

# センサの死角を考慮して安全な移動経路選択を行う 自律移動ロボット

黒坂 翼 金子 正秀

電気通信大学

## 1. はじめに

日常的な空間内をロボットが移動する場合、壁や柱、置物などにより、ロボットに搭載した外界センサ LRF(Laser Range Finder)からは見えない領域、すなわち死角が存在する。死角から突然人が出てくるとロボットと衝突する可能性がある。このため、センサの死角を考慮した安全な速度でロボットを移動させる手法を検討する必要がある。関連研究[1]では、環境中に存在する死角領域の大きさと、移動領域の幅によりロボットの速度を決定する手法を提案している。しかし決定された速度が、安全という観点から見て最適かどうかの検証がなされていない。[2]では、移動速度を人が恣意的に決定している。

本論文では、ロボットの減速性能を考慮しつつ、死角や障害物とロボットの距離に応じた速度制御をリアルタイムで行う方法を提案する。更に減速による時間的な遅れを考慮し、移動時間を最短にするような経路を生成する。

## 2. 環境による速度制御

### 2.1. 速度制御要因

本論文では、ロボットが移動する際に減速する要因として、次の3つを設定する。速度制御を行うために、周囲環境を示した図1のような地図を与える。

- (1) ロボット正面方向の死角までの距離
- (2) ロボット側面方向の物体までの距離
- (3) ロボット正面方向の物体までの距離

これらの距離からロボットの減速を考慮した速度  $V_{occ}$ ,  $V_{side}$ ,  $V_{front}$  を求める。これらの最小値  $V$  がロボットの位置  $(x, y, \theta)$  での最適な速度となる。つまり同じ場所を通る場合でも進む方向が異なれば、その場所での最適速度は異なる。

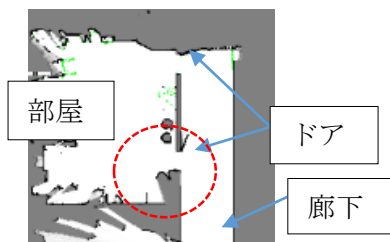


図1 事前に与えられる地図

### 2.2. 停止可能最大速度

ロボットが距離  $x$  先で停止するためには、手前から負の加速度  $Decel$  で減速を開始する必要がある。この瞬間の  $x$  先で停止可能な速度  $V_{stop}$  は、以下の計算により求まる。

まず、速度  $v$  は時間  $t$  を用いて式(1)で表される。

$$v = Decel \cdot t \quad (1)$$

次に時刻  $t = 0$  から  $t = t'$  までの間に移動する距離  $x_{move}$  は

$$x_{move} = \int_0^{t'} Decel \cdot t \, dt = Decel \cdot \frac{t'^2}{2} \quad (2)$$

となり、これを変形すると

$$t' = \sqrt{\frac{2x_{move}}{Decel}} \quad (t \geq 0) \quad (3)$$

となる。この  $t'$  を距離  $x_{move}$  までの猶予時間とみなし  $x_{move} = x$  とすることで次のように  $V_{stop}$  が求まる。

$$V_{stop} = t' \cdot Decel \quad (4)$$

### 2.3. 死角による速度調整

図2は図1の丸内で、ロボット(黒丸)が部屋内から廊下側を向いている状態での LRF の可視範囲を表す。青が LRF の可視領域、緑が障害物などの物体、赤が直接観測できない死角領域である。つまりロボットの正面に死角領域が存在する状態を示す。このようにロボットが死角の存在する方向に進む際、もし人が図2のような経路で移動した場合、ロボットが死角や減速能力を考慮せず直進すると、人と衝突する可能性がある。死角領域に人が存在する可能性を考慮し、前もって減速を開始することで、実際に人が居た場合にも、ロボットが人との間で距離的余裕を持って停止し、人との衝突を回避することが出来る速度で移動する必要がある。

