移動3眼ステレオ視を利用したステレオマッチング*

丁 志 平^{*1}, 古 村 義 彰^{*2}

Stereo Matching with Used Motion Trinocular Stereo Vision

Zhi-Ping DING and Yoshiaki KOMURA

In the stereo vision, to estimate a distance more precisely, a wide disparity range and a high resolution are required. They increase the number of the false correspondence and makes the correspondence difficult. That is, trade-off problem occurs between the disparity range and the resolution. Motion stereo vision was proposed as one way which deals with the trade-off problem. In the motion stereovision, precise disparity can be get by controll of coarse-to-fine from short base line to long base line. However, in the motion stereo vision, when there are mistakes in an any matching result on short base line, false matching occurred because mistakes. To solve the problem, in this paper, it is examining about stereo matching with used motion trinocular stereo vision.

Key Words: Image Processing, Artificial Intelligence, Moving Robot, Stereo Matching, Motion Stereo Vision, Trade-off Problem, Motion Trinocular Stereo Vision

1. 緒 言

ステレオ視では、正確な距離情報を求めるために、広い視差範囲と高い分解能が必要である。しかし、両者とも偽対応の数を増加させ、画像の間で点と点の対応を困難にする。すなわち、視差範囲と分解能との間にトレード・オフの問題があり、両方を同時に満足させることは容易ではない。

このトレード・オフの問題を解決するために、二つの方法がよく利用されている。その一つは粗密探索法 (Coarse-to-fine method) である⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。粗密探索法では、偽対応を減らすために、まず、平滑化した低分解能の画像間でマッチングを行い、その結果を用いて高分解能の画像間でマッチング範囲を制限しながら、より精密な視差を求める。トレード・オフの問題に対処するもう一つの方法は移動ステレオ視である^{(5),(6)}。この方法は粗密探索法と違って、画像の分解能ではなく、視差範囲の方に着目している。短い基線距離のステレオ視では、視差が小さいためマッチングが容易にできる。したがって、長い基線距離をいくつかの短い基線距離に分けることにより、問題が簡略化される。短い基線

距離でのマッチング結果を使って、つぎの基線距離でマッチング範囲を限定しながら、より精密な視差が求められる。

粗密探索法と移動ステレオ視には、共通の大きな問題点がある。すなわち、階層的に利用されるマッチングの結果に誤りがある場合の問題である。このようなことを避けるために、徐ら⁽⁷⁾は移動ステレオ視のマッチング範囲を小さく限定するとともに、すべてのステレオ画像対に対してラプラシアン・ガウシアン・フィルタをかけ、マッチング範囲内で対応候補が1個しかないように処理している。しかし、そのような処理は分解能を落としてマッチング範囲を狭くしても、対応候補を1個しかないようにすることが困難である。マッチング範囲内でいくつかの対応候補が存在する場合には、エッジの連続性と画像の局所的な性質を利用して、もっともらしい対応を決定する方法が北村ら⁽⁸⁾によって提案されている。しかし、その方法では一方画像の特徴点が他方画像で特徴点として検出できない場合、誤りが生じる。これらの問題を解決するために、マッチングを総合的に判断するという考え方から、奥富ら⁽⁹⁾は複数の基線距離を利用したステレオマッチング法を提案した。この方法は、すべてのステレオ画像対のSSD(Sum of Squared Difference)関数を足し合わせ

* 原稿受付 1997年2月10日。

*¹ 正員, 福井大学大学院 (☎ 910-8507 福井市文京 3-9-1)。*² 正員, 福井大学工学部。

て、それをSSSDと呼ぶ関数で対応づけを行う。しかし、この方法はマッチング結果を階層的に利用できないため、基線距離が大きくなると、より広い視差範囲でSSD演算処理が必要となる。その結果、処理コストがかかるとともに偽対応の可能性も高くなる。

