

カメラ映像を用いた地下街歩行者の分布推定方法に関する研究

○高木 尚哉*1 瀧澤 重志*1,*2

キーワード：歩行者 地下街 時空間分布 カメラ映像 背景差分法 ラベリング

1. はじめに

都市空間や施設内での歩行者の時空間分布の情報は、都市計画や防災分野だけでなくマーケティングなどの領域でもとても重要なものになっているが、これまでのところ、任意の場所の最新の時空間分布の情報を、詳細なレベルで容易に取得・利用できる状況にはなっていない。近年、様々なセンサ情報を利用して、人の位置情報を知ろうとする研究の流れがある。しかしこれら技術開発では、センサの設備投資、取得可能な人のサンプル数、プライバシーなどの問題が残されている。

筆者らは、大規模地下街での避難計画への応用という観点から歩行者の時空間分布の情報を必要としている。地下街は電波の届きにくい屋内で、建築空間レベルの精度も求められることから、GPSや携帯電話から情報を取得することが難しい。その一方で地下街には多くの監視カメラが備えられており、その映像を利用することが考えられる。しかし地下街の人の密度は高く、カメラの俯角も浅いため、トラッキングなど人物を完全に切り出す手法はうまく働かないことが予想される。

本研究の目的は、地下街においてトラッキング技術を用いることなく、かつプライバシーにも配慮し、既存のカメラから歩行者の時空間分布をラフに推定する手法を提案することである。既報¹⁾では、地下街のカメラが撮影した映像から切り出した画像の同一行を時間経過に従って積み重ねることで、図1のようにある断面における歩行者の時空間分布を表現し、筆者らが開発したアルゴリズムにしたがって歩行者のラベリングを行い人数の推定を行った。本報では、歩行者の時空間分布の推定方法に加え、歩行者人数を推定する際に課題であった複数の歩行者が重なったクラスターの分割方法の提案を行う。また、断面交通量の推定を視野に入れ、歩行者の移動方向の判別方法についても言及する。

2. 関連研究

この節では、本研究を取り巻く技術の動向に加え、近年

発表された関連研究について紹介する。

歩行者のデータ取得に関する動向として、地震、豪雨、津波などの自然災害からの避難、駅や博覧会場など不特定多数の人が集まる施設の混雑の解消、O2Oサービスのようなマーケティング等を目的として、歩行者や滞留者の時空間分布を把握するための研究開発が行われている。

これらのデータソースとして、パーソントリップ調査、CCTVカメラからの動画データ、自動改札による駅の乗降客数、GPSやRFIDのような近年発達している小型のセンサの情報などが利用されることが多い。一方で、GPSなどの電波が届かない屋内での測位技術として、Bluetooth電波測位手法やWi-Fi電波測位手法などをはじめとした技術開発が行われている。しかし、このような屋内での測位技術は、技術開発の途中であることや、機器の導入コストの問題などが残っており、現状で十分に使えるデータ源とはなっていない。

また、木下ら²⁾による駅コンコースにおけるリアルタイムな旅客流動把握手法についての一連の研究では、断面交通量から空間内のOD通行量と混雑状況をリアルタイムに推計する方法を提案しており、地下街での歩行者の時空間分布の推定を目的とする本研究との関連性が非常に高い。

3. データの概要

本研究では、図2に示す箇所に設置された大阪市が管理する監視カメラの撮影データを用いる。監視カメラは25台稼働しており、2013年6月16日(日)と17日(月)の8:00、10:00、12:00、15:00、18:00の最初10分間の動画データを取得した。元々の動画はAVI形式のフォーマットで圧縮保存されたものであるが、解析を行うために動画から1秒間に約8枚の静止画を切り出して使用する。なお取得した画像は、顔等が特定できない程度にガウシアンフィルタでぼかされている。本報では、既報¹⁾のデータに対するガウシアンフィルタの強度を若干強くして研究を進めた。

