

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 劉 兆甲

劉 兆甲提出の本論文は「Lifting of objects with two mobile robots (2台のロボットによる物体のリフティング)」と題し、全6章より構成される。

この論文は、2台の移動ロボットによる床にある日用品の認識とリフティングの高速化高効率化問題を扱っている。ロボットの利用台数と作業完了時間という二種類の評価関数を扱っている。ロボットの利用台数の最小化は、家庭における作業の効率利用の観点から重要である。作業完了時間を短縮することは、無駄な時間を減らし生産力向上の観点から重要である。

第1章において、ロボットが家庭と生産現場に広く受け入れられ、様々なアプリケーションに適用されていることを述べている。ロボットの利用台数の最小化と作業完了時間の最小化という二つの指標が実用的な観点から重要であることを主張している。それら二つの問題に対する提案手法の概要を示している。提案手法について、家庭においてのさまざまな片付け作業への適応可能性、二つの評価関数の考慮、という観点から議論している。

第2章において、ロボットの利用台数の最小化と作業完了時間の最小化の観点から問題の定式化をしている。この章では、まずは扱う物体について述べている。次に二つの問題に対する評価関数について述べている。定式化において、ロボットの利用台数の最小化が第一優先として、作業完了時間の最小化が第二優先として使われている。最後に動作時にロボット間に過大な内力がかからないことと、作業中に対象物が振動しないことを考慮しながら、ロボットの機構と戦略を設計した。1台のロボットが物体を把持し持ち上げるグリッパロボット、もう1台のロボットが物体を下から支え持ち上げるリフタロボット、という構成をとる。

第3章において、1台の移動ロボットによる物体のリフティングに関する提案手法について述べている。高速把持するために、3台のスキャナ式距離センサを搭載した移動ロボットが、形状モデルを持たない未知物体の局所的な形状情報を獲得して把持位置を認識することで物体把持を行う方法論を提案している。移動ロボットが前進しながら距離情報を蓄積することで物体の把持位置を抽出する。物体に関する距離センサ情報が以下の3つの条件を満たすときにグリッパによる把持位置が存在するとみなす。(a)物体に平行な表面または平面が存在すること。(b)当該平行表面/平面の間の距離がグリッパの最大間隔よりも短いこと。(c)当該平行表面/平面の外側にグリッパを差し込める空間が存在すること。もしある一連の計測により、上記のような把持位置を抽出した場合には、把持位置に到達し把持する。もし把持位置が存在しない場合には、物体周縁を一定量周回した地点で同様な計測を行い、把持位置が計測されるまで周回を続ける。物体の部分情報により物体を高速把持する方法で、把持安定性が保証できない。ここでは、物体の部分情報と把持試行が一緒に使われて高速把持を実現するアルゴリズムを提案している。提案手法は、3Dモデル構築による方法、すなわちロボットが物体の周縁を一周して形状情報を取得する方法と比較して作業完了時間最小化に有効である。

第4章において、2台の移動ロボットによる物体のリフティングに関する提案手法について述べている。複数の小型移動ロボットの協調により、床にある物体を持ち上げ、搬送、位置決めする物体ハンドリング作業が非常に重要である。ここでは2台の移動ロボットによる物体持ち上げ動作をできるだけ短時間かつ確実に遂行することを目指す。2台のロボットの協調動作生成規則を設計した。(a)グリッパロボットがセンサを用いて物体の把持位置を認識、アプローチし、物体を傾けながら持ち上げる。(b)その持ち上げた隙間にリフタロボットがリフトを差し込む。(c)最後にグリッパロボット、リフタロボットそれぞれが同期してある一定角度の円弧運動をすることにより、目標状態(ロボットと物体が一直線上に整列する状態)に達する。このうち(c)の円弧運動を、物体ハンドリング時の力学的制約、ロボットと物体の干渉回避、ロボットの動作制約を考慮した制約条件付き最適化問題として定式化し、ペナルティ法とランダム多スタート局所探索法を用いて解くアルゴリズムを提案した。シミュレーションおよび実機実験により提案手法の有効性を示した。

第5章において、1台か2台の移動ロボットによる物体のリフティングに関する提案手法について述べている。ここで第3章と第4章での物体のリフティングに関する提案手法を統合した。まずは1台のロボットで把

持位置を抽出して把持試行をする。把持試行の結果によってロボットの利用台数を自動的に決める。2台のロボットを用いる場合、少ないセンサを使うため、物体の重さと持ち上げる速度の関係を利用して把持試行した時の持ち上げる速度から把持位置を選定する。そのため、物体を最小台数のロボットでリフティングすることが保証できる。物体情報によるリフタロボットの挿入位置を計算するために、計測誤差を考慮しながら、物体を計測する。物体の密度が未知で、4章の方法で2台のロボットの協調運動の速度を求める時、力学分析を考慮しない。把持の安定性を確保するために、最後にセンサで持ち上げに成功するかどうかを判断する。提案手法は従来方法と比較してロボットの利用台数最小化と作業完了時間最小化について有効であることを実機実験により示した。

第6章において、結論と今後の展望について述べている。ロボットの利用台数最小化と作業完了時間最小化という二種類の評価関数に対して、日用品のリフティングに対するハードウェアと戦略を設計した。物体の部分情報から把持位置を抽出すること、把持試行すること、把持位置を選定すること、2台のロボットの搬送制御することを統合した方法を提案し、他手法に対する有効性を示した。提案手法は、様々な物体に適用可能であり、ロボットの利用台数最小化と作業完了時間最小化について有効である。

以上を要するに、本論文では、2台の移動ロボットによる高速かつ高効に日用品のリフティングを、最適化問題として定式化した。物体のリフティング作業に対するハードウェア設計と戦略設計を統合した手法を定量的に評価した。これによって、本論文は家庭用ロボットの設計に寄与するところが大きく、部屋の片付けシステムの改善に対し有用であると考えられ、重要なものであると言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。