

同一性評価と組合せ最適化手法を用いた断片化歩行者動線の復元手法

A Method of Connecting Fragmentary Trajectories using
Evaluation of Identity and Combinatorial Optimization

学籍番号 66836

氏 名 鈴木 智之 (Suzuki, Tomoyuki)

指導教員 柴崎 亮介 教授

Keywords : 動線計測, 断片化歩行者動線, 組合せ最適化

1. 研究背景および研究目的

近年, 駅や空港等の大規模公共施設から, 店舗等の商業施設, 更には, 交差点といった屋外空間等, 実に多種多様な空間において, レーザスキャナやイメージセンサ等の各種センサを用いて, 歩行者の動線を計測するという試みがなされており, このような試みは, セキュリティ・マーケティング等の分野にとって有益である. しかし, 障害物による遮蔽等の要因によって, 動線計測に失敗した場合には, 同一歩行者の軌跡データに対して異なる ID が付加される為に, 断片化された歩行者動線が混在してしまうという問題が存在する. そこで本研究では, 各種センサを用いて計測される, 断片化歩行者動線を復元する手法の提案を行なう. 本提案手法は, 歩行者の挙動・流動把握の助けになるだけでなく, 断片から全体の復元を可能にすることで, 動線計測に要するコストの削減という恩恵ももたらす.

2. 断片化歩行者動線間の同一性評価

本章では, 異なる ID が付加された軌跡データを結合させることに対する尤度を表す, 結合尤度の定義について述べる.

2.1. レーザスキャナベースでの同一性評価

レーザスキャナを用いた動線計測により得られる軌跡データは, 各フレームにおける歩行者の位置座標を保持している. 本研究では, まず, 軌跡データ i の消失点より, 消失した歩行者に見立てた複数個のパーティクルを発生させ, 動線計測空間における歩行者の移動特性に従って移動させることで, 消失した歩行者の位置予測を行なう. ここで, パーティクルを移動させる為に用いる, 動線計測空間における歩行者の移動特性とは, 各地点において, ある方向から到達した歩行者が, 各方向へと移動する確率密度分布(図 1)を表す. そして, 軌跡データ j の出現点における, $x-y$ 移動方向という 3 次元空間上でのパーティクルの存在確率密度により, 軌跡データ i と軌跡データ j の間の結合尤度 $CL(i, j)$ を定義する. $x-y$ 移動方向空間へと, 軌跡データ j の出現点と各パーティクルの特徴量をプロット(図 2)した場合に, 軌跡データ j の出現点付近にパーティクルが密集しているほど, 軌跡データ j の出現点付近に, 消失した歩行者が存在している可能性が高くなるので, 結合尤度 $CL(i, j)$ の値は増大する.

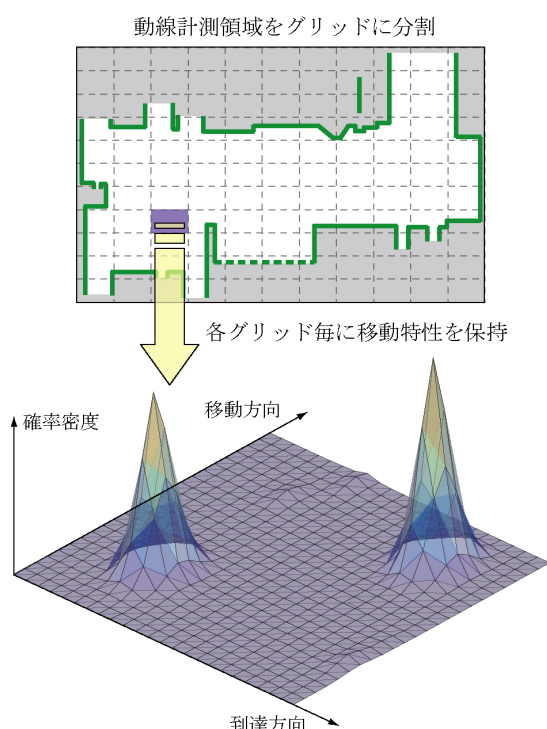


図1 歩行者の移動に関する確率密度分布

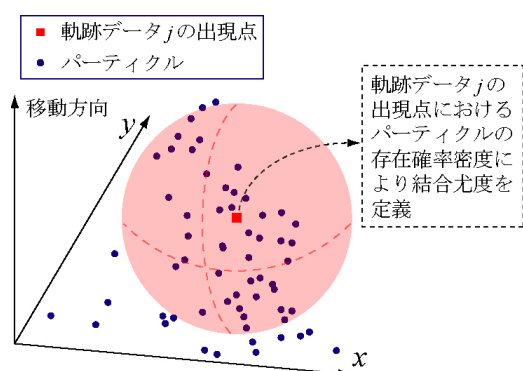


図2 $x-y$ 移動方向空間へのプロット

2.2. イメージセンサベースでの同一性評価

イメージセンサを用いた動線計測により得られる軌跡データは、各フレームにおける歩行者の位置座標に加え、歩行者の外観画像(図3)を保持しており、軌跡データ間の結合尤度は、外観画像間の類似度を考慮する形で定義可能である。外観画像間の類似度としては、画像解析の分野において、画像間の類似性評価指標として代表的な、

