Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-07-16

人との共存を考慮した自律移動システムに関する研究

小林，聖人

(Degree)
博士（工学）
(Date of Degree)
2022-09-25
(Date of Publication)
2024-09-25
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲第8474号
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100477900

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

（別紙様式 3）

論文内容の要旨

氏　　名　小林　聖人

専　　攻　海事科学専攻

論文題目（外国語の場合は，その和訳を併記すること。）

人との共存を考慮した自律移動システムに関する研究

指導教員　元井　直樹

（氏名：小林　聖人　NO. 1 ）

本稿では、人との共存を考慮した自律移動システムについて論じる。本稿は 5 章から構成されており、第 1 章では人との共存を考慮した自律移動手法に関する研究背景と研究目的を述べる。第 2 章では自律移動システムの概要について述べる。第 3 章では死角領域とロボットの運動性を考慮した自律移動手法について述べる。第 4 章では静的・動的障害物を考慮した自律移動手法について述べる。第 5 章にて本稿の結びとする。

第 1 章にて、研究背景と研究目的について述べる。近年、世界的な少子高齢化が進んでいる。特に我が国は、総人口に対する高齢者人口の割合は 29.1% (2021 年) となっており、過去最高値を示している。このように、少子高齢化が世界的に進んでいくと、様々な問題が生じる。その問題の一つとして、労働力不足が懸念されている。それゆえ、ロボットを用いたヒューマンアシストシステムに関する多くの研究が報告されており、労働力の創出が期待されている。これらシステムは移動、操作、物体保持等の能力が必要とされる。移動の安定性、移動効率の良さ、安価さから多くのロボットには車輪が搭載されており、今後ますます車輪型ロボットの需要は増えていくと考えられる。

このような社会背景のもと「人との共存を考慮した自律移動システム」の実現を目指し、車輪型移動ロボットにおける自律移動システムについての研究を実施する。生活環境において人とロボットの共存を考慮した自律移動を実現するためには、ロボットは人の移動を妨げず、かつ人に危害を加えない経路計画を行う必要がある。しかしながら、人が混在するような時々刻々と変化する環境下で自律移動を実現するのは困難である。自律移動ではロボットはセンサ等から取得した環境情報をもとに、どのように行動するか決定する。ロボットに搭載できるセンサには限りがあり、またセンサが取得できない死角領域も生じる。死角領域とは曲がり角に差し掛かる直前や、ロボットの前に障害物がある場合、曲がり角の先や障害物の背後の部分はロボットに搭載されたセンサでは取得できない領域のことである。この死角領域から人がロボットの方向に向かってきた場合、ロボットと人が衝突してしまう可能性が高い。また人が混在する環境下では動的障害物が存在するために、時々刻々と変化する環境下においてロボットは自律移動を実現しなければならず、ロボットが障害物と衝突せずに目的地までたどり着くのは未だ難しい問題である。

本稿では、研究背景から人が生活する空間での自律移動について着目し、「死角領域からの人の飛び出しが衝突の可能性を高めること」、「人等の動的障害物が混在するような時々刻々と変化する環境下ではロボットと障害物との衝突の可能性が高いこと」の 2 点を課題としてとりあげる。そこで本稿では、それぞれ 2 つの課題に対して、「死角領域を考慮した自律移動手法」と「動的障害物を考慮した自律移動手法」の提案を行う(1 章)。

第 2 章にて、自律移動システムについて述べる。近年、移動ロボットの自律移動システムは、自己位置推定、地図生成、認識、経路計画等の技術により構成されている。自律移動を実現するための大きな流れとしては「自己位置推定」と「地図生成」により、地図上でのロボット自身の位置を把握する。次に「認識」により、カメラや測域センサ等でロボ

ット周辺の人や物等の障害物の位置・速度を把握する。そして、これら情報を用いて「経路計画」では現在の位置から所望の位置までの経路を周辺環境との衝突や移動効率を考慮しながら生成し、これらの処理を実時間で行うことで自律移動が実現されている。本稿では自律移動システムの実現に Robot Operating System (ROS) を採用した（2 章)。

