

セグメントの形状情報を利用した ステレオマッチング

Stereo Matching Using Segment Shape Information

関 靖 夫
Yasuo Seki

NTTヒューマンインターフェイス研究所
NTT Human Interface Laboratories

あらまし エッジセグメントの形状情報を拘束に用いたステレオマッチングのアルゴリズムについて述べる。以前、筆者はエッジセグメントに基づくステレオ対応付け法の提案及び実験をおこなったが、シーンの奥行き分布が単峰であるという適用範囲を限定する仮定を用い、また対応決定を局所的・逐次的に行っていた。本報告では、これらの問題点を解決すべく、上記仮定の代わりにセグメントの形状情報を拘束に用い、関連状況を全体的に考慮した対応決定法として階層的クリーク法を提案する。また、シミュレーション実験の結果その有効性を確認した。

Abstract A stereo matching algorithm constrained by edge segment shape information is described. Formerly, we have proposed a stereo matching algorithm based on edge segment and examined it. In that algorithm, an assumption of single peak depth distribution which limits its applicability is used and correspondence is determined locally and sequentially. In this paper, to solve these problems, edge segment shape information is introduced as a matching cue instead of the assumption, and hierarchical clique method is proposed as a broadly viewing determination method for matching. The effectiveness of the new algorithm is confirmed by simulation experiment.

1. まえがき

ロボットが人間にとって有用な仕事を柔軟に行えるようになるためには、ロボットは人間と同じように感じるようにならなければならない。そのためにはロボットはとくに強力な視覚能力を持たなければならない。ロボットが一般の室内環境で物体を自由に操作できるためには、視覚能力の中でも3次元視覚能力が不可欠である。

一般に3次元の視覚能力は、その処理過程は、前段階の3次元生情報の復元と、後段階の3次元理解の2段階に大別される。我々は従来、まず3次元視覚の研究の前段階として、環境に対する柔軟性の大きいステレオビジョンに着目して研究を行ってきた。ステレオビジョンの研究の一番の問題点は対応付けの問題であり、我々は特に対応付けの正確性に狙いを付けて研究を行ってきた。

従来、ステレオビジョンに対して先駆的な研究が多数行われてきた[例えば1~7, 11, 12]。特に我々が潜在的に大きな奥行き変化に対応できるという意味で関心を持っているエッジベースステレオにおいては、ほとんどの研究がエッジ点を対応付けの単位としている。このようなアプローチは一様処理であるという長所を有している一方、点またはその近傍の局所情報に基づいて対応付けを行っているという意味において安定性は必ずしも十分でないと考えられる。これに対して、点をベースにするが、その近傍のエッジ点との連結性を考慮するアプローチも研究されている[5, 7]。また、点よりも大きな単位として線分セグメントを用いるアプローチが報告されている[12]。

我々はエッジの連結性情報を十分生かすため、画素点より大きい対応付け単位としてエッジセグメントを用いる手法を点ベースの代替案として考え提案を行った[8, 9]。ここでエッジセグメントは、太さ1のエッジ線のうち、端点・分岐点・高さ極値点で分かたれた部分であって、これに着目した理由は、それが点より大きい幾何学的に自然で意味のある単位であって、対応付けの観点からも基本的に多重性がないことによる。

一方この手法では対応付け単位の抽出が複雑であり、エッジの途切れやヒゲ等の画像処理の不完全性の影響を受け易いことが考えられるので、セグメントを複合化したものを実際の対応付け単位として用いる方法の導入し[8, 9]、さらに画像処理手法自身の改良(リッジ法によるエッジ検出)[10]を行った。シミュレーション実験の結果、典型的な3種のシーンに対してかなり良好な結果が得られた[13, 14]。しかしこの手法では、簡単のため、(1)シーンの奥行き分布が単峰性であるという仮定に基づいたヒューリスティックスを用いており、適用対象を限定している、(2)セグメントの複合化を2個までに制限しており、これによっては対処できない場合がある、(3)対応決定を局所的・逐次的に公平でなく行っている、という欠点を有していた。

そこでこれらの問題点の内(2)に重点を置きセグメントの複合化をN個までに拡張し、(3)に対しては2段階クリーク法を導入し、(1)に対しては該ヒューリスティックスを除いた手法を提案した[15]。そこで本報告では、これに対する実験の結果、(1)において単にヒューリスティックスを除いたのでは対応付け情報量として十分でないことが分かったので、このヒューリスティックスの代わりにセグメント法において初めて可能であるセグメントの形状情報を利用する手法を提案し[16]、さらに、2段階クリーク法の矛盾を除いた階層的クリーク法を導入し、それらを用いた手法に対するシミュレーション実験を行った。

2. システム全体の流れ

ステレオ視覚系の入力系は、図1に示すごとく標準的な平行光軸のステレオカメラ系である。図中点 V_L 、 V_R は左視点・右視点、直線 V_LW_L 、 V_RW_R は、左・右カメラの光軸、点Pは物体点である。ステレオカメラ系より取り込んだ画像に基づいてシーンの3次元情報を復元する全処理システムを図2に示す。

