図 4 認識実験結果
(逆止弁)

これらの視覚情報処理技術をロボットに適用し、原子力発電施設を模擬した実験で、視覚情報によるロボットの位置確認、障害物の各々が行え、その結果から障害物を回避する移動経路生成が行え、更にロボットが全長約10mのコーナ、階段を含むコースで自律移動できること、また最終地点で弁を認識できることを確認した。

これらの実験結果から、本視覚情報処理技術の研究開発成果は、移動作業ロボットをより知能化する一つの手法として、大いに役立つものであり、今後の第3世代知能ロボット発展の一助となることを期待している。

(参考文献は p. 125 にあります)

運 動 立 体 視

稲 本 康*

1. 目 的

原子力発電所、特に格納容器内には、多くの機器・配管類が入り組んで配置されている。その複雑な環境下でロボットが移動やマニピュレーション作業を行うためには、広範囲な領域の豊富な情報を把握できる視覚センサが不可欠である。本研究の目的は、複雑な環境でも確実に3次元的に計測ができ、広い視野を有する視覚センサ、および関連する視覚情報処理技術の開発である。

2. 開 発 内 容

原子力発電所内の環境をテレビカメラで入力すると、多くの機器・配管類が重なり合って複雑な情景として観察される。従来の2眼ステレオ方式では、少ない(2枚)画像で3次元計測を行うため、誤計測を避け難い。これに対し、カメラを移動して多くの位置から入力した画像を活用する運動立体視によれば、複雑な環境下でも安定な3次元計測が行える。

次に、機器・配管類が高い密度で配置された中で安全に移動やマニピュレーション作業を行うには、注視部分だけでなくその周囲も同時に把握できる“広い視野での

3次元計測機能”が必要である。動物の眼は、円い眼球の内側に像を結ぶため視野が広い。そこで、円い眼球と光学的に等価な魚眼レンズに着目し、球の表面に投影した画像と等価な画像を平面の受光素子で得られる球面カメラ(図1)を開発した。

運動立体視を球の表面に投影された画像に適用すれば、人間並みの広い視野で環境を3次元的に計測できる。発電所環境で最も特徴的な立体要素は線分(稜)である。そこで、まず線分の3次元計測を目的として、球面上の

図 1 球面カメラの原理

* 富士通(株)

Motion Stereo Vision

図 2 線分方位計測の原理

画像に対して運動立体視を適用できる球面写像法と呼ぶ方法を開発した。球面写像法を用いれば、球の表面に投影された線分を延長して大円（球面上の最大の円で赤道に相当）を得ることができる。カメラを移動しながらこの大円を球面上に描いてゆくと、線分の方位が大円群の交点として得られる（図 2）。線分方位が求まれば、それに垂直な平面を想定して、その平面上でカメラから対象線分を見る視線を得ることができる。カメラを移動した各地点からの視線を描けば、対象線分の位置は視線の交点として得られ、線分までの距離が計測できる。視線を描く操作を平面でなく球面上で行うことにより、計測範囲を無限遠まで拡大できる（図 3）。

発電所環境で線分に次いで特徴的な立体要素は、配管類やタンクなどの円筒である。運動立体視と球面写像法により、円筒を 3 次元的に計測するアルゴリズムを開発した。円筒の 3 次元計測とは、円筒軸の方位と距離の計測である。円筒の半径が未知の場合には、半径も計測できる。さらに、線分・円筒以外の立体要素については、点の集合と考えて、個々の点の位置を運動立体視により 3 次元的に計測するアルゴリズムを開発した。

以上の計測は、ロボットの動作に見合う速度で実行する必要がある。このため、球面写像に適した並列処理ブ

図 3 線分距離計測の原理

ロッセッサを開発して高速化を図った。

3. 成 果

特徴ある 3 次元計測技術を確立した。主な特徴について以下に述べる。計測結果の例を図 4 に示す。

① 多眼視により確実・高精度

運動立体視は、多眼視に等価である。多眼視による信頼性の向上を実験的に確かめた。線分計測において、対象線分の位置は、その線分に垂直な平面上（図 5）で視線の交点として求めるが、視線は真の線分の位置以外でも交わりノイズとなる。視線数が少ないと、ノイズが真の線分と区別できず偽線分となる。これは、2 眼ステレオでも同様である。画面を多く使うほど真の線分を通る視線数がふえて、相対的に偽線分は減少する。実験例では、3 画面を利用した場合、真の線分と区別できない偽線分が真の線分の 14 倍も現れたが、10 画面を利用すれば、偽線分を完全に取り除くことができた（図 6）。