移動ステレオ視では、より正確で信頼できる距離情報を求めるために、階層的に利用するマッチング結果を検証することが有効である。そのため、本報告では3眼視の原理⁽¹⁰⁾に基づく移動3眼ステレオ視を利用したマッチング法を提案する。本手法では、3眼視の三台のカメラを同一直線に直角に配置し、中央のカメラを固定して、他の二台のカメラをその直線に沿って反対方向に移動させる。中央のカメラで撮った画像を基準画像とし、他の二台のカメラで撮った画像を対応画像とする。任意時点で、三台のカメラからなる3眼ステレオ視で求めた視差情報を、視差と基線距離の幾何学的関係で検証する。そして、検証されたマッチング結果を使って、つぎの基線距離でのマッチング範囲を限定する。このようにして、移動3眼ステレオ視では、階層的により信頼できるマッチング結果が利用されるため、よいマッチング結果を得ることができる。

2. 移動ステレオ視のCoarse-to-fine制御

視差範囲と分解能との間のトレード・オフの問題は、移動ステレオ視のCoarse-to-fine制御によって解決できる。つまり、視差範囲の方に着目しcoarseからfineへの制御で精密な視差を求めることができる。

図1のように、ステレオ視の基線距離 B をいくつかの短い基線距離($B_1, B_2, \dots$)で分割し、カメラを移動することによって移動ステレオ視ができる。ある空間点の視点 O での画像点と視点 O_i での画像点をそれぞれ (x, y) , (x_i, y_i) とすれば、それぞれの視点からの視線 l , l_i が違うことにより画面上の位置ずれ d_i が生じる。ステレオ視では、画面上のこのような位置ずれ d_i を視差と呼ぶ。また、視差範囲とは予測される最大視差と最小視差との間の範囲をいう。図1の各ステレオ対の基線距離を $B_1 < B_2 < \dots < B$ とすれば、視点 O での画像点 (x, y) に対し、視差 d_{i+1} の範囲は視差 d_i によ

Fig.1 Motion stereo vision.

て式(1)のように予測することができる。

$$\left. \begin{aligned} (d_i - \varepsilon) \cdot K_i &\leq d_{i+1} \leq (d_i + \varepsilon) \cdot K_i \\ K_i &= B_{i+1} / B_i \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

式(1)で、 ε は分解能であり、 K_i は基線距離の比率係数である。 $i+1$ 組でより精密な視差 d_{i+1} を求めるために、この組でのマッチング範囲は、式(2)のように決められ、

$$\pm \varepsilon \cdot K_i \dots (2)$$

係数 K_i を小さくすれば、マッチング範囲を小さくできる。一般に、ステレオマッチングは広い視差範囲内でマッチングを行わなければならないのに対して、移動ステレオ視では、式(2)で限定された狭い範囲内でマッチングを行えばよいことになる。このような制御が移動ステレオ視のCoarse-to-fine制御である。

3. 移動3眼ステレオ視

3.1 移動ステレオ視の問題点 移動ステレオ視のマッチングでは、式(1)で示しているように、前の組のマッチング結果を使って次の組の視差範囲を予測しながらマッチングを行っている。ところで、ステレオ視では、ある画像点 (x, y) に対してマッチングで求められた視差は、ノイズなどの影響で誤差 Δd を含んでいる。すなわち、ある i 組でのマッチング結果の、画像点 (x, y) の視差 d_i とその真の視差 d_i^* との間に式(3)が成立する。

$$d_i^* = d_i + \Delta d \dots (3)$$

画像点 (x, y) のよいマッチング結果を得るために、真の視差 d_i^* を使って視差範囲を予測すべきであるが、実際には真の視差 d_i^* が分からないため、我々はマッチングで求めた視差 d_i しか利用できない。このことから、予測された視差には真の視差とのずれ

$$\Delta d_i \cdot K_i \dots (4)$$

が生じる。このずれが式(2)で限定されたマッチング範囲を超えると、マッチングが不可能になり誤りが生じてしまう。

3.2 移動3眼ステレオ視 移動ステレオ視では、ある組での視差が予測された視差範囲内に入らなかったら、以後の組では無意味なマッチングを続けることになる。この問題を解決するためには、各組でのマッチング結果を検証し、誤りとなった部分を取り除くことがよいと考えられる。本報告では、移動ステレオ視のマッチング結果を階層的に検証するために、図2のように移動3眼ステレオ視を用いることにする。

