

視差検出フィルタによる狭基線長全方位ステレオ

小嶋裕一郎[†] 佐川 立昌[†] 八木 康史[†]

[†] 大阪大学産業科学研究所

〒 567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

E-mail: †{y-kojima,sagawa,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

あらまし 全方位の近接物体を検出するために、複眼全方位センサを用いた近接物体検出手法が提案されている。この近接物体検出手法は、対応点探索を行わず、無限遠対応点に同一物体が投影されているかどうかを判定することにより、ある一定距離以内に接近した物体を検出することができる。また、この手法を段階的に縮小した画像に適用することで、近接物体までの距離を段階的に求める階層化近接物体検出手法も提案されている。これら手法は高速に近接物体を検出できるが、物体までの距離は 2 値、あるいは数段階でしか得られなかった。そこで本論文では、視差検出フィルタによる視差検出手法を提案する。これは、様々なウィンドウサイズで平滑化した画像それぞれに対し、輝度勾配による視差計測を行い、それらの結果を統合することで入力画像における視差を求める手法である。提案手法は輝度勾配を用いて視差を計測しているため、対応点探索を行う必要がない。そのため、複雑なエピポーラ線を持つシステムにも適用しやすく、計算量も少ないという利点を持つ。最後に、試作した複眼全方位センサから得られる画像に提案手法を適用することにより、その有効性を確認した。

キーワード 複眼全方位センサ, 複合放物面鏡, 近接物体検出, 視差検出

Narrow Baseline Omnidirectional Stereo using Disparity Detection Filter

Yuichiro KOJIMA[†], Ryusuke SAGAWA[†], and Yasushi YAGI[†]

[†] The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki-shi, Osaka, 567-0047, JAPAN

E-mail: †{y-kojima,sagawa,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

Abstract We propose a disparity detection filter which is a novel method to detect disparity for narrow baseline system. Although the method to detect near objects, which was previously proposed, has low computational cost, but it can only determine whether objects are close enough or not. The disparity detection filter can be applied to our omnidirectional sensor and it can detect disparity of objects through hierarchically-smoothed images with various window sizes. This method does not need finding correspondences along epipolar lines and the computational cost is low, because the disparity of each hierarchically-smoothed image is detected by intensity gradient. In addition, the method is better adapted to detect small disparity. Applying the method, we can detect disparity at high speed with narrow base line stereo cameras and our omnidirectional sensor.

Key words Compound Omnidirectional Sensor, Compound Paraboloidal Mirror, Near Objects Detection, Disparity Detection

1. はじめに

周囲 360 度の近接物体を実時間で検出可能なシステムとして、複眼全方位センサと、このセンサを用いて近接物体を高速に検出する手法が提案されている [1]。複眼全方位センサは、複数の凸面鏡から成る複合凸面鏡と、ひとつのカメラとから構成された小型のセンサである。また、提案されている近接物体検

出法は、物体が無限遠にある場合の異なる画像間での対応位置、無限遠対応点における差から、物体が近接しているかどうかを判定する手法である。そのため、エピポーラ線上の対応点探索を行う必要がなく、計算コストが低い。さらに、入力画像を段階的に縮小した階層化画像を用いることで、物体までの距離を段階的に得る手法 [2] も提案されている。

しかし、従来手法では段階的な距離を得られるものの、視差

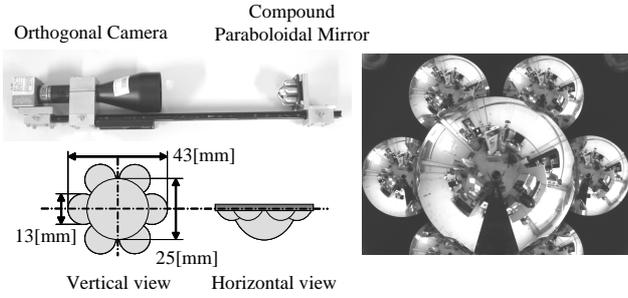


図1 複眼全方位センサの外観と複合放物面鏡の配置, 得られる画像例
Fig.1 Experimental setup and an example of an image of omnidirectional camera with compound paraboloidal mirrors and configuration of the mirrors

