

内93-16

早稲田大学大学院理工学研究科

1994

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

移動ロボットの視覚システムに関する研究

申 請 者
申 東 旭
Donguk Shin

物理学及応用物理学専攻情報工学研究

平成 5 年 11 月

従来の第2次産業の工場内における製造作業では、いわば工場全体を一種のロボットとして設計し最適化が図られるため、いわゆる産業ロボット（マニピュレータ）は移動する必要がなかった。しかし、最近、工場の外での作業、例えば農業や水産業、鉱業や建設業、あるいは宇宙空間、海洋、原子力、災害現場などにおける極限作業、さらには医療福祉分野や家庭でのロボットの利用が要求されるようになった。このようなロボットの利用を考えたとき、ロボットが決まった位置に据えつけられていたのでは、必要な作業が行えないので、ロボットが自ら作業環境内を自由に移動しながら作業を行うことが不可欠となる。

このような自律移動ロボットは、一般に、6つのサブシステムから構成される。それらはシステム全体を管理する中枢系、環境及び障害物などに関する知識データベース系、外部環境情報を採取する外界センサ系、人間とのインタフェースであるコミュニケーション系、実際の移動に必要な効果器系及び内界センサ系である。ロボットの移動目的地が定まると、中枢系では経路プランニングにより移動計画を立て、内界センサ情報と外界センサ情報とを利用し、自己の位置と方向とを同定しながら、作成した経路に従って目的地に向かうための処理を行う。一方、知識データベース系では、環境の構造に関する知識および障害物に関する知識、障害物の認識や回避方法などを判断したり、行動する際のルールを示すルールベースや推論機構をもっている。

本論文は、上述した自律移動ロボットに要求される機能の中で、外界センサ系における視覚による環境情報の取得と中枢系での処理に関するものであり、2足歩行ロボットの移動中におけるカメラ姿勢の変動の問題を解決するための実時間視覚システム、車輪移動ロボット及び2足歩行ロボットなどの一般の移動ロボットに要求される3次元情報の抽出のための両眼立体視、移動ロボットの経路及び動作の高速プランニングについての研究成果をまとめたものである。

本論文は6章より構成されている。

第1章では、自律移動ロボットに要求される一般的なシステムの構成を示し、各サブシステムの機能について述べる。また、本研究の目的を述べ、これまでの研究の現状及び問題点を指摘すると共に、本研究の位置付け及び意義を明らかにする。

第2章では、2足歩行ロボットのための視覚による計測系と「跨ぎ」による障害物回避について述べる。これまで、2足歩行ロボットのセンシング技術及び研究の報告は、殆どないのが現状である。2足歩行ロボットの視覚系では、車輪ロボットの場合と異なり、歩行と共にカメラの姿勢が変動するという問題点がある。一般的に、環境の3次元座標を求めるためには、ある基準座標系に対するカメラ姿勢の同定が必要であるが、2足歩行ロボットは歩行のために姿勢が変わる。そこで、2足歩行ロボットの特定の姿勢で、予め画像平面上における座標と距離との関係を表す距離テーブルを作成しておき、この姿勢の時に撮像し距離及び障害

物の高さを実時間で計測する手法を提案している。距離テーブルとしては、単眼視による単眼距離テーブルと両眼視による視差距離テーブルを用いている。単眼距離テーブルは静止状態、歩行中における左足が前に置かれる時、静止状態で腰を曲げた状態でそれぞれ作成され、視差距離テーブルは静止状態と歩行中における左足が前に置かれる時のみ作成される。障害物までの距離の計測は単眼距離テーブルを利用し、高さの測定は単眼距離テーブルと視差距離テーブルを用いて行われる。視覚系では、これらの距離テーブルを利用し、障害物までの距離と高さを測定することにより、障害物をどのように回避すべきかを判断し、それに基づいて歩行系に動作命令を出す。実際の実験では、2足歩行ロボットWL-12R II (Waseda Leg - 12 Refined II: 当大学機械工学科の加藤一郎教授の研究室で開発) を利用し、歩行しながらリアルタイムで障害物を検出し、それを2足歩行ロボットの特長ともいえる「跨ぎ」の動作により障害物回避の実験を行い成功した。

