

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月23日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700228

研究課題名（和文） 自律移動機能群の安全状態を維持する能動的観測計画

研究課題名（英文） Active measurement planning for keeping safety of autonomous functions

研究代表者

竹内 栄二郎（TAKEUCHI EIJIRO）

東北大学・災害科学国際研究所・助教

研究者番号：00509680

研究成果の概要（和文）：

動作によりセンサの視野を補うとで、未知の障害物が存在する環境にて安全かつ高速に目的地に移動するための動作計画問題を扱う。本研究では、測域センサを回転することで3次元の計測が可能な装置を用い、ロボットの位置およびセンサの角度を、障害物の検知状況および位置推定状況に応じて決定する、動作計画法を提案した。実機にて、本手法により従来の一定周期の計測に対し1.5倍から2倍の速度での走行が可能となることを示した。

研究成果の概要（英文）：

This project is research of motion planning that compensates sensor sight with robot motion in unknown environments. The target sensor of this research is swinging 3D range scanner. The proposed planning method searches best trajectory and sensor angle to find obstacle and localize the robot position. The method achieves 1.5 to 2 times running speed with safety compare with constant cycle scan method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：モーションプランニング

1. 研究開始当初の背景

人の生活する環境で動作する移動ロボットや、自動走行車両等には、高い安全性と共に、低価格化が求められる。人の生活する環境では、人や、人によりものが動かされ環境が変化する。そのような環境で安全に動作するためには、経路上の障害物となりうる物体の位置を把握し、避けて走行することが必要となる。従来は、十分な視野を持つセンサを用いるなどし、これらを検出していた。しかしながら、視野・計測距離・精度等はセンサのコストに直結する。一方、安価なセンサで走行することを目的とした移動ロボットでは、見えていない場所は障害物が無いと仮定するか、見えていない場所は走行しない等とする

場合があったが、この場合見えていない障害物にぶつかるか、走行不能に至る場合があった。本研究は、これらを解決し、視野の限られたセンサであっても、センサ角度やロボットの位置姿勢を変更することによりこれを補い、安全かつ高速に移動する経路を求める。これにより、安全かつ安価な自律移動手法を実現する。

2. 研究の目的

移動ロボットに能動的な観測装置を搭載し、位置・静的障害物・動的障害物の検知状況に応じ観測方向を変える事で、安全性と高速性を両立した自律移動を実現する事を目的と

する。人は行動目的に対し情報が不足している場合、情報を増やすための観測動作を行う。たとえば左右確認、目を凝らす、ゆっくり進む、等である。本申請は走行の決定に必要な静的・動的な障害物情報や推定位置情報の質や量が不足している際に、これらの情報を能動的に獲得する全身の動作計画を行い、安全性を一定以上に維持しつつ高速な移動を実現する。

3. 研究の方法

本申請の実現には、自律移動のための基本的な機能（位置推定・障害物検知・動的障害物検知）が実現されている必要がある。位置推定・障害物検知の基本的機能については、すでに申請時にて実現済みである。

本申請ではこれら進捗をふまえ、23年度は障害物検知と位置推定を同時に満たす観測計画問題を解くため、次の3点に取り組んだ。(a) 位置推定・障害物情報の検知状態と安全性の関連付け (b) 位置推定・障害物情報の安全性を向上する注意領域の生成 (c) 各注意領域を観測する観測動作計画問題。

また24年度は動的障害物検知を加えた問題を解くため、次の3点に取り組んだ。(d) 動的障害物情報の検知状態と安全性の関連付け (e) 動的障害物情報の安全性を向上する注意領域の生成 (f) 各注意領域を観測する観測動作計画問題とその一般化である。

研究体制として、動作計画に関する研究要素に対しては主に研究代表者が担当し、認識機能の安全状態の定義と、動的障害物検知等に関しては研究協力者との共同で研究を行った。

4. 研究成果

23年度は、実験環境の整備として、移動ロボット及び2次元レーザスキャナに1自由度の駆動能力を加えた能動計測装置の開発を行った。また、安全な自律移動のための観測計画として(a) 位置推定・障害物情報の検知状態と安全性の関連付け (b) 位置推定・障害物情報の安全性を向上する注意領域の生成 (c) 各注意領域を観測する観測動作計画問題に取り組んだ。

(a)については障害物情報の検知状態を占有度ボクセルマップとして表現し、未観測の領域を3次元的に把握可能とした。また、位置推定については、位置推定の分散を検知状態とした。(b)については、障害物検知については未観測領域を注意領域とし、位置推定については位置推定精度を向上するためのランドマークを注意領域とした。(c)については、注意領域毎に距離や推定精度に応じて優先度を定め、先度が高い順番に注意領域を走行しながら観測する速度計画法を提案・実装した[学会発表(1), (2)]。

