

個人空間を考慮した時空間 RRT による自律移動ロボットの動的経路生成

ト 憲輝† 中村 友昭† 金子正秀†

電気通信大学†

1 はじめに

近年、ロボットの研究・開発が盛んに行われており、中でも移動ロボットは自身の周囲環境を把握して人や障害物に衝突しないような経路を生成して移動を行う。

一方、日常生活空間において人間と共存し、人間の社会空間を尊重しながら行動するようなロボットにおいては、部屋や廊下の形状や障害物を認識するだけでなく、周囲の人物の個人空間を考慮し、自らの行動形態、移動経路を自律的に決めていく機能が必要となる。

黒坂ら[1]は移動障害物の移動量の曖昧性を考慮し、時空間での移動障害物を斜円錐台とし、斜円錐台の内部のサンプリング確率を変化させることで、動的障害物から離れた経路が、より生成されやすくなる手法を提案した。中村ら[2]は時空間 RRT とサンプリング阻害モデルを用い、オクルージョン領域などの衝突危険範囲にサンプリングを阻害する場所を追加する手法を提案した。しかし、これらの手法は単純に移動障害物の移動予測のため、生成された経路が人から離れる場合があるが、個人空間をあまり考慮されておらず、近くの人に不快感や不安感を与える危険性がある。

本論文では、混雑環境下において、ロボットが環境内の人物の個人空間を考慮しながら、経路生成を行う手法を提案する。混雑時には経路が生成しにくくなる、これに対応するため、混雑度によって個人空間の大きさを自動的に変化させ、経路を生成しやすくすることにより、ロボットが停止してしまうことを起きにくくする。これにより、個人空間を考慮した移動障害物に衝突しない安全な経路を生成できることをシミュレーションにより検証する。

2 個人空間モデルの概要

人の身体周辺の一定距離範囲内には、自分と関わりのない他者に侵入されると不快感や不安感を引き起こす目には見えない空間が存在し、それを個人空間(personal space)と呼ぶ。人の状態を $p(x, y, \theta, v)$ とし、個人空間モデルを二次元のガウス関数 $\phi_p[3]$ で定義する。人の状態 p はガウス関数の中心であり、 Σ は変数 q の共分散であり、パラメータ σ_x, σ_y は個人空間の形状を定義する。

$$\phi_{p,\Sigma}(q) = e^{-\frac{1}{2}(q-p)^t \Sigma^{-1}(q-p)}, \Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 \end{pmatrix}$$

一般的に、個人空間は人の前に大きく、人の後ろに小さい。従って、個人空間は、2つのガウス関数の混合によって定義される。人の顔の向きは x 軸の方向を仮定することである。

$$\phi_{p,\Sigma_1,\Sigma_2}(q) = \begin{cases} e^{-\frac{1}{2}(q-p)^t \Sigma_1^{-1}(q-p)} & x \geq 0 \\ e^{-\frac{1}{2}(q-p)^t \Sigma_2^{-1}(q-p)} & x < 0 \end{cases}$$

Σ_1 と Σ_2 は、それぞれこれらの2つの関数の変数 q の共分散である。本論文では、

$$\Sigma_1 = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 \end{pmatrix}, \Sigma_2 = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_x^2 \end{pmatrix}, \sigma_x^2 > \sigma_y^2$$

$x \geq 0$ のとき、人の正面領域を表し、個人空間の形は楕円である；個人空間の形は楕円である； $x < 0$ のとき、人の背面領域を表し、個人空間の形は円である。

3 混雑状況に応じた対応

混雑時に個人空間を考慮するため、経路が生成しにくくなり、従って、混雑度によって個人空間の大きさを自動的に変化させる手法を提案する。混雑度が大きいほど、個人空間が小さいことを望ましい。