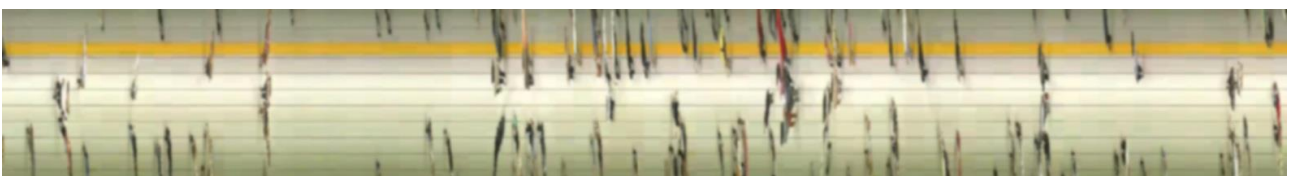


図1 時刻暦断面歩行者画像

4. 歩行者の時空間分布推定の準備

4.1 歩行者流動によるカメラ映像の分類

人の流動の複雑さによって推定結果が変化すると考え、カメラに映る歩行者の流動のパターンを分類した。まずは基礎的な検討として、流動方向が単純な直線の通路を撮影したカメラの映像を推定対象とした。このカメラは、東西約 100m の直線の地下通路を奥行き方向に撮影している。

4.2 時刻歴断面歩行者画像

筆者らは歩行者の時間経過による挙動を把握するために画像内のある行に注目し、図 3 に示すように、連続した複数の画像における同一行を時間経過に従って積み重ねることで前述図 1 の画像を作成した。今回、歩行者の重なりがそれほど多くない 2013 年 6 月 16 日(日)の 10 時 00 分から 5 分間の計 2424 枚の画像を用いた。これを時刻歴断面歩行者画像（以下 THIPS）と定義する。この画像はカメラが撮影した動画のある行、つまり撮影空間内のある断面における時間変化を一枚の画像で表したものであり、歩行者の時空間分布を表現したものと捉えられる。

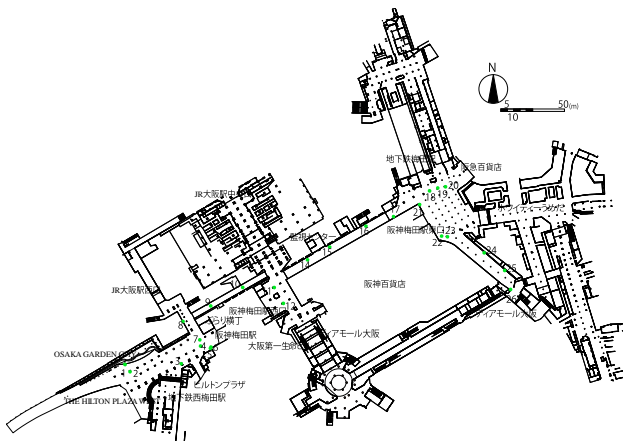


図 2 梅田地下街の対象空間³⁾

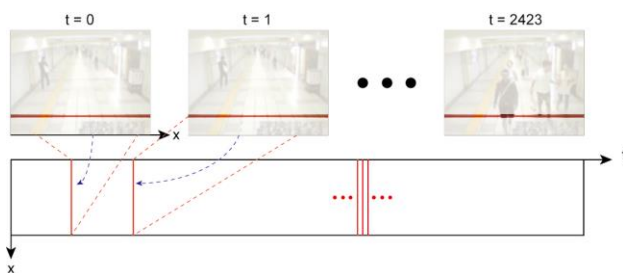


図 3 時刻歴断面歩行者画像の作成

5. 歩行者の時空間分布の推定

5.1 時空間分布推定アルゴリズム

THIPS において、歩行者は同一のラベルが振られた画素のクラスターとしてみなされる。筆者らは、図 1 の THIPS における歩行者領域を抽出し時空間分布を求めるアルゴリズムを開発した。以下にその概要を説明する。