を計測するには至っていない．そこで本論文では, 近接物体までの距離を計測するために視差検出フィルタによる視差検出法を提案する．これは, 様々なウィンドウサイズで平滑化した画像を用いることで入力画像を階層的に表現し, それぞれの画像において検出した視差を統合することによって, 入力画像における視差を求める手法である．平滑化はエピポーラ線方向における輝度値の平均を取ることによって行い, それぞれの階層における視差計算には, 輝度勾配を用いた手法を利用する．従って, エピポーラ線上での対応点探索が不要であり, 複雑なエピポーラ線を持つシステムにも適応しやすい．また, 提案手法は階層数によって処理時間や精度を調節でき, 階層数を1とした場合においても, ある視差との比較が可能である．すなわち, 提案手法ではまったく対応点探索をしない場合でも, 観測対象の遠近を区別可能である．対応点探索を行うステレオ法には, 複数のカメラの組み合わせを用いたステレオ法[3]が提案されているが, 提案手法はそれよりも計算量を少なくすることが可能である．

2. 視差検出フィルタによる視差計測

2.1 複眼全方位センサの構成

複眼全方位センサは, 複数の凸面鏡から成る複合凸面鏡と単一のカメラとから構成される．本論文では正射影カメラと複合放物面鏡を用いた複眼全方位センサを実験に用いた．試作したセンサの外観と複合放物面鏡の配置図, センサから得られる画像の一例を図1に示す．図1に示したように, 試作した複合放物面鏡は1つの大きな中央鏡と, 6つの小さな周辺鏡から構成され, 中央鏡の直径は25[mm], 周辺鏡の直径は13[mm], センサ全体の最大径は43[mm]である．物体からの光線は複合放物面鏡に反射して画像面に投影されるが, 各放物面鏡の位置が異なるため, 投影されるそれぞれの画像も異なったものとなる．これらの画像の差異から, 三角測量の原理に基づいて距離を計測することが可能である．しかし, 複合放物面鏡における基線長は, 異なった放物面鏡において反射した光線の点間の距離となるため, 非常に短く, 対応点探索による視差計測は困難である．

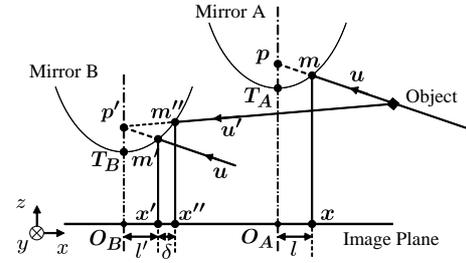


図2 複合放物面鏡に反射する光線の軌跡
Fig.2 The ray direction reflected on compound paraboloidal mirrors

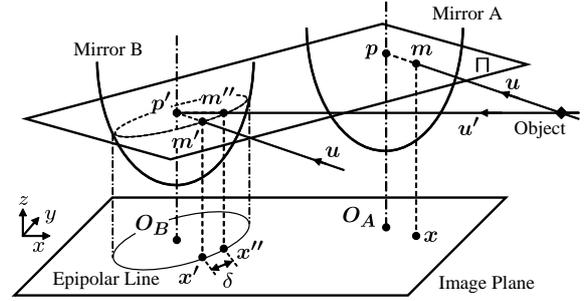


図3 複合放物面鏡に反射する光線の軌跡とエピポーラ線
Fig.3 The ray direction reflected on compound paraboloidal mirrors and the epipolar line

2.2 複眼全方位センサのエピポーラ線

提案する視差検出フィルタを複眼全方位センサに適用するためには, 物体が無遠にある場合に投影される位置関係, 無限遠対応点を求める必要と, エピポーラ線を求める必要がある．本節では正射影カメラと複合放物面鏡を用いた場合における無限遠対応点とエピポーラ線の導出を行う．

いま, 図2に示すように, 2つの放物面鏡AとBについて考える．放物面鏡の曲率をそれぞれ C_A, C_B , 頂点を T_A, T_B とし, 画像面上での中心位置を O_A, O_B とする．

無限遠に物体があった場合, 物体からの光線は平行光線 u となって各鏡に反射する．いま, 正射影カメラと放物面鏡を用いているので, 物体から放物面鏡の焦点 p および p' に向かう光線が画像面に投影されることになる．このとき, 光線は鏡面上の点 m と m' で反射し, 画像面上の点 x と x' に投影される．ここで, 各放物面鏡の中心位置から投影点までの距離をそれぞれ l, l' とすると,

$$\begin{cases} l = x - O_A \\ l' = x' - O_B \\ \frac{l}{l'} = \frac{C_A}{C_B} \end{cases} \quad (1)$$