24年度は23年度に実現した静的障害物への対応に加え、動的障害物検出を観測動作計画を行う。24年度の研究計画では(d) 動的障害物情報の検知状態と安全性の関連付け (e) 動的障害物情報の安全性を向上する注意領域の生成 (f) 各注意領域を観測する観測動作計画問題とその一般化、の3点が課題であった。(d) (e)については、特に不可視領域内にある動的障害物への対処が課題であった。これに対し、観測対象として未観測領域に加え、観測の確からしさを示す情報を加えた。また動作計画の予測ステップにおいて、不可視領域内の未観測領域が不確かさが想定する動的障害物の移動速度に応じ伝搬するよう変化するように拡張することで実現した[学会発表(6)]。(f)については、23年度に実現した2次元平面上での視野を考慮した経路計画問題の解法を基として、観測対象、動作セットおよび評価関数を変更することで3次元スキャナの観測計画問題に拡張し、方法論自体の共通化が可能であることを確かめた。同時に、共通化に伴い高速化手法が適用できず計算時間が増大する課題が見出された。

本研究を通しての大きな成果として、3次元スキャナの観測計画[学会発表(1), (2)]と、観測を考慮した移動ロボットの経路計画[学会発表(3), (4), (5), (6)]があげられる。

3次元スキャナの観測計画手法は、走行予定経路上の未観測領域を走行しつつ効率的に観測するためのロボットの速度およびスキャナの角度を計画する手法である。提案手法では、図1中+印で示す前方の未観測領域から、現在のスキャン方向および最近傍のみ観測領域から一定距離の間に存在する未観測領域を計測対象とし(図中Ⓐ)、それらすべての未観測領域を計測可能なスキャナの角速度を決定することで観測角度・角速度を求める。

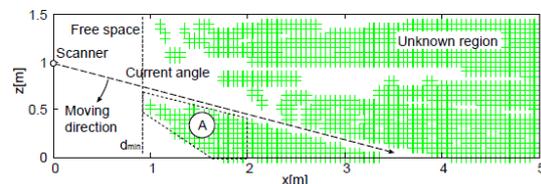


図1 走行経路上の未観測領域と観測対象

提案する3次元スキャナの観測計画手法を用いることにより、走行予定経路に対して未観測領域に進入しない速度で走行する実験を行い、通常の一速度での揺動に対し、1.5倍から2倍の走行速度で走行できることが確認でき、安全性を維持しつつ高速に移動することを実現した[学会発表(2)](図2)。

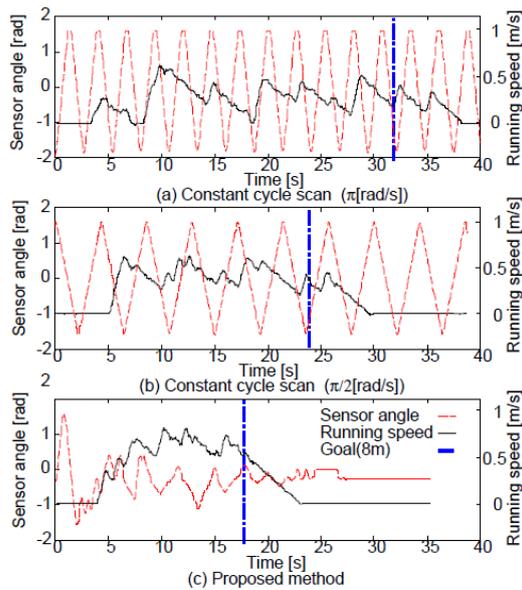


図2 3次元スキャナの計測角と走行速度

提案した3次元スキャナの観測計画ではロボットの経路を事前に指定する必要がある[学会発表(1), (2)]。提案手法では、事前の計画は従来の既知地図もしくは計測済みの地図を用いて行なっている。しかしながらこの場合、条件によっては計画された走行経路が事前に観測不可能な場合が存在し、本手法での解決が不可能となる。この問題に対し本研究では、経路計画において観測を考慮し、走行によって観測しうる領域を予測することで、事前に観測可能な経路を計画する手法を提案した[学会発表(3), (4), (5)]。

図3は経路計画例であり、図3(a)は後ろ側が目的地であり、通常は後退することが最短経路であるが、後方は未知領域であるため衝突の危険がある。それに対し本手法では、一度観測済みの場所へ移動し回転を行い後方を確認してから動作する経路が得られている(図3(a) 1-4)。これにより未観測領域への侵入量を76から0へ減らすことができ、衝突の危険を削減することができる。また、図3(b)では前方が目的地であるが、視野が狭いため直進した場合未観測領域への侵入量が110と非常に大きい。それに対し、本手法では、左右に回転することで前方の確認を行った後に進むことで、侵入量を68に削減することができる。