処理システムはまず左右視点よりシーンの画像を取り込み、それらからエッジ画像を抽出し、各画像から基本セグメ

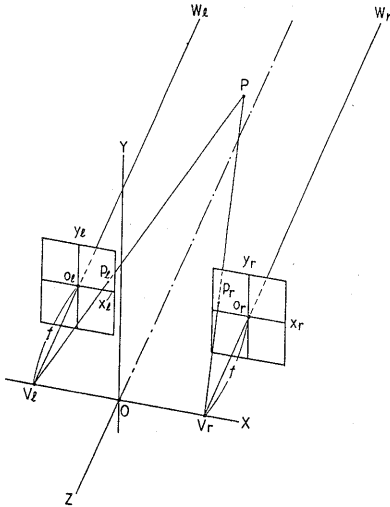


図1. ステレオカメラモデル

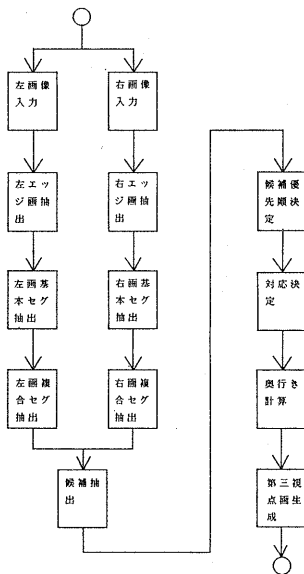


図2. 全処理の流れ

ントを抽出し、それらを組み合わせて各フレームで複合セグメントを抽出する。このようにして得られた複合セグメントを左・右フレーム間で組み合わせて、対応対の候補を求める。次に、各候補が実際の対応対である尤度の大きさに基づいた候補優先順位を求め、これを用いて対応対を決定し、それに基づいて各エッジ点での対応を定め、奥行きを得る。また、対応付けが正しく行われているか否かを見る場合には、第3視点（実験の項で説明する）で見えるはずの画像の線画を生成する。

本報告では、全処理のうち候補抽出から対応決定までに

重点を置いて述べる。特に、本報告の特徴である対応決定に就いて詳しく述べる。

3. 前処理 ([14])

各フレーム毎の処理であるエッジ抽出から複合セグメント抽出までの処理について述べる。まず、エッジ抽出は、以前に提案したリッジ法 ([10]) を用いる。これは、原画を円対称のガウス分布で画素値方向に平滑化した後、連続関数としての1次微分強度を画素値とする画像の尾根点をエッジ点として抽出する手法である。これは、2次元のステップエッジの解析的記述の1つの離散の実現法であるが、本手法の結果にそれ相当に寄与していると思われる。

次の処理の対象である“基本セグメント”は、対応付けの基本単位（プリミティブ）となるエッジ線の部分であって、次の4項目に基づいて定義した：（1）それによりエッジ点の連結性を自然に記述できる、（2）単一の高さに対応した特徴部分を1つの基本セグメントに対応させる、（3）それは高さに対して単調性を有する、（4）いかなる単調経路も基本セグメントの系列で表される。この考えにより、基本セグメントは図3に模式的に示す11種類に分類される。図のaからjが（2）項に対応した“特徴セグメント”であり、kが特徴セグメントの間をつなぐ“正則セグメント”である。これにより、エッジの基本セグメントへの分割は一意に行われる。

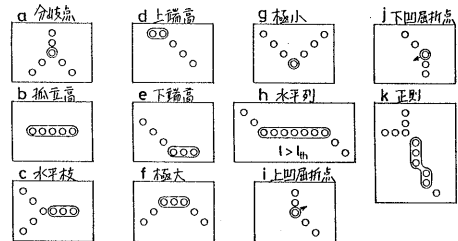


図3. 基本セグメント

“複合セグメント”は、分岐点に於ける途切れやヒゲ等画像処理に於ける不完全性に対処するために導入したものであって、基本セグメントより合成するものであり以下の性質を有するものと定義する：（1）基本セグメントの系列であって、始点・終点が特徴セグメントであり高さ（y座標）に対して単調である、（2）処理の簡単のため上下端の高さは異なる、（3）上端付近・下端付近は真単調変化である。その模式的例は $S_{11} + S_{14}$ 、 $S_{r2} + S_{r4}$ である（図4）。そ