まず、画像の計測範囲内に歩行者が映っていない画像を背景画像と定め、背景差分法により動画から切り出した画像との類似度を画素毎に計算し画素値とする。そして類似度に基づいて歩行者の有無を確認し、すべての画素値を二値化する。最後に、ラベルを振る対象画素に対して近傍画素を調査する以下のルールにしたがって対象画素にラベルを振り、歩行者のクラスターを決定することで各クラスターの重心座標など必要なデータを取得する。

- 1) 調査画素がすべて 0 のとき、新しいラベルを対象画素に振る。
- 2) 調査画素のただひとつが 1 のとき、その画素のラベルを対象画素に割り当てる。
- 3) 調査画素の複数が 1 のとき、調査画素のラベルを最も古いものに統合した上で、対象画素にそのラベルを割り当てる。

5.2 データ構造

以上の過程を経て得られた各クラスターのデータはリストデータとして保持する。つまり、リストのサイズが THIPS における歩行者の数と一致する。本研究では、一つのクラスターを 1 人の歩行者とみなし、クラスターのラベル番号、大きさ（画素数）、重心座標、時間幅（時間方向占有画素数）、そして空間幅（空間方向占有画素数）をデータとして各リストに保持している。

5.3 結果

フリーのコンピュータビジョンライブラリである OpenCV2.3.1 を実装した Microsoft Visual Studio 2010 にてアルゴリズムの開発を行い、図 1 の時刻歴断面歩行者画像において歩行者をラベリングした結果を図 4 に示す。また、図 5 にはラベリングされた各歩行者の画素数の度数分布を示す。これによると、10 画素以下の歩行者が大部分を占めており、画像にノイズが発生していることが考えられる。また、大きな画素数を示す歩行者が含まれることから、複数の歩行者が重なり 1 人としてラベリングされていると考えることができる。そして表 1 には動画画像を目視で確認した歩行者数の実測値とアルゴリズムによって得られた歩

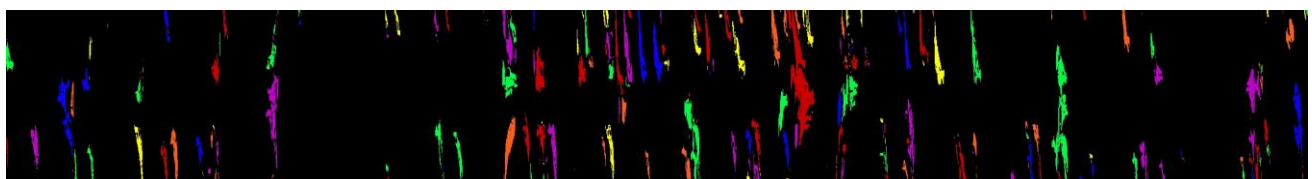


図 4 歩行者のラベリング結果

行者数を示す. 26 画素以下の歩行者を除くと 156 人という実測値に近い値を得た.

5.4 複数の歩行者を含むクラスタの分割

前項で示したように複数の歩行者が断面の通過時に重なることで1人の歩行者として同一のラベルを貼られる可能性がある. このことから歩行者1人の条件を求め, 複数の歩行者で構成されるクラスタを分割するために, リストに格納されるデータを説明変数にした推定モデルを構築する. 構築にはフリーのデータマイニングソフト Weka3.6 を使用した.

図6に示すようにデータセットを作成し, 各ラベルにおける人数はラベリング結果をまとめた csv ファイルから目視で小数点以下第一位までで判断した. このうち, ステップワイズにより, クラスタの大きさ, クラスタの時間幅, クラスタの空間幅を説明変数に選択し人数を推定する重回帰モデルを構築した. このモデルは 0.830 の決定係数を得, 精度を確認した.

このデータセットをもとに, クラスタの時間幅と空間幅を説明変数に歩行者人数を推定する近似関数を最小二乗法により求めた. 近似関数は 0.835 の決定係数を示すもので, 横軸にクラスタの時間幅, 縦軸にクラスタの空間幅をとった時のクラスタの散布図に対し, 図7に示すように分割領域を定めることができる. これに従ってクラスタを分割し歩行者数を計算すると, 表2に示すように42 歩行者が増加するので, 66 画素以下のクラスタを除くと実測値に等しい値を得ることができる.

