

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

Kenichi Arakawa

氏名 荒川 賢一
学位の種類 博士 (経営情報科学)
学位記番号 博 乙 第 1 号
学位授与 平成 27 年 11 月 23 日
学位授与条件 学位規定第 3 条第 4 項該当
論文題目 距離データを用いた知能ロボットの視覚機能に関する研究
論文審査委員 (主査) 教授 末永 康仁¹
(審査委員) 教授 水野 忠則¹ 教授 森本 正志¹

論文の内容の要旨

距離データを用いた知能ロボットの視覚機能に関する研究

本論文は距離データを用いた知能ロボットの視覚機能について、論文提出者自身がおこなった3つの研究を中心として考察を行った結果をまとめたものであり、全5章から構成される。

第1章は緒言であり、本論文の主題である知能ロボットの要件としてのセンシング機能について述べる。まず知能ロボットとは、人間の作業を代行するために、実世界における環境をセンシングし、その状況に応じて自律的に行動を決定するロボットのことであり、知能ロボット制御のためのセンシングとして、実世界の3次元構造を直接的に観測するレンジセンサは、行動決定のための環境をモデリングするためには非常に有効であるが、タスク依存の適用法が必要である。本章の最後に本論文の構成について述べている。

第2章はフラクタル幾何を適用した自然地形のモデリングの研究について述べるものであり、具体的には、火星探査ロボットの足取りを決定する地形のマッピングに有効な技術についてまとめて論ずる。知能ロボットに搭載されたレンジセンサによって斜め上方向から地形を観測すると、観測データから得られる地形の高さ情報は、地表平面にマッピングすると不規則に配置される。また、自然地形には様々な粗さが存在するが、その粗さの知覚的特性とフラクタル次元には強い相関がある。そこで、不規則に配

置された高さデータから地形のフラクタル次元を推定するとともに、そのフラクタル次元を保存する高さデータの補間処理を提案する。その補間処理は、表面を弾性モデルとして仮定し高さデータを制御点とした事後確率最大化をおこなう最適化法と、フラクタル次元をパラメータとして統計的なフラクタル図形を形成する逐次ランダム加算法の考えを併用したものである。この手法では、フラクタル図形の形成においては逐次ランダム加算法では正規雑音を繰り返し重畳するので、制御点である高さデータが存在しない部分の地形地図としての曖昧さは大きい。そこで、補間処理と並行して、モンテカルロ法に基づく方法で不確実性地図を作製する手法についても提案する。これらの手法について、それぞれ生成データにおけるシミュレーションと実際のレンジセンサからの地形高さデータへの適用によって実験をおこない、その有効性についての考察を述べている。

第3章はトラッキングロボットによるシーリングのための高速な作業目標点検出の研究について述べている。この研究は車体などの塗装工程のひとつであるシーリング工程での産業用ロボットの微細制御に適用されるものであり、対象をロボット手先に搭載したレンジセンサでセンシングする手法を提案している。車体など板状部材から構成されるワークには、部材端部(シム)からの水分の侵入やシムの錆びを防ぐために、シムに倣ってシーリング剤を塗布するシーリングが必須である。板状部材形状や組み付けには変位があり、シム形状は変化するため、それぞれのワークのシムに倣った作業が必要である。すでにシーリン

¹ 愛知工業大学 情報科学部 情報科学科 (豊田市)

グは、産業用ロボットの手先にシーリング剤を塗布するツール（シーリングガン）を付け、ティーチングプレイバックにより同じ動作を繰り返す制御によって自動化されている。しかし、先に述べたシム形状の変化に対応するため、シーリングの機能に必要な以上の幅のシーリング剤塗布をおこなわざるをえない。そこでシム形状をロボット手先に搭載したレンジセンサでセンシングし、レンジセンサを追って動作するシーリングガンの向かうべき作業目標点をレンジセンサの観測データから検出する手法について提案する。なお同じロボットの手先にシーリングガンとともに、その先読みの位置にレンジセンサを搭載するトラッキングロボットを想定すると、現在の作業工程の時間内で処理するためには非常に高速なセンシングおよび作業目標点の算出が必要である。16ms サイクルでセンシングをおこなうことで、実際のワークに対しても処理速度を落とさずトラッキングロボットが適切に動作することを実験により示している。