第 3 章にて、死角領域を考慮した自律移動手法について述べる。生活環境においてロボットが人に危害を加える可能性がある場面として、死角領域が発生する場面に着目する。曲がり角に差し掛かる直前や、ロボットの前に障害物がある場合、曲がり角の先や障害物の背後の部分にロボットに搭載された測距センサの死角領域が生じる。死角領域から人がロボットの方向に向かってきた場合、ロボットと人が衝突してしまう可能性が高い。従来からもセンサ死角に対する研究は行われていたが、未だ事前に死角領域を回避するように計画された経路上のみしか移動できないことや、ロボットの運動制約を考慮できず、生成された経路をロボットが追従できないといった問題があった。そこで本研究では、上述の問題に対し車輪型移動ロボットにおける死角領域を逐次考慮したコストマップに基づく局所的経路計画手法を提案した。測域センサや視覚センサから取得した測距情報から、死角境界座標を算出し、死角領域において人が存在する可能性がある位置を推定する。その推定した位置を危険領域の中心座標とし、人が全方向移動すると仮定して円状にコストをコストマップに伝播させる事で危険領域を表現する。その後、ロボットの運動制約を考慮した局所的な経路計画手法である Dynamic Window Approach (DWA)の経路算出において危険領域のコストを考慮することで、死角領域とロボットの運動制約を考慮した経路計画がリアルタイムで可能となる。シミュレーションにより提案手法の有用性を確認し、死角領域を考慮した自律移動を達成した(3 章)。

第 4 章にて、動的障害物を考慮した自律移動手法について述べる。生活空間には机、椅子といった静的障害物や人等の動的障害物存在する。このような環境下で自律移動を実現するためには、障害物を回避しながら目的位置に到達しなければならない。しかしながら、人等が混在する動的環境などで従来手法を用いると経路候補生成時点で障害物を考慮していないために障害物と衝突してしまう。そこで、本研究では Dynamic Window Approach を基盤のアルゴリズムとして採用し、新たに仮想マニピュレータを導入した「Dynamic Window Approach with Virtual Manipulators (DWV)」を提案した。ここで仮想マニピュレータとの役割は、障害物がロボット付近に存在すると、ロボットから障害物の最近傍点の間に 2 リンクの仮想マニピュレータを発生させ、その仮想マニピュレータが障害物に対して動作生成する事で障害物を考慮した速度を生成する。これにより、従来手法が動的障害物と衝突してしまう問題を回避する。シミュレーションと実験により提案手法の有用性を確認し、動的障害物を考慮した経路計画を達成した(4 章)。

以上より、人が存在する生活空間で稼働するロボットの自律移動実現に躍進し、労働力創出に貢献できると考える。

（別紙１）　　論文審査の結果の要旨

氏名	小林　聖人		
論文題目	人との共存を考慮した自律移動システムに関する研究		
審査委員	区　分	職　名	氏　　名
	主　査	准教授	元井　直樹
	副　査	教授	佐俣　博章
	副　査	教授	堀口　知也
	副　査	准教授	山本　茂広
	副　査		

要　　旨

近年、世界的な少子高齢化が進んでおり、労働力不足が懸念されている。そこで、ロボットを用いたヒューマンアシストシステムに関する多くの研究が報告されており、労働力の創出が期待されている。一例として、人間の代替としてロボットが工場で荷物の運搬、公共空間では清掃のサポートを行っている。これらのシステムは移動、操作、物体保持等の能力が必要とされる。移動の安定性、移動効率の良さ、安価さから多くのロボットには車輪が搭載されており、今後ますます車輪型ロボットの需要は増えていくと考えられる。このような社会背景のもと「人との共存を考慮した自律移動システム」の実現を目指し、車輪型移動ロボットにおける自律移動システムについての研究が本学位論文では実施されている。

本学位論文は、全５章から構成されている。第１章は序論として、研究の背景、目的、人の生活空間において動作するロボット例について説明が行われている。また、人との共存のためには移動、認識、操作物体把持等の能力が必要であることが示されており、本学位論文では移動技術に注視している。次に移動技術に関する技術分類が示され、労働力創出の観点から自律移動技術が必要であることが説明されている。さらに生活環境において人とロボットの共存を考慮した自律移動を実現するための安全性について説明され、経路計画技術の重要性が記されている。特に、本学位論文では、人が生活する空間での自律移動について着目し、「死角領域を考慮した自律移動」、「動的障害物を考慮した自律移動」における経路計画技術をそれぞれ提案する。

