

オクルージョンにおける情報の不確かさを考慮した 自律移動ロボットの動作計画法

Mobile Robot Motion Planner for Occluded Obstacles

2171022



研究代表者

宇都宮大学 工学部

准教授

星 野 智 史

[研究の目的]

米国の DARPA Robotics Challenge や我が国のつくばチャレンジでは、ロボットの実用化に向け、自律移動の研究が行われている。しながら人の行き交う環境では、現状、自律移動の実現には至っておらず、人間と機械（ロボット）の共存に向けた課題がここにある。図1にてロボットは、目的地へ自律移動している。

この時、ロボットの前方では B の存在により C がセンシングの範囲外となってしまう。この遮蔽領域のことを、オクルージョンと言う。オクルージョンから C が突然現れると、移動中のロボットと衝突してしまう危険性がある。これが、共存環境においてロボットが自律移動する際の課題となる。この課題の解決により、人間とロボットの調和を促進することが本研究の意義である。

そこで本研究では、オクルージョンでの情報

の不確かさを考慮した自律移動ロボットの動作計画法 VOO（Velocity Obstacle for Occlusion）を新たに開発する。そして、実験を通じて有効性の検証を行う。

[研究の内容、成果]

1. Velocity Obstacle for Occlusion

ロボットは、オクルージョンにおける人を観測することができない。そのため、人の情報は不確かなものとなる。そこで、この情報の不確かさを定量的に扱う。本研究では、VO（Velocity Obstacle）をオクルージョンにおける動的障害物をも考慮した動作計画に拡張する。これを VOO と名付けた。そこでまず、人 i がオクルージョンに入るまでに観測によって得られた速度および移動方向に関する統計データを特徴量として用いる。人 i の特徴量は、速度の平均 $\bar{v}_i$ と分散 $\sigma_{v_i}^2$ 、移動方向の平均 $\bar{\theta}_i$ と分散 $\sigma_{\theta_i}^2$ とする。

さらに、周囲の観測可能な人 j の情報を用いて、オクルージョンにおける人 i の位置を推定する。VOO では、オクルージョンにおける人の占有範囲を円形で推定する。この推定範囲は、人 i が観測できなくなる直前の位置に対して、VO における人 i の占有範囲 (I) と同様の範囲で生成される。これにより、人の移動速度の推定値 $\hat{v}_i$ と移動方向の推定値 $\hat{\theta}_i$ は、それぞれ以下

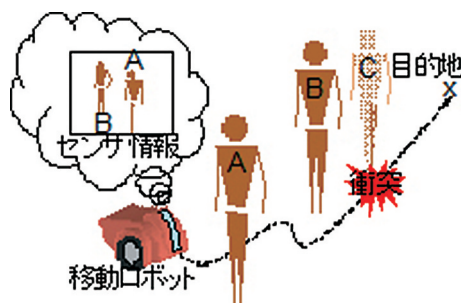


図1 人間とロボットの共存に向けた課題

の式から求めることができる。

$$\hat{v}_i = \frac{1}{1 + j_{\max}} \left[\hat{v}_i + \sum_{n=1}^{j_{\max}} v_n \right]$$

$$f(\hat{\theta}_i) = \frac{1}{2\pi I_0(k_j)} \cos\{k_j \cos(\hat{\theta}_i - \bar{\theta}_i)\}$$

以上の2式により、オクルージョンにおける人の速度と移動方向が推定される。しかしながら、時間経過とともに推定結果に誤差が生じる可能性がある。

そこで、人が占有する範囲を拡大する。本研究では、占有範囲を円形で定義する。そのため、この推定円の半径 $\hat{r}_i$ は、以下の式から求められることとなる。

$$\hat{r}_i = r_i + e_i \Delta t$$

この式に基づき、推定範囲は、半径を拡大しながら移動する。本手法では、観測可能な障害物に対して v_o を求め、オクルージョンにおける動的障害物に対して v_{oo} を求める。図2に、 v_o と v_{oo} の領域を示す。

そして、これらの領域の外側、かつ、移動目的地方向に最も近い速度でロボットは動作を計

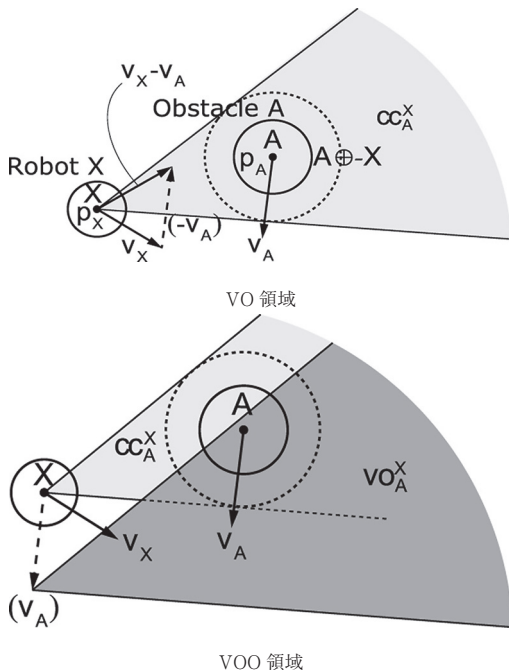


図2 動作計画におけるVOとVOO領域

画する。

2. シミュレーション実験

図3に、本シミュレーション実験で対象とする環境を示す。なお、ロボットに搭載されたセンサは、半径4[m]の範囲で人を観測することができ、ロボットは最大移動速度0.6[m/s]でA地点からB地点へ移動するものとした。