移動3眼ステレオ視では、三台のカメラにより任意の時点 i での3眼ステレオ視 $T_i (O_{Li}, O_{Si}, O_{Ri})$ が構成され、三枚の画像 $T_i (I_{Li}, I_{Si}, I_{Ri})$ が得られる。3眼ス

Fig.2 Motion trinocular stereo vision

ステレオ視では、基準画像 I_{Si} とほかの二枚の対応画像 (I_{Li}, I_{Ri}) の組み合わせによって、基準画像の任意の画像点 (x, y) に対するそれぞれの視差を求めることができる。ここで画像点 (x, y) に対するそれぞれのステレオ対での真の視差を d'_{Li} , d'_{Ri} とすれば、3眼ステレオ視 $T_i (O_{Li}, O_{Si}, O_{Ri})$ では、視差と基線距離の関係から、真の視差 d'_{Li} , d'_{Ri} との間に式(5)の関係が成立する。

$$d'_{Li} / d'_{Ri} = B_{Li} / B_{Ri} \quad \dots\dots (5)$$

もし、それぞれのステレオ対でマッチングが正しければ、求めた視差 d_{Li} と d_{Ri} も式(5)の関係を満たす。すなわち、3眼ステレオ視では任意の画像点 (x, y) のマッチング結果が正しいかどうかを、式(5)の関係によって検証することが可能になる。

式(5)の関係によって、ステレオマッチングで求めた左視差 d_{Li} が真の視差 d'_{Li} だったら、以下の関係が成り立つ。

$$d_{Li} = d'_{Ri} \cdot B_{Li} / B_{Ri}$$

これはまた、ステレオマッチングで求めた視差 d_i とその真の視差 d'_i の関係式(3)から、

$$d_{Li} = (d_{Ri} + \Delta d_{Ri}) \cdot B_{Li} / B_{Ri}$$

のように書き換えることができる。

同じように、式(5)の関係によって、ステレオマッチングで求めた右視差 d_{Ri} が真の視差 d'_{Ri} だったら、以下の関係も成り立つ。

$$\begin{aligned} d_{Ri} &= d'_{Li} \cdot B_{Ri} / B_{Li} \\ &= (d_{Li} + \Delta d_{Li}) \cdot B_{Ri} / B_{Li} \end{aligned}$$

ここで、本報告では、真の視差範囲が予想された視差範囲を越えないようにするために、視差の誤差範囲を

$$\left. \begin{aligned} |\Delta d_{Li}| &\leq \varepsilon \\ |\Delta d_{Ri}| &\leq \varepsilon \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

式(6)のように設定する。これによって、マッチングで求めた画像点 (x, y) の視差 d_{Li} , d_{Ri} が信頼できるかどうかは式(7)のように判断することができる。

$$\left. \begin{aligned} (d_{Ri} - \varepsilon) &\leq d_{Li} \cdot B_{Ri} / B_{Li} \leq (d_{Ri} + \varepsilon) \\ (d_{Li} - \varepsilon) &\leq d_{Ri} \cdot B_{Li} / B_{Ri} \leq (d_{Li} + \varepsilon) \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