と表すことができる．これより, 無限遠対応点 x' は次のように求められる．

$$x' = \frac{C_B}{C_A} (x - O_A) + O_B \quad (2)$$

次にエピポーラ線について考える．いま, 正射影カメラと放物面鏡を使用しているため, 無限遠にある物体が x に投影されるためには, 物体からの光線が放物面鏡Aの焦点 p へ向かう

直線となり、物体は焦点 p と鏡面上の点 m を通る直線 X 上に存在する。この直線 X は、光線の方向ベクトル u と媒介変数 t を用いて $X = ut + p$ と表すことができる。放物面鏡 B におけるエピポーラ線は、直線 X が放物面鏡 B に反射して投影されてできる曲線となる。放物面鏡 A の場合と同様に、物体への光線は放物面鏡 B の焦点 p' を通る直線とならなければならない。いま、直線 X と点 p' から成る平面を Π とすると、放物面鏡 B と平面 Π の交線が鏡面上に投影されたエピポーラ線となる。図 3 に示すように、平面 Π を法線ベクトル F と d を用いて $F \cdot X = d$ と表すとすると、 F は以下のように求めることができる。

$$F = d \frac{(p' - p) \times m + p' \times p}{(p \times p') \cdot m} \quad (3)$$

次に、平面 Π と放物面鏡 B の交線を求める。求めた交線が画像面に投影された曲線が、点 x の放物面 B に対するエピポーラ線であり、以下ようになる。ただし、 $X = (x, y, z)$ とし、放物面鏡 B の頂点 T_B の座標を $T_B = (T_{Bx}, T_{By}, T_{Bz})$ 、焦点距離を p' とした。

$$\begin{cases} \left(x + 2dp' \frac{F_x}{F_z} - T_{Bx} \right)^2 + \left(y + 2dp' \frac{F_y}{F_z} - T_{By} \right)^2 \\ = 4p' \left(d^2 \frac{F_x^2 + F_y^2}{F_z^2} - \frac{dF_x T_{Bx} + dF_y T_{By} + F_z T_{Bz} - d}{F_z} \right) \\ (F_z \neq 0) \\ F_x x + F_y y = d \quad (F_z = 0) \end{cases} \quad (4)$$

2.3 視差検出フィルタ

本節では、提案する視差検出フィルタについて述べる。これは、様々なウィンドウサイズで平滑化した画像を用いることで入力画像を階層的に表現し、それぞれの画像において検出した視差を統合することによって、入力画像における視差を求める手法である。平滑化はエピポーラ線方向における輝度値の平均を取ることで行い、それぞれの階層における視差は輝度勾配を用いて求める。

初めに、入力画像をエピポーラ線方向での平均値で平滑化する。ただし、平均値を求める際のウィンドウサイズ n は奇数であるとする。また、平滑化はエピポーラ線方向のみに行い、対応点もエピポーラ線上にのみ限定されるため、本節ではエピポーラ線に沿った一次元の座標系における輝度値変化のみを考える。いま、同一場面を異なる点から撮影した 2 つの入力画像を I_1, I_2 とし、エピポーラ線上の点 x における画像 I_1 の輝度値を $I_1(x)$ と表す。また、 I_1 はエピポーラ線上の点 p において輝度値のエッジがあり、その前後 n [画素] にはエッジが存在しない画像であるとする。このとき、 I_1, I_2 はヘヴィサイドの階段関数 $H(x)$ を用いて、以下のように表される。ここで、 I_1 と I_2 の視差の真値を d とした。

$$\begin{cases} I_1(x) = H(x - p) = \begin{cases} 0 & (x < p) \\ 1 & (x \geq p) \end{cases} \\ I_2(x) = H(x - p + d) = \begin{cases} 0 & (x < p - d) \\ 1 & (x \geq p - d) \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

次に、この 2 つの画像 I_1 と I_2 に対し、平均値を用いた平滑

化を行う。 I_1 と I_2 をウィンドウサイズ n で平滑化した画像を $I_{1,n}, I_{2,n}$ と表す。このとき、 $I_{1,n}$ は次式で表される。

$$I_{1,n}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=-\lfloor n/2 \rfloor}^{\lfloor n/2 \rfloor} I_1(x - i) \quad (6)$$