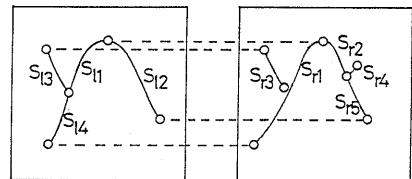


図4. 複合セグメント

の抽出は図5の如くグラフ探索により求める。

4. 候補抽出

対応候補対は、複合セグメントの左右フレーム間の対のうち実際の対応対となる可能性のあるものであるが、その条件（図6に模式図）は、（a）不要な候補の発生を防ぎ候補

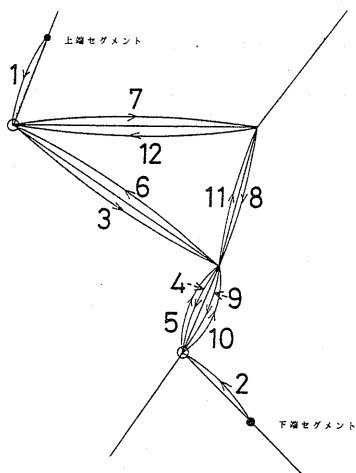


図5. 複合セグメントの探索

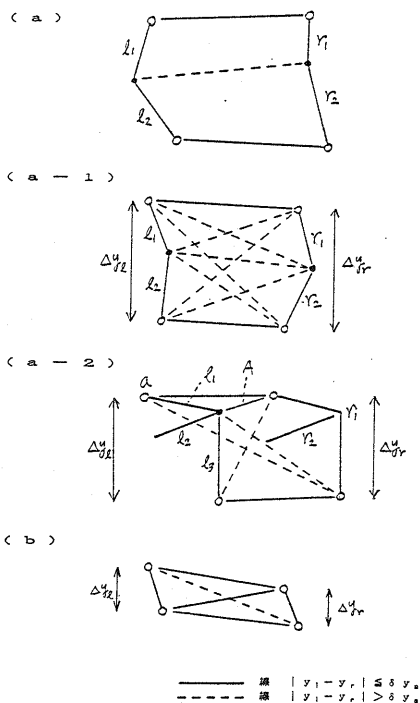


図6. 対応候補対の条件

対の数を絞る、(b) 水平に近い線を含む複合セグメントよりなる対を候補より除くと長い水平部分の欠落が生じるのでそれを候補に含める、により定めた。具体的には、(対応) 候補(対)の共通の必要条件は、着目候補対所属の左右フレームの複合セグメントの上端特徴セグメント同士及び下端特徴セグメント同士が等高であることである。但し、ここで同

高であるとは高さが許容幅 δy_a 以内で一致していることを意味する。

上記共通条件を満足しさらに、左(または右)フレームの該当複合セグメントの上端特徴セグメントと右(または左)フレームの該当複合セグメントの下端特徴セグメント同士が等高のときは、直ちにその対は候補とする(図中b)。条件bを満たさないときには候補として少なくとも途中特徴セグメント同士が等高でないことが必要である(図中a)。さらに条件aの場合、途中特徴セグメントと上端特徴セグメント(または下端特徴セグメント)との関係については、条件a-2のごとき例外的場合、つまり一方のフレームで上端(下端)特徴セグメントが分岐点・上端高・極度高(分岐点・下端高・極小高)セグメントのときには、同じフレームの途中特徴セグメントが他のフレームの上端(下端)特徴セグメントと等高であっても候補として採用する。条件a-2以外の場合には、全ての途中特徴セグメントは上端特徴セグメント・下端特徴セグメントの何れとも等高でないとき候補として採る(図中a-1)。

各候補の優先順決定の処理(図2)は、次章で定義する候補の形状差異度の小さい順に取ることにより定めた。

5. 対応決定

対応決定を、部分的な状況により局所的に行うのではなく関連する状況をすべて考慮して行う大局的方法の一つは、相関連する候補の集合の極大クリークのうちである測度が最大となるものを採る方法が考えられる。ここで、“相関連する候補の集合”とは、矛盾関係により連結する極大集合であり、また上述の“極大クリーク”は着目集合中で候補を節点(node)とし“両立関係”(矛盾関係にない候補間の関係)を枝(arc)とするグラフの極大クリークである。しかし、いわゆる“クリーク問題”は、典型的なNP完全問題であって、実際の対象候補集合の大きさが8程度を越えるのは困難である。

これに対処する方法としては以前に2段階クリーク法を階層的に用いる方法を提案した[15,16]。この方法では、候補をその優先度の順に並べ、前より一定個数毎の集合に分け、得られた集合に対応した階層にしたがい、各階層内では2段階クリーク法を用いるものである。しかしこの方法では、一般にサーチされない候補が発生するという問題点があった。本報告ではこれを解決する階層的クリーク法を考案した(候補間の矛盾関係の具体的な定義については付録参照のこと)。

5.1 階層的クリーク法

ここで謂う“階層的クリーク法”は、2段階クリーク法のある意味での拡張とも言えるが、その単なる拡張ではない。その特徴は候補を優先順にしたがって掃引する過程の中で適応的に階層が決まるものである。つまり、対応候補を優先順に掃引しそれが前階層までの解と両立すれば、矛盾関係に基づいて着目階層の既抽出連結成分に組み込み、該階層の最大の連結成分の大きさが与えられた値Nとなったときに該階層での掃引を終了する。そして抽出された各連結成分に対して極大クリークをすべて求め、そのうちである測度が最大の極大クリークをその連結成分の解集合とする。このとき全体の解は各連結成分に属する解集合の和集合となる。

階層的クリーク法概念図を図7に示す。図中水平の線は階層の境界を模式的に示し、 S_{ij} は階層iの第j番目の連結成分を示し、 S_i は階層iの候補のうちそれ以前の階層での全ての解と両立する候補の集合を示し、 C_{ij} は連結成分 S_{ij} の極大クリークのうち解となるものを表す。ただし“連結成分”は、候補間の矛盾関係つまり解として両立し得ない候補間の関係によって連結している要素の集合である。また、第

1 階層では、それより前の階層がないので、全ての候補が S_1 の要素である。図の例では集合 S_2 の各要素は C_{11} および C_{12} の全ての要素と両立し、 S_3 の要素は C_{11} 、 C_{12} 、 C_{21} 、 C_{22} の全ての要素と両立する。

