

ソーシャルフォースモデルにおける経路計算手法の改良

(株)NTTデータ数理システム 豊岡祥 山本晃成

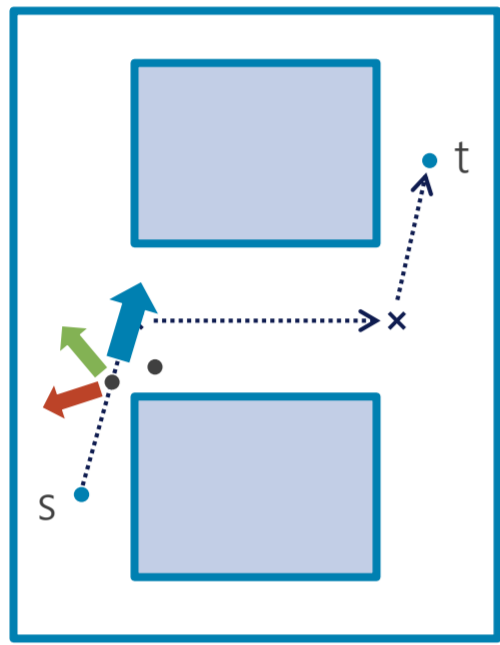
ソーシャルフォースモデル(SFM)

- * 群集行動の力学ベースモデルのひとつ
- * 多数のエージェントが相互作用しながら目的地に向けて移動する様子を表現する
- * 公共施設内の混雑シミュレーション、避難シミュレーションなどに応用

☆シミュレーションの流れ

1. エージェントの出現位置s・目的位置tが与えられる
2. sからtへの経路を計算する
3. シミュレーションの各時間ステップごとに以下を行う:
 - i. 経路上に可視な仮目的地dを設定する
 - ii. SFMの力学モデルによって速度を計算し、移動する

$$m \frac{dv}{dt} = m \frac{v_0 e(t) - v(t)}{\tau} + \sum_i f_i + \sum_w f_w$$



経路に沿って進むようとする推進力
 $e(t)$: 仮目的地に向かう方向ベクトル
 $v(t)$: 速度ベクトル

f_i : 他エージェント i から受ける外力

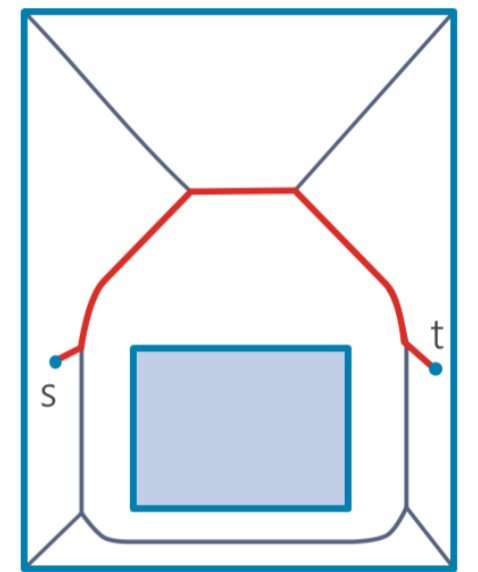
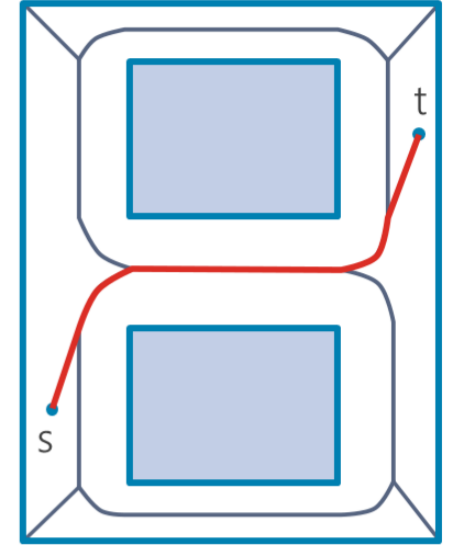
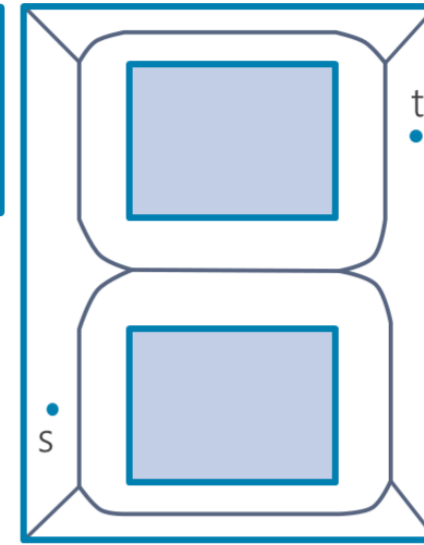
f_w : 障害物 w から受ける外力