次に、平滑化を行った画像において、Lucas-Kanade [4] の輝度勾配を用いた方法で視差を求める。 x と $x + \delta$ における輝度値変化は線形であると仮定すると、視差 D は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} D(x) &= \frac{I_{1,n}(x) - I_{2,n}(x)}{I'_{1,n}(x)} \\ &= \frac{I_{1,n}(x) - I_{2,n}(x)}{(I_{1,n}(x) - I_{1,n}(x + \delta)) / \delta} \end{aligned} \quad (7)$$

これを元に、検出基準 D_n を以下のように定める。

$$D_n(x) = \left| \frac{I_{1,n}(x) - I_{2,n}(x)}{I_{1,n}(x) - I_{1,n}(x + n)} \right| \quad (8)$$

ここで、分母において x から n だけ離れた位置における輝度 $I_{1,n}(x + n)$ を用いている。これは、ウィンドウサイズ n で平滑化を行うことと、画像を $1/n$ に縮小することはほぼ同じ意味を持っているため、元の画像での 1[画素] ずれた位置は、平滑化後の画像において n [画素] ずれた位置であると考えたためである。また、分母の δ での除算を取り除いている。これは、各階層の D_n を統合する際の処理を行いやすくするためである。

次に、 D_n がウィンドウサイズ n と視差 d によってどのような値になるかを求める。ただし、分母が 0 となる場合は $D_n = 0$ とした。まず、 $n < d$ の場合について考える。 $-\lfloor 3n/2 \rfloor < -d + \lfloor n/2 \rfloor$ の場合、

$$D_n(x) = \begin{cases} 0 & (x < p - \lfloor 3n/2 \rfloor) \\ \left| \frac{-x - 1 + (p - d - \lfloor n/2 \rfloor)}{-x - 1 + (p - \lfloor 3n/2 \rfloor)} \right| & (p - \lfloor 3n/2 \rfloor \leq x < p - d + \lfloor n/2 \rfloor) \\ \left| \frac{-n}{-x - 1 + (p - \lfloor 3n/2 \rfloor)} \right| & (p - d + \lfloor n/2 \rfloor \leq x < p - \lfloor n/2 \rfloor) \\ 1 & (p - \lfloor n/2 \rfloor \leq x < p + \lfloor n/2 \rfloor) \\ 0 & (p + \lfloor n/2 \rfloor \leq x) \end{cases} \quad (9)$$

となる。また、 $-\lfloor 3n/2 \rfloor > -d + \lfloor n/2 \rfloor$ の場合は、

$$D_n(x) = \begin{cases} 0 & (x < p - \lfloor 3n/2 \rfloor) \\ \left| \frac{-n}{-x - 1 + (p - \lfloor 3n/2 \rfloor)} \right| & (p - \lfloor 3n/2 \rfloor \leq x < p - \lfloor n/2 \rfloor) \\ 1 & (p - \lfloor n/2 \rfloor \leq x < p + \lfloor n/2 \rfloor) \\ 0 & (p + \lfloor n/2 \rfloor \leq x) \end{cases} \quad (10)$$

となる。いま、 $n < d$ なので、 $-\lfloor 3n/2 \rfloor < -d - \lfloor n/2 \rfloor$ である。したがって、(9) と (10) は、

$$D_n(x) \begin{cases} = 0 & (x < p - \lfloor 3n/2 \rfloor) \\ > 1 & (p - \lfloor 3n/2 \rfloor \leq x < p - \lfloor n/2 \rfloor + 1) \\ = 1 & (p - \lfloor n/2 \rfloor + 1 \leq x < p + \lfloor n/2 \rfloor) \\ = 0 & (p + \lfloor n/2 \rfloor \leq x) \end{cases} \quad (11)$$

となる．つまり， $n < d$ の場合，分子または分母が 0 でない場合全てにおいて $D_n \geq 1$ となる．

次に， $n > d$ の場合について考える．

$$D_n(x) = \begin{cases} 0 & (x < p - d - \lfloor n/2 \rfloor) \\ \left| \frac{-x-1+(p-d-\lfloor n/2 \rfloor)}{-x-1+(p-\lfloor 3n/2 \rfloor)} \right| & (p-d-\lfloor n/2 \rfloor \leq x < p-\lfloor n/2 \rfloor) \\ \left| \frac{-d}{-x+(p+\lfloor n/2 \rfloor)} \right| & (p-\lfloor n/2 \rfloor \leq x < p-d+\lfloor n/2 \rfloor) \\ 1 & (p-d+\lfloor n/2 \rfloor \leq x < p+\lfloor n/2 \rfloor) \\ 0 & (p+\lfloor n/2 \rfloor \leq x) \end{cases} \quad (12)$$

