

学 位 論 文 題 名

距離アスペクト画像による複雑情景内の
物体認識に関する研究

学位論文内容の要旨

人間は目からの入力情報により外界を理解することができ、その情報を元に外界に対して行動を起こすことができる。この当たり前のことを機械にさせることは、1960年代のロボット研究の萌芽当初からの目標である。この機能を実現するには、外界をセンシングして得られる入力データの中から、既知物体の探索及び位置姿勢の推定を行う物体認識技術が必要であり、コンピュータビジョン研究の大きなテーマの一つである。

その応用としては、ピンピッキングと呼ばれる固定ロボットアームによる山積みになされた物体の掴み上げ、積荷の移載の自動化、航空写真からの建物や車の検出などがある。また近年では、2足歩行の実現などに代表される自律移動ロボットの研究が盛んになっており、より汎用性の高い物体認識が期待されている。

一方、物体認識の歴史を見ると決して満足な結果を得ていない。初期の物体認識手法を見ると、今と比べセンサの性能は低く、コンピュータの処理速度も低速であったことから、対象とする問題を限定した認識手法の開発がなされていた。個々の積木の位置関係などを理解するブロックワールド問題は、物体認識の初期段階における研究成果である。近年では自由曲面形状を持つ物体に対しての取り組みがなされており、様々な入力・物体記述・照合手法に基づいた認識システムが提案されている。また、情景の問題設定も複雑化しているものの、多くの物体を含み遮蔽が随所に発生している情景から既知の物体をすべて探索し、その位置姿勢を推定する問題になると、単体で適用できる手法は多くない。

ここで、より一般的な物体認識における問題設定として、1) 扱う物体形状は自由曲面からなる、2) カメラと認識対象となる情景との位置関係は任意である、3) 認識対象となる情景には既知・未知に関わらず複数の物体が同時に存在する、4) 情景中に存在するすべての既知物体を認識し位置姿勢推定を行う、という4つを挙げる。問題設定を複雑にするほど、一般には処理コストも大きくなる。また認識精度と処理コストもトレードオフの関係にあるものが多い。よってここに挙げた複雑な問題をすべて解決し、処理コスト抑えた認識システムが実現できた際には、広範囲の応用が期待できる。

そこで本論文では、「距離アスペクト画像」を用いる物体認識手法を提案し、上述した問題を解決しつつ認識率が高く処理コストの低い物体認識システムの実現を目指した。距離アスペクト画像とは、観測方向に依存しない3次元データ表現形式であり、3次元データから作る2次元濃淡画像である。本手法では、まず入力データとして距離データを用い、登録モデルから距離アスペクト画像を複数枚作成して、データベースを構成する。観測した情景からは同様に距離アスペクト画像を作成する。物体の種別と位置姿勢推定は、3次

元データの直接照合ではなく、距離アスペクト画像どうしの画像照合によって行う。遮蔽が発生し複数物体を含む複雑情景における問題は、距離アスペクト画像照合の問題に帰着させ、そこにロバスト統計に基づく照合法を導入することによって解決する。しかも画像照合は3次元データの直接照合より高速に行えるため、大きな高速化の可能性を持つ。

また本論文では、距離アスペクト画像の作成方法を2種類提案している。曲率特徴を利用する方法では、特徴点の観測方向に依存しない再現性を距離アスペクト画像照合が成功する前提とする。特徴点の強い再現性が期待できる場合は、この方法によって高速な認識が可能である。一方、強い再現性を期待できないボクセルを利用した場合でも、距離アスペクト画像照合に基づく物体認識手法によって、複雑情景に対し高い認識率を有することが可能であることを示す。さらに、学習・認識段階の様々な処理において高速化手法を導入し、実データを用いた実験から有効性を示している。

第1章では、研究の背景と位置付けを述べる。物体認識の研究は、問題に対して拘束条件を付加することにより実現してきており、拘束を緩和することによって新たな問題が発生する。そこでより一般的な問題設定を示し本研究における目的とする。

第2章では、物体認識研究をまとめる。まず物体認識研究を類別するための枠組みについて、入力データ、認識のためのデータ表現形式、扱う物体に付加する条件、情景に対する条件、の観点でまとめ、さらにそれぞれの特徴や種類に関して述べる。次に本研究で用いる3次元データに関してまとめ、近年提案されている3次元データを用いた物体認識手法を列挙し、本研究の位置付けを明確にする。

第3章では、3次元の距離データを用いた物体認識に必要な、物体曲面の表現方法として「距離アスペクト画像」を提案する。ここでは第4章から第6章までに共通して用いられる距離アスペクト画像の作成・照合法を定式化する。また距離アスペクト画像を用いる物体認識の大まかな枠組みについて述べる。

第4章では、第3章で述べた距離アスペクト画像の特徴点を利用した具体的作成方法と、特徴点利用型距離アスペクト画像を用いた物体認識手法の流れを説明する。1方向から計測した距離データをモデルとして複数登録し、位置や姿勢が任意で遮蔽や点の欠損がある情景距離データに対して実験を行う。また複数物体を含む複雑情景に対する認識を行い、本研究の有効性について検討する。

