

歩行者の動特性を考慮した群集挙動のモデル化と解析

首都大学東京 知能機械システムコース B4 村上 逸平 (児島研究室)

1.はじめに

研究背景

- 近年、高齢者の増加や歩きスマホを行う人の増加から歩行者一人一人の性質を考慮した群集挙動のモデル化が必要である。
- 群集事故を未然に防ぐための建築設計や都市計画の安全性の評価において群集挙動のモデル化は有用である。



Fig.1 混雑が起きやすい場所

→ 検証が難しい群集挙動をシミュレーションによって再現する。

研究目的

- 歩行者の動特性を考慮した群集挙動モデルを構築する。
- 歩きスマホ歩行者を含む群集の流動性を解析する。

2.基本モデル

歩行者を平面上に存在する質点と捉えて、障害物や他者との回避や衝突、追従行動をMLDシステムを用いて表現する。また、速度制約、入力制約、障害物回避における制約を考慮し、モデル予測制御を用いて指定した目標点までの歩行を記述する。^[1]

Mixed Logical Dynamical(MLD)システム

ハイブリッドシステムの一つであり、対象のモード遷移を含めた記述力の高い表現を行い、条件によって連続事象と離散事象の切り替えが可能

モデル予測制御

オンライン計算で制御入力を逐次決定し、ステップ毎に有限な予測区間をずらし続けることで最新の情報で最適な操作を行うことが可能である

2.1 歩行者基本モデル

運動方程式

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} + \mu \frac{dx}{dt} = f_x \\ m \frac{d^2y}{dt^2} + \mu \frac{dy}{dt} = f_y \end{cases}$$

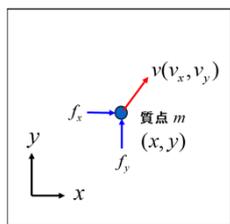


Fig.2 歩行者基本モデル

状態方程式

$$\dot{s} = A_c s + B_c u_k$$

$$s = \begin{bmatrix} x \\ y \\ v_x \\ v_y \end{bmatrix}, A_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{\mu}{m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{\mu}{m} \end{bmatrix}, B_c = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & 0 \\ 0 & \frac{1}{m} \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix}$$

$$s_{k+1} = A_d s_k + B_d u_k \text{ (サンプル時間 } h[s] \text{ で離散化)}$$

$$s_k = [x_k \quad y_k \quad v_{xk} \quad v_{yk}]^T$$

$$A_d = e^{A_c h}, B_d = \int_0^h e^{A_c \tau} B_c d\tau, u_k = [f_{xk} \quad f_{yk}]$$

2.2 評価関数

$$J = \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ (s_{t+k|t} - s_f)^T Q (s_{t+k|t} - s_f) + u_{t+k|t}^T R u_{t+k|t} - c \varepsilon_{t+k|t} \right\}$$

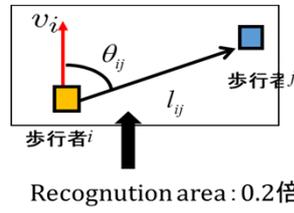
Subj. to $\left\{ \begin{array}{l} \text{状態方程式} \\ \text{位置・速度の制約} \\ \text{衝突回避条件} \\ \text{群集内相互作用} \end{array} \right.$

3.シミュレーション

3.1 歩きスマホ歩行者モデル

- ✓ 最高速度の低下
- ✓ 認識領域の低下
- ✓ 反応時間が大きくなる

Reaction time: 2.3 倍
Pedestrian velocity: 0.7 倍



Recognition area: 0.2倍

Fig.3 歩きスマホ歩行者モデル

3.2 シミュレーション

歩きスマホ歩行者を含む対面歩行を行った。

表1 シミュレーション条件

	通常歩行者	歩きスマホ
歩行最高速度[m/s]	1.5	1.05
予測ホライズン	5	2
認識距離[m]	5	1
パーソナルスペース[m]	0.5	0.5
最大速度の多角形[°]	12	12
ステップ時間[s]	0.25	0.25
重み	0.4	0.4
割合 [%]	75	25

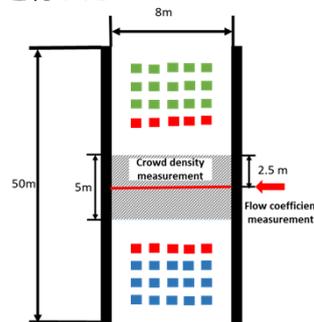
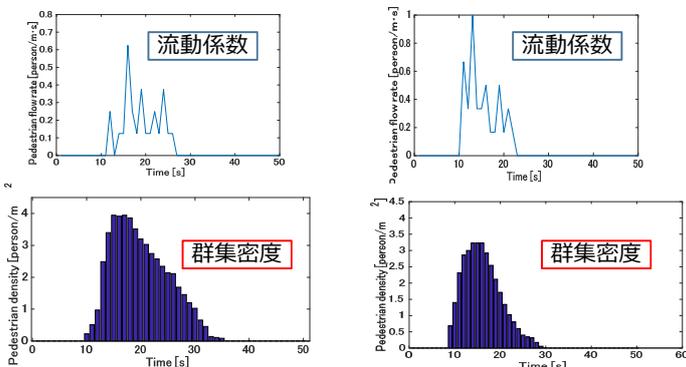


Fig.4 初期状態

3.3 シミュレーション結果



Case 1 (歩きスマホあり)

Case 2 (歩きスマホなし)

- 異なる動特性を持った歩行者は群集全体の流動性に大きく影響する。
- 歩きスマホを含むとき、群集密度が4を超えた。

4.終わりに

まとめ

- 歩行者の異なる動特性を考慮したモデルを提案した。
- 群集内の歩行者が異なる動特性をもつ場合、群集全体の流動性が大きく影響を受けることが確認される。

今後の展望

- 同様のレイアウトでの歩行実験を行い、シミュレーションモデルの有用性を検討する。

参考文献

- 幸加木, 児島: MLDシステム表現に基づく群集挙動のモデリングシステム制御情報学会論文誌, Vol.23, No.7, p.139-146(2010)
- 原, 児島: 線形モデル予測制御におけるオンライン最適化計算の低減 システム/制御/情報, Vol.56, No.3, p.128-135(2012)
- 小林史, 小林吉, 持丸, 三林: 歩きスマホが反応時間および歩行動作に与える影響 人間工学, 第51巻, 特別号