移動3眼ステレオ視では、式(7)で階層的にマッチングの結果を検証できるため、誤差が大きくてマッ

ングが不可能な画像点を除去することができる。このようにして、移動3眼ステレオ視では、マッチングのあいまいさを格段に減少させることができ、正確なマッチング結果を求めることが可能になる。また、任意の3眼ステレオ視 $T_i (O_{Li}, O_{Si}, O_{Ri})$ では、画像点 (x, y) の左視差 d_{Li} と右視差 d_{Ri} を足し合わせた総合視差 d_i が式(8)のように得られるため、短い基線距離でもより精密な視差が求められる。

$$d_i = B_i \cdot F / Z = d_{Li} + d_{Ri} \quad \dots\dots (8)$$

これは移動3眼ステレオ視を利用するもう一つの利点である。式(8)で、 F はカメラの焦点距離 (三台のカメラとも同じとする)、 Z は画像点 (x, y) に対応する空間点までの距離である。

4. 移動3眼ステレオ視のマッチング

移動3眼ステレオ視では、多数の画像を処理する必要があるため、処理コストがかかるという問題点がある。しかし、ステレオマッチングの処理コストに影響があるのは、主にマッチング範囲の大きさとマッチングの演算処理方法である。実用に向けて、本報告ではこの二つの点について以下のような処理をして、コストを削減する。

4.1 カメラの移動計画 上述のように、マッチング範囲の大きさは処理コストがかかる大きな原因となっている。一般に、ステレオ視 (基線距離 B) では任意画像点 (x, y) の視差を求めるために、次式(9)

$$\lambda = B \cdot F \left(\frac{1}{Z_{min}} - \frac{1}{Z_{max}} \right) \quad \dots\dots (9)$$

のような視差範囲 λ でマッチングを行わなければならない。ここで、 Z_{min} と Z_{max} はシーンに対するカメラから想定している物体までの最短距離と最長距離である。ステレオ視では、シーン内でのいろいろな奥行き情報が得られるのに、それらを区別せずに同じ視差範囲 λ でマッチングをするのは合理的ではない。シーン内で遠く離れたものに対しても広い範囲でマッチングをすることは、処理時間を無駄にするとともに、誤りが生じる可能性も高くなる。これに対し、基線距離 B をいくつかの短い基線距離で分割して処理する移動ステレオ視では、各階層でシーン内のいろいろな奥行き情報を持つものを区別し、マッチング範囲を狭く限定できるため処理時間を無駄にしない。

移動3眼ステレオ視では移動ステレオ視と同様に、マッチングのコストは各ステレオ対のマッチング範囲の総和 Φ で決まり、 Φ は式(10)のように計算される。

$$\begin{aligned} \Phi &= \lambda_{L1} + 2\varepsilon K_{L1} + \dots + 2\varepsilon K_{L(n-1)} \\ &\quad + \lambda_{R1} + 2\varepsilon K_{R1} + \dots + 2\varepsilon K_{R(n-1)} \quad \dots (10) \end{aligned}$$

ここで、 λ_{L1} , λ_{R1} は $i=1$ 組での視差範囲である。本報告では、制御しやすくするために、移動3眼ステレオ視を以下のような条件で実施する。

(1) 本ステレオ視において、基線距離 B の中心点にカメラ O_S 、中心点の両側にカメラ O_L とカメラ O_R を設置し、それぞれ $B/2$ の範囲内で移動して、基線距離 B を分割する。

(2) 任意時点 i で、3眼ステレオ視 $T_i(O_{Li}, O_{Si}, O_{Ri})$ の基線距離(B_{Ri} , B_{Li})を式(11)のように同じとする。

$$B_{Li} = B_{Ri} = B_i/2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

(3) 基線距離の比率係数を、式(12)のように一定とする。

$$K_1 = \dots K_i \dots = K_{n-1} = K \quad \dots\dots\dots (12)$$

(4) $i=1$ 組のステレオ対でも、マッチング範囲、すなわち視差範囲 λ_{L1} , λ_{R1} を式(13)のようにする。

$$\lambda_{L1} = \lambda_{R1} = 2\varepsilon K \quad \dots\dots\dots (13)$$

これによって移動3眼ステレオ視では、視差範囲 λ_1 と $\lambda_n (= \lambda)$ との間に、式(14)の関係があるから、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\lambda_n}{\lambda_1} = \frac{B_n}{B_1} &= K^{n-1} \\ K &= \left[\frac{\lambda}{4\varepsilon} \right]^{1/n} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (14)$$