第4章は狭あい部での断面計測のための極細レンジセンサの構成に関する研究について述べるものであり、トラッキングロボットによるシーリング作業に最適なレンジセンサの構成デザインを提案している。第3章で述べた作業目標点検出法を適用したシーリング用トラッキングロボットなどでは、手先にロボットの手先の進行方向に関して、先読みする形でレンジセンサを、またレンジセンサを追う形でシーリングガンなどのアクチュエータを配置する。狭あい部の作業では、この手先のレンジセンサとアクチュエータを合わせた大きさで作業範囲が制限される。したがって、トラッキングロボットの手先に搭載するレンジセンサは極力細いものが望ましい。三角測量に則り距離を観測するレーザ走査型レンジセンサに関しては、レンジセンサの断面の大きさを決める要素は光スキャナのサイズである。そこでブザー型の小型スキャナを考案し、またそのスキャンの特性に合わせたキャリブレーション方法を提案している。この構成法に基づく極細レンジセンサを試作し、実際の距離データを観測して、その精度など性能を考察している。

第5章は結言であり、第2章から第4章で述べた距離データを用いた知能ロボットに関する研究のまとめを行うとともに、本論文で述べてきた知能ロボットの目的とは異なる視点から情報システムとしての知能ロボット研究の今後の方向性にも触れている。知能ロボットには常にシンギュラリティ（技術的特異点）の話題が付随するが、そこへの到達の道筋について必要な要素を挙げ考察している。また、情報システムとしての知能ロボットについて考察し、有望な進展の方向性の一つとして、身体性を持った相棒と

なりうる知能ロボットのあり方について考察している。特にマネジメントにおいて、経営者に適切な情報を与えつつも判断を促す知能ロボットの存在は重要であろう。最後にロボットの視覚機能の研究に関する今後の方向性についても考察をおこなっている。

論文審査結果の要旨

荒川賢一君提出の博士論文「距離データを用いた知能ロボットの視覚機能に関する研究」は、距離データを用いた知能ロボットの視覚機能について、論文提出者自身が行った3つの研究を中心として考察を行った結果をまとめたものであり、全5章から構成される。

第1章は緒言であり、本論文の主題である知能ロボットの要件としてのセンシング機能について主に述べたものである。知能ロボットとは、実世界における環境をセンシングし、その状況に応じて人間の作業を代行する行動を自律的に決定するロボットである。知能ロボット制御のためのセンシングについては、実世界の立体構造を直接的に観測するレンジセンサが、行動決定のための環境をモデリングするために有効であるが、しかしながらタスク依存の適用法が必要である。本章の最後では、本論文の構成について述べた。

第2章はフラクタル幾何を適用した自然地形のモデリングの研究について述べたものであり、具体的には、火星探査ロボットの足取りを決定する自然地形のマッピングに有効な技術について論じた。自然地形には様々な粗さが存在するが、その粗さの知覚的特性とフラクタル次元には強い相関がある。知能ロボットに搭載されたレンジセンサによって斜め上方向から地形を観測すると、観測データから得られる地形の高さ情報は、地表平面に対して不規則・不等間隔に配置される。そこで、不規則に配置された高さデータから地形の粗さの尺度としてフラクタル次元を推定するとともに、そのフラクタル次元を保存する高さデータの補間処理を提案した。その補間処理は、表面を弾性モデルとして仮定し高さデータを制御点とした事後確率最大化の最適化法と、フラクタル次元をパラメータとして統計的なフラクタル図形を形成する逐次ランダム加算法の考えを併せて応用したものである。この手法において、フラクタル図形の形成プロセスで逐次ランダム加算法によって正規雑音を繰り返し重畳する。そこで、制御点である高さデータが存在しない部分の地形地図としての曖昧さは大きくなってしまふ。これに応じるため、補間処理と並行して、モンテカルロ法に基づく不確実性地図の作製法に

