

氏 名	Lin 林	Hui 暉		
授 与 学 位	博 士 (工 学)			
学位授与年月日	平成 4 年 3 月 27 日			
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項			
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学第二専攻			
学 位 論 文 題 目	アクティブ・ビジョンによる対象物の自動モデリングに関する研究			
指 導 教 官	東北大学教授 中野 栄二			
論 文 審 査 委 員	東北大学教授	中野 栄二	東北大学教授	猪岡 光
	東北大学教授	中村 維男	東北大学教授	江村 超

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

知能ロボットが自律的に観測・行動計画を作るには、幾何モデルが欠かせない。幾何モデルの表現、獲得、更新、利用は知能ロボット研究の最重要課題の一つである。しかし現状では、データの入力を人手で行ったり、既知対象物を人間が教示したりする方法で行っていて、いずれも人間に対する負担が膨大なものとなっている。このように、未知対象物の幾何モデルを自動的に作成するには多くの問題点と制約がある。しかし、もしこのような自動作成能力を開発できれば、知能ロボットの自律的な未知環境対応力を大幅に増大することが可能となろう。本研究では、以上のような背景において、真の知能ロボットを実現するための基礎技術の一つとして、「実世界で作業を行う知能ロボットシステムのための、多様な未知対象物を自動的にモデリングする手法を構築すること」を目的としている。

第 2 章 幾何モデルと幾何モデリングに関する検討

本研究で扱う幾何モデルは対象物の形状データと三次元空間中の位置及び姿勢二つの情報を持ち、数学モデルとして計算及び分析することが可能である。この章では、幾何モデルを作成する際ににおける従来の研究を概観する。それら従来の幾何モデル作成研究の評価に基づき、本研究のアクティブビジョンによる未知対象物の幾何モデル自動作成における可能性と考慮すべき項目を考察する。

さらに、複数の対象物が画像上で重なり合った場合、対象物の個別幾何モデルを自動作成するために、画像上での重なり部分を発見し、この部分で自動分離する必要がある。本章では、この問題に対してまず従来の分離に関する研究を概観し、それらの研究の評価に基づき、三次元自動分離における考慮すべき項目を列挙する。

第3章 ロボットビジョンシステム

本研究では、実環境中の未知対象物について自動的にモデリングするためのロボットビジョンシステムを提案及び構成した。システムの構成状況は Fig. 1 に示すようになっている。提案したロボットビジョンシステムは、視点制御部、画像処理部及び結果表示部、三次元位置計測部から構成されている。ロボットアームに搭載した単眼視を用い、画像処理及び画像理解により環境に関する主な情報を得る。さらにカメラで撮影した三次元画像上の点に対応する三次元位置が求められるレーザ・スポット装置も設置している。本ロボットビジョンシステムの特徴は、一般のステレオ立体視のように複数の画像間の対応をとる必要がないことである。このロボットビジョンシステムを用いることにより、われわれの開発した自動モデリングアプローチが未知対象物の幾何モデルを自動的に作成することを可能とする。

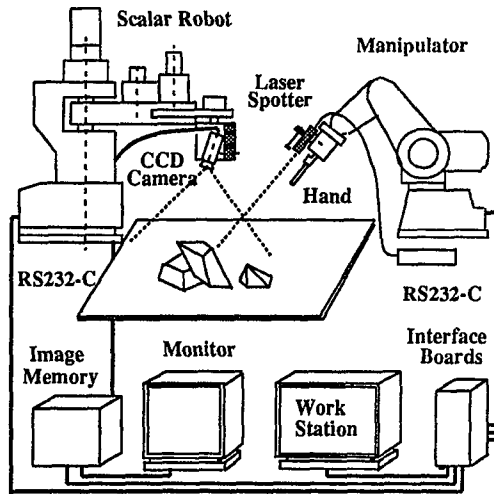


Fig. 1 Robot vision system

Aloimonos 87はアクティブな観測者による優位性を数理的に示し、「アクティブビジョン」の概念を提案したが、具体的な幾何モデルを作成する段階には至っていない。本研究で構成したロボットビジョンシステム及び開発した各自動モデリングアプローチにより、「アクティブビジョン」による具体的な幾何モデルを自動作成することに成功した。