ボロノイ図法 (CMM)

障害物同士の中間の経路を最初に計算しておく手法

1. 移動領域の辺を要素とする(一般化)ボロノイ図を描いておく
2. sからtまで、ボロノイ図の境界線を経由する経路を求める
3. 仮目的地は、経路上の点で可視なものうち、最も遠いもの

ボロノイ図:
 障害物同士の「中間」を与える
 線分・曲線



○ 前処理はボロノイ図+境界線グラフ上の最短路で比較的高速

→ コンピュータゲームのAIの移動ロジックにも使われている

○ 障害物から離れた曲線的な経路が得られる

× 障害物位置によっては不自然な大回りをすることがある(右図)

パス改良法 (TIM)

基本的にはボロノイ図法と同じだが、最適化計算によってパスを自然(経路長が短く、なめらかな形状)にする

1. ボロノイ図法で経路を求める
2. 1.の経路を折れ線 $\{p_0 = s, p_1, p_2, \dots, p_n = t\}$ で近似する
3. 各区間を等速で動いたとして速度 $\{v_1, \dots, v_n\}$ を求める
4. 次の項の総和を目的関数 $f(p_0, \dots, p_n, v_1, \dots, v_n)$ とする最小化問題を解く ※1

各折れ線の長さの2乗

i. 距離の2乗和 $\sum_{i=0}^{n-1} \|p_i - p_{i+1}\|^2$

ii. 障害物ペナルティ

$$\sigma_1 \sum_{i=1}^n c_\epsilon(d(p_i))^2$$

iii. 慣性を考慮したペナルティ

$$\sigma_2 \sum_{i=1}^{n-1} \|v_i - v_{i+1}\|^2 + \|p_i + t \cdot v_i - p_{i+1}\|^2$$

$d(p)$: pから障害物までの距離 ※2

$$c_\epsilon(d) := \begin{cases} 0 & d > \epsilon \\ \epsilon - d & d \leq \epsilon \end{cases} \text{ ヒンジ関数}$$

→ 障害物から ϵ 以内に居るとペナルティ

速度の変化幅

位置変化と速度の整合性が取れている

5. 3.の最適解から新たな折れ線 $\{s, p_1, p_2, \dots, p_n, t\}$ を得る

※1 目的関数は非線形関数の2乗和の形になっており、これはLevenberg-Marquart法で効率的に最適化できる

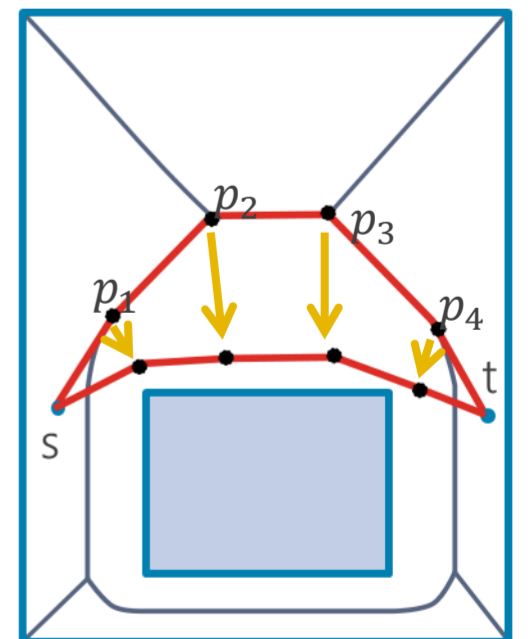
※2 障害物との距離はEuclidean Distance Transformという手法で高速にあらかじめ計算しておく。