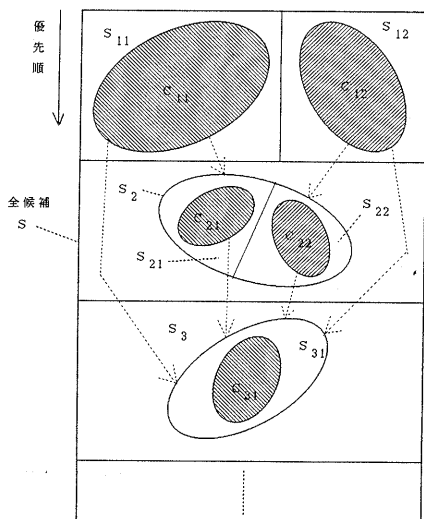


図7. 階層的クリーク法概念図

階層的クリーク法の処理のブロック図を図8に示す。処理は連結成分の抽出と解クリークの決定に大別される(点線で囲まれた部分)。まず連結成分抽出では予め求められた各候補の優先順番号に従って候補が走査される。もし候補が既抽出解と両立し、(1) 唯一個の既抽出連結成分のみと矛盾関係により連結していればその連結成分に組み込み、(2) 複数の既連結成分と連結していれば、それらの連結成分を1個の連結成分に統合すると共にその候補をその中に組み込み、

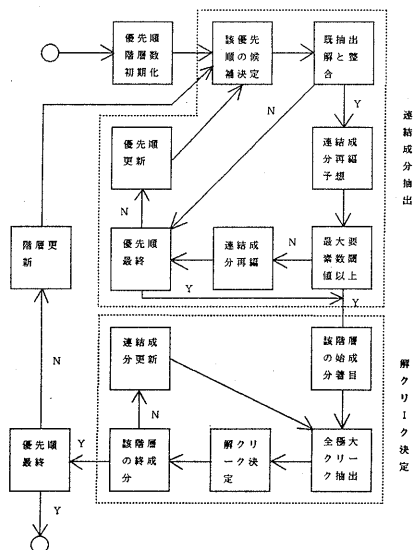


図8. 対応決定処理の流れ

(3) 何れの既連結成分とも連結していなければそれを要素とする新しい連結成分をつくる。そして最大の連結成分の大きさが閾値 N を越えない直前でその階層での走査を終了させる。即ち最大の大きさの連結成分が複数存在することを許す。

候補の優先順の決定は以下に述べる形状差異度に基づきその小さい順に並べる。形状差異度は、また複数の極大クリークの中から解クリークを決定するときにも用いる。つまり、各極大クリークに対して所属する候補の形状差異度のクリーク内平均値を、候補のエッジ点数を重みとして求めそれが最小なる極大クリークを解クリークとする。何れも、形状差異度が小さいことつまり着目候補に所属する左右フレーム S の複合セグメントの形状が類似していることが、その候補が実際の対応である尤度が高いという性質に基づく。次節において形状差異度の導入について具体的に述べる。

5.2 形状差異度

上に述べたごとく、形状差異度は着目対応候補が、正対応である尤度を表すために導入したものである。その定義は、概念的にはある左画の複合セグメントの形状とある右画の複合セグメントの形状がどの程度類似しているかを意味するものである。これは対応付けの手掛かりを増やすために導入したものであって、ステレオ対応付け法のうちセグメントをベースとする手法において初めて使用可能な情報である。具体的には形状差異度として(1) 視差分散(2) 方向ベクトル系列差の2種類の測度を導入した。

(1) 視差分散

視差分散は、奥行きを求めるために必要な視差情報から自然に導入される簡単な形状差異度であって、謂わば x 方向に注目した形状差異度である。それを I_{ddsp} とすれば、

$$I_{ddsp} = \left| \sum_{y=y_d}^{y_u} (x_l(y) - x_r(y))^2 \right. \\ \left. / (y_u - y_d + 1) - \left\{ \sum_{y=y_d}^{y_u} x_l(y) \right. \right. \\ \left. \left. - x_r(y) \right\} / (y_u - y_d + 1) \right|^2 \quad (1)$$

ただし $x_l(y)$ 、 $x_r(y)$ はそれぞれ着目候補に所属の左・右フレームでの複合セグメントの着目 y 座標にある部分の中心の x 座標を、 y_u 、 y_d は左右フレームでの該当複合セグメントが共存する y 座標の上限・下限を表す。

(2) 方向ベクトル系列差

方向ベクトル系列差は、上記視差分散の後に詳述する問題を解決するために考案したものである。その定義は概念的には複合セグメントを等しい長さの線分に分割して得られる方向ベクトル系列の間の距離である(図9参照)。以下に順を追って定式化を行う。

まず着目複合セグメントを画素 $i = 1$ から $i = n$ までの画素系列と考え、さらにその間の位置を連続的にとらえて始点からの距離 s の関数である方向ベクトル (f, g) を導入する。

関数 $f(s)$ 、 $g(s)$ を

$$i \leq s < i+1 \quad (1 \leq i \leq n-1) \text{ のとき}$$

$$f(s) = \Delta x_i \quad g(s) = \Delta y_i \quad (2)$$

$$s = i = n \text{ のとき}$$

$$f(s) = \Delta x_n \quad g(s) = \Delta y_n \quad (3)$$

ただし、 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ は、画素 $i+1$ の画素 i に対する位置ベクトル（基本画素間隔を単位とする）を表す。