ロボットに、VOとVOOを適用した場合で、目的地までの移動に要したおよび衝突回数に注目する。VOでは、オクルージョン問題によりロボットと人は衝突してしまった。一方でVOOでは、ロボットは人と衝突することなく目的地に到達することができた。両者による移動時間は、VOが12.67[s]、VOOが12.17[s]となり、ロボットは、オクルージョンにおける人への衝突回避行動をとったにもかかわらず、時間に差は見られなかった。これは、ロボットが出会い頭で衝突を回避する必要がなかったためである。図4では、ロボットの移動軌跡を比較している。

VOでは、ロボットの軌道の急激な変化が見られる。これは、右から来た人との衝突回避後に、オクルージョンから出てきた人に対して衝突回避行動をとったためである。しかしながら、その際に衝突してしまう結果となった。一方VOOでは、オクルージョンにおける人に対しても動作計画を行ったため、VOの結果に比べ緩やかであるが大きく迂回する軌道が見られる。これにより、出会い頭での衝突および、それに

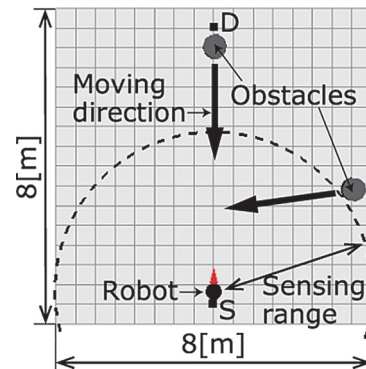
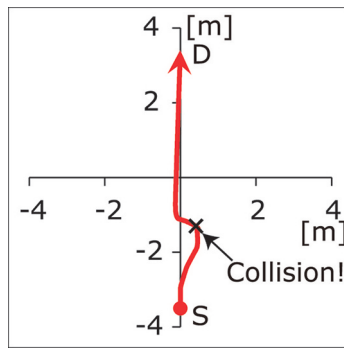
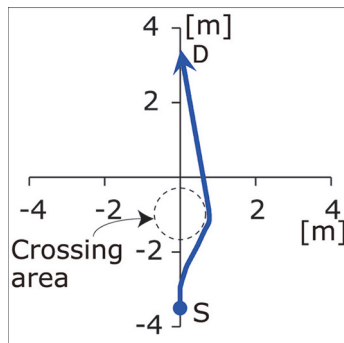


図3 ロボットと人が共存する環境



VO による軌道



VOO による軌道

図4 衝突回避における軌道の比較

伴う急激な衝突回避行動の必要がなくなり，結果として速やかに目的地に到達できる結果となった。

3. 実機実験

さらに，実機でのロボットを通じた実験を行いその有効性について検証するため，図5に示す移動ロボットに3次元LIDARを搭載し，これによる実験を行った。

図6は，本学体育館における実験環境を示している。

図7は，VOとVOOを適用したロボットが，オクルージョンから現れた人（Person B）に対してとった衝突回避行動の様子を示している。

VOによる結果では，ロボットは手前の人Aに対してのみ動作計画を行い衝突を回避した。その結果，人Bが遮蔽領域から現れた際にロボットとの距離が接近し，人Bがロボットを避けたため衝突するには至らなかったが，この結果は，ロボットのより安全な自律移動の観点からは好ましいものではない。



図5 3次元LIDARを搭載した移動ロボット

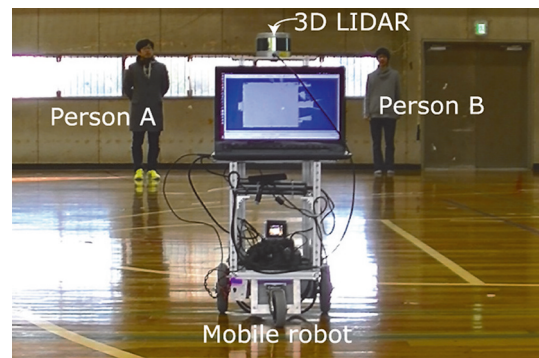


図6 実機実験でのオクルージョン問題



VO



VOO

図7 オクルージョン問題に対するロボットの衝突回避行動の比較

一方 VOO による結果では、人 B が遮蔽されると、それに対する動作計画を行った。そのため、ロボットの軌跡は VO のみの場合に比べ大きく迂回することとなった。ロボットとこの人 B が最も接近した際も、写真からわかるように両者は十分離れており、ロボットは止まることなく移動し続けることができた。

以上のことから、シミュレーションと実機、両方の実験結果から、本手法のオクルージョン問題に対する有効性を示すことができた。

[今後の研究の方向，課題]

本研究では、体育館という屋内でのロボットの移動を想定した。今後は、屋外環境での移動を想定した研究を進める。そのため、本助成金により、屋外で移動可能なロボットを製作した。

本ロボットには、3次元 LIDAR に加え、環境認識のためのステレオカメラも搭載されている。今後は、本ロボットによる屋外でのオクルージョン問題の解決に取り組む。



[今後の研究の方向，課題]

- 1) 芳川知樹，星野智史：動的障害物のオクルージョンにおける情報の不確かさを考慮した移動ロボットの動作計画法，第 35 回日本ロボット学会学術講演会，RSJ2017AC3B1-04, 2017.
- 2) S. Hoshino and T. Yoshikawa : Motion Planning of Mobile Robots for Occluded Obstacles, Journal of Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 30, No. 3, pp. 485-492, 2018.