○ CMMの解を自然に短く後処理できる

○ パラメータ ϵ, σ を調整することで多様な経路を実現できる(左下図)

○ エージェントごとに異なるパラメータでシミュレーションすることで、多様な経路を選ぶようになり、自然な動作をする

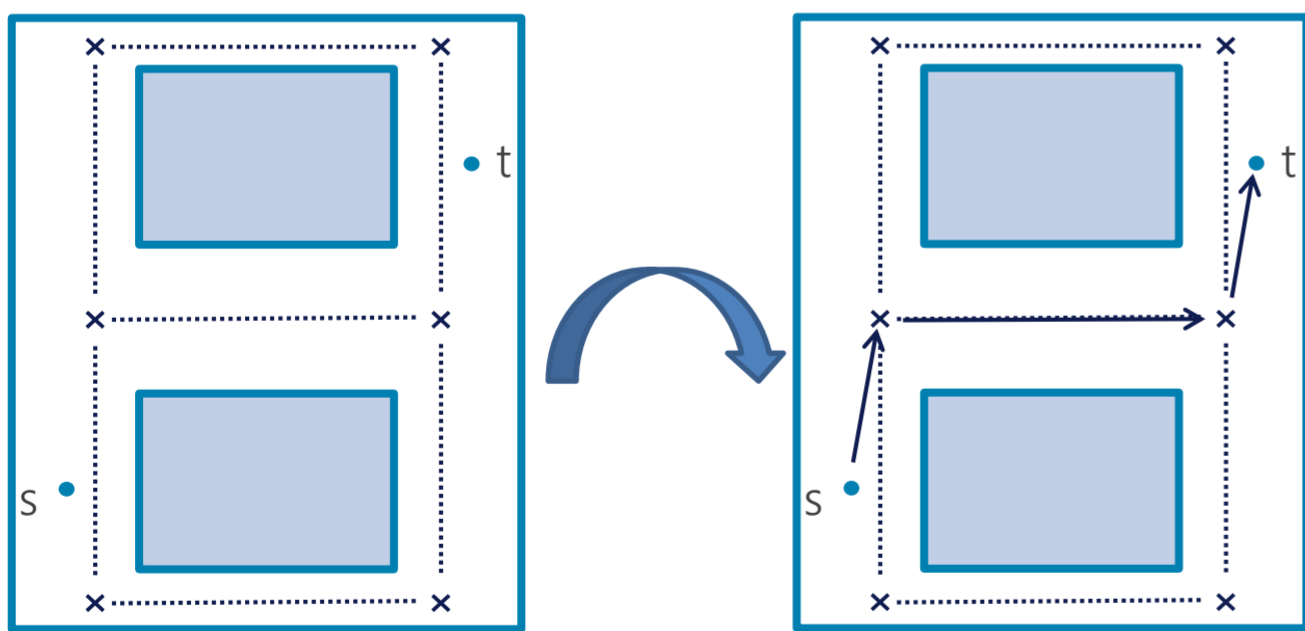
× 最適化を使うため計算時間がかかる



経路グラフ法 (PGM)

グラフの最短路計算アルゴリズムを用いる手法

1. あらかじめ、移動可能領域上に経路のもととなるグラフを用意しておく
2. sからtまで、グラフ上のエッジを経由する経路を求める
 経路はグラフ上の最短路の経路長情報(これもあらかじめ計算しておく)を用いる
3. 仮目的地は、グラフ上の次のノード



○ 経路グラフの描き方(ノードをどこに置くか、等)によってエージェントの動きをコントロールできる

○ 経路グラフを細かく描けば実質的な最短経路を通る

○ 処理はグラフの最短路を1回解くだけなので、高速

× 折れ線上を直線的に進むので、やや不自然な挙動

S4シミュレーションシステムのデモ

S4(エスクワトロ)シミュレーションシステムでは、3つの経路計算手法を実装しており、地図の描画・エージェント出現パターンの記述をするだけでシミュレーションが実行可能!



最適化の反復ごとの経路の変化 ϵ (障害物との距離) を1,3,5,10mで変化 σ (障害物回避の重視度合い) を変化