いま、複合セグメント上の全距離 $n-1$ を N 等分するとすれば、その複合セグメントの各区間での平均方向ベクトル (u_j, v_j) は、 $1 \leq j \leq N$ に対して

$$u_j = \int_{(j-1)\Delta s}^{j\Delta s} f(s) ds / (n-1), \quad (4)$$

$$v_j = \int_{(j-1)\Delta s}^{j\Delta s} g(s) ds / (n-1), \quad (5)$$

ただし、 Δs は区間の長さであって $(n-1)/N$ に等しいこのとき、方向ベクトル系列差 d_{sh} は、

$$d_{sh1}^{(m)} = \sum_{j=1}^N \{ |u_j^1 - u_j^r|^m + |v_j^1 - v_j^r|^m \} \quad (6)$$

$$d_{sh2} = \sum_{j=1}^N \Delta \theta_j \quad (7)$$

ただし、

$$\theta_j = \text{Min} \{ |\tan^{-1}(v_j^1/u_j^1) - \tan^{-1}(v_j^r/u_j^r)|, \pi - |\tan^{-1}(v_j^1/u_j^1) - \tan^{-1}(v_j^r/u_j^r)| \} \quad (8)$$

さらに、両立候補対集合 C_{ij} での平均的な形状差異度 D_{sh} は、

$$D_{sh} = \sum n^{(k)} d_{sh}(k) / \sum n^{(k)} \quad (9)$$

ただし $d_{sh}(k)$ は候補 k の形状差異度、 $n^{(k)}$ は候補 k 所属の左・右フレームでの複合セグメントの画素数の平均を表す。

方向ベクトル系列差は、謂わば x 方向・ y 方向の両方向を均等に考慮した形状差異度であって、その特徴は (1) 曲線（複合セグメント）の形状を線分近似で記述するとき左・右フレームでの複合セグメントの長さの違いを正規化してある、(2) 複合セグメントの画素数が余り多くなくても量子効果が現れにくい、(3) 記述が簡単である、ことである。

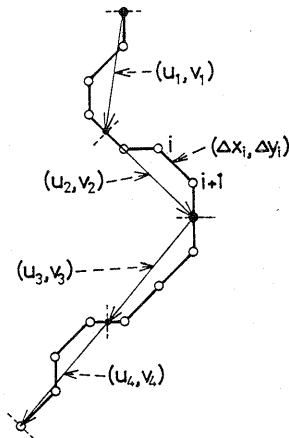


図9. 方向ベクトル系列の概念図

6. 形状差異度の効果

形状差異度がいかに候補の正対応対尤度として有効であるか否かを実験により調べた。結果を表1に示す。表中左端の列は候補の形状差異度に基づく優先順序番号を示し、最上行は形状差異度の種類（節5・2参照）を示す。表のマトリックス要素に対応した欄 $d^{(2)}$ ($N=5$) の列の場合は欄の左部分) 中の数字は候補の識別番号を示し、○、△、×は候補が、それぞれ正対応対、正対応対に非常に類似しそれと重複性の矛盾関係（付録参照）にある候補、誤対応対、であることを表す。なにも記号のない欄は、主対象物体（多面体）と関係なく対応対としての正誤を調べていないことを示す。形状差異度 $d^{(2)}$ の $N=5$ の場合のマトリックス要素の右側部分は形状差異度の値そのものを示す。表には、主な対象物体（多面体）に対する全ての正対応対となる候補を含めてある。候補の総数は35個である。

表1. 形状差異度の効果

順位	視差分散 d_{disp}	$d_{sh1}^{(1)}$ ($N=5$)	$d_{sh1}^{(2)}$ ($N=9$)	$d_{sh1}^{(2)}$ ($N=5$)	
1	14 ○	28	28	28	0
2	23 ○	34 ○	29 ○	34 ○	0
3	29 ○	35	35	35	0
4	30 ○	23 ○	14 ○	14 ○	2
5	34 ○	14 ○	23 ○	23 ○	2
6	9 ○	31	31	31	4
7	10 △	29 ○	30 ○	29 ○	5
8	16 △	30 ○	10 △	30 ○	13
9	17 ○	10 △	33 ○	10 △	61
10	18 △	33 ○	9 ○	9 ○	78
11	19 △	9 ○	19 △	33 ○	78
12	8 △	19 △	17 ○	8 △	100
13	27	8 △	34 ○	19 △	132
14	28	17 ○	8 △	17 ○	142
15	31	32 ○	32 ○	32 ○	208
16	20 ×	22 ×	22 ×	18 △	375
17	32 ○	18 △	26 ×	16 △	410
18	21 ×	21 ×	25 ×	22 ×	410
19	22 ×			21 ×	483
20	13 ×			27	508
21	12 ×			26 ×	553
22	26 ×			25 ×	596
23	25 ×				
24	11 ×				
25	33 ○				

表より何れの形状差異度の場合も正対応対・近似正対応対は上位の順位に集中していることが分かる。このことは形状差異度が、候補が実際の正しい対応対である尤度によく対応していることを示している。つまり、候補をその形状差異度の小さい順に並べた順番が、その候補が正しい対応対である可能性の大きい順番に一致していると考えてよいことを示す。このことは、正対応対をなす両フレームの複合セグメントは同一物体の輪郭線に対応しているので、視点がかかなり異なってもそれらの形状が類似していることから理解される。

