

異なる距離画像センサの組み合わせによる高精度な距離画像計測

○福田 智章 (中央大), 梅田 和昇 (中央大)

High precision range image measurement by combination of different range image sensors

○Tomoaki FUKUDA (Chuo Univ.), and Kazunori UMEDA (Chuo Univ.)

Abstract: This paper proposes a system for measuring high precision range images under various conditions by combining range image sensors with different measurement principles. A stereo camera and a Time-of-Flight (TOF) range image sensor are used. The effectiveness of the combination is shown by experiments.

1. 緒言

これまでに様々な距離画像センサが開発されている。代表例として、2台のカメラの視差を利用するステレオカメラ、パターンを投影しカメラでパターンを取得して距離を計算するアクティブステレオ方式、レーザー光などを投影し物体からの反射光を取得して往復するのにかかった時間から距離を求める Time-of-Flight (TOF)方式などが挙げられる[1]。計測手法によって、照明や計測対象の反射特性の影響、計測可能な範囲など、計測環境や対象に得手不得手がある。そこで、複数のセンサを同時に利用することで各センサの長所を利用し互いの短所を補うことを目的としたセンサフュージョンが注目されている。森ら[2]は単眼視と超音波センサを用いたシステムを提案している。また、五福ら[3]は広範囲の計測を目的とし、首振り機構を備え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。

本研究では、ステレオカメラと TOF 方式の距離画像センサを組み合わせることで、照明環境や計測対象の変化に対して頑強かつ高精度な距離画像計測を行うシステムを提案する。

2. センサの構築

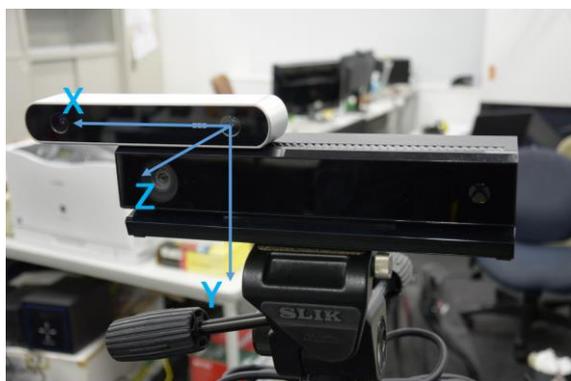


Fig. 1 センサの配置

2.1 センサの構成

本研究では、ステレオカメラに STEREO LABS 社の ZED, TOF 方式の距離画像センサに Microsoft 社の Kinect v2 (以降 Kinect とする) を使用する。それぞれのセンサの特徴として次の点が挙げられる

ZED

- ・計測可能な範囲が広い (0.5m~20m)
- ・太陽光下でも使用できる
- ・暗所、均一な面などの特徴点を取得できない場所の計測ができない

Kinect

- ・暗所や均一な面でも計測可能
- ・誤計測が少ない
- ・赤外光を反射しない表面を計測できない
- ・太陽光下では計測可能距離が短くなる

センサの配置を Fig. 1 に示す。ZED の距離画像は左カラーカメラ画像を基準に、Kinect の距離画像は IR カメラ画像を基準に生成される。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。

2.2 距離画像計測の流れ

距離画像作成の流れを Fig. 2 に示す。



Fig. 2 距離画像作成の流れ

2.2.1 距離画像の歪補正

チェッカーボードを ZED の左カラーカメラと Kinect の IR カメラのカメラで複数枚撮影し、それぞれのカメラの内部パラメータと歪み係数を推定する。この値を使用しそれぞれの距離画像の歪みを補正する

2.2.2 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それぞれのカメラで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。チェッカーボードを撮影した画像の組の例を Fig. 3 に、求めたホモグラフィ行列で ZED の左カメラ画像と Kinect の IR カメラの画像の位置合わせを行った結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 は結果をわかりやすくするため、Kinect の IR 画像の中央のみに ZED の左カメラ画像を合成している。チェッカーボードと同じ距離ではずれなく重なっているが、近くにある時計にはずれが生じていることがわかる。

2.2.3 視差の補正

ZED の左カラーカメラと Kinect の IR カメラの位置は上下に 37mm 離れている。そのため二つの距離画像間で前項で示したように視差が生じる。位置合わせに使用した画像のチェッカーボードまでの距離を Z_{cb} とすると、対象物の Kinect の距離画像上の座標は、ZED の距離画像と比べて、 Z_{cb} より近い場合は Y 軸-方向に、 Z_{cb} より遠い場合は Y 軸+方向にずれる。これを補正するために、Kinect の距離画像の各ピクセルを距離値に基づいて Y 軸方向に移動させる。移動量 ΔY は次式で表される。

$$\Delta Y = 49350 \cdot \frac{Z_{cb} - Z}{Z_{cb} \cdot Z} \text{ [pixel]} \quad (1)$$

Z は距離値[mm]である。係数はキャリブレーションにより求めた。今回 Z_{cb} は 3000mm とした。



Fig. 3 位置合わせ用画像例

左：ZED 左カメラ画像 右：KinectIR カメラ画像

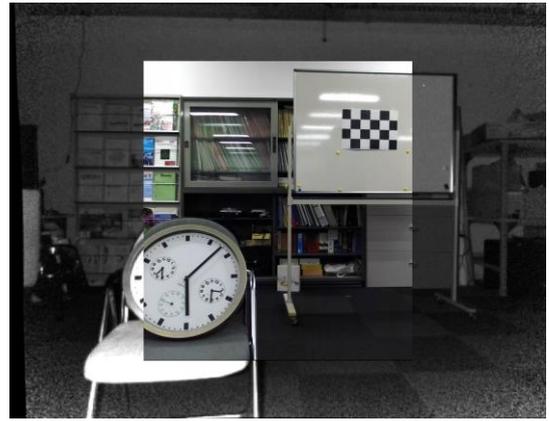


Fig. 4 位置合わせ結果

2.2.4 距離画像の合成

ZED の距離画像には各画素に 0 から 100 で表される評価値が設定されている。この値が小さいほど距離値の信頼性が高い。そこで、距離画像を合成する際、距離値の評価値を使用する。