マッチング範囲の総和 Φ は、3眼ステレオ視の数 n の関数として式(15)で表すことができる。

$$\begin{aligned} \Phi(n) &= 4\varepsilon nK \\ &= 4\varepsilon n(\lambda/4\varepsilon)^{1/n} \quad \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

ここで、式(14)の $B_n=B$ 、 λ は式(9)で計算された視差範囲である。また、式(15)におけるステレオ視の数 n は1より大きい整数、基線距離の比率係数 K は1より大きい実数である。

式(15)から、マッチング範囲の総和 Φ を最小にする条件は式(16)のように求められる。

$$n = \ln(\lambda/4\varepsilon) \quad \dots\dots\dots (16)$$

したがって、移動3眼ステレオ視では、ステレオ視の数 n を式(16)のように選択すれば、マッチング範囲の総和を最小にすることができる。ここで、式(16)ではステレオ視の数 n が整数にならないため、本報告では Φ が小さくなる方の整数をステレオ視の数とする。

4.2 マッチングの演算処理 ステレオマッチングでは、マッチングの相関演算処理方法も処理コストを大きく左右している。したがって、マッチング範囲の総和を最小にする移動3眼ステレオ視を選択するとともに、処理時間が少ない相関演算を採用することも重要である。

ステレオマッチングでは、最も似通った点を発見するために、SSD相関演算がよく利用される^{(8),(9)}。すな

わちステレオ視の二枚の画像の明るさ分布を $f_1(x, y)$, $f_2(x, y)$ とし、一方画像の点 (x, y) のまわりに W の大きさの窓を設置し、他方画像との明るさの違いを式(17)のように計算する。

$$\begin{aligned} e(\Delta x; x, y) &= \iint_W \{ f_1(x + \Delta x + \zeta, y + \eta) \\ &\quad - f_2(x + \zeta, y + \eta) \}^2 d\zeta d\eta \\ &\quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

ここで、 $\Delta x \in \lambda$ である。予想された視差範囲 λ 内で、 Δx を変動させながら、計算値 $e(\Delta x; x, y)$ が最小になる対応点を見つける。そのときの変動値 Δx が点 (x, y) の視差 $d(x, y)$ となる。このような厳密な演算処理は、マッチング範囲が大きい場合には必要であるが、マッチング範囲が小さく限定できる移動ステレオ視では必要ない。なぜなら、マッチング範囲を小さくするほど、対応候補が少なくなるからである。

本報告では処理時間を考慮して、式(17)の代わりて式(18)で対応点を同じ手順で発見することにする。

$$\begin{aligned} e(\Delta x; x, y) &= \iint_W | f_1(x + \Delta x + \zeta, y + \eta) \\ &\quad - f_2(x + \zeta, y + \eta) | d\zeta d\eta \\ &\quad \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

式(18)では、ステレオ画像対の明るさの差の絶対値で計算するから、式(17)と較べて処理時間がはるかに少なくなる。

4.3 マッチング処理の流れ 移動ステレオ視では、階層的に利用されるマッチングの結果に誤りがある場合、誤対応の問題が生じる。このような誤りへの対策として、複数の基線距離で別々に求められた結果を正規分布で表現し、最終的に良い視差を推定する方法などがある^{(11),(12)}。

ところで、前にも述べたように移動ステレオ視では、短い基線距離で誤りになった画像点は正しい対応付けが不可能になるが、このような画像点に対しても以後の階層でのマッチングを続けることになる。一方、移動3眼ステレオ視では、各階層でのマッチング結果を検証することによって、誤りになった画像点を階層的に除去することができ、処理コストを無駄にしないという利点がある。このような利点を生かしたステレオマッチング処理の流れを以下に示す。