各形状差異度どうしを比較すると、視差分散では正対応対である最下位の候補の順位が正対応対総数に比べてかなり大きく、それより下位の順位に多数の誤対応対を含んでいる。

このことは、視差分散がx方向の量に基づいて定義された測度であることによる。すなはち視差分散は、離散化図形の水平に近い線部分の1つのy値(整数)での長さが不安定であるという性質の影響を直接受け易いことによる。従って、複合セグメントが大きな水平部分を含むとき、形状が類似しているにも関わらず視差分散の値が大きくなりがちであり、形状差異度としての誤差が大きくなる。

これに対して、方向ベクトル系列差 d_{sh} では最下位の正対応より上位に誤対応を含まない。このことは、方向ベクトル系列差は、曲線分間の形状差異度としてよい測度であり、したがって、候補が正対応である尤度によく対応していることを示す。これは、方向ベクトル系列差がx方向に偏らない等方的な測度であり、雑音や多少の長さの違いに対しても安定であることに依る。

方向ベクトル系列差の次数 m (式(6)参照)は、本シミュレーションの範囲では殆ど結果に影響しない。しかし、区間の分割数 N は結果に影響を与える。測度 d_{sh1} で2次の場合 $N=5$ と $N=9$ で優先順に違いがある。つまり候補34は $N=5$ の場合2位であるが $N=9$ の場合13位と大きく変化している。これは、 N が大きいとき長さが短い複合セグメントに対しては、構成画素数が小さくなり過ぎて平均化作用が小さくなり、雑音の影響を受け易くなって測度の値が大きくなるためである。従って、区間数 N としては比較的小さい5程度を取るのがよい。

7. 対応付け結果

対応付けのシミュレーション実験は4個の代表的なシーンに対して行った。それらのシーンは、(1)多面体(2)粗模様円筒(3)鉢植木(4)細模様円筒、を対象物体とする。各シーンの複数視点での原画像に対するエッジ線画像を図10に示す。実際には、視点を固定(カメラを固定)し、対象物体を載せた台の方を平行に等間隔に移動して得たものである。図中には各画像の識別番号と基準からの移動距離を示す。

各シーンの5視点の画像を組み合わせ得られる全ての画像対(各10対、ただしシーン3に就いては9対)に対する対応付け実験の結果を図11に示す。これは、対応付けにより定まる3次元ワイヤーフレームを逆投影して得られる第三視点から見える筈の画像に対する(エッジ)線画である。3次元ワイヤーフレームは決定された複合セグメントの対より得られる各y座標での点対応と三角法原理より得られる。また“第三視点”(中間視点)は左視点と右視点の midpoint である図1の点Oである。図中には、各対応付け結果が何れの画像対に対するものであるか及び基線長を示す。画像対を示す括弧内の左・右の番号は、それぞれ左視点・右視点の画像の識別番号(図10)を示す。図は各シーンとも基線長の小さい方から順番に並べてある。