一方、ロボットから遠いところの混雑度とロボットの進行との関係がないため、ロボットの進行方向の混雑度を計測しがない。人間の目の視野角が120度のため、ロボットの観測範囲はロボットの進行方向からそれぞれ60度、半径が6mを仮定する。ロボットの観測範囲内の人数は不均衡の可能性があるので、図1の示すようにロボットの観測範囲を平均して5つの領域に分割する。5つの領域の混雑度を計測する。この手法により、観測範囲内の各領域での混雑度の測定は非常に細かくなる。

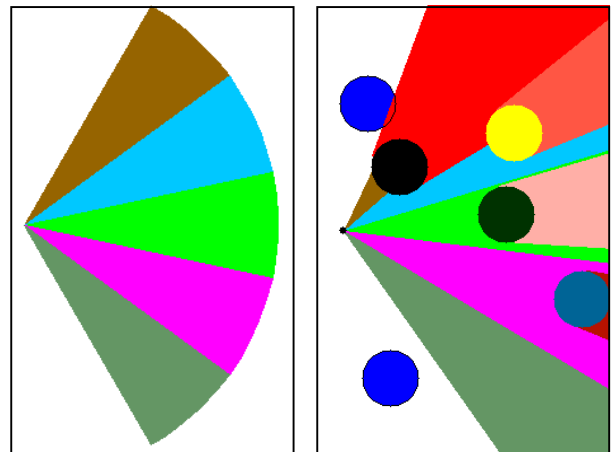


図1 観測範囲の分割 図2 各領域混雑度の計測
混雑度は下記の数式で定義する。混雑度： $C = N/S$

Dynamic Path Planning for Autonomous Mobile Robot with Spatiotemporal RRT Considering Personal Space

†Xianhui BU †Tomoaki NAKAMUR †Masahide KANEKO

†The University of Electro-Communications

図 2 の示すように N は各領域内に観測できる移動障害物 (歩行者) の数である。 S は各領域内のロボットから観測できる範囲の面積 (オクルージョン領域を除いた領域)、オクルージョン領域は観測領域と違う色で表す。

Hall の空間理論によって、人の個人空間の範囲は $0 \sim 1.2\text{m}$ である。密接空間の範囲は $0 \sim 0.45\text{m}$ 。個人空間と密接空間との最大値によって、最初に混雑度の二つの閾値 C_1, C_2 を計算する。本研究では人が円で表す。

$$C_1 = \frac{1}{\pi \times (p_{front0} + R) \times (p_{back0} + R)}$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi \times (i_{front0} + R) \times (i_{back0} + R)}$$

$$C_3 = \frac{1}{\pi \times R \times R}$$

ここで、 p_{front0}, p_{back0} は人の正面領域と背面領域との個人空間の最大値である、 i_{front0}, i_{back0} は人の正面領域と背面領域との密接空間の最大値である、 R は人の半径である。

つぎ、混雑度によって個人空間および密接空間の大きさが自動的に変化関係は下記の数式で定義する。 $C < C_1$ のとき、

$$p_{front} = p_{front0}, p_{back} = p_{back0}$$

$$C_1 \leq C \leq C_2 \text{ のとき、}$$

$$p_{front} = p_{front0} - \frac{p_{front0} - i_{front0}}{(C_2 - C_1)} \times (C - C_1)$$

$$p_{back} = p_{back0} - \frac{p_{back0} - i_{back0}}{(C_2 - C_1)} \times (C - C_1)$$