いま， $n < d$ なので， $-\lfloor 3n/2 \rfloor > -d - \lfloor n/2 \rfloor$ である．したがって，

$$D_n(x) \begin{cases} = 0 & (x < p - d - \lfloor n/2 \rfloor) \\ < 1 & (p - d - \lfloor n/2 \rfloor \leq x < p - d + \lfloor n/2 \rfloor) \\ = 1 & (p - d + \lfloor n/2 \rfloor \leq x < p + \lfloor n/2 \rfloor) \\ = 0 & (p + \lfloor n/2 \rfloor \leq x) \end{cases} \quad (13)$$

となる．つまり， $n > d$ の場合，分子または分母が 0 でない場合全てにおいて $D_n \leq 1$ となる．特に $p - \lfloor n/2 \rfloor - 1 \leq x < p - \lfloor n/2 \rfloor$ の場合，例えば $x = p - \lfloor n/2 \rfloor - 1$ の場合を考えると，

$$\begin{aligned} & D_n(p - \lfloor n/2 \rfloor - 1) \\ &= \left| \frac{-(p - \lfloor n/2 \rfloor - 1) - 1 + (p - d - \lfloor n/2 \rfloor)}{-(p - \lfloor n/2 \rfloor - 1) + (p + \lfloor n/2 \rfloor)} \right| \\ &= \left| \frac{-d}{2\lfloor n/2 \rfloor + 1} \right| \\ &= \frac{d}{n} \end{aligned} \quad (14)$$

として，視差 d を求めることができる．

最後に， $n = d$ の場合， $D_{Nn} = D_{Dn}$ となるので，

$$D_n(x) = \begin{cases} = 0 & (x < p - d - \lfloor n/2 \rfloor) \\ = 1 & (p - d + \lfloor n/2 \rfloor \leq x < p + \lfloor n/2 \rfloor) \\ = 0 & (p + \lfloor n/2 \rfloor \leq x) \end{cases} \quad (15)$$

となる．

(11) と (13), (15) より， $x = p - \lfloor n/2 \rfloor - 1$ のとき， $D_n(x) > 1$ であれば $n < d$ であり， $D_n(x) = 1$ であれば $n = d$ ， $D_n(x) < 1$ であれば $n > d$ となる．そして， $n > d$ であれば (14) から求めることができる．

実際に画像中で x における視差を求める際には，ノイズ等の影響を考慮して， D_n の判定にある程度幅を持たせる．閾値を T_a とした場合， $1 - T_a \leq D_n(x - \lfloor n/2 \rfloor) \leq 1 + T_a$ であれば $d = n$ であると判定し， $D_n(x - \lfloor n/2 \rfloor) < 1 - T_a$ であれば $d = n \cdot D_n(x - \lfloor n/2 \rfloor)$ とし， $D_n(x - \lfloor n/2 \rfloor) > 1 + T_a$ であれば， n を大きくして繰り返し計算を行う．ただし， D_n は D_1 が計算できる箇所でのみ計算することにする．これは， D_n を計算すべき箇所は，元の画像におけるエッジ点であり，その点は平滑化していない画像における検出結果 D_1 から分かるため

である．また， D_n が発散してしまわないように閾値 T_b を定め，以下の式が成り立つときのみ D_n を計算する．

$$|I_{1,n}(x) - I_{1,n}(x+n)| > T_b \quad (16)$$

2.4 複眼全方位センサを用いた視差検出と距離計測

前節で述べた視差検出フィルタを複眼全方位センサに適用することを考える．まず，ある放物面鏡 A が投影された画像面上の点 x におけるウィンドウサイズ n で平滑化した後の検出基準 D_n を考える．平滑化後の入力画像を I_n ，異なる放物面鏡 B との無限遠対応点を x' ，エピポーラ線上で x から n [画素] 離れた点 x_n とすると，(8) より，

$$D_n(x) = \left| \frac{I_n(x) - I_n(x')}{I_n(x) - I_n(x_n)} \right| \quad (17)$$