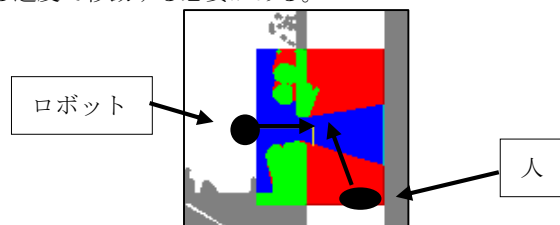


図2 LRFの可視領域

人が存在できる面積をもつ、ロボットから最も近い死角領域までの距離を  $x_{occ}$  とすると、死角による速度  $V_{occ}$  は  $x_{occ}$  によって決まる速度であり、式(3)において  $x_{move} = x_{occ}$  とすることで、死角までの猶予時間  $T_{occ}$  が求まる。現時点で取るべき速度は、 $T_{occ}$  と式(4)から決定される。

$$V_{occ} = T_{occ} \cdot Decel \quad (5)$$

ただし、実際にはオフセット距離  $X_{offset}$  を設けて

$$X'_{occ} = X_{occ} - X_{offset} \quad (6)$$

として計算している。

### 2.4. ロボット側面方向の物体による速度調整

ロボットの側面に壁や障害物(物体)が存在する場合、ロボットが物体すれすれを高速に走ると、フィードバックにかかる時間などで制御が遅れた時に壁に衝突するリスクが高くなり、衝突した際の影響も大きくなるため避けることが望ましい。ロボット側面から側面の物体までの距離を  $X_{side}$  とすると、最も危ないパターンとして、物体側の車輪を中心とした回転動作を行う場合が考えられる(図3)。そこで  $X_{side}$  がロボットの片輪を中心とした旋回半径  $X_r$  以下の時に減速動作を行う。この時、ロボット側面方向の物体による速度  $V_{side}$  はロボットの最高移動速度を  $X_{max}$  として式(7)で定義する。

$$V_{side} = \frac{v_{max} \cdot x_{side}}{x_r} \quad (7)$$

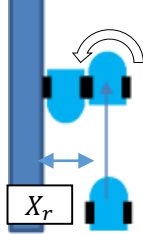


図3 ロボットの旋回半径

2.5. ロボット正面方向の物体による速度調整

ロボット正面に物体がある場合、物体に到達した時に停止可能な速度で移動する必要がある。ロボットから正面の物体までの距離を  $X_{front}$  とすると、ロボット正面方向の物体による速度  $V_{front}$  は、 $X_{front}$  によって決まる速度であり、式(3)において  $x_{move} = x_{front}$  とすることで、猶予時間  $T_{front}$  が求まる。現時点で取るべき速度は、 $T_{front}$  と式(4)から決定される。

$$V_{front} = T_{front} \cdot Decel \quad (8)$$

ただし、実際にはオフセット距離  $X_{offset}$  を設けて

$$X'_{front} = X_{front} - X_{offset} \quad (9)$$

として計算している。

2.6. 経路生成

以上の速度制御を適用すると、移動経路長が最短の経路が最小時間で移動できる経路とはならない可能性がある。そこで移動時間をコストとして、コストが最小になる移動経路を求める。予め与えた地図上に等間隔にノードを配置し、あるノード  $a$  からノード  $b$  を向いた時にその地点での最適速度  $V$  が求まる。更にノード  $ab$  間の距離  $X_{ab}$  が求まるので、ノード  $ab$  間の移動時間  $T_{ab}$  は式(10)で表される。

$$T_{ab} = \frac{V}{X_{ab}} \quad (10)$$

この移動時間  $T_{ab}$  をコストとしてダイクストラ法により最小移動時間となる経路を求める。

3. 経路生成とシミュレーション結果

以下の条件においてシミュレーションを行い、最短経路と生成された経路及び移動速度を色の变化で表した結果を図4に示す。また各経路における移動距離及び移動時間を表1に、移動速度を図5に示した。

- ダイクストラ法のノード間隔: 0.400[m]
- ロボットのサイズ: 0.500[m]
- 最高速度: 0.100[m/s]
- 減速度: 0.200[m/s<sup>2</sup>]