図より何れのシーンに対してもかなり良い対応付け結果

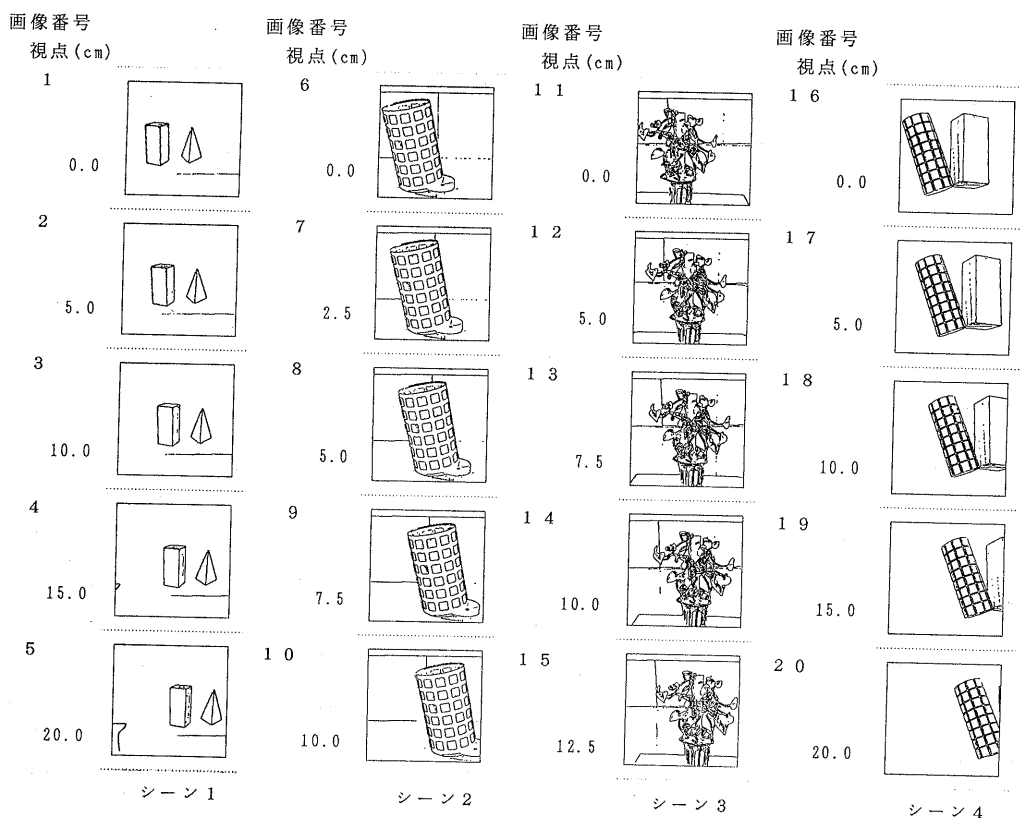


図10. 対象の線画

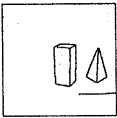
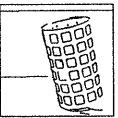
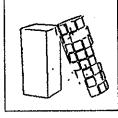
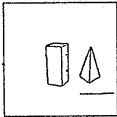
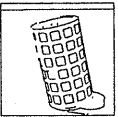
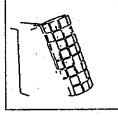
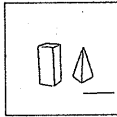
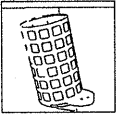
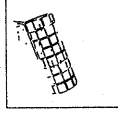
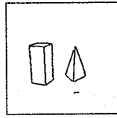
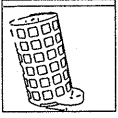
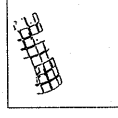
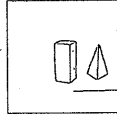
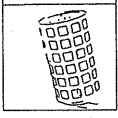
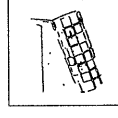
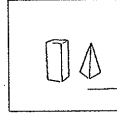
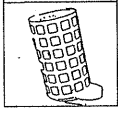
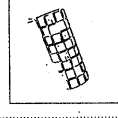
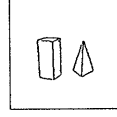
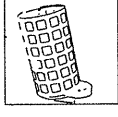
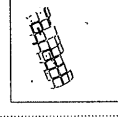
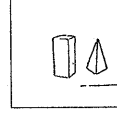
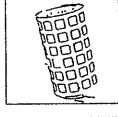
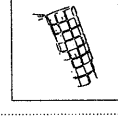
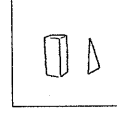
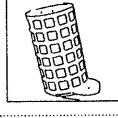
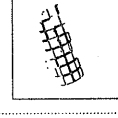
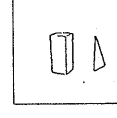
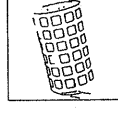
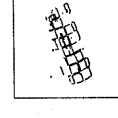
画像対 基線長 (cm)	画像対 基線長 (cm)	画像対 基線長 (cm)	画像対 基線長 (cm)
(5, 4) 5.0 	(10, 9) 2.5 	(15, 14) 2.5 	(20, 19) 5.0 
(4, 3) 5.0 	(9, 8) 2.5 	(14, 13) 2.5 	(19, 18) 5.0 
(3, 2) 5.0 	(8, 7) 2.5 	(13, 12) 2.5 	(18, 17) 5.0 
(2, 1) 5.0 	(7, 6) 2.5 	(15, 13) 5.0 	(17, 16) 5.0 
(5, 3) 10.0 	(10, 8) 5.0 	(14, 12) 5.0 	(20, 18) 10.0 
(4, 2) 10.0 	(9, 7) 5.0 	(12, 11) 5.0 	(19, 17) 10.0 
(3, 1) 10.0 	(8, 6) 5.0 	(15, 12) 7.5 	(18, 16) 10.0 
(5, 2) 15.0 	(10, 7) 7.5 	(13, 11) 7.5 	(20, 17) 15.0 
(4, 1) 15.0 	(9, 6) 7.5 	(14, 11) 10.0 	(19, 16) 15.0 
(5, 1) 20.0 	(10, 6) 10.0 		(20, 16) 20.0 
シーン 1	シーン 2	シーン 3	シーン 4

図 1 1. 対応付け結果

が得られていることが分かる。ただしシーン4では平行で近接した線が多数あるので解像度上相応の劣化がある。シーン1、2、3では、それぞれ基線長15、10、7.5 cmまではほぼ正しく抽出されている。シーン4では基線長だけが劣化のメジャーではないようである。

8. まとめ

以前提案したエッジセグメントに基づくステレオマッチング法の問題点の解決をはかった。

(1) 簡単のために用いていたヒューリスティクスの代わりにエッジセグメント法で初めて可能なセグメントの形状差異度情報を導入し、その安定な測度として方向ベクトル系列差を導入した。

(2) 逐次的に局所的に行っていた対応決定の代わりに、より広く関連を考慮して行う方法として提案した2段階クリーク法の欠点を除くものとして階層的クリーク法を導入した。

シミュレーション実験の結果項(1)の形状差異度とくに方向ベクトル系列差が有効であること、および良好な対応付け結果が得られた。そして項(2)の2段階クリーク法の代わりに階層的クリーク法を用いることにより対応付け結果が特に複雑なシーンにおいて改良された。しかし、画像の解像度の程度の距離に近接したエッジよりなるシーンの場合等に限界があると思われるがさらに確認を要する。