Bhattacharyya 距離を用いることができる。

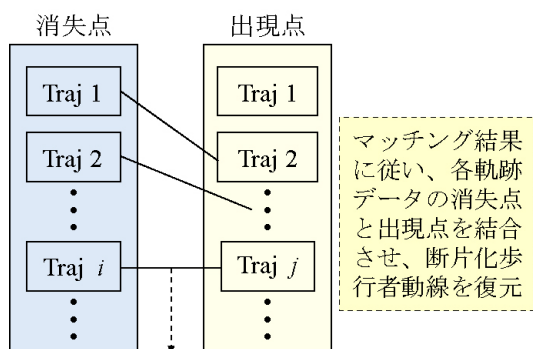
Bhattacharyya 距離とは、二つの離散的確率分布間の距離を求める尺度であり、外観画像間の類似度とした場合には、正規化された二つの色空間ヒストグラム間の距離を表す。



図3 歩行者の外観画像例

3. 断片化歩行者動線の組合せ最適化

本章では、2章において定義した結合尤度の総和が最大となる、軌跡データ間の最適なマッチングを発見する手法について述べる。本研究では、グラフ理論における、重み付き2部グラフの最小重みマッチング問題を利用することで、軌跡データ間の最適なマッチングの発見を可能にした。重み付き2部グラフとは、頂点の集合が2分割されており、重みの付加された辺が頂点集合間にもみ存在するグラフを表す。断片化歩行者動線の組合せ最適化において作成する重み付き2部グラフでは、一方の頂点集合が、各軌跡データの消失点を、もう一方の頂点集合が、各軌跡データの出現点を表し、頂点集合間に存在する辺に付加された重みは、2章において定義した軌跡データ間の結合尤度とする。そして、グラフ理論における既存手法により、重みの総和が最大となる辺集合、すなわち、軌跡データ間の最適なマッチング(図4)を発見する。



頂点 i 、頂点 j 間の辺の重み
 $=$ 軌跡データ間の結合尤度 $CL(i, j)$

図 4 軌跡データ間の最適なマッチング

4. ケーススタディ

4.1. 駅コンコースでの動線計測実験

今回、歩行者の動線計測実験を行なった駅コンコース(図 5)の広さは約 $30\text{m} \times 60\text{m}$ であり、通勤ラッシュ時には、200 人規模の歩行者により占有される。そして実験では、8 台のレーザスキャナを使用して歩行者の動線計測を試みた。

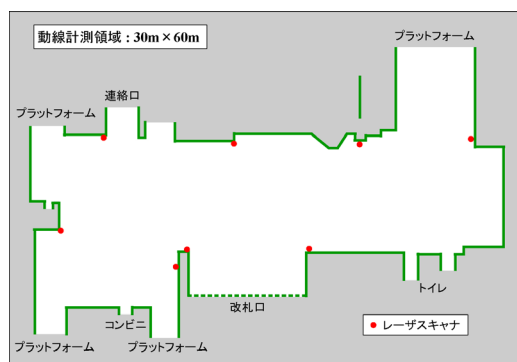


図 5 駅コンコースの平面図

4.2. 前処理の追加

本ケーススタディでは、レーザスキャナベースでの同一性評価と組合せ最適化手法を用いた、断片化歩行者動線の復元手法に、前処理追加することで、より精確に、断片化歩行者動線の復元を試みる。

前処理では、複数人の歩行者が接近している為に、複数人の歩行者を 1 人だと認識し、複数人の動線が統合された軌跡データの発見を試みる。本ケーススタディでは、レーザスキャナより得られ、1 人の歩行者だとクラスタリングされている点群を囲う四角形の対角線の長さをクラスタサイズ(図 6)とし、クラスタサイズに対して閾値を設けるという処理を行なった。このような状況では、歩行者同士が離れることによって、新たに複数人の歩行者の動線計測が開始される為、組合せ最適化において、前述した軌跡データの消失点を表す頂点が、出現点を表す頂点集合に含まれる複数個の頂点との間にマッチングを作成(図 7)する必要性が存在する。