$$C_1 > C_2 \text{ のとき、}$$

$$i_{front} = i_{front0} - \frac{i_{front0}}{(C_3 - C_2)} \times (C - C_2)$$

$$i_{back} = i_{back0} - \frac{i_{back0}}{(C_3 - C_2)} \times (C - C_2)$$

一般に個人空間は密接空間の最大値まで変化する、密接空間を侵入しないほうがいいが、特に混雑の場合は進行のため、密接空間は自動的に変化しなくてはならない。

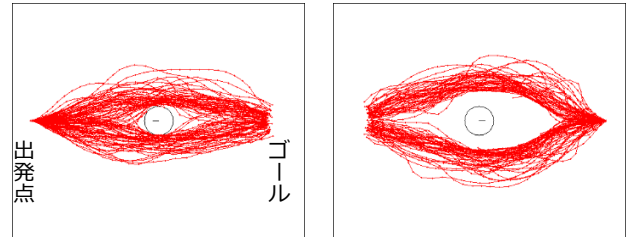
4 経路生成及び衝突の判定

本研究では、経路生成及び移動障害物の移動予測について、黒坂ら[1]、中村ら[2]が提案した時空間 RRT とサンプリング障害モデルに基づいて行う。個人空間を考慮するため、ロボットが人の個人空間内に入ると、衝突として判定する。個人空間モデルは二次元のガウス関数であるため、パラメータ σ_x, σ_y は人の正面領域と背面領域の長さを表す。 σ_x, σ_y が対応するガウス画像が x, y 平面への投影は個人空間領域を表す。個人空間外端が対応するガウス関数の値は $e^{-\frac{1}{2}}$ である。個人空間が中心へ向かうほど、関数の値が高い。従って、ロボットの位置でガウス関数値 ϕ_p を計算し、 $\phi_p > e^{-\frac{1}{2}}$ とき、衝突として判定する。

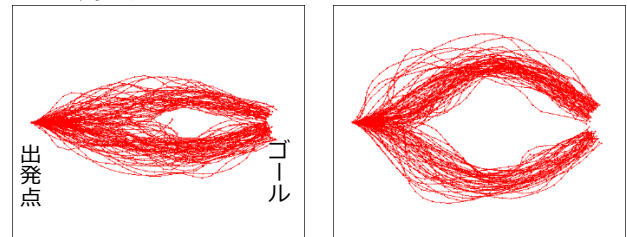
5 シミュレーション実験による検証

5.1 静的及び動的環境下 1 人の検証

ロボットの自律移動経路 (各 100 回ずつ試行)
静的環境下:



a)個人空間の考慮：無
動的環境下:



a)個人空間の考慮：無 b)個人空間の考慮：有

5.2 複数人及び混雑状況の検証

ロボットの自律移動経路 (赤い線)

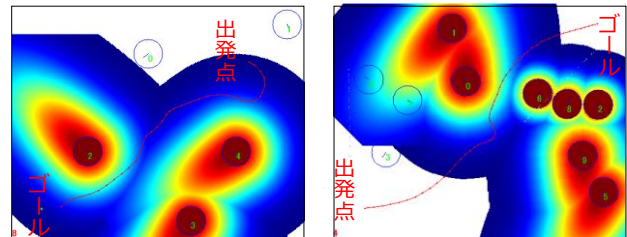


図 3 5 人

図 4 10 人

金色及び金色以内の領域は個人空間を表す。図 3 に示すように 5 人の環境下、5 人の平均的でまばらな分布のため、自動的に計算された個人空間は $C < C_1$ ときの個人空間の最大値である。図 4 に示すように 10 人の環境下、人の位置分布はそれほど平均的ではない。左上と右下の 4 人がまばらに分布しているため、個人空間が大きい。真ん中 3 人が局所の混雑であるため、自動的に計算された個人空間が小さい。シミュレーション結果から、ロボットが混雑度によって、個人空間の大きさを自動的に変化し、個人空間を尊重しながら行動する。

5 参考文献

- [1] 黒坂翼, 中村友昭, 金子正秀: “動的障害物の移動量の曖昧性を考慮した時空間 RRT による自律移動ロボットの経路生成,” 映像情報メディア学会 技術報告, ME2016-13, pp. 49-52, 2016.
- [2] 中村和樹, 中村友昭, 金子正秀: “混雑状況におけるローカル情報を用いた時空間 RRT による自律移動ロボットの動的経路生成,” 映像情報メディア学会 技術報告, ME2017-13, pp. 49-52, 2017.
- [3] H. Laga and T. Amaoka, “Modeling the spatial behavior of virtual agents in groups for non-verbal communication in virtual worlds,” IUCS '09, 2009.