

4M-1

知的ステレオビジョンの開発

富田文明

(電子技術総合研究所)

高橋裕信

(三洋電機筑波研究所)

1 はじめに

ステレオビジョンは、人間の眼と同じように、将来のロボットに共通的な眼として期待される。しかし、現在のところ、処理時間、測定精度、信頼性、データ密度において能動的センサに遅れをとっている。本報告では、ロボットなどの実用システムに適用できる知的ステレオビジョンを目指してこれまでに行なってきた研究開発の概要を述べる。

2 画像の境界表現¹⁾

画像を、エッジ追跡法により、エッジに囲まれた領域に分割する方法を開発した。そして、画像の中間表現として、最も一般的な3次元幾何モデルである境界表現(通称b-rep)の仕様にしたがって、2次元画像用の境界表現を得る方法を開発した。画像は、領域、(外周、内周)境界線、(直線、曲線)セグメントを要素として関係付けるグラフ構造で表現され、原画像を再構成するのに十分な情報を持つだけでなく、後続する各種の中/高レベル処理によって利用しやすいデータ構造となっている。ステレオ画像のそれぞれに対してこの境界表現を求め、ステレオの対応はこのデータ構造上で行なわれる。

3 対応問題^{2), 3)}

セグメントを対応の単位として用いる。対応の拘束条件として、エッジポラ条件の他、領域の明るさとセグメントの傾きの類似性を用いる。さらに、連結するセグメントで構成できるパターン対の大きさと形の類似性を用いる。その際に、オクルージョンなどの原因により連結していないセグメントどうしても、3次元空間上での連続性を仮定できる場合には、その間に仮想線を生成し、連結性を拡張する方法を開発した。また、アフィン変換可能なパターン対は、3次元空間上で同一平面上のパターンを構成することを明らかにし、対応の平面拘束条件として利用する方法を開発した。その他、3眼ステレオによるエッジポラ条件の強力化も行なった³⁾。ステレ

オの直接の出力形式は3次元ワイヤフレーム(以下WF)である。

4 平面の復元⁴⁾

ステレオの最大の欠点は、面上にテクスチャーやシェイディングが存在しなければ、面の情報を直接得られないことである。したがって、たとえロボットが障害物のエッジを検出可能だとしても、エッジのどちら側が面であるか、つまり、エッジのどちら側を通過できるのか決定することができない。エッジから単純に面を内挿するアルゴリズムでは、偽の面を生成してしまう。そこで、WFから実在する面(平面)だけを生成する方法を開発した。その結果、奥行きの変化が生じているオクルージョン点を検出し、エッジを、輪郭エッジと稜エッジに分類することができる。さらに、稜エッジは、両側の面の法線方向に基づいて、凸、凹、平(模様や影による)エッジに分類(ラベル付け)する。そして、内挿された実平面を用いて、空間を自由空間、物体の存在する占有空間、現在の視点からは解釈不可能な空間に分類する。

5 曲面の復元⁵⁾

2眼ステレオ法では、曲面の遮蔽輪郭線からその形状を原理的に復元することはできない。さらに、観測している物体表面が平面なのか曲面なのかという定性的判断も困難であった。そこで、同一直線上に3台のカメラの投影中心を配した3眼ステレオによって、観測している面の種類の判別を行ない、さらに、対象物体のクラスを限定すれば、その面の3次元形状を定量的に復元する方法を開発した。

6 テクスチャー面の復元⁶⁾

ステレオによるテクスチャー面の復元には相関法が適している。ところが、相関法は面のおおよその位置がわかっている必要がある。そこで、画像から、まず、一様な領域とともにテクスチャー領域を抽出し、領域の境界線間で対応を求める。そして、テクスチャー領域に対しては、テクスチャー領域内部の各点の対応を、境界線の対応結果を境界条件として、相関法によって求める方法を開発した。また、複数

Development of Intelligent Stereo Vision

Fumiaki TOMITA¹⁾ and Hironobu TAKAHASHI²⁾¹⁾Electrotechnical Laboratory²⁾Tsukuba Res. Cen., SANYO Electric Co., Ltd.