(1) ステレオ視(基線距離 B)に対して式(14)と式(16)によって、3眼ステレオ視の数 n と比率係数 K を求める。

(2) そして、カメラの移動視点を求めて移動視点で画像を撮る。

(3) $i=1$ の3眼ステレオ視に対して、式(13)で決

めた視差範囲内で、マッチングを行う。

(4) 式(7)を用いて誤りを除去する。

(5) $i=2$ から n 組まで、 $i-1$ 組のマッチング結果を用いて、 i 組でマッチング範囲を式(1)のように限定しながらマッチングを行う。そして、手順(4)の処理を繰り返して階層的に誤りを除去する。

(6) $i=n$ でのマッチング結果によって、視差情報を式(8)から求める。

5. 実験と考察

ステレオマッチングでは、平滑化した画像でマッチングを行う場合が多い^{(7),(13),(14)}。平滑化の最大の利点はノイズの影響を減少させられるというところにある。しかし、平滑化は処理コストがかかるにもかかわらず、分解能を落とす恐れもある。つまり、平滑化処理はノイズに対するやむを得ない手段にすぎない。

これに対して移動3眼ステレオ視では、階層的に視差情報を繰り返し検証しているから、画像の平滑化処理をしなくても、ノイズに対するよい効果を得ることが可能である。以下の例では、ノイズなどに対するよい効果があることを示すために、実験は暗い室内環境

で行うことにした。実験条件を表1に示す。

図3は研究室で実験を行った例である。この例では、処理コストを削減するために、4・1項の計算によって、3眼ステレオ視の数 n を3、比率係数 K を3.03にした。これによって、式(15)でマッチング範囲の総和が $\Phi=36.4$ (pixel)と計算され、視差範囲 λ に比べ1/3と小さくなり、処理コストを削減できることが明らかである。ここで、基準画像の図3(a)のエッジ点(図3(b))に対して、マッチングを行った結果が図3(c)である。図3(c)では、縦方向を視差の大きさとしている。この結果は普通の移動ステレオ視のマッチング結果(図3(d))に比べ、ノイズの影響が少なく、マッ

Table 1 Experimental conditions

Base line	B	120 (mm)
Focus	F	933 (pixel) (1 pixel $\approx 9.11 \times 10^{-3}$ mm)
Distance range	Z_{min} Z_{max}	1000 (mm) ∞
Disparity range	λ	112 (pixel)
Resolution	ε	1 (pixel)
Image range		512×512 (pixel ²)
Processed range		512×480 (pixel ²)

(a) Standard image

(c) Stereo matching with motion trinocular stereo vision

(b) Edge points

(d) Stereo matching with motion stereo vision

Fig.3 Stereo matching

チングの誤りが大幅に減少していることが明らかであろう。また、図3(d)のマッチング結果を得るために処理時間が45分程度かかったが(SSD関数を使った)、図3(c)のマッチング結果を得るための処理時間は5分程度であった。

移動3眼ステレオ視では、求められた視差情報にどれくらい信頼性があるのかを確認するために、図3(a)の等距離にある白の四角枠で囲まれた部分について考察した。図4(a)は、横軸をエッジ点のしきい

値 E と図3(b)で用いたしきい値 E_s との比 E/E_s 、縦軸を四角枠内での視差の標準偏差 σ として、移動3眼ステレオ視のデータと移動ステレオ視のそれを比較したものである。図4(b)は、 $E/E_s=1$ としたときに誤りになった、すなわち視差の誤差が画像の分解能 ε を超えたエッジ点の視差情報のみを取り出して示したものである。図4(a)から、移動3眼ステレオ視の方が標準偏差 σ が小さく、信頼性が高くなっていることが分る。例えば横軸が1のとき、移動3眼ステレオ視で