となる．ここで， x' と，それぞれの n に対する x_n は，2.2 節で述べたようにして求めることができる．

次に，検出した視差を 3 次元空間における距離に変換することを考える．まず，ある点 x と，その無限遠対応点 x' ，エピポーラ線上で x' から 1[画素] 離れた点 x'' を求める．そして， x と x' に投影される光線の方程式をそれぞれ求め，それらの光線の交点を求めることで，エピポーラ線上で 1[画素] ずれた点に投影される物体の位置を得られる．これらの光線はそれぞれ鏡面上の点 m と m'' を通り，方向ベクトルは u と u' であるので，独立な媒介変数 t_1 と t_2 を用いて，

$$\begin{cases} X_1 = ut_1 + x \\ X_2 = u't_2 + x'' \end{cases} \quad (18)$$

と表せる．物体の位置 X は， X_1 と X_2 が最も接近するときの X_1 と X_2 の平均値であるとするとき， $|X_1 - X_2|$ が最小となるとき，

$$X = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (19)$$

を計算することで，エピポーラ線上で 1[画素] ずれた点に投影される物体までの距離を求めることができる．いま，複合放物面鏡と正射影カメラを仮定しているので，エピポーラ線上での x' と x'' 間の距離と，物体までの距離 $|X|$ は比例することが知られている [2]．従って，視差が d であった場合の物体までの距離 L は次のようにして求められる．

$$L = d \cdot |X| \quad (20)$$

さらに，距離を求められれば，複数の放物面鏡の組み合わせを用いて検出した結果を統合することが可能となる．放物面鏡 A と B を用いて求めた，画像上の点 (x, y) に投影された物体までの距離を $L_{A,B}(x, y)$ と表す．例えば，3 つの放物面鏡 A, B, C があれば，点 (x, y) に投影された物体までの距離 $L(x, y)$ を，3 つの検出結果を用いて次のように求めることができる．

$$L(x, y) = \frac{1}{3}(L_{A,B}(x, y) + L_{A,C}(x, y) + L_{B,C}(x, y)) \quad (21)$$

このとき，1 つの組み合わせを用いた場合に比べて処理時間は延びてしまうが，検出できる範囲や距離，精度の面では有利となる．

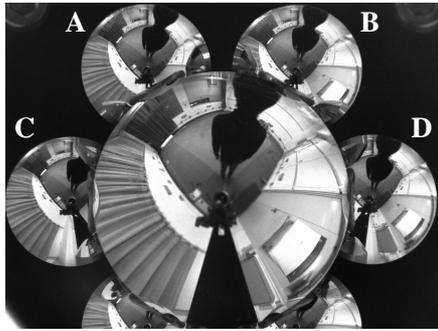


図 4 複眼全方位センサから得られる入力画像例
Fig. 4 An example of an image of the sensor

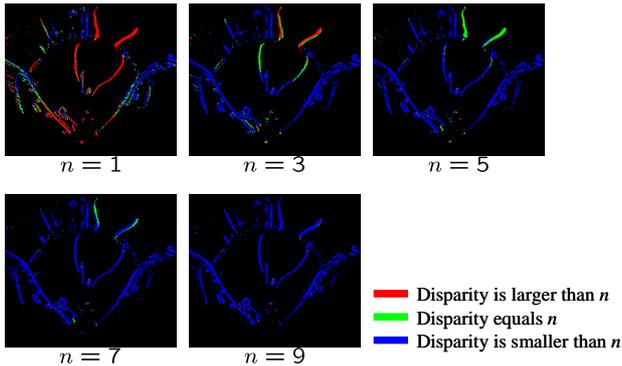


図 5 各階層における結果
Fig. 5 Result of each layers

3. 実験

実験には図 1 に示した複合放物面鏡と、正射影カメラによって構成された複眼全方位センサを用いた。画像の解像度は横 1600[画素]、縦 1200[画素]であり、周辺鏡の半径は約 240[画素]、中央鏡の半径は約 470[画素]である。また、複合放物面鏡の小さな鏡のうち、2 つの鏡がほぼ写っていない状態となっている。入力画像は図 4 に示したように、センサの周り人物が立っている画像とした。そして、人物とセンサの距離を 0.5[m] ずつ、1[m] から 8[m] まで変えながら実験を行った。視差検出フィルタの階層数は 5 とし、平滑化を行うウィンドウサイズはそれぞれ 1, 3, 5, ..., 9 とした。また、カメラのノイズなどを考慮し、検出判定の幅 T_a を 0.2, (16) における分母の閾値 T_b を 15 とした。

このような条件で、複合放物面鏡のうち図 4 で示した 2 つの放物面鏡 A と B のみを使用した場合と、A と D を使用した場合について実験を行った。放物面鏡 A と B 間の距離は約 13[mm] であり、放物面鏡 A と D 間の距離は約 23[mm] である。基線長はほぼ鏡間の長さと考えることができる。