表1 各経路の移動距離と移動時間

	最短経路	生成経路
移動距離[m]	19.5	20.0
移動時間[s]	56.4	44.0

3.1. 移動経路の評価と速度制御関数の有効性

提案した速度制御を行った場合に生成される経路と最短経路をシミュレータ上で比較した。

表1が示すように、最短経路で移動する時間よりも、生成経路での移動時間のほうが短い。これは移動距離が伸びることによるコスト増加よりも、死角を減少させ、壁から離れるような経路を取ることでのコスト減少のほうが大きいからであると考えられる。図5からも、時間が  $s = 80$  から  $s = 250$  程度の区間で、生成経路の方が最短経路よりも相対的に移動速度が速いことが確認できる。

スタート地点からすぐ近くのドアを抜ける際に、図2に示すように死角領域が大きく発生する。この死角によってドア手前で減速していることが図4のAの部分で青くなっていることから確認できる。図4, 5からは分かり辛いのが、この死角を抜けた直後の減速は、Bに示す壁が、ロボットの正面に来ることによるものである。

以上より、提案した速度制御は有効に動作することがシミュレーションで確認できた。また減速を考慮した移動時間が最小となる移動経路を求めることができた。

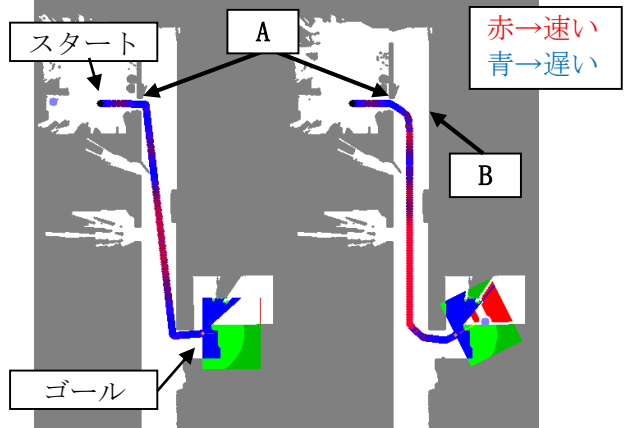


図4 最短経路(左)と生成経路(右)

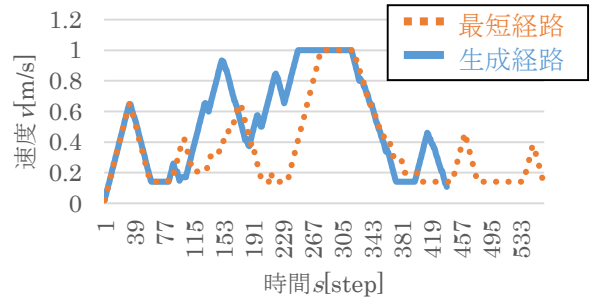


図5 各経路における移動速度グラフ

4. むすび

本論文では、自律移動ロボットに搭載された LRF に死角が発生する場所を考慮し、万が一死角から人が飛び出しても安全に停止することが保証される速度で移動する速度制御手法を提案した。更に速度制御により減速することを考慮した上で、最小移動時間で移動可能な経路を生成した。提案手法によって速度制御を行う場合、最短移動経路が常に最小移動時間な経路になるとは限らず、最適な経路が別に存在することがシミュレーションにより確認された。今後の課題としては、人などの動物体がロボットに向かってきても、動物体の移動経路を予測することで、センサの死角を考慮した上で更に安全な速度を求め、経路を再生成することなどが挙げられる。

参考文献

[1] 萬礼応, 森口智規, 高橋正樹: “自律移動ロボットの環境地図とセンサ情報に基づく隠れ領域を考慮したリアルタイム速度制御,” 第35回人工知能学会 AI チャレンジ研究会, pp. 48-52, 2012. 5. 4.

[2] Seokgyu Kim, Minki Choi, Jaesik Choi, Hoyeon Kim, Chang-bae Moon and Jae-Bok Song: “Safe navigation of a mobile robot considering visibility of environment,” IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 56, No. 10, pp. 3941-3950, Oct. 2009.