

境界線セグメントの拘束伝播によるステレオ対応法

1 R-4

植芝俊夫 河井良浩 角保志 杉本和英\* 富田文明

電子技術総合研究所 \*新情報処理開発機構

1. はじめに

人工物で構成された環境のように、テクスチャに乏しく特徴が疎なシーンを対象としたステレオビジョンでは、左右画像間の局所的相関を評価するのみでは満足な結果は得られず、領域の境界を構成する境界線セグメントを対応づけの単位とした手法が必要である。著者の一人は、エッジ検出によって得た領域の境界を複数の直線セグメントで区分的に近似し、それを対応単位とした手法を開発した<sup>(1)</sup>。ここでは、単に左右各1本のセグメントから成る組の類似度を評価するだけでなく、複数のセグメントの連なり(path)を総合的に評価することにより、信頼度の高い対応が得られることが示された。しかし、境界線が複雑に分岐しているシーンでは、調べるべきpathの候補が急速に増え、計算量が増大する欠点があった。

本稿では、各セグメントに割り当てた対応の類似度を隣接する前後のセグメントから伝播させることにより、局所的な処理の繰り返しで大域的な整合性のある対応が得られることを示す。

2. 処理手順

2.1 ステレオ画像の境界線表現

2台のカメラから入力された画像対はエピソード線が水平になるよう(標準カメラモデル)に変形された後、エッジ検出を経て境界線表現(Brep)<sup>(2)</sup>と呼ばれる形式に変換される。境界線は分岐点、屈曲点、遷移点および水平となる点で線分に分割されており<sup>(3)</sup>、各線分の両側には領域を右に見るように向き付けられたセグメントと呼ばれる要素が割り付けられる(図1)。セグメントは連続したエッジ点列から成り、各々の点には法線方向およびセグメントが見込む領域のその点の近傍に於ける明るさ等の属性が記録されている。また、セグメントはその点列が成す形状に応じて、凹、凸、直線の3種に分類される。

2.2 単独セグメントに対する対応の類似度

次に、左画像中の各セグメントに対して、右画像からエピソード条件を満たすセグメントを全て探索する。そして、これらの右セグメントの中で連続するものをグループ化する。図2の例では、 $[l; (r_1, r_2)]$ ,  $[l; (r_1, r_3)]$ ,  $[l; (r_4)]$ という3つの組が得られる。これらの組をpairと呼ぶ。

各pairに対して、左右の類似度を示す尺度として

$$S(l; r_1, r_2, \dots, r_n) = \frac{\sum_i L(l, r_i)R(l, r_i)}{L(l)} \quad (1)$$

$$\left( R(l, r_i) = 1 - \frac{|I(l) - I(r_i)|}{I_{max}} \right)$$

なるSを導入する。ただし、上式の $i$ は、 $r_1, r_2, \dots$ の連なりを屈曲点で区切った時、最長の区間に属し、かつ $l, r_i$ の凹凸が矛盾しない $i$ についてのみ和をとるものとする。また、 $I(s)$ はセグメント $s$ の近傍の領域の明るさ、 $L(l)$ はセグメント $l$ の垂直方向の長さ、 $L(l, r)$ はセグメント $l, r$ について対応が存在する部分の垂直方向の長さである。このSは0から1までの値を取り、左右セグメントの明るさの差が小さく定性的な形状が似ているほど1に近い値を与える。

2.3 拘束伝播による連続した対応パスの獲得

(1)式では単一の左セグメントのみについての対応を考えているため、各左セグメントに対して最大値を与えるpairを選ぶだけでは対応の連続性が成り立つとは限らない。そこで、あるpair  $P[l; (r_1, r_2, \dots, r_n)]$ について、 $l, r_n$ がそれぞれ $l, r_1$ の始点に接続する(又は十分近い)ようなpair:  $[l'; (r'_1, r'_2, \dots, r'_n)]$ のうち最大のSを

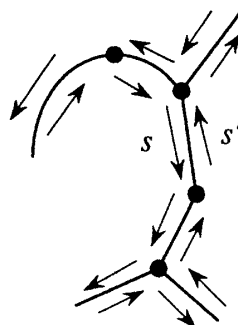


図1. 境界線セグメント

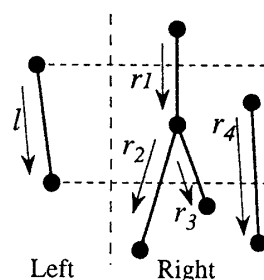


図2. 対応のpair

Stereo Algorithm using Constraint Propagation of Boundary Segments

Toshio UESHIBA, Yoshihiro KAWAI, Yasushi SUMI, Kazuhide SUGIMOTO\*, Fumiaki TOMITA

