

SEA：カメラアレイを用いた高精細ステレオ法

5D-5

佐藤 清秀 大田 友一

筑波大学 電子・情報工学系

1 はじめに

近年、コンピュータグラフィックスや仮想現実に必要な3次元形状情報を、ステレオ法により受動的に獲得する方法が注目されている。これらの用途では、レーザーレンジファインダによるような密な距離情報を得ることが求められるが、対応点問題の解決が必要である。多眼視によって得られる情報の空間的な冗長性から対応の曖昧さを減らす試みとして、直交配置三眼視 [1]、水平配置三眼視 [2]、multiple-baseline stereo[3]、EPIを用いる手法 [4] などが提案されている。本報告では、 3×3 の格子状に配置された9台のカメラによって撮影された画像を用いて、これらの手法の持つ利点を統合し、高精細なシーンの奥行き情報を復元するステレオ手法 (SEA: Stereo by Eye Array) を提案する。また、カメラ配置の性質を利用して隠れの検出を行うことにより、隠れ境界での正確な視差推定が可能となることを示す。

2 SEAにおける幾何学的拘束条件

図1のように、 3×3 台のカメラ $C^{k,l}(k, l = -1, 0, 1)$ を、焦点のシーン座標がそれぞれ $(kb, lb, 0)$ となるように、また、光軸がシーン座標系の Z 軸と、画像座標系の x, y 軸が X, Y 軸とそれぞれ平行になるように配置する。このとき b はカメラ間隔を定める定数で、各カメラの焦点距離はともに f とする。各カメラによって観測される画像を $I^{k,l}$ とすると、シーン中の特徴点 $P(X, Y, Z)$ は、画像 $I^{0,0}$ (中心画像) 上では点

$$I^{0,0}(f \cdot X/Z, f \cdot Y/Z) \quad (1)$$

で、周辺の各画像 $I^{k,l}$ 上では点

$$I^{k,l}(f \cdot (X - kb)/Z, (f \cdot (Y - lb)/Z)) \quad (2)$$

で観測される。ここで、

$$x = f \cdot X/Z, y = f \cdot Y/Z \quad (3)$$

$$d = f \cdot b/Z \quad (4)$$

とおくと、式 (1)(2) より、中心画像と各周辺画像の間に、

$$I^{0,0}(x, y) \Leftarrow \text{対応} \Rightarrow I^{k,l}(x - kd, y - ld) \quad (5)$$

という関係が成立する。このとき d を点 $I^{0,0}(x, y)$ の視

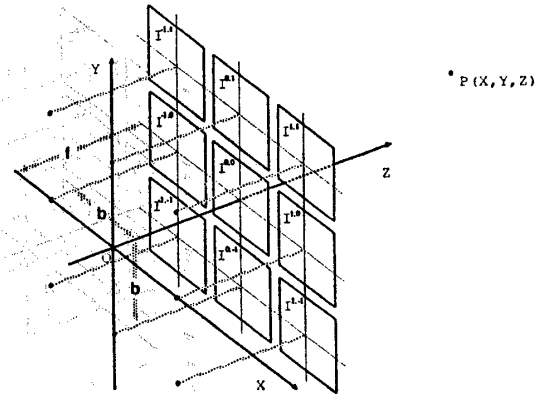


図1: SEAの座標系

差と定義する。視差は、式 (4) によって特徴点の奥行き Z に応じて一意に定まる特徴量であり、カメラパラメータが既知であれば、この d を求めることで奥行き情報が復元できる。SEA では、このように定義される視差を、中心画像の各点で推定する。

3 対応探索アルゴリズム

点 $I^{0,0}(x, y)$ の視差推定を考える。この点と、視差 d を仮定した時に対応するはずの点 $I^{k,l}(x - kd, y - ld)$ との非類似度 $e^{k,l}(x, y, d)$ を、8枚の周辺画像それぞれに対して求める。このとき二点間の非類似度は、注目点を中心とした $N \times N$ の探索窓を用いて、窓内の各対応点間の RGB 距離の和によって与える。各周辺画像における非類似度の総和

$$e(x, y, d) = \sum_{k,l} e^{k,l}(x, y, d) \quad (6)$$

を視差 d のペナルティ値として、これを最小とする d を点 $I^{0,0}(x, y)$ の視差として選択する。

このように簡単な手続きにも関わらず、SEAには次のような利点が挙げられる。第一に、冗長な画像対を用いることにより、multiple-baseline stereo[3]と同様に、誤対応点で偶然にペナルティ値が小さくなるケースが減少する。その結果、探索窓を画素単位にまで縮小可能となり、空間解像度の高い奥行き情報が獲得できる。第二に、構成する8組のステレオ画像対が異なった4方向の基線を有しているため、直交配置三眼視 [1]と同様に、特定の基線方向のエッジに関して対応の曖昧さを生じない。第三に、中心画像の各点はその対応点がいずれかの周辺画像では観測されるため、水平配置三眼視 [2]と同