(a) Standard deviation of disparities

(b) Mistake disparities ($E/E_s=1$)

Fig.4 Consideration of matching results

(a) Standard image

(b) Edge points

(c) Matching result

Fig.5 Stereo matching with motion trinocular stereo vision

は標準偏差 $\sigma=0.580$ ，移動ステレオ視では $\sigma=1.969$ となっている．視差データの分布を正規分布とした場合に，視差誤差が画像の分解能になっているエッジ点の確率はそれぞれ92%，39%と予想でき，移動ステレオ視より移動3眼ステレオ視の方が信頼性を大幅に向上させている．この結果は，図4(b)でもはっきりと示されている．また図4(a)から，適当なしきい値を選択することで，視差誤差が画像の分解能になるエッジ点の確率を95%以上にできることも分った．例えば，横軸が1.5のとき，移動3眼ステレオ視では，標準偏差が $\sigma=0.458$ になり，視差誤差が画像の分解能になるエッジ点の確率が約97%に達している．図5は移動3眼ステレオ視を利用した検証のもう一つの例である．図5(a)のエッジ点(図5(b))に対して，ステレオマッチングで求めた結果が図5(c)である．この結果からも，よい視差情報を求めていることが分かる．

6. 結 論

本報告では，移動3眼ステレオ視を利用したステレオマッチングについて検討した．移動3眼ステレオ視では，階層的にマッチング誤りを除去できるため，信頼できる視差情報を得ることが可能になる．

移動3眼ステレオ視の最大の問題点は処理コストがかかるということである．これに対して，本報告ではマッチングの範囲の総和が最小となる移動3眼ステレオ視を選択し，また処理時間の少ない相関演算を利用することによって，処理コストが大幅に減少している．

検討した結果から，本手法の有効性がはっきりと示された．

文 献

- (1) W.E.L.Grimson, "Computational experiments with a feature based stereo algorithm", IEEE Trans. Pattern Anal. and Mach. Intell., 7-1, (1985), 17.
- (2) W.E.L.Grimson, "From images to surfaces: A computational study of the human early vision system", MIT Press, Cambridge, MA(1981).
- (3) W.E.L.Grimson, "A computer implementation of a theory of human stereo vision", Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., B292, (1981), 217.
- (4) D.Marr and T.Poggio, "A computational theory of human stereo vision", Proc. R. Soc. Lond., B204, (1979), 301.
- (5) R.Nevatia, "Depth measurement by motion stereo", Comp. Graph. and Image Proc., 6, (1976), 619.
- (6) H.P.Moravec, "Towards automatic visual obstacle avoidance", Proc.5th IJCAI, (1977).
- (7) 徐・浅田・辻, 「階層的制御による移動ステレオ視」, 電子情報通信学会論文誌, J69-D-11, (1986), 1765.
- (8) 北村・ほか2名, 「エッジの連続性と画面の局所的な性質を利用した三眼視」, 電子情報通信学会論文誌, J70-D-9, (1987), 1757.
- (9) 奥富・金出, 「複数の基線長を利用したステレオマッチング」, 電子情報通信学会論文誌, J75-D-II-8, (1992), 1317.
- (10) Ayache N. and Lustman F., "Fast and reliable passive trinocular stereo vision", In Proc. of First Int'l Conf. on Computer Vision, London, England (June 1987), 422.
- (11) Moravec H.P., "Visual mapping by robot rover", In Proc. IJCAI'79, (1979), 598.
- (12) S.T.Barnard, "Stochastic Stereo Matching on the Connection Machine", In Proc. IUW, (1989), 1021.
- (13) M.Kass, "Computing visual Correspondences", In Proceeding of the Image Understanding Workshop, VA, (1983), 50.
- (14) 丸・ほか3名, 「アクティブなカメラ運動による両眼視差の検出」, 日本ロボット学会誌, 11-2, (1993), 272.