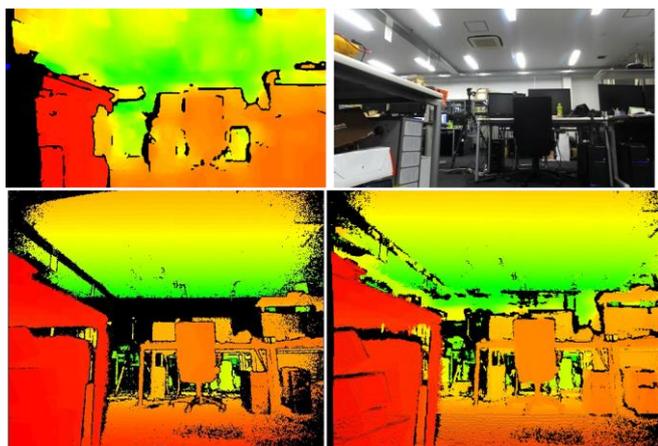
位置合わせを行い、視差の補正をした Kinect の距離画像を、ZED の距離画像と合成する。これまでの実験より、Kinect で取得できる距離値の方が精度が高いことが分かっているため、双方の距離画像で距離値が取得できている箇所は Kinect の距離値を優先する。また、片方のみで距離値を取得できている場合は取得できた値を使用する。また、ZED の距離画像の評価値の使用がはずれ値除去に有効か検証するために、評価値が 90 以上の距離値は使用しないこととした。

3. 実験

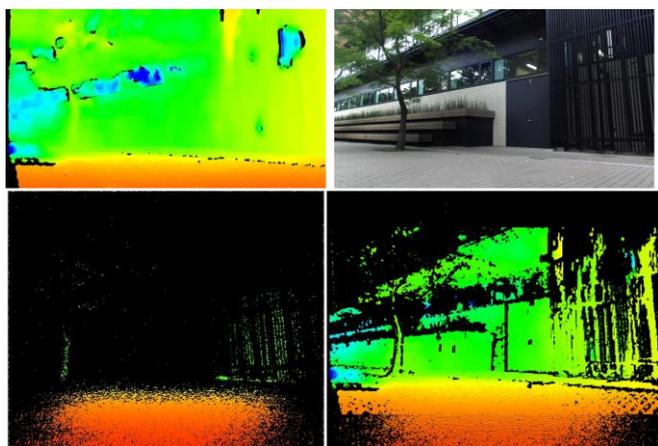
距離画像センサの組み合わせの有効性を検証するためにいくつかの環境下で計測実験を行った。取得した画像を Fig. 5 に示す。

Fig. 5(a)より、様々な物体が置かれている屋内において、ZED の距離画像上では物体と背景の境界があいまいになっているが、Kinect の距離画像および合成結果では物体の境界がはっきりとわかる。

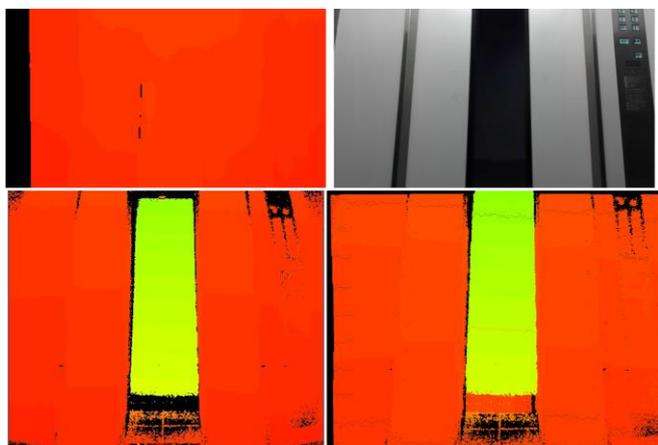
Fig. 5(b)より、太陽光下の屋外においては、Kinect では近距離の計測しかできていない。一方、ZED では屋内外ともに約 20m まで計測が可能であるため、合成結果では Kinect 単体の場合よりも高密度な距離画像を得られた。



(a) 蛍光灯照明下の屋内



(b) 屋外



(c) 扉開閉時の屋内エレベータ

Fig. 5 計測画像

左上：ZED 距離画像 右上：ZED 左カメラ画像
 左下：Kinect 距離画像 右下：距離画像合成結果

一方、屋内の薄暗い場所や逆光環境下では、ZED の距離画像の評価値がほぼ全体で閾値以下になる場合や、明らかに誤った距離値であるにも関わらず評価値が小さい（信頼性が高い）場合がある。Fig. 5(c)の ZED の距離画像は開いた扉の奥の距離値が正確に取得できておらず、距離画像合成結果の中央下部の壁面と床の境界付近の Kinect では距離値を取得できていない部分にはずれ値が残るといったケースが見られた。

4. 結言

ステレオカメラと TOF 方式の距離画像センサを組み合わせることで、環境に対するロバスト性を高められることを実験により示した。今後は、複数のセンサ間での距離値の相違などからはずれ値をより正確に除去する手法の確立を目指す。

参 考 文 献

- [1] 岩堀 祐之監修：“三次元画像センシングの新展開ーリアルタイム・高精度に向けた要素技術から産業応用まで”，エヌ・ティー・エス，2015.5.
- [2] 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”，電気学会論文誌，Vol.-114-C，No. 5，pp. 603-608，1994.
- [3] 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.