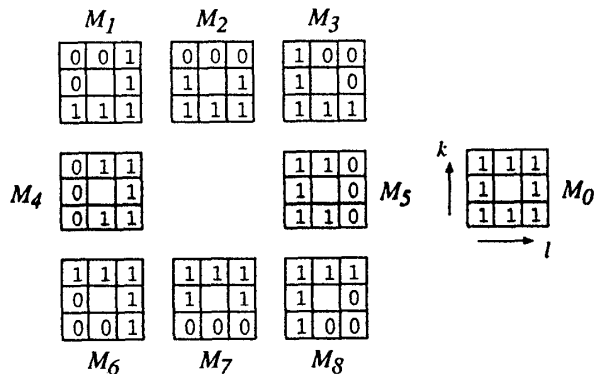


図2: 隠れのマスク

様に、ほとんど全ての点の視差が推定できる。さらに、次節で示すようなカメラ配置の性質を利用した隠れの検出により、隠れ境界での正確な視差推定が可能となる。

4 隠れの検出

対応点がいくつかの周辺画像で隠れの影響により観測できない状況は、真の視差のペナルティ値を増加させ、誤対応を生じる原因となる。隠れが局所的に直線状の境界を持つ物体によって生じていると仮定すれば、隠れのパターンは図2に示した幾つかのマスク M_t ($t=1, 2, \dots$) によって近似できる。 $M_t(k, l)$ の各値は、周辺画像 $I^{k,l}$ で隠れが生じている状況を0で、生じていない状況を1で表現する。また、全てが1のマスク M_0 は、隠れが生じていないという仮定を表現する。

パターン t の隠れが生じていると仮定した時の視差 d のペナルティ値を、隠れの生じている周辺画像からの情報は利用しないという方針により、次式のように定義する。

$$e_t(x, y, d) = \frac{w_t}{n_t} \sum_{M_t(k,l)=1} e^{k,l}(x, y, d) \quad (7)$$

ここで n_t は各マスクの1の数を表す。また w_t は、 $t=0$ が選択される可能性を残すための重みで、 $w_0 = 1$ 、 $w_t > 1 (t \neq 0)$ と設定する。この $e_t(x, y, d)$ を最小にする t と d の組みを、その点における最も妥当な隠れのパターンと視差として選択する。

5 実験結果

上記のアルゴリズムを用いて、図3に示す実画像に対する視差推定実験を行った。このとき、 $b = 30[mm]$ 、 $f = 15[mm]$ 、画像サイズは 289×384 で、物体までの距離はおよそ $200[cm]$ (真の視差: $14[pixel]$) から $520[cm]$ ($5[pixel]$) の間であった。また、探索窓の大きさは 3×3 とした。図4-a)は $I^{0,0}, I^{0,1}$ のみを使用した二眼ステレオによって推定された視差を輝度値で表したもので、明るいのほど大きい視差を示している。図4-b)は隠れを考慮しない場合、図4-c)は隠れを考慮した場合のそ

れぞれ SEA による視差の推定結果である。図4-d)はc)で検出された隠れのタイプで、図2における識別子 $t = 1 \sim 8$ を8段階の輝度値で、 $t = 0$ と判定された領域を白で表している。このとき、 $t = 1 \sim 8 \rightarrow 0$ の誤りは、視差推定に悪影響を与えない。これらの結果より、1) 小さな探索窓により空間解像度の高い奥行き情報を得られる、2) 隠れの検出によって視差境界付近での視差を正確に求められる、という SEA の利点が確認された。

参考文献

- [1] Y.Ohta, et.al.: "Improving depth map by right-angled trinocular stereo," *Proc. 8th ICPR*, pp.591-521, 1986
- [2] Y.Ohta, et.al.: "Collinear trinocular stereo using two-level dynamic programming," *Proc. 9th ICPR*, pp.658-662, 1988
- [3] M.Okutomi and T.Kanade: "A multiple-baseline stereo," *IEEE Trans.*, Vol.PAMI-15, No.4, pp.353-363, 1993
- [4] R.Bolles, et.al.: "Epipolar-plane image analysis: An approach to determining structure from motion," *Int. J. of Computer Vision*, Vol.1, No.1, pp.7-55, 1987

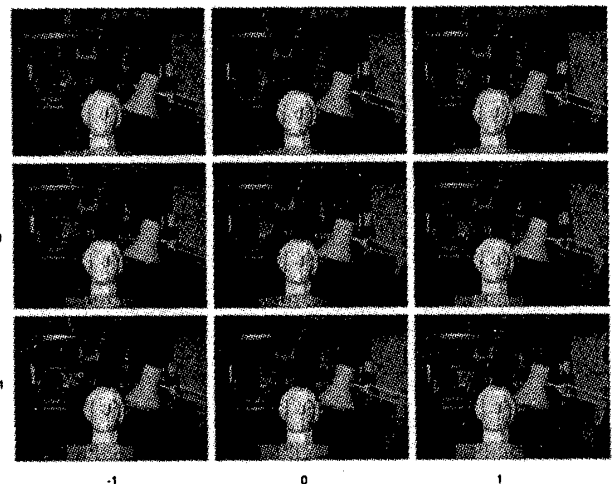
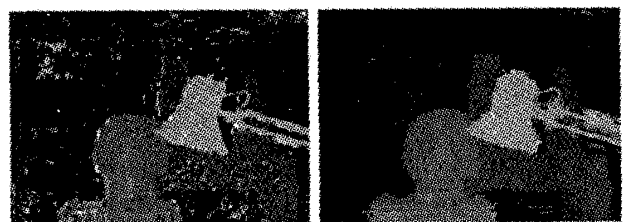
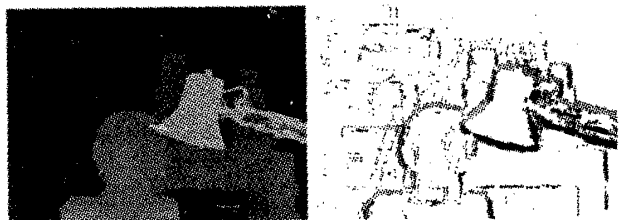


図3: 入力アレイ画像



(a) 二眼ステレオ

(b) SEA (隠れ検出なし)



(c) SEA (隠れ検出あり)

(d) (c)で検出された隠れのタイプ

図4: 推定された視差と隠れのタイプ