第4章 「視点選択錐体相貫法」による幾何モデル自動作成

本研究では、未知対象物に対する、自動的にカメラ視点及び視線方向を選択するアルゴリズムを用いた高精度幾何モデルの効率的な自動作成法「視点選択錐体相貫法」を提案及び構成した。対象物の形状に応じて自動的に適切な視点視線を選べ、より少ない観測点で対象物の形状特性を把握することができ、従来方法における面が多く生成されるという欠点を克服でき、また近似精度の良い幾何モデルを作成できる。「視点選択錐体相貫法」を用いて実際の未知対象物の幾何モデルの自動作成を行った。そして、本手法の有効性を実験により確かめた。実験で生成した未知対象物の幾何モデルと実際の対象物の映像とをスーパーインポーズして、画像処理システムのモニタに表示した写真を Fig. 2 に示す。生成した幾何モデルはモニタ上に白い線図で描いている。多面体は黒い部

分である。生成した幾何モデルは対象物とかなり一致していることがわかる。各表面は平坦になるとともに、面の位置も正確となり、本視点選択法の有効性が示された。

第5章 「視点選択画像分離法」による 重なる物体の自動分離とモデル作成

画像上で重なり合った対象物の個別幾何モデルを自動作成するために、本研究では、複数未知対象物を三次元自動分離する方法である「視点選択画像分離法」を開発した。提案したこの方法は、従来の既知対象物の分離研究に比べると未知対象物の三次元分離に対しても有効に適用できる。さらに、得られた情報はおのおのの対象物の画像上に写った領域ではなく、重なる対象物間の三次元分離面として求められ、重なる未知対象物の個々の幾何モデルの自動作成がこれにより可能となった。さらに、筆者はロボットビジョンが単なる環境から情報を吸収するだけでなく、実環境にアクティブに働きかけ、その反応を分析し、そこから情報を抽出することもより広い意味の「アクティブビジョン」であることと考え、アクティブなレーザ・スポット走査によって、分離を有効に観測できるカメラ視点（本研究では「分離確認視点」と呼ぶ）の自動探索にこれを適用した。本手法の有効性も実験により確かめている。

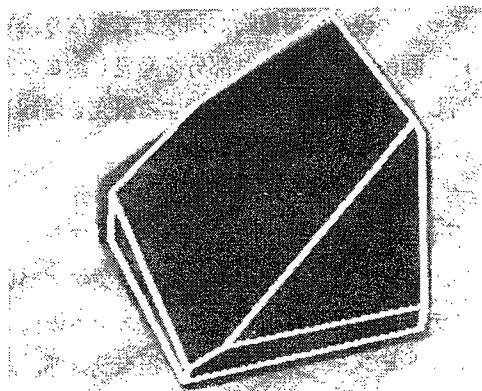


Fig. 2 Photo of the generated model superimposed with the image of the object

第6章 分離確認動作による重なる物体の自動分割とモデル作成

「視点選択画像分離法」だけでは、決定的な分離情報が得られない場合に対して、その決定的な分離情報を得るために、さらにアクティブな情報を引き出すための手段として、ロボットの自律的な分割確認動作により、上述した問題の解決を試みた。構成した本手法はある程度「視点選択画像分離法」の一つの補足的な方法であるとも言える。このように、本研究では従来の単なる視点選択だけの「アクティブビジョン」の概念とは異なり、ロボットの自律的な情報抽出手段も導入したより広義な「アクティブビジョン」を用いて、未知対象物の自動モデリングを可能にした。本手法も実験により確かめている。

第7章 知能ロボット自律作業への適用例 作業台の自動片付け

本研究で開発したシステム及び各自動モデリング手法を用いることにより、知能ロボットの自律作業への適用例として、「作業台の自動片付け」作業を取り上げる。本章では、多数の未知対象物が存在する場合について、対象物を分離しながら幾何モデルを構成する手法を新たに提案している。さらに、得られた対象物モデルを用いて、自動的にその外形輪郭に基づいて分類を行う方法も新たに開発されている。実際に行った作業は、環境中に置かれた多数の未知な電器部品について行った。まずロボットビジョンにより対象物の個別幾何モデルを作成する。作成した幾何モデルについて自