図3(b)で示した例は、一つの評価関数を元に生成された結果であるが、人が行うような左右確認動作が生成された興味深い例である。

本手法では、経路計画における状態量に移動ロボットの位置姿勢に加え地図情報を有する。そのため探索空間が膨大になり、現実

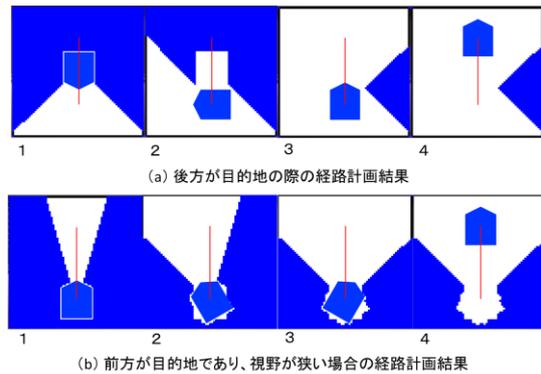


図3 視野を考慮した経路計画結果

的な時間で解を求める事ができない場合が存在する。それに対し、本研究では地図情報の重複検査の効率化およびヒューリスティック関数の改善により、現実的な時間で解くことを実現した[学会発表(4)]。本手法は走行経路を事前に観測可能な経路を生成する。予定経路上に障害物を発見した場合再計画を行い、これを繰り返すことで障害物に可能な限りぶつからず目的地に到達可能な動作を生成可能である。図4は再計画を実装し、測域センサを有する移動ロボットに適用し、未知環境で実験を行った結果である。センサは観測計画の効果を検証するため前方(図右側)120度に制限しており、ロボット周辺に任意に障害物を配置した。様々な障害物配置で実験を行ったが、全てにおいて障害物にぶつかることなく目標位置に到達することが可能であった。

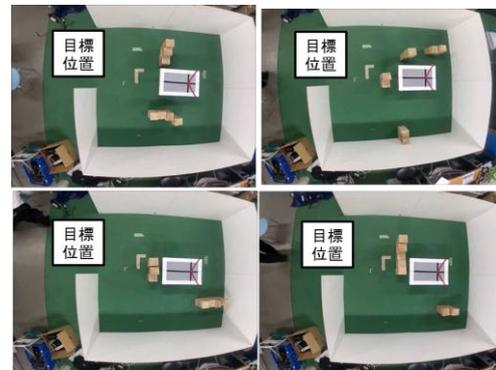


図4 未知物体に囲まれた状態からの脱出動作例

以上、本研究開発を通し、上下に揺動する3次元スキャナの観測動作計画問題に対し、空間中の未観測領域を注意点として観測対象とし、それらを掃引するアルゴリズムを実現し、移動ロボットが従来より高速かつ安全に走行可能であることを実機にて検証を行った。また視野に制限がある問題に対し、経路計画の際に移動により観測可能となる場所を予測することで、障害物を衝突前に検出

可能な安全な経路を生成可能であることを示し、また実機にて検証を行った。本手法は平面環境で解いているが、前述した3次元スキャナの計測計画の事前計画手法として用いることで、3次元問題への適用が可能であると考えられる。

これらの研究開発により、物理的に性能の限られるセンサを用いた場合でも、それを考慮した計画手法を用いることで、その性能を補うことが可能であり、安全性、高速性、およびコストを両立させる事が可能であることを示した。また、観測情報を状態として持たせることで、単一のコスト関数に基づく動作計画手法であっても、左右確認など人が自然に行う動作が生成される等、動作計画手法の延長線上としての、人の行動生成原理の解明への可能性を得たと考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 6 件)

- (1) 竹内 栄二郎、大野 和則、田所 諭、生活環境走行のための観測動作計画、日本機械学会 2011年度年次大会、S151012、2011年9月16日、東京
- (2) 竹内栄二郎、大野和則、田所諭、計測方向が変更可能な測域センサによる障害物検知のための計測動作計画、ロボティクス・メカトロニクス講演会2012、2012年05月27日～2012年05月29日、静岡県浜松市
- (3) 菅原直樹、竹内栄二郎、大野和則、田所諭、移動に伴う局所障害物地図の更新の予測による移動ロボットの動作計画、ロボティクス・メカトロニクス講演会2012、2012年05月27日～2012年05月29日、静岡県浜松市
- (4) 菅原直樹、竹内栄二郎、大野和則、田所諭、観測による地図更新を予測する経路計画の高速化と安全走行の検証、日本ロボット学会第30回記念学術講演会、2012年09月17日～2012年09月20日、北海道札

幌市

- (5) 菅原直樹、竹内栄二郎、大野和則、田所諭、計測範囲の限られた移動ロボットのための走行予定経路を観測可能な経路計画、第18回ロボティクスシンポジウム、2013年03月14日～2013年03月15日、山形県上山市
- (6) 菅原直樹、竹内栄二郎、大野和則、田所諭、動的環境における既観測領域の変化の予測に基づく移動ロボットの動作計画、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013、2013年05月22日～2013年05月25日、つくば

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
竹内 栄二郎 (TAKEUCHI EIJIRO)
東北大学・災害科学国際研究所・助教
研究者番号：00509680

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()
研究者番号 :