まず、それぞれのウィンドウサイズで平滑化を行った階層化画像における検出結果を図 5 に示す。この図から、センサの近くに立っている人物は、 $n = 1$ の結果から視差 $d > 1$ 、 $n = 3$ の結果から $d = 3$ 、 $n = 5$ の結果から $d < 5$ ということが分かる。また、 $n = 5$ の場合の出力値から、視差 d を求めることも可能である。ここから、例えば $n = 3$ や $n = 5$ の結果のみから

表 1 複眼全方位センサを用いた視差検出と距離計測の処理時間

Table 1 Computational time of these experiments

	使用した鏡の組み合わせ	平均処理時間 [ms]	フレームレート [fps]
視差検出	AB	29.6	33.78
	AD	23.2	43.10
距離計測	AB	29.2	34.25
	AD	23.6	42.37
	AB, AC, BD	102.2	9.78
	AB, AC, BD, AD, BC	157.8	6.34

でも視差を求められることが分かる。

次に、最終的な検出結果の一部を拡大し、入力画像に重ねた画像を図 6 に示す。実験結果より、センサから遠ざかるにつれて視差が小さくなっているため、視差が正しく検出されていることが分かる。また、基線長が長い場合のほうが検出される視差が大きくなっていることも分かる。

次に、検出された視差から距離を求める。視差検出と同様に、放物面鏡 A と B のみを使用した場合と、A と D のみを使用した場合について実験を行った。さらに、画像中に全体が映っている周辺鏡 A, B, C, D の 4 つについて、隣同士の鏡の組み合わせ A と B, A と C, B と D の 3 通りを用いて求めた距離を統合した場合と、1 つ離れた鏡の組み合わせ A と D, B と C を追加した 5 通りを用いて求めた距離を統合した場合の実験を行った。検出結果の一部を拡大した画像と、それを入力画像に重ねた画像を図 6 に、それぞれの鏡の組み合わせでの検出結果の違いを図 7 に示す。この結果より、複数の鏡の組み合わせを用いた場合は、検出可能な範囲が広がっていることが分かる。また、5 通りの組み合わせを用いた場合であっても、3 通りを用いた場合とほぼ同じ結果となっている。これは、基線長が長い A と D, B と C の組を有効に活用できるほど遠くにある物体が存在していないためだと考えられる。

最後に、それぞれの処理時間を表 1 に示す。処理時間の測定には CPU が Pentium4 3.2[GHz]、メモリが 1[GB] である PC を用い、それぞれの検出処理 5 回の平均値を平均処理時間とした。この結果より、一つの鏡の組み合わせを用いた場合は 30[fps] 以上の処理速度を実現しており、実時間で距離計測が可能と言える。また、全方位を計測するために複数の鏡の組み合わせを利用した場合であっても、3 つの組み合わせを用いた場合は 10.33[fps] での距離計測が可能となっている。

4. おわりに

本論文では、視差検出フィルタによる視差検出法を提案した。これは、様々なウィンドウサイズで平滑化した画像を用いることで入力画像を階層的に表現し、それぞれの画像において検出した視差を統合することによって、入力画像における視差を求める手法である。それぞれの階層における視差計算には輝度勾配を用いた手法を利用するため、エッジポラ線上での対応点探索が不要であり、複雑なエッジポラ線を持つシステムにも適応