のテクスチャー物体が前後に重なる場合には、画像のテクスチャー領域内で距離が大きく変化し、オクルージョンが生じる。その結果、相関値が不正確になり、偽の面も生成される。そこで、相関値を補正し、距離変化を検出する方法も開発した。

7 世界モデル⁷⁾

未知環境内を移動するロボットのためのステレオビジョンを想定して、異なる視点から得られる環境の部分的なステレオデータを照合し、ロボットの動きを推定する方法と、複数の部分的で不完全なステレオデータを逐次統合して、環境の3次元幾何モデル(b-rep)を作成する実験を行なっている。

8 物体認識^{8)~11)}

物体の3次元幾何モデル(b-rep)が存在する場合に、ステレオビジョンによって、観測データ内に存在する物体の種類、位置、姿勢を決定する実験を行なっている。モデルとデータの照合は、探索用の局所的な照合と検証用の全体的な照合に分けられる。局所的な照合法として、

- 面の1角(2セグメントの交点)をステレオ対応の単位として求める方法⁸⁾、
- ステレオ対応の単位を拡大し、構造体—素立体—面—線対の階層によって表現される2次元形状プリミティブを求める方法⁹⁾、
- 直接WFから階層的な3次元形状プリミティブを求める方法¹⁰⁾

を開発している。全体的な照合法として、

- モデルと各画像のセグメントとの3D—2D照合を同時に相補的に行なう方法¹¹⁾、
- 直接モデルとWFとの3D—3D照合を行なう方法¹⁰⁾

を開発している。

9 セルフキャリブレーション¹²⁾

ステレオの対応探索においてエピポーラ条件を利用し、対応結果から距離を計算する場合には、正しいカメラパラメータが得られている必要がある。これらのパラメータは既知のテストパターンを用いて事前に測定することができ、これをカメラキャリブレーションという。しかし、キャリブレーションには必ず誤差が存在するし、また、キャリブレーション後にいくつかのパラメータが変化してしまう。たとえその誤差が微小であったとしても、その影響は大きいのである。また、観測する度にテストパター

ンをカメラの前に設定し、キャリブレーションをやり直すことは、特に、機械的な輻輳運動によって注視点を変えるステレオカメラや移動ロボットに搭載されるステレオカメラにとっては非現実的である。そこで、未知の観測データからでも現在のカメラパラメータを自律的に計算することのできるセルフキャリブレーションを行なう方法を開発した。その結果、これまでのようにカメラパラメータを正確に測定しなければならなかった負担から開放されるだけでなく、おそらくは、究極的に正確な距離測定精度を得ることが可能になった。

10 おわりに

ステレオのソフトウェアの問題は完全にはないにしても解決しつつある。今後は、処理の高速化のためにハードウェア化を検討している。また、ステレオビジョンの応用としてハンドアイロボットと移動ロボット(AGV、ALV)の実験を進めている。

参考文献

- 1) 富田, 高橋: 画像のB-repのためのアルゴリズム, 信学会, PRU86-87 (1987).
- 2) 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, 6, 1074-1082 (1988).
- 3) 杉本, 高橋, 富田: 水平3眼ステレオ画像のB-repに基づく対応, 情処学会36全大 (1988).
- 4) 杉本, 高橋, 富田: ステレオによるシーンの解釈, 情処学会, CV55-4 (1988).
- 5) 植芝, 富田: 水平3眼ステレオによるプロフィールからの曲面形状復元, 情報学会37全大 (1988).
- 6) 佐藤, 富田: テクスチャー領域の両眼立体視, 情処学会, CV54-5 (1988).
- 7) 杉本, 高橋, 富田: ステレオの移動による世界モデルの構築と更新, 情処学会39全大 (1989).
- 8) 高橋, 寺崎, 杉本, 富田: ハンドアイロボットのためのステレオビジョンと物体認識, 情処学会41全大 (1990).
- 9) 小泉, 富田: ステレオ画像の形状プリミティブによる階層的対応法, 情処学会39全大 (1989).
- 10) 寺崎, 高橋, 田中, 富田: ステレオによる物体の階層表現に基づく認識, 情処学会39全大 (1989).
- 11) 高橋, 寺崎, 田中, 富田: モデルベースステレオビジョンによるロボットハンドの認識, 情処学会39全大 (1989).
- 12) 富田, 高橋: ステレオカメラのセルフキャリブレーション, 情報処理, 31, 5, 650-659 (1990).