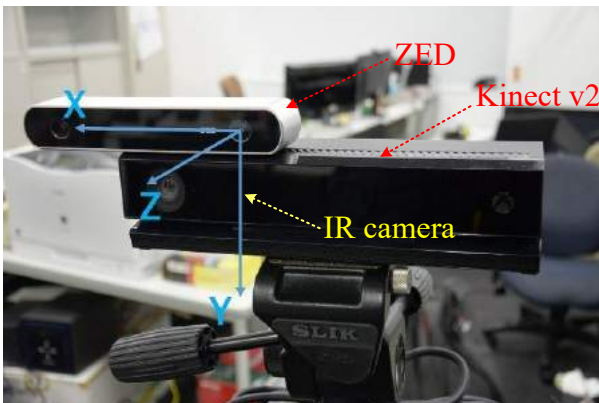


Fig. 1 センサの配置

構築したセンサの配置を Fig. 1 に示す。各センサの距離画像は、それぞれ Kinect の IR カメラと ZED の左カメラの画像に基づいて生成される。そのため、ZED の左カラーカメラを原点としてカメラ座標系を設定し、Kinect の IR カメラが ZED と並行かつ Y 軸上に位置するように設置する。

3. センサフュージョン

Fig. 2 に提案手法による距離画像を生成するまでの流れを示す。各センサから距離画像を取得した後、処理は大きく 4 つのステップに分けられる。まず、距離画像の歪補正をする。次に、一定の距離の位置を基準に 2 つの距離画像を重ね、その後視差の補正を行う。最後に、距離画像の合成を行う。主要なステップの詳細を以下に示す。

A. 距離画像の位置合わせ

2 つの距離画像の位置を合わせるために、距離画像生成の基準となっている ZED の左カラーカメラ画像と Kinect の IR カメラ画像で位置合わせを行う。光軸方向に一定の距離に置かれたチェッカーボードを双方のカメラで同時に撮影した画像の組を複数使用し、各組のチェッカーボードの対応するコーナー点の座標からホモグラフィ行列を求め、2 つの距離画像の位置を合わせる。

B. 距離画像の視差補正

ZED と Kinect は Y 軸方向にずれた位置に配置されている。そのため、両センサの距離画像間で視差が発生する。前項の位置合わせを行った後は、チェッカーボードを撮影した距離での視差はゼロになる。ZED の距離画像に対する Kinect の距離画像上の視差 Δy pixel は次の式で表される。

$$\Delta y = \alpha \frac{Z_{cb} - Z}{Z_{cb} \cdot Z} \quad (1)$$

Z は Kinect の距離画像上の距離値、 Z_{cb} は位置合わせ時に撮影したチェッカーボードまでの距離である。 α は実測した画角などから較正することによって得られる係数である。今回、係数 α の値は 49,350 であった。Kinect の距離画像のすべての画素をこの式に従って Y 軸方向に移動させることで、2 つの距離画像間の視差を補正する。

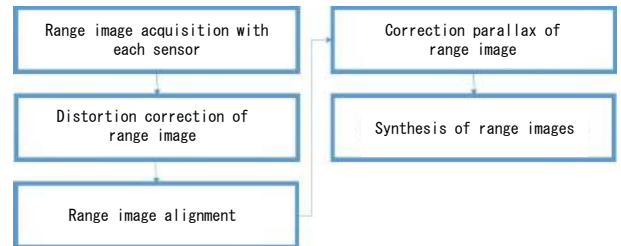


Fig. 2 距離画像作成の流れ

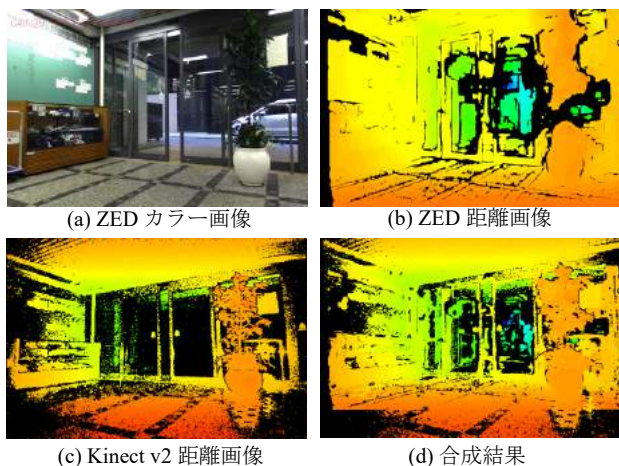


Fig. 3 距離画像合成例

C. 距離画像の合成

ZEDの距離画像にはすべての画素に0~100で表される評価値が設定されている。この値が大きいくほど、距離値の信頼性が高いことを示す。この評価値を距離画像を合成する際に使用する。これまでの実験から、両方のセンサで距離値を得られている場合、ほぼKinectによって得られた距離値の方がより正確であった[5]ため、両センサで距離値を得られた場所ではKinectの距離値を優先する。距離値が片方のセンサのみで得られた場合、以下の処理を行う。Kinectのみで距離値を得られた場合、その値を合成に使用する。ZEDのみで距離値を得られた場合、評価値が閾値を超えた場合は距離値を合成に使用し、閾値以下のものは外れ値として除去する。今回は閾値を60とした。この処理をすべての画素で実行する。距離画像の合成結果例をFig. 3に示す。

