

グループ歩行の行動特性を反映させた 群集挙動モデルの提案

首都大学東京大学院 知能機械システム学域 M2 櫻井隼太郎 (児島研究室)

1. はじめに

群集挙動シミュレーションは人口が集中する都市圏において以下の点で効果的に活用できる。

- ▶ 都市計画や建築設計における安全性の評価や改善
 - ▶ 災害時の避難行動の円滑化
- グループ歩行を導入することで今後、様々な環境におけるシミュレーションが可能となり、以下のような効果が期待される。



- ▶ 大型施設、公共の場における混雑状況、人の流れの把握
- ▶ グループ歩行者の行動特性を考慮したシミュレーションを行い、モデルの予測精度を向上させる

研究目的

- ・グループ歩行者の行動特性を考慮した群集挙動モデルの構築。
- ・グループ歩行者が群集挙動に与える影響の評価。

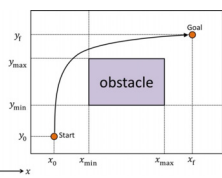
2. 基本モデル

歩行者を平面上に存在する質点と捉えて、速度の変動や障害物回避、停止、追従行動を考慮し、目標位置までの歩行行動を最適化するモデル予測制御問題にまとめることが可能^[1]。

障害物回避制約

$$\begin{aligned} x(t+k|t) &\leq (x_{\min} - \varepsilon(t+k|t)) + M\delta_1(t+k|t) \\ -x(t+k|t) &\leq -(x_{\max} + \varepsilon(t+k|t)) + M\delta_2(t+k|t) \\ y(t+k|t) &\leq (y_{\min} - \varepsilon(t+k|t)) + M\delta_3(t+k|t) \\ -y(t+k|t) &\leq -(y_{\max} + \varepsilon(t+k|t)) + M\delta_4(t+k|t) \end{aligned}$$

$$\sum_{l=1}^4 \delta_l(t+k|t) \leq 3$$



ε : パーソナルスペースの大きさ
 M : 十分に大きな正数 δ : 0-1変数

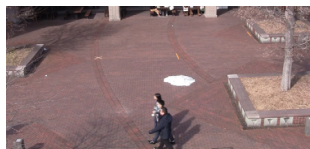
モデル予測制御問題

$$J = \sum_{t=1}^N \left\{ (s(t+k|t) - s_f)^T Q (s(t+k|t) - s_f) + u(t+k|t)^T R u(t+k|t) - c\varepsilon(t+k|t) \right\}$$

$Q \geq 0, R > 0$ $s(t+k|t)$: 歩行者予測位置 s_f : 目標位置 c : パーソナルスペースの重み

$$\min_u J, U := \{u(t|t), u(t+1|t), \dots, u(t+N-1|t)\} \quad \text{subj. to} \begin{cases} \text{状態方程式} \\ \text{位置・速度の制約} \\ \text{衝突回避条件} \\ \text{群集内相互作用} \end{cases}$$

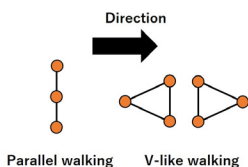
3. グループ歩行者観察



首都大学東京南大沢キャンパス生協広場
2018年1月30日, 12:05-12:20

観察データ		
観察対象	サンプル数 (組)	割合 (%)
単独	35	24%
2人組	22	30%
3人組	16	32%
4人組	4	11%
5人組	1	3%

グループ歩行者のモデル化に際し、歩行者の観察を行った。その結果、2人グループ、3人グループの歩行者の並列歩行の割合が多いことを確認した。グループ歩行をシミュレーションに適用するためモデル化を行う。