今後は以下の検討が考えられる：

- (1) オクルージョンに対処するアルゴリズムの具体化
- (2) 対象シーンサンプルを増やす等により対応付け性能の限界の明確化
- (3) 高速化のソフトウェア的検討

謝辞 本研究の機会と御指導を頂いた視覚情報研究部小森和昭部長、日頃より御討論を頂く末永康仁・酒井高志主幹研究員および視覚部の諸氏に感謝致します。

参考文献

- (1) 安江、白井：“物体認識のための両眼立体視”，電子技術総合研究所彙報，第37巻，第12号，PP.1101-1119(Dec. 1973)。
- (2) Marr, D. and Poggio, T.: "A Theory of Human Stereo Vision", MIT AI Memo. 451, pp. 1-89(1977)。
- (3) Barnard, S. T. and Thompson, W. B.: "Disparity analysis of images", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., PAMI-2, pp. 333-340(July 1980)。
- (4) Baker, H. H. and Binford, T. O.: "Depth from Edge and Intensity Based Stereo", Proc. 7th IJCAI, 2, pp. 631-636(1981)。
- (5) Grimson, W. E. L.: "From Images to Surface - A Computational Study of the Human Early Visual System", The MIT Press(1981)。
- (6) D. Marr: "VISION", W. H. Freeman and Company(1982)。
- (7) Ohta, Y. and Kanade, T.: "Stereo by intra- and inter-scanline search using dynamic programming", Tech. Rep. CMU-CS-83-162, Carnegie-Mellon University(Oct. 1983)。
- (8) 関：“ステレオビジョンの基本検討”，信学会総合全国大会論文集，No. 1575(March 1984)。
- (9) 関：“エッジセグメントに基づくステレオマッチング法の検討”，信学技報 PRL84-37(Sep. 1984)。
- (10) 関，関口：“ステレオビジョンのためのエッジ抽出法”，信学会パターン認識と学習研究会資料，PRL84-74, pp. 73-82(Jan. 1985)。
- (11) 岩井，谷内田，辻：“3次元モデルを用いた冠状動脈の対応付け”，信学会論文誌，J68-D, 2, PP. 137-144(Feb. 1985)。
- (12) Medioni, G. and Nevatia, R.: "Segment-based stereo

matching", Comput. Vision, Graphics & Image Processing, 31, pp. 2-18(July 1985)。

(13) Seki, Y.: "Edge Segment Based Stereo Matching", Trans. IECE Japan (Section E), E68, 9, pp. 566-569(Sept. 1985)。

(14) Seki, Y.: "Stereo Matching Based on Edge Segment", Trans. IECE Japan (Section E), E69, 5, pp. 666-674(May 1986)。

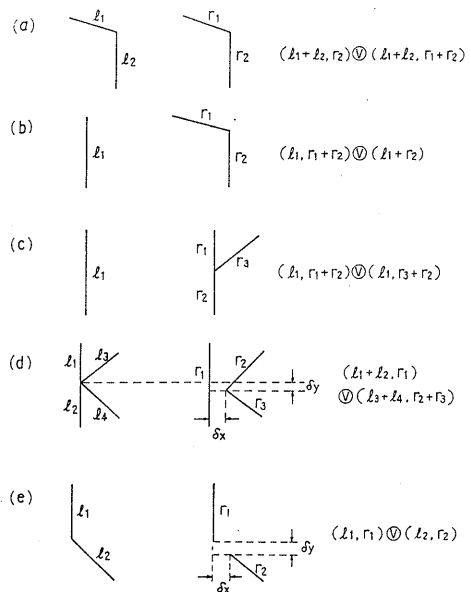
(15) 関：“高次連結性を用いたステレオマッチング”，信学会総合全国大会論文集 No. 1576(March 1987)。

(16) 関：“セグメント形状を拘束とするステレオ対応付け法”，信学会部門別全国大会論文集 No. 119(Nov. 1987)。

付録 候補間の矛盾関係

候補より対応を決定するには、2個の候補が対応対として両立し得ない関係つまり“矛盾関係”としては、本来の矛盾関係以外に本質的に重複する候補間の関係をも含めて考えるのが統一的で扱い易い。このとき矛盾関係は(1)共通高同一性矛盾(2)奥行き唯一性矛盾(3)隣接性矛盾に大別される。図付1は典型例を示す模式図で、図中に括弧で囲まれた部分は候補を表し“+”はセグメントの複合を表し、候補間の記号は矛盾関係にあることを表す。矛盾関係1は重複防止のもの、矛盾関係2、3は本来の矛盾関係である。

矛盾関係1は各フレームにおいて両候補に所属する複合セグメントが共存する各y座標においてエッジ点が同一であるという関係である。図のa、bが該当する。矛盾関係2は、両候補に所属する複合セグメントが一方のフレームでエッジ点を共有するがそれから許容範囲内のy座標の他方のフレームのところには共通のエッジ点がない状態で、同一のエッジ点で奥行きが複数になることに対応する。これは図のc、dに対応する。矛盾関係3は両候補に所属する複合セグメントが、一方のフレームで端部で隣接しているのに他方のフレームでは許容値を含めて隣接しているとは解釈できない状態を意味する。図のeに相当する。



図付1. 候補間の矛盾関係