

## 飲食店の顧客移動設計を支援するインタラクティブツールの開発 An Interactive Tool for Designing Customer Movements in Restaurants

美濃輪 真吾<sup>†</sup>  
Shingo Minowa

澤山 正貴<sup>†</sup>  
Masataka Sawayama

土橋 宜典<sup>†‡</sup>  
Yoshinori Dobashi

### 1. はじめに

店舗など不特定多数の人間が入り出りするような場所ではだれもが使いやすいような適切な動線設計が必要となる。特に、飲食店においては店員が客の座っているテーブルへ商品を運ぶことも多くあり、その重要性はより大きくなる。しかし、動線設計は経路距離や通路の幅、動線同士の重なりを減らすことなど多くの条件を考慮する必要があり、単純な問題ではない。そこで、本研究ではユーザによる動線設計を支援するインタラクティブなシステムを提案する。

### 2. 提案手法

本システムでは、ユーザはマウス操作により画面上で動線をスケッチすることにより指定する。システムは、入力された動線に逐次更新処理を適用して、席やカウンターなどの障害物を避け、かつ、他の動線との重なりを小さくするような滑らかな曲線へと変換する。求めた動線は Reciprocal Velocity Obstacle(RVO)[1]を用いた人の移動のシミュレーションによりその効率を評価する。

#### 2.1 動線の算出

動線の算出は動的輪郭モデルの Snakes[2]の処理手順を基に、動線計算のための情報を組み込んだ更新式を用いて行う。

まず、ユーザは席や壁、柱などの避けて通るべきオブジェクトの配置を指定する。次に移動開始点から目標点までの大まかな道のりを描き、これを初期値として更新を開始する。

動線は曲線を等間隔にサンプリングした点列として表現し、各点に対して後述する更新式を適用し、その後再サンプリングを行う。更新式は動線に対する制約を表す力の重み付き和となっている。以下に各要素から受ける力の詳細を記す。

##### 2.1.1 滑らかな動線の生成

動線は人の通行を想定しているため、急激な方向変化は望ましくない。そのため、本研究では曲線の二次微分に基づいて滑らかさを保つ制約を加える。すなわち、曲線上をサンプリングして得られた $N$ 個の点において、始点及び終点を除く各点 $\mathbf{p}_k(k = 2, 3, \dots, N - 1)$ には、次式により表される力 $\mathbf{s}$ が作用する。

$$\mathbf{s}(\mathbf{p}_k) = \frac{\mathbf{p}_{k-1} + \mathbf{p}_{k+1}}{2} - \mathbf{p}_k$$

この力により、各点はその前後の点の中間の位置に近づき、なめらかな曲線が得られる。

##### 2.1.2 障害物の回避

動線は人が実際に通行可能な経路でなければならない

め、始点と終点の間に障害物がある場合には、それらを回避する曲線が必要となる。本研究ではこれを実現するため、動線上の各点が事前に配置された椅子や柱などの障害物から反発力を受けるものとしてモデル化する。

障害物はすべて長方形と仮定し、そのローカル座標系は中心を原点とし、四隅の座標が $(\pm 1, \pm 1)$ になるように設定する。点 $\mathbf{p}_k$ が点 $\mathbf{c}_i$ を中心とする障害物 $O_i$ から受ける力を定義するために、まず $\mathbf{p}_k$ の座標を $O_i$ のローカル座標系に変換したものを $\tilde{\mathbf{p}}_k^{(i)}$ とする。また、障害物の頂点のいずれか1点のローカル座標を $\tilde{\mathbf{v}}_i^{(i)}$ とし、その原点からの距離は他の頂点と等しいため代表点として1点を選んで用いる。このとき、点 $\mathbf{p}_k$ が障害物 $O_i$ から受ける反発力 $\mathbf{b}_i(\mathbf{p}_k)$ は以下の式で定義される。

$$\mathbf{b}_i(\mathbf{p}_k) = \begin{cases} m_i(\mathbf{p}_k)\mathbf{u}_i(\mathbf{p}_k), & \text{if } \|\tilde{\mathbf{p}}_k^{(i)}\| < \|\tilde{\mathbf{v}}_i^{(i)}\| \\ \mathbf{0}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで、 $m_i(\mathbf{p}_k)$ は反発の強さを与えるスカラーであり、次式で定義される。

$$m_i(\mathbf{p}_k) = \exp(-\lambda \|\tilde{\mathbf{p}}_k^{(i)}\|) - \exp(-\lambda \|\tilde{\mathbf{v}}_i^{(i)}\|)$$

この関数は $\mathbf{p}_k$ が $\mathbf{c}_i$ から遠ざかるほど値が小さくなり、その距離が $\|\tilde{\mathbf{v}}_i^{(i)}\|$ に達したときに0となるように設計されている。