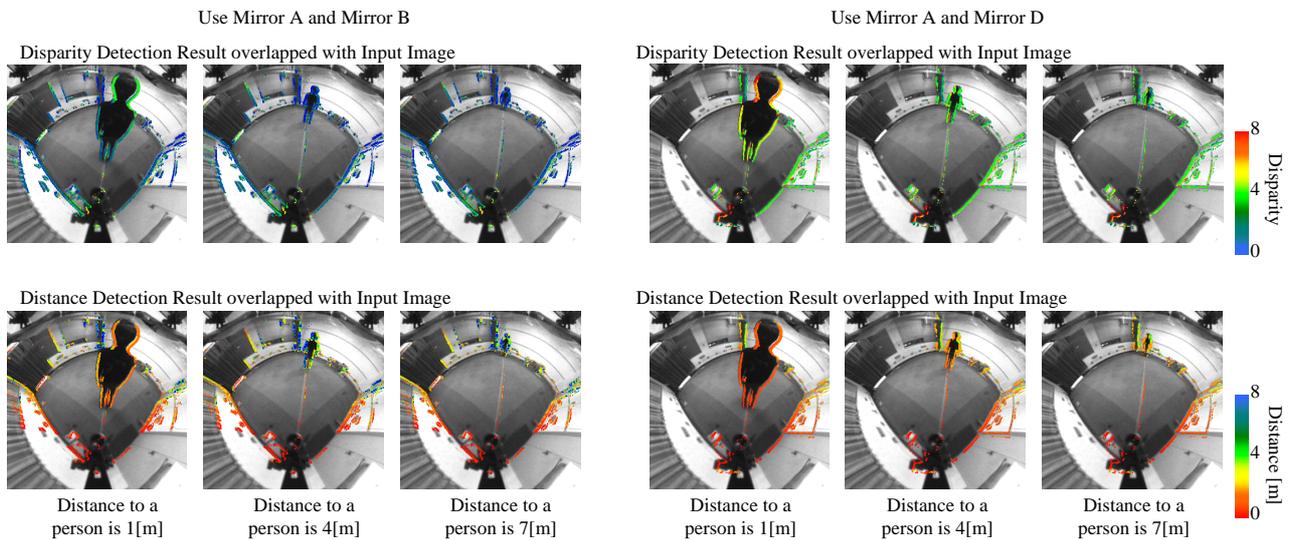


図 6 全方位視差検出と距離計測の結果

Fig. 6 Experimental result of disparity estimation and distance estimation

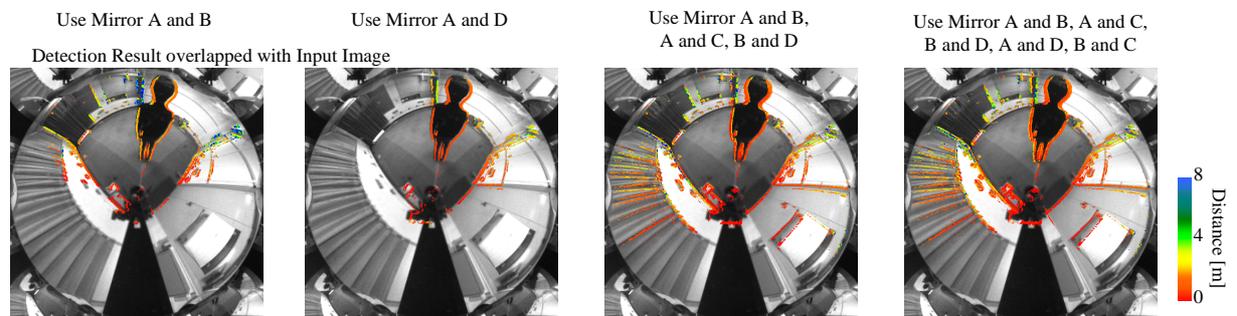


図 7 使用する鏡の差による全方位距離計測結果の違い

Fig. 7 Difference of results by used mirrors

しやすい。また、提案手法は階層数によって処理時間や精度を調節でき、階層数を 1 とした場合においても、ある視差との比較が可能である。

提案する視差検出フィルタの有効性を確認するために、試作した複眼全方位センサを用いた実験を行い、使用する鏡の組み合わせを変化させた場合の視差検出と距離計測に要する処理時間を計測した。これらの結果から、提案手法は高速に全方位の視差を検出できることを確認した。また、平滑化した画像 1 枚のみを用いた場合であっても視差の大小を判別できることを確認した。

しかし、本論文で提案した視差検出フィルタは輝度値のエッジでしか検出できない。今後の課題としては、エッジのみでなく、物体の領域全体の視差を検出することなどが挙げられる。

文 献

- [1] 小嶋, 栗田, 佐川, 越後, 八木: “複眼全方位センサの提案”, 情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア, 47, SIG10(CVIM15), pp. 152–161 (2006).
- [2] 小嶋, 武井, 佐川, 越後, 八木: “接近物体検出のための階層化複眼全方位画像を用いた距離計測”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2006), pp. 1096–1101 (2006).
- [3] M.Okutomi and T.Kanade: “A multiple-baseline stereo”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15, 4, pp. 353–363 (1993).

- [4] BD.Lucas and T.Kanade: “An iterative image registration technique with an application to stereo vision”, IJCAI81, pp. 674–679 (1981).