第3章では、2足歩行系に搭載されたカメラの姿勢を視覚により同定する方法について述べる。第2章の距離テーブルを用いる方法では、距離テーブルを予め作成しておく必要があり、またロボットのキャリブレーションおよびカメラの再設定の際には距離テーブルを更新せねばならない問題点がある。ここでは、2足歩行系の足上に四角形のマークを固定し、カメラ姿勢の変動による画像平面上での四角形の変形を利用したカメラ姿勢の同定法を提案する。まず、画像の下半分から四角形を検出し、平行な2辺の画像上における無限遠点（消失点）を利用することでカメラの回転成分を求める。次に、基準座標系における四角形の頂点の座標（既知）を用いて、カメラの平行移動成分を簡単な式で求めている。また、これの応用として、人間の胸のところにCCDカメラを固定し、人間の手前にある障害物を回避するための足位置の決定法と、床に描いてあるランドマークに沿って移動するときの動作決定方法についても述べる。これは盲人の視覚補助システムの基礎技術となるものである。何れの実験でも良好な結果が得られており、処理時間もカメラ姿勢の同定及びそれぞれにおける判定結果まで約1秒と高速で、本手法の実用性が確認できた。

第4章では、3次元情報を得るための2台のCCDカメラを用いた両眼立体視における対応付けについて述べる。現在、障害物認識などのための3次元計測には、レーザレンジセンサを用いることが多い。しかし、多数の移動ロボットあるいは人間と共存する環境では、レーザ光を照射するレーザレンジセンサの使用は困難と考えられる。一方、両眼立体視は、左右の画像から対応点を決定することが困難なため、実用化には至っていないが、人間なみの能力をもつ究極の方式と考えられる。ここでは、両眼立体視における対応付けの信頼性を上げるための手法を提案する。これは、エッジを連結して得られるエッジセグメントを対応付けの単位とし、対応付けの際にはセグメントの特徴ばかりでなく、(1)セグメント間

の連結関係、(2)セグメント同士の空間位置関係、(3)セグメント周りの領域特性を採用したものである。また、対応付けの際には、まず対応候補を求めておき、幾何学的な矛盾のチェックにより候補のしぼり込みを行う。さらに、矛盾の無いセグメントと連結しているセグメントの対応決定を行いながら、矛盾のあるセグメントの対応候補をふるい落としていく。最後に、セグメント同士の空間位置関係を考慮した評価関数を用いることにより対応決定を行う。本手法は従来の手法に比べて高速且つ信頼度の高い対応付けを可能にするものである。

第5章では、移動ロボットにおける経路及び動作の高速生成法について述べる。従来、これらに関しては、多くの研究報告があるが、処理時間が一番大きな問題として残っている。ここでは、距離変換画像を用いた経路及び動作の高速生成法を提案する。まず、ロボットの作業空間として自由領域と障害物を表す2値画像が与えられたとし、それを障害物からの距離を表す8近傍距離変換画像に変換する。次に、生成する経路と障害物との間にどのくらいの幅の余裕を持たせるかを定め、距離変換画像上でその幅以下の領域を侵入禁止領域とし、パスグラフを展開することにより侵入禁止領域を通過しない経路を生成する。最後に生成された経路に対して、ロボットが実際に移動できるかどうかの判定を行い、移動できる場合は如何なる姿勢で移動すればよいかの動作生成法を行う。動作生成では、遠距離移動モードと近距離移動モードを繰り返すことにより動作を生成する。遠距離移動モードでは、作業空間の距離変換画像における各点が障害物までの距離を表すという特徴を生かし、平行移動する際に通過する領域の全ての点を調べることなく、ロボットが移動可能な最遠点を探索することにより高速化を図っている。また、近距離移動モードは、ロボットと障害物との近接2点距離を用いて回転及び平行移動の動作を生成するが、ここでは従来の方法における問題点を解決するために、距離変換画像の性質を利用している。さらに、動作生成中に同じ動作が繰り返して生成されるデッドロックの際に、その位置で障害物と衝突しない新しい姿勢を求め、そこからバックトラックにより一部の動作を再生成する新しいデッドロック回避手順も本手法の拡張として述べる。最後に、本手法と従来の方法との処理時間を比較することにより、本手法の高速性を実験的に検証し、実用性及び有効性を示す。

第6章では、結論を述べ、研究成果をまとめている。