また、 $\mathbf{u}_i(\mathbf{p}_k)$ は $\mathbf{c}_i$ から $\mathbf{p}_k$ へ方向の単位ベクトルである。

$$\mathbf{u}_i(\mathbf{p}_k) = \frac{\mathbf{p}_k - \mathbf{c}_i}{\|\mathbf{p}_k - \mathbf{c}_i\|}$$

この力により、曲線を表す点群のうち障害物の内部にあるものは障害物の外側へと移動する。

##### 2.1.3 動線同士の重なり回避

動線同士が重なると移動中の人同士の衝突や移動効率の低下を引き起こす可能性があるため、これを避けることが望ましい。そこで、点群に属する各点が他の点群に属する全ての点に対して斥力を及ぼすものとし、動線同士の重なりを抑制する。

各点を中心とする山型のポテンシャルを考え、それらを足し合わせたポテンシャルから勾配を計算する。各点が属する曲線以外の曲線による勾配の逆ベクトルを足し合わせた力を計算する。

### 2.2 動線の評価

動線の評価は動線に沿った人の移動シミュレーションにより行う。移動シミュレーションには、衝突回避を考慮した RVO 手法を用い、シミュレーションから得られる統計情報を計算する。

具体的に、前項の手法によって求めた動線のそれぞれについて、それらの開始点から RVO に基づいて移動するエージェントを一定の時間間隔ですらして複数発生させる。このエージェントは動線に沿って移動し、終点にたどり着くと消滅する。エージェントは互いに衝突を回避する行動をとるが、それによって到着までにかかる時間が一定以上

<sup>†</sup>北海道大学 Hokkaido University

<sup>‡</sup>プロメテック CG リサーチ Prometech CG research

超過した場合も制限時間内に到達できなかったとして消滅する。このときの制限時間には、衝突が生じない場合の移動にかかる時間を基準にユーザが指定する。

以上の条件でシミュレーションを行い、すべての消滅したエージェントの数に対する終点到着して消滅したエージェントの数の比率を到着率として与え、これを動線評価の指標とする。

### 3. 実験

本節では、実際のフロアプランに基づいて席や障害物を配置したシナリオにおいて、複数の動線パターンを評価した結果を示す。なお、以下に示す結果中の各動線は事前に大まかな経路を入力し、提案手法を使用して動線としての形を整えたものである。



図 1 配置パターン A



図 2 配置パターン B

	動線 1	動線 2	動線 3
パターン A	2.6%	22.9%	86.2%
パターン B	55.6%	78.8%	82.4%

表 1 各配置パターンにおける到着率

図中の点線が動線、赤い点はその始点、青い点は終点を表しており、図に示した動線の配置パターンはいずれも画像左上のキッチンから右下の席へ商品の提供などを行おうとする店員による動線 1、左下の席から退店しようとする客による動線 2、右上の入り口から入店して中央部の席に向かう客による動線 3 の 3 つを配置したものである。

配置パターン A における動線 1,2 の到着率はそれぞれ 2.6%,22.9%と非常に低い値となっている。到着率が低くなるのは本来到着までにかかる時間を大きく超過したためであるが、この要因は、右下の店員動線の終点付近で動線 1 と動線 2 が対向して交差していることにあると考えられる。対して、動線 1,2 が画像下部で長距離にわたって重なっている配置パターン B においては動線 1,2 の到着率はそれぞれ 55.6%,78.7%と決して高くはないものの、パターン A ほど

大きく低下しているわけではない。これは先ほどとは反対に動線同士の方向が合致しているためであると考えられる。

当然動線同士の重なりが無ければそれに沿って移動する人同士の衝突も起きないため動線の交叉や重なりは回避すべき要素ではあるが、これらの結果から重なりが生じる場合はその距離を短くするよりも向きを揃えることでより適切な動線設計ができると考えられる。

### 4. おわりに

本研究では飲食店における客や店員の動線設計を支援するためのインタラクティブなツールを提案した。Snakes に基づく動線更新手法と RVO による人の移動シミュレーションを組み合わせることで、現実的な動線生成とその評価を実現した。

今後は、より直感的な評価指標の導入に加えて、客の到着頻度や滞在時間など、実店舗の運用実態を反映したシミュレーション機能の拡張に取り組み、現場応用可能な動線設計支援ツールの開発を目指す。

#### 参考文献

- [1] J. van den Berg, Ming Lin and D. Manocha, "Reciprocal Velocity Obstacles for real-time multi-agent navigation," *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Pasadena, CA, USA, 2008, pp. 1928-1935, doi: 10.1109/ROBOT.2008.4543489.
- [2] Kass, M., Witkin, A. & Terzopoulos, D. Snakes: Active contour models. *Int J Comput Vision* 1, 321-331 (1988). <https://doi.org/10.1007/BF00133570>