動的に分類を行って、ロボットハンドによる片付けを行う。Fig. 3の写真は、作成された個別幾何モデルとそれぞれの対象物の画像とをスーパーインポーズして表しているものを示す。得られた近似幾何モデルに対し自動分類を行う。写真上の各対象物上にマークされた数字は分類結果を表す。同種類は同じ数字で表し、最大の数字は環境内にある対象物種類数を表す。得られた近似モデルと類別により、ロボットが自動的に片付けを行うことが可能となる。

この適用例により、本研究で提案した自動モデリングアプローチが有効に知能ロボットの自律作業に適用できることが実証されている。

第8章 考 察

本論文で提案及び構成したロボットビジョンシステム、各自動モデリングアプローチについての考察を行う。得られた研究結果を評価し、問題点、課題を指摘するとともに、将来の機能拡張に向けて、幾つかの項目について検討を行い、可能な解決方法を提案する。

第9章 結 論

本研究で得られた成果及び結論について述べている。

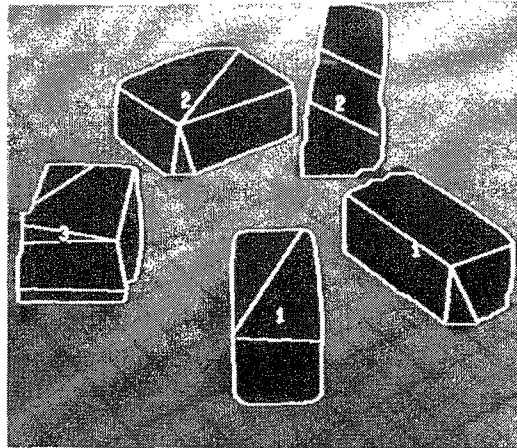


Fig. 3 Photo of the generated models and the result of classification

審査結果の要旨

知能ロボットが自律的に観測・行動計画を作るには、対象物の幾何モデルを自動的に作成する能力が欠かせない。しかし現状では、データの入力を人手で行ったり、既知対象物を人間が教示したりする方法で行っていて、いずれも人間に対する負担が膨大なものとなっている。このように、未知対象物の幾何モデルを自動的に作成するには多くの問題点と制約がある。しかし、もしこのような自動作成能力を開発できれば、知能ロボットの自律的な未知環境対応力を大幅に増大することが可能となろう。

本論文は、以上のような背景において、知能ロボット実現のための基礎技術の一つとして、アクティブ・ビジョンによる未知対象物の自動モデリング手法を提案し、その有効性を示したもので、全編9章よりなる。

第1章は序論である。第2章では、従来行われた関連研究を検討するとともに、アクティブビジョンによる未知対象物の自動モデリング手法の可能性を示している。

第3章では、アクティブビジョンによる実環境中の未知対象物を自動的にモデリングするための提案及び構成したロボットビジョンシステムについて述べている。

第4章では、未知対象物に対する、自動的にカメラ視点及び視線方向を選択するアルゴリズムを用いた高精度幾何モデルの効率的な自動作成法である「視点選択錐体相貫法」を提案しており、さらに、本方法の有効性を実験により確かめている。

第5章では、画像上で重なって見える複数未知対象物を三次元自動分離する「視点選択画像分離法」を提案するとともに、実験によりその有効性を示している。重なる未知対象物の個々の幾何モデルはこれにより自動作成できる。

第6章では、前章の「視点選択画像分離法」の補足方法として、ロボットアームのハンドリング機能を生かした重畳物体の自動分割方法について述べるとともに、その有効性を実験により確かめている。

第7章では、開発したシステム及び各自動モデリング手法を知能ロボットを用いた実際作業へ適用する例として「作業台の自動片付け作業」を取り上げ、この手法の有効性を示している。そしてここでは、多数の対象物を分離しながらモデルを作成する手法を提案し、この作成したモデルを用いて、その外形輪郭に基づき自動分類する方法について述べている。提案した自動モデリング方法が有効に知能ロボットの自動作業に適用できることが実証されている。

第8章は考察である。研究結果を評価し、問題点、課題を指摘するとともに、将来の機能拡張に向けて、幾つかの項目について可能な解決方法を提案している。

第9章は結論である。

以上要するに本論文は、実世界で作業を行う知能ロボットシステムのための、多様な未知対象物を自動的にモデリングする方法を提案し、その有効性を明らかにしたものであるり、知能ロボット研究の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。