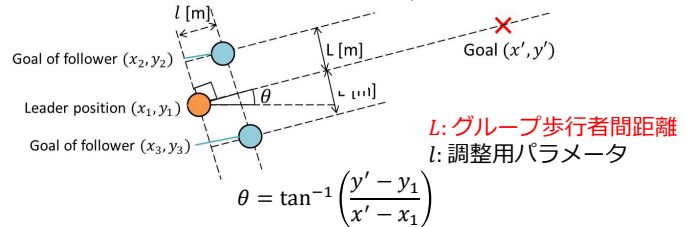


4. 並列歩行モデル

並列歩行を行うグループ歩行者には以下の特徴がある^[2]。

- ▶ 進行方向に対して直交する方向に並んで歩行する。
- ▶ 通常では4人組以上のグループは並列歩行をせず、より小さなグループに分割して行動する。

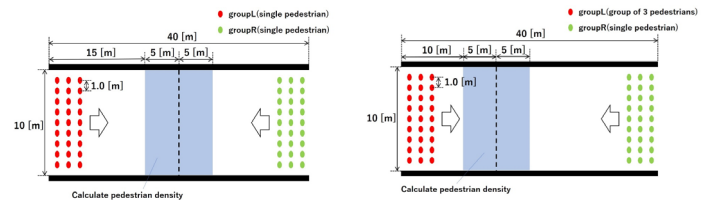
並列歩行を表現するため、以下の式に従い、フォロワーの目標位置を進行方向に直交する方向に定め、ステップ毎に計算する。



$$\begin{aligned} (x_2, y_2) &= (x_1 - L \sin \theta + l \cos \theta, y_1 + L \cos \theta + l \sin \theta) \\ (x_3, y_3) &= (x_1 + L \sin \theta + l \cos \theta, y_1 - L \cos \theta + l \sin \theta) \end{aligned}$$

L : グループ歩行者間距離
 l : 調整用パラメータ

5. 対面歩行シミュレーション

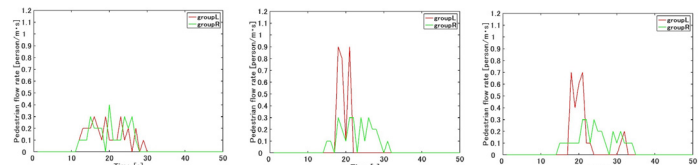


Case 1 レイアウト (全て単独歩行者)

Case 2-3 レイアウト (左側に3人グループを配置)

図のレイアウトに従って、対面歩行シミュレーションを行い、点線における流動係数、通過時間、青色のエリアにおける群集密度を測定し、混雑の様子を調べる。

〈流動係数〉

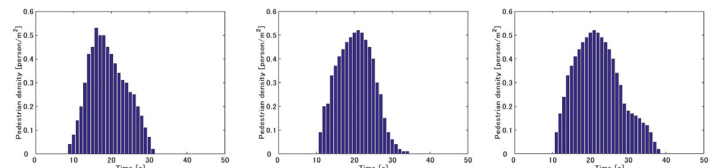


Case 1 (単独歩行者のみ)

Case 2 (L=0.4 [m])

Case 3 (L=0.8 [m])

〈群集密度〉



Case 1 (単独歩行者のみ)

Case 2 (L=0.4 [m])

Case 3 (L=0.8 [m])

Case	平均流動係数 [人/m・s]	通過時間 [s]	滞留時間 [s]
1	0.3000	29	23
2	0.3176	32	24
3	0.2700	35	28

グループ歩行者間距離 L の値を大きくするほど、通過時間と滞留時間が大きくなる。また、グループの配置により、群集全体の行動が妨げられる様子が確認できた。

6. 成果と今後の展望

- ▶ 並列で歩行するグループ歩行者のモデル化を行い、グループ歩行者が群集挙動に与える影響を確認した。
- ▶ 今後は高密度な環境における歩行者のモデル化を行う。

【参考文献】

- [1] 猪鹿倉, 清水, 石橋, 児島: パーソナルスペースを考慮した群集挙動モデリング-ハイブリッドシステム表現に基づくアプローチ, システム制御情報学会論文誌, Vol.26, No.10, pp.345-354 (2013)
- [2] Cristiani, E., Piccoli, B. and Tosin, A: Multiscale Modeling of Pedestrian Dynamics, Modeling, Simulation & Applications Volume12, Springer, pp.6-9 (2014)