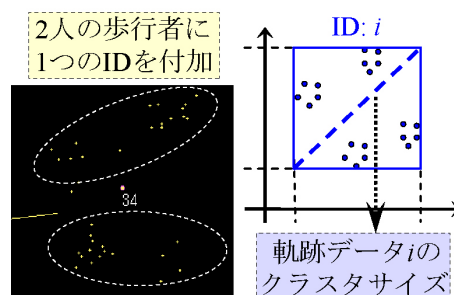


図 6 軌跡データのクラスタサイズ

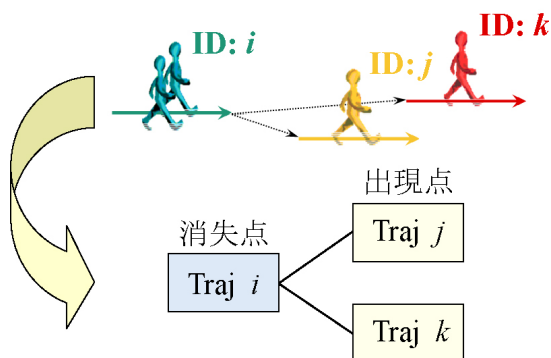


図 7 複数個の頂点間とのマッチング

4.3. 精度検証結果および考察

前述した駅コンコースにおいて、通勤ラッシュ時である午前7:00から午前7:05までの5分間に得られた、全586本の軌跡データに本提案手法を適用した結果、各軌跡データの結合という観点から精度検証を行なうと、549本(93.7%)の軌跡データに関して、結合先が真値と一致した。図8-10に、軌跡データ間の結合に成功し、断片化歩行者動線を復元した例を示す。図8では、軌跡データ592と軌跡データ620が結合し、更に、図9では、軌跡データ620と軌跡データ643が結合する様子を示した。これより、元々ID:592が付加された歩行者は、軌跡データ620で表されるルートを移動し、更に、軌跡データ643で表されるルートを移動したということが把握でき、ID:592が付加された歩行者の、断片化された動線を復元することが可能になった。また図10は、前処理により、軌跡データ822に統合された人数が2人と推定可能になったことより、軌跡データ839と軌跡データ840という2本の軌跡データとの結合に成功した例である。

また、駅コンコースにおける歩行者の流動を把握するという観点から、各歩行者のOD(Origin-Destination)に着目し、精度検証を行なうと、本提案手法を適用することにより、全379人の歩行者のうち、371人(97.9%)のODが真値と一致した。一方、本提案手法適用前は、257人(67.8%)のODのみ把握していたことより、本提案手法により、114人のODを把握可能になったことを表す。これは、本提案手法が持つ、断片化歩行者動線の復元に対する有効性を示す結果であり、本提案手法により、駅コンコースにおける流動把握が可能になったことを表す。

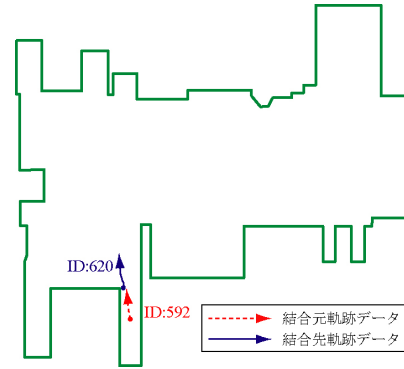


図8 軌跡データ592の結合

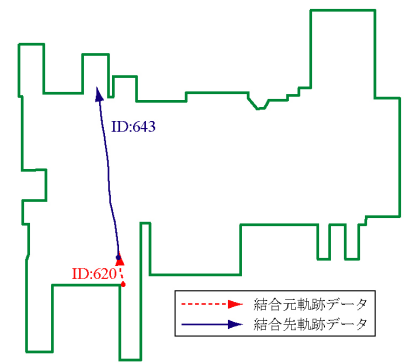


図9 軌跡データ620の結合

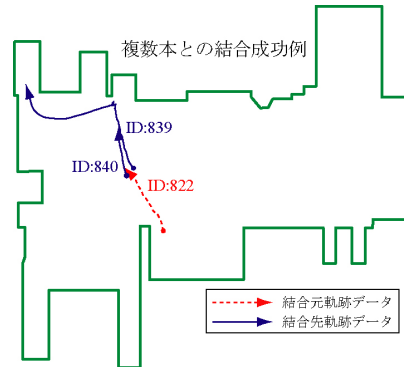


図10 複数本の軌跡データとの結合例

5. 結論

4章より、本研究において提案した、同一性評価と組合せ最適化手法を用いた、断片化歩行者動線の復元手法の有効性を示すことができた。今後は、イメージセンサベースでの同一性評価を用いたケーススタディ等により、本提案手法の持つ有効性と、汎用性の高さを証明したい。