第5章では、形状特徴に依存しない距離アスペクト画像の作成方法を提案する。第4章のような曲率特徴点を用いず、空間分割して得られるボクセルを利用することによって物体曲面を選ばない手法としている。このボクセルを利用した距離アスペクト画像を用いる物体認識手法の説明を行う。全周囲統合距離データをモデルとした、複数物体を含む複雑情景に対する認識実験から本手法の有効性を検討する。またここでは遮蔽や複雑さを定量化することによって、難しい情景に対する本手法の有効性と特性を示す。

第6章では、第5章で述べた手法の高速化について述べる。一般的に困難な問題設定に対応する手法は処理が複雑になり、計算コストが大きくなる。ここでは高い認識率を実現した本手法について、様々な処理手順における高速化手法を提案する。高速化手法を導入した手法と未導入の手法との比較実験により、高速化の効果を検証する。

第7章では、距離アスペクト画像照合における局所曲面照合問題について述べる。曲面全体では誤認識である場合でも局所平面どうしでは照合が成功するため、点群全体を用いた検証処理と誤認識の回数が増加する可能性がある。ここでは距離アスペクト画像とその照合方法を利用した計算コストの少ない、局所平面照合の検査による偽照合回避手法を提

案し，実験から有効性を確認する．
第8章は本論文の結論である．

学位論文審査の要旨

主査	教授	小野里	雅彦
副査	教授	土谷	武士
副査	教授	島	公脩
副査	助教授	金子	俊一

学位論文題名

距離アスペクト画像による複雑情景内の 物体認識に関する研究

事前知識として認識したい物体の形状を与えた上で、外界を計測して得られる入力データの中から、既知物体の探索及び位置姿勢の推定を行う物体認識技術は、コンピュータビジョン研究の大きなテーマの一つであり、その応用としては、ピンピッキングと呼ばれる固定ロボットアームによる山積みされた物体の掴み上げ、積荷の移載の自動化、航空写真からの建物や車の検出などがある。また近年では、2足歩行の実現などに代表される自律移動ロボットの研究が盛んになっており、扱う形状を選ばない、物体認識を行う上での前提条件が少ない、より汎用性の高い物体認識が期待されている。

一方、これまでの物体認識手法では、今と比べセンサの性能は低く、コンピュータの処理速度も低速であったことから、扱う物体形状や認識対象となる情景に対して、問題を単純化する何らかの条件を与えなくては認識処理が行えないという、条件付の認識手法が多く見られた。近年では自由曲面形状を持つ物体に対しての取り組みがなされており、同時に複雑な情景に対しても認識を行う試みがなされているが、多くの物体を含み遮蔽が随所に発生している情景から既知の物体をすべて探索し、6自由度の位置姿勢推定を行う手法は多くない。さらに、自律移動ロボットなどでの応用を考え、距離センサと物体との相対距離が必ずしも一致しないことによって生じる、距離データ間の点密度の差に対しても有効な手法が求められる。これらのように問題設定を複雑にするほど、一般には処理コストも大きくなり、認識精度と処理コストもトレードオフの関係にあるものが多い。よってここに挙げた複雑な問題をすべて解決し、処理コスト抑えた高い認識率を有する認識システムが実現できた際には、広範囲の応用が期待できる。

本論文ではこの趣旨に添って、「距離アスペクト画像」と呼ばれる新しい物体曲面の表現方法、及び距離アスペクト画像の画像照合に基づく物体認識、位置・姿勢推定の方法を提案し、上述した問題を解決しつつ認識率が高く処理コストの低い物体認識システムの実現を目指している。距離アスペクト画像とは、観測方向に依存しない3次元データ表現形式で、3次元データから作る仮説的な距離画像であり、また物体認識のシステムは、入力として距離データを用い、登録モデルから距離アスペクト画像を複数枚作成してデータ

ベースを構成し、観測した情景から同様に作成された距離アスペクト画像と、登録されているモデルの距離アスペクト画像との画像照合によって物体認識を行うものである。この手法では、遮蔽が発生し複数物体を含む複雑情景における問題を、距離アスペクト画像照合の問題に帰着させ、そこにロバスト統計に基づく照合法を導入することによって解決している。

また本論文では、距離アスペクト画像の作成方法を2種類提案している。曲率特徴を利用する方法では、特徴点の観測方向に依存しない再現性を距離アスペクト画像照合が成功する前提とし、特徴点の強い再現性が期待できる場合は、この方法によって物体の種別と位置・姿勢推定が可能であることを示し、また距離アスペクト画像の登録枚数削減方法や、データベースの部分探索を行うことによる高速化によって、少ない処理コストでの3次元データを用いた認識処理が可能であることを示している。

一方、強い再現性を期待できないボクセルを利用した場合でも、距離アスペクト画像照合に基づく物体認識手法によって、複雑情景に対し物体認識が可能であることを、また誤認識の低減を目的とした解の検証処理を導入し、高い認識率を維持したまま、誤認識回数が少ない手法であることを、実データを用いた実験から証明している。またここでは遮蔽や複雑さという認識の困難度合いを示す値を情景中で定量化することによって、難しい情景に対する本手法の有効性と特性を確認している。さらに、物体形状を選ばないボクセルを利用した手法においては、学習・認識段階のにおいて様々な高速化手法を導入し、高速化手法を導入した手法と未導入の手法との比較実験により、高速化の効果を実証している。

これを要するに、著者は、距離データを用いた物体認識技術分野において、新しく効果的な独自の手法を提案し、その実応用における可能性を実証したものであり、制御情報工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。