4. 計測実験

センサの組み合わせの有効性を検証するために計測実験を行った。計測対象には黒い布鞆とチェッカーボードを使用した。照明環境は逆光、順光、曇りの屋外と、明るい、薄暗い屋内の5通りで行った。また、計測対象までの距離は1~8mの1m刻みで計測した。Fig. 4に曇りの屋外、黒い布鞆、距離8mでの計測画像を、Fig. 5に薄暗い屋内、チェッカーボード、距離4mでの計測

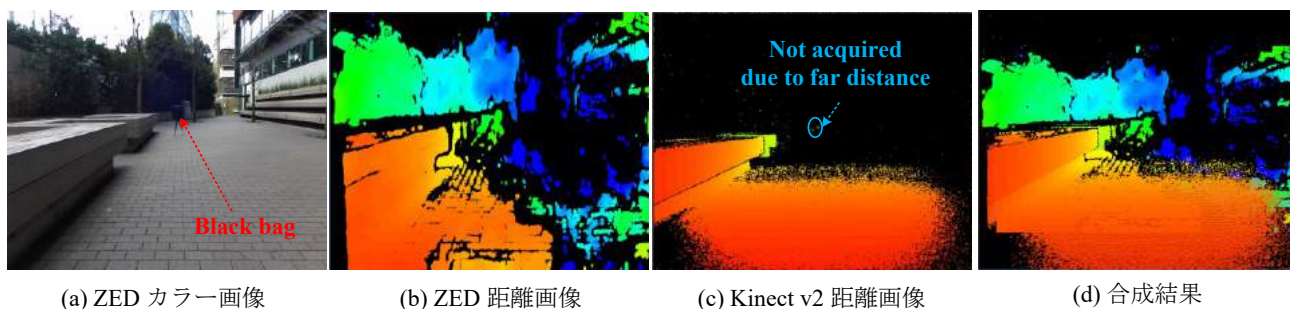


Fig. 4 曇りの屋外での計測結果例

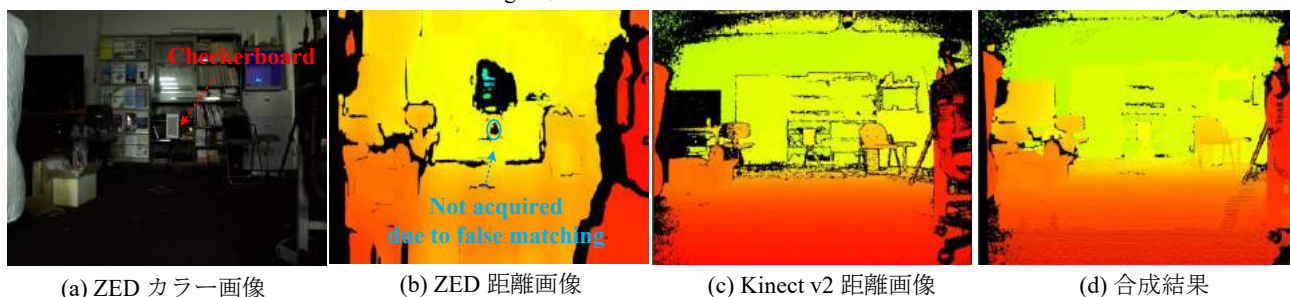


Fig. 5 薄暗い屋内での計測結果例

画像を示す。Fig. 4 (c)にみられるように、Kinectでは遠距離にある黒い鞆までの距離を計測できなかった。また、Fig. 5 (b)にみられるように、ZEDでチェッカーボードを計測した際に、誤マッチングにより正確に距離値を取得できない場合があった。双方の場合において、もう一方のセンサで正確に距離値を取得できているため、合成結果ではより正確な距離画像を取得することができた。すべての計測を通して、Kinectのみで対象の距離値を得られたシーンは70.0%、ZEDでは83.3%であったが、合成結果では91.3%のシーンで距離値を取得することができた。

5. 結言

本研究では、多様な照明条件下で高精度な距離画像を取得するために、特製の異なる2つの距離画像センサを組み合わせたセンサフュージョンシステムを提案した。また、計測実験によって本手法の妥当性を示した。今後は、照明環境や計測対象の変化を判断し、それに応じて双方の距離値に重みづけを行った後に合成することで、より多くの外れ値を除去し、計測精度を向上することを目指す。

参考文献

- [1] F. Blais: "Review of 20 years of range sensor development," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 13, No.1, pp. 231-240, 2004.
- [2] 磯邊 柚香, 増山 岳人, 梅田 和昇: "ステレオカメラの自動調節機能を利用した照明変動の検知に基づく移動ロボットによる人物追跡," 第21回ロボティクスシンポジウム予稿集, 1C4, pp. 68-73, 2016.3.
- [3] 森 隆知, 福田 久哉, 亀井 且有, 井上 和夫: "センサフュージョンによる屋内移動ロボットのための環境モデル構築手法," 電気学会論文, Vol.-114-C, No. 5, pp. 603-608, 1994
- [4] 五福 明夫, 清力 義治, 永井 伊作, 田中 豊: "自律走行車のための広角およびステレオ画像の融合モジュールの開発," 日本機械学会論文集, Vol.-70-C, No. 693, pp. 1371-1379, 2004.
- [5] 福田 智章, 梅田 和昇: "異なる距離画像センサの組み合わせによる高精度計測," 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2017), 1C2-06, pp. 600-602, 2017.12.