についても提案した。これらの手法について、生成データを用いたシミュレーションと実際のレンジセンサからの地形高さデータへの適用により、それぞれ実験をおこない、その有効性について述べた。

第3章では、トラッキングロボットによるシーリングのための高速な作業目標点検出の研究について述べた。この研究により提案されたアルゴリズムは、車体等の塗装工程のひとつであるシーリング工程での産業用ロボットの做い制御に適用されるものである。車体など板状部材から構成されるワークには、部材端部（シム）からの水分の侵入やシムの錆びを防ぐために、シムに做ってシーリング剤を塗布するシーリングを施す。板状部材形状や組み付けには変位があり、シム形状は連続的ではあるが、様々に変化するため、それぞれのワークのシムに做った作業が必要である。すでにシーリングは、産業用ロボットの手先にシーリング剤を塗布するツールであるシーリングガンを取付け、ティーチングプレイバックにより同一動作を繰り返す制御によって自動化はなされている。しかし、先に述べたシム形状の変化に対応するために、シーリングの機能面で必要以上の幅のシーリング剤塗布をおこなわざるをえない。そこでロボット手先に搭載したレンジセンサでシム形状をセンシングし、レンジセンサを追尾動作するシーリングガンを備えた知能ロボットの制御を考えた。そしてシーリングガンが向かうべき作業目標点をレンジセンサの観測データから検出する手法について提案した。なお同じロボットの手先にシーリングガンとともに、その先読みの位置にレンジセンサを搭載するトラッキングロボットを想定したが、作業工程の現状の時間内で処理するためには高速なセンシングおよび作業目標点の算出が必要であったが、観測すべきシム形状の適切なモデル化によって実際のワークに対しても処理速度を落とさずトラッキングロボットが適切に動作することを実験により示した。

第4章は狭あい部での断面計測のための極細レンジセンサの構成に関する研究について述べたものであり、トラッキングロボットによるシーリング作業に最適なレンジセンサの構成デザインを提案した。第3章で述べた作業目標点検出法を適用したシーリング用トラッキングロボットなどでは、手先にロボットの手先の進行方向に関して、先読みする形でレンジセンサを、またレンジセンサを追う形でシーリングガンなどのアクチュエータを配置する構成を想定した。狭あい部の作業では、この手先のレンジセンサとアクチュエータを合わせた大きさで、手先の潜り込める作業範囲は制限される。したがって、トラッキングロボットの手先に搭載するレンジセンサは極力細いものが望ましい。三角測量に則り距離を観測するレーザ走査型レ

ンジセンサに関しては、レンジセンサの断面の大きさを決める要素は光スキャナのサイズである。そこでブザー型の小型スキャナを考案し、またそのスキャンの特性に合わせたキャリブレーション方法を提案した。この構成法に基づく極細レンジセンサを試作し、実際の距離データを観測して、その精度などが実用レベルにあることを検証した。

第5章は結言であり、第2章から第4章で述べた距離データを用いた知能ロボットに関する研究のまとめをおこなった。また本論文で述べてきた知能ロボットの目的とは異なる視点として、情報システムとしての知能ロボット研究の今後の方向性についても述べた。知能ロボットには常にシンギュラリティ（技術的特異点）の話題が付随するが、そこへの到達の道筋について、まず必要な要素を挙げ考察した。また、情報システムとしての知能ロボットについて考察し、有望な進展の方向性の一つとして、身体性を持った“相棒”となりうる知能ロボットのあり方について考察した。特にマネジメントにおいて、経営者に適切な情報を与えつつも判断を促す知能ロボットの存在を提案した。最後にロボットの視覚機能の研究に関する今後の方向性についても考察した。

以上述べたように、本論文は論文提出者自身が行った3つの研究を中心として距離データを用いた知能ロボットの視覚機能に関する綿密な考察を行った結果を述べたものであり、当該分野を中心として学術上および応用上寄与するところが極めて大きい。よって、本学位論文提出者荒川賢一君は、博士（経営情報科学）の学位を受けるに十分な資格があるものと判断した。