また、多数の画面を利用すると、量子化誤差などが平均化される効果によって、計測精度も向上する。実験例では、10 画面を利用した場合は 3 画面の場合に比べて計測精度が 30% 以上向上し、理論分解能を上回った。計測精度はレンズ視野によって異なるが、視野 50° の場合で線分の 3 次元方位 0.5°、距離 1% を達成した。

② 180° までの広い視野

円い網膜を持つ眼と等価な等立体角射影特性を有する球面カメラを開発した。視野は 50°, 100°, 180° の 3 種類を試作した。また、これら球面カメラの光軸位置およ

図 4 原子力発電所模型を用いた計測結果の例

図5 真の線分と偽線分

び射影特性を高い精度で計測し、1画素以内の精度で所望の特性に校正する手法を開発した。

③ 球面上の処理により断面計測

球面写像法の特徴の1つは、ある任意平面に垂直な線分や円筒を選択的に計測できることである。(これを断面計測と呼んでいるが、厳密な意味の断面ではない。)原子力発電所など人工環境の多くでは、垂直な柱や配管が特徴的な立体要素であるため、垂直線や垂直な円筒を選択的に計測することにより、地図(モデル)と2次元データ同士の照合が可能となる。これは、3次元の照合に比べて遙かに高速である。

④ 並列処理に適したアルゴリズム

球面写像は、球面に大円を描画する処理が基本であり、球面を適当な領域に分割すれば、複数の領域で並列に処理できる。球面写像を並列処理で実行する専用ハードウェアとして球面写像プロセッサを開発した。複数の球面写像プロセッサを中核として、線分と円筒を一貫処理で計測する立体計測システムを構築した。線分抽出、線分方位計測、線分距離計測、円筒計測の各球面写像プロセッサ、輪郭抽出プロセッサ、および距離計測用ベクトル計算プロセッサを上位・下位の2階層のワークステーション

F/T: 偽線分と真の線分の本数比

図6 画面数と計測の信頼性の関係

ョンで制御するシステムである。立体計測システムにより、1シーンの線分を約10秒で計測できる。

☆ ☆

複雑な環境に対応可能な新しい視覚技術を開発できた。本方式により得られた計測精度、計測速度は、原子力発電所のように複雑な環境を対象とした3次元計測方式の中では、世界でもトップレベルである。今後の課題としては、装置の小型化と一層の高速化、計測精度の一層の向上、照明条件等に影響されにくい前処理方法の開発、曲線・曲面の計測アルゴリズムの開発などがあげられる。なお、本研究の詳細については、文献1)、2)を参照されたい。

参考文献

- 1) T. Morita et al.: "Measurement in three dimensions by motion stereo and spherical mapping," Proc. IEEE Computer Soc. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 422-428, 1989.
- 2) Y. Inamoto et al.: "Motion stereo vision system," '91 International Symposium on Advanced Robot Technology, pp. 239-246, 1991.

レザ視覚

木村 実*

1. はじめに

石油生産施設での初期災害に対応する防災ロボットの視覚センサとして、煙や炎に遮られて見えにくい対象物を探索するために、不可視情報を可視化できる3次元視

覚センサが要望されていた。このための視覚センサとしては、不特定対象物を、数mから数十mまでの範囲を実時間で距離計測を行う必要がある。移動ロボットのナビゲーション用の3次元視覚センサとしては、複雑なマッチングや座標演算が不要で、リアルタイムの計測ができる、レーザレーダ方式が有利である¹⁾。煙、炎環境を通した視覚情報の取得のための防災ロボット用視覚として、

Laser Vision Sensor for Disaster-Prevention Robot

* 松下技研(株)