第２章では本学位論文の前提となる自律移動システムの概要が述べられている。移動ロボットの自律移動システムは、自己位置推定、地図生成、認識、経路計画の４つの技術により構成されている。自律移動を実現するための大きな流れとしては「自己位置推定」と「地図生成」により、地図上でのロボット自身の位置を把握する。次に「認識」により、カメラや測域センサ等でロボット周辺の人や物等の障害物の位置・速度を把握する。そして、これら情報を用いて「経路計画」では現在の位置から所望の位置までの経路を周辺環境との衝突や移動効率を考慮しながら生成し、自律移動を実現する。本学位論文は自律移動の実現のために Robot Operating System (ROS)を用いている。あわせて使用する移動ロボット Turtlebot2 のモデリングや座標系についても記されている。

第３章から第４章が本論文の根幹をなす部分である。第３章では、「死角領域を考慮した自律移動」についての提案が行われている。人が生活する空間での自律移動において、人に危害を加える状況として、死角領域からの人の飛び出しが衝突の可能性を高める。そこで死角領域を考慮する手法が研究されており、「環境設備依存型」と「非環境設備依存型」の２つに大別される。本学位論文ではセンサ情報から死角情報を認識する「非環境設備依存型」の手法として死角領域を考慮した局所的経路計画を提案している。センサとして Laser Range Finder (LRF) や RGB-D カメラから環境情報を取得し、死角境界座標を実時間で算出する。算出した死角領域において人が存在する可能性がある位置を推定し、人の推定位置を危険領域の中心座標とし、人が全方向移動すると仮定して円状にコストに伝播させる事で危険領域を表現した。その後、ロボットの運動制約を考慮した局所的な経路計画手法である Dynamic Window Approach (DWA) の経路算出において危険領域のコストを考慮することで、死角領域とロボットの運動制約を考慮した経路計画がリアルタイムで可能となった。結果、死角領域に接近した際に減速を行ったり、死角領域から遠ざかったりする等、安全性を向上させる動作を自律的に実現可能となる。また、ROS を用いて、死角領域からの飛び出しが生じる場合や、複数の静的・動的な障害物が混在する場合等、実環境を模擬したシミュレーションを実施した。シミュレーションにより提案した死角領域を考慮した自律移動技術を用いることで、人が生活する空間での自律移動における安全性の向上についての有効性を実証した。

氏名	小林　聖人

第 4 章では、「動的障害物を考慮した自律移動」についての提案が行われている。人の生活空間では人等の動的障害物が複数混在するような時々刻々と変化する環境であり、ロボットと障害物との衝突の可能性が高くなる。そこで、人等の動的障害物が混在する環境下での自律移動手法として、仮想マニピュレータと DWA に基づく局所経路探索手法である Dynamic Window Approach with Virtual Manipulators (DWV)を本学位論文では提案した。仮想マニピュレータは障害物回避手法の一つであり、障害物との距離に応じて複数の仮想マニピュレータを発生させ、それぞれの仮想マニピュレータに応じた反発力を生成することで、反射的に障害物回避を行う手法である。DWV では経路候補生成に着眼点を置き、仮想マニピュレータと静的・動的障害物の予測位置によって修正された可変速度を用いて非直線・非円弧経路を含む経路候補を生成する。生成した経路候補から評価関数に基づき最適な経路を選択する。静的・動的な障害物が存在する環境においても非直線経路や非円弧経路を含む障害物回避可能な経路を生成可能となる。複数の静的・動的な障害物が混在する環境下において、ROS を用いたシミュレーションおよび Turtlebot2 を用いた実機実験において DWV の有効性を検証した。結果、人の生活空間において人等の動的障害物が複数混在するような時々刻々と変化する環境下において安全な走行が可能となった。

最後に第 5 章で結論をまとめている。以上のように本学位論文では人が存在する生活空間で稼働するロボットの自律移動の実現に注視し、死角や人等の動的障害物が複数混在する様な環境での自律移動技術の安全性向上に貢献している。

本学位論文で提案されている局所的軌道計画手法は一般化された手法であり、他の軌道計画手法への適応も可能である。そのため、本学位論文における提案技術は基礎的で重要な工学的定見を得たものとして価値のある集積である。提出された論文は海事科学研究科学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の小林聖人は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。