

# 対象表面の形状と色を正確に瞬時計測するための ステレオ測距とレーザーレンジファインダーの統合

速水 駿<sup>†</sup> 鈴木 寿<sup>†</sup>  
<sup>†</sup> 中央大学大学院 理工学研究科

## 1. はじめに

平行等位なステレオカメラから出力されたステレオ画像に対し効果的な DP マッチング[1]を適用して距離画像を算出するかわちステレオ測距することにより瞬時に、主画像上の各画素  $(h, v) \in M \times N$  (水平画素数が  $m$ , 垂直画素数が  $n$  のとき,  $M = \{0, 1, \dots, m-1\}$  および  $N = \{0, 1, \dots, n-1\}$ ) が捉えた対象表面各点  $P = P(h, v)$  までの概距離  $e(h, v) \in [0, 1]$  (有限化した相対距離) および正確な色情報  $c(h, v) \in \{0, 1, \dots, 255\}^3$  (RGB 値) が得られる。

一方、レーザーレンジファインダーによって瞬時に、各画素  $(h, v) \in M \times N$  が捉えた対象表面各点  $Q(h, v)$  までの正確な距離  $d(h, v) \in [0, 1]$  が得られるものの、計測の原理上、色情報との間で座標の同期をとりにくい。

本研究では、 $e$  と  $d$  に対し再び DP マッチング[1]を適用することにより正確な距離と色情報を得るセンサー統合の方法を検討している。

## 2. センサー統合の方法

ステレオ測距による距離画像上の各画素  $(h, v) \in M \times N$  に対し、レーザーレンジファインダーによる距離画像上で、 $P(h, v)$  に同一と目される対象表面の点  $Q(i, v)$  を捉えた画素  $(i, v) \in M \times N$  を DP マッチングにより探し、 $e(h, v)$  の値を  $d(i, v)$  の値で置き換える。

### 2.1 DP マッチングの概観

垂直座標  $v \in N$  ごとに、ステレオ測距による距離画像における各画素  $(h, v)$  ( $h \in M$ ) 周辺の局所的な  $e(\cdot, v)$  の形状と、レーザーレンジファインダーによる距離画像における画素  $(i, v)$  周辺の局所的な  $d(\cdot, v)$  の形状とが、類似しているような  $i = i^*(h, v) \in N$  のペア  $(h, i)$  を求める。

具体的には、DP マッチングにおいてノード  $(h, i) = (0, 0)$  に対しコスト  $s(h, i) = 0$ , および、各ノード  $(h, i) \in M \times M - \{(0, 0)\}$  に対し再帰的に非負コスト  $s(h, i) = f(h, i) + g(h, i) + \min\{s(h-1, i) + b(h, i), s(h, i-1) + b(h, i), s(h-1, i-1)\}$  ( $f, g, b$  は後述) を付与する。

$(h, i) = (m-1, m-1)$  から  $(h, i) = (0, 0)$  へ向かって再帰的にノード  $(h, i)$  と  $\arg \min\{s(x, y) | (x, y) \in \{(h-1, i), (h, i-1), (h-1, i-1)\}\}$  の任意ノードとを結ぶ経路すなわちコスト最小経路をたどることにより、 $i^*(h, v)$  ( $h \in M$ ) を得る。なお、ある  $h$  に複数の  $i$  が対応するときは、便法としてそのような  $i$  の一つを任意に (ただし  $i^*(0, v) = 0$  かつ  $i^*(m-1, v) = m-1$  を満たすように) 選び  $i^*(h, v)$  の値とする。

### 2.2 対象表面の段差を効果的に考慮するコスト

対象表面の段差(図1に現れるエッジ)を効果的に考慮するべく、微分  $A = e(h, v) - e(h-1, v)$  と  $B = d(i, v) - d(i-1, v)$  の差に起因するコスト  $f(h, i) = 1 - (2\pi\sigma_f^2)^{-1/2} \exp\{-|A-B|^2 / (2\sigma_f^2)\} \in [0, 1]$  を加える。ここに  $\sigma_f^2$  は  $A-B$  の分散に基づき経験的に定める。

### 2.3 垂直方向の連続性を考慮するコスト

対象表面の連続性を反映した距離画像の垂直方向の連続性を考慮するべく、自身と上下の水平走査線において局所的な  $d(\cdot, \cdot)$  の形状のずれを抑制するコスト  $g(h, i) = 1 - (2\pi\sigma_g^2)^{-1/2} \exp\{-((C+D)/2)^2 / (2\sigma_g^2)\} \in [0, 1]$  (ここに  $C = (1 - |i - i^*(h, v-1)|/m)(1 - |d(i^*(h, v-1), v) - d(i, v)|)$  および  $D = (1 - |i - i^*(h, v+1)|/m)(1 - |d(i^*(h, v+1), v) - d(i, v)|)$  とする) を加える。ここに  $\sigma_g^2$  は  $(C+D)/2$  の分散に基づき経験的に定める。

### 2.4 伸縮を抑制するコスト

ある  $h$  に複数の  $i$ , または、ある  $i$  に複数の  $h$  が対応する経路すなわち伸縮を抑制するべく、そのような経路にはコスト  $b(h, i) = ((h-i)/m)^2 \in [0, 1]$  を加える。

## 3. 試行

センサー統合の性能を粗調査するため、レーザーレンジファインダーが出力する距離画像の代わりに、ステレオ画像と正しい視差画像とが既知の Middlebury Stereo Datasets[2] を用いて、センサー統合を試行した。ステレオ画像に DP マッチングを適用して得られる視差画像(の代わりに距離画像) ( $\in \{0, 1/256, \dots, 255/256\}$ ) をもとにセンサー統合した結果得られる視差画像と、正しい視差画像とを、比較する。各画素において二つの視差値が量子化誤差に相当する  $1/256$  より大きいときは“誤り”とみなし、誤りの画素数を総画素数  $mn$  で割った値を誤り率として定義するとき、Sawtooth, Venus, Bull, Poster, Map に対する誤り率は 0.323%, 3.096%, 0.367%, 0.384%, 0.380% (小数点第4位を四捨五入) となり、Venus の場合のみ極端に大きい。



(a) 正しい色画像 (b) 正しい視差画像 (c) 統合後の距離画像

図1. Venus の場合 (c)は誤っている画素を赤色で表現

## 4. 今後の課題

Venus の場合においてセンサー統合が必ずしも良好に機能しない部分を、今後、改良する予定である。

## 参考文献

- [1] T. Ohtsuka, *et al.*, “4D median filter for the multi-viewable 3D moving images of surgery generatable by a computer-aided stereoscopic endoscope,” Proc. 2015 IFMIA, OS.3, 622, 2015.
- [2] D. Scharstein and R. Szeliski, “A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms,” Int. J. of Computer Vision, vol. 47, no. 1-3, pp. 7-42, 2002.