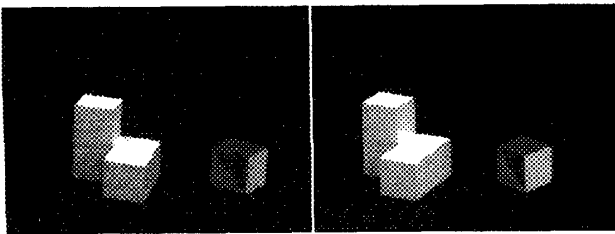
Electrotechnical Laboratory,

\*Real World Computing Partnership

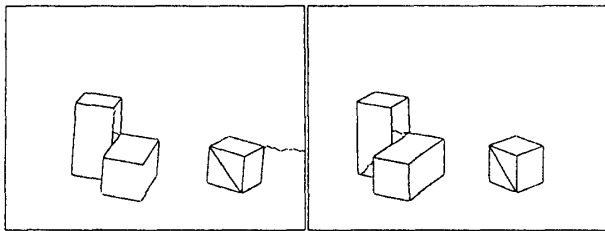
与えるものを選び、これを $P'$ とする。ただし、 $l, l'$ の成す角と $r_1, r_n'$ の成す角の差が一定値以内であるものとする。同様に、 $l, r_1$ の終点に接続するpairの中で最良の $P''$ を選ぶ。そして、これらの $P', P''$ の類似度を用いて、以下のように $P$ の類似度を更新する。

$$S(P) \leftarrow \frac{L(l')S(P') + L(l)S(P) + L(l'')S(P'')}{L(l') + L(l) + L(l'')} \quad (2)$$

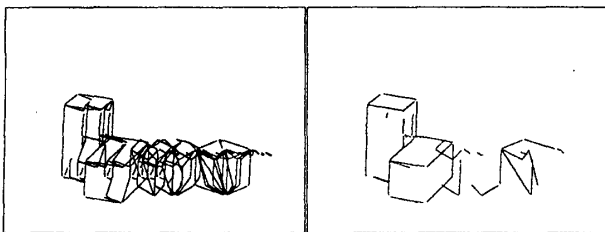
これを繰り返すことにより、単独では大きな $S$ を持つpairでも前後に接続するpairの評価値が低い場合は、徐々に $S$ が減少する。この過程は、すべての左セグメント: $l$ について、最大の $S$ を与えるpair: $P[l; \dots]$ の前後に接続するpair: $P'[l'; \dots], P''[l''; \dots]$ が、それぞれ $l', l''$ を左セグメントとするpairの中で最大となるまで繰り返される。



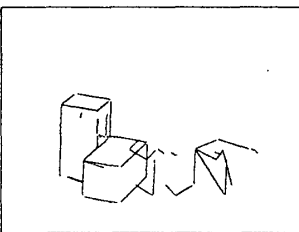
(a) ステレオ画像



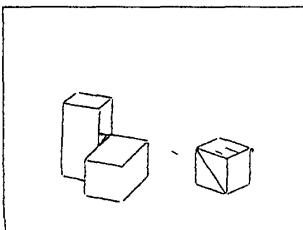
(b) 境界線表現



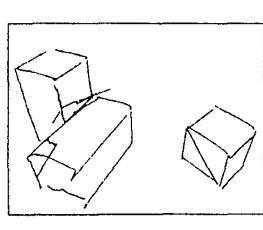
(c) 全対応候補



(d) 初期対応



(e) 対応結果



(f) 3次元情報復元

図3. 実験結果(1)

### 3. 実験例

図3に本手法で得られた対応結果を示す。(a)の原画像対を(b)の境界線表現に変換し、これらについて対応を求める。(c)は可能性のあるすべての対応を示したもので、(d)はこれらから(1)式の類似度を最大にするものを選択した結果である。この時点ではかなりの誤対応があるが、(2)式によって類似度の更新を繰り返すと(4回で収束)、(e)に示すように最終的に正しい対応が得られる。(f)は得られた対応から3次元情報を復元したものである。

図4は、曲線を含む画像に対する結果である。

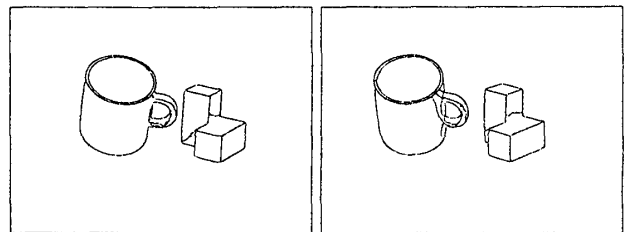
### 4. おわりに

個々の左右セグメントのpairの類似度を、セグメントの接続関係に応じて伝播させることにより、大域的に整合性のある対応を効率良く求められる方法を提案した。本手法ではセグメントを画素点列の集まりとして扱っているため、任意の曲線を含むシーンにも適用できる。また、類似度の更新に大域的な情報を必要としないので、並列処理との親和性も高いと考えられる。

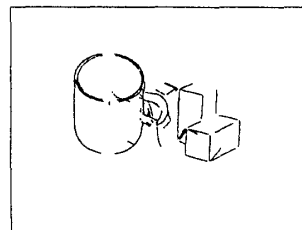
拘束伝播の際にオクルージョンを陽に扱うよう拡張することが今後の課題である。

### 参考文献

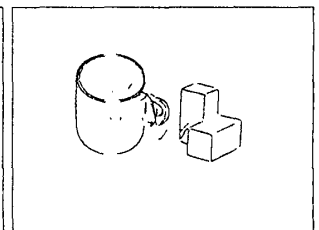
- [1] 富田, 高橋: ステレオ画像の境界線表現に基づく対応, 信学論, J71-D,9,1988
- [2] 角, 他: 画像の境界表現のデータ構造とインタフェース, 情処第49回全大, 3F-7, 1994
- [3] 杉本, 富田: 輪郭線の屈曲点, 変曲点, 遷移点の検出, 画像の認識・理解シンポジウム, I, 1994



(a) 境界線表現



(b) 初期対応



(c) 対応結果

図4. 実験結果(2)