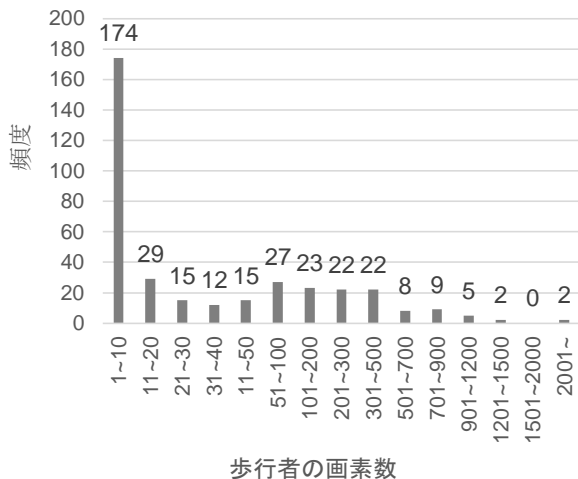


図5 歩行者の画素数の度数分布

表1 歩行者数の比較 (人)

実測値	アルゴリズム	26画素より大きい歩行者数
155	365	156

歩行者ラベル	クラスタの大きさ	重心_時間	重心_空間	時間幅	空間幅	人数
1	2	0	54.5	1	2	0
3	361	4.68698	91.4266	14	55	1
6	79	1.58228	259.772	3	54	1
10	1	47	249	1	1	0
...
913	9	2414	308	1	9	0
914	36	2418.22	8.27778	4	19	0.1
915	26	2422.04	4	3	11	0.1

図6 歩行者ラベルのデータセット

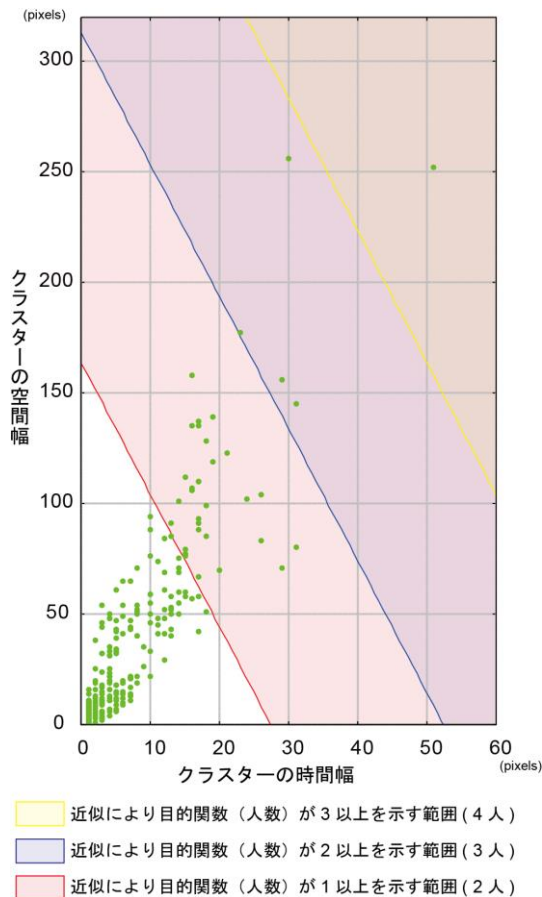


図7 クラスタの散布図と分割領域の関係

表2 クラスタの時空間幅を考慮した人数の増分

画素数	頻度	逆累積頻度	時空間幅の考慮による人数の増分
1~10	174	365	0
11~20	29	191	0
21~30	15	162	0
31~40	12	147	0
41~50	15	135	0
51~100	27	120	0
101~200	23	93	0
201~300	22	70	0
301~500	22	48	10
501~700	8	26	8
701~900	9	18	9
901~1200	5	9	6
1201~1500	2	4	4
1501~2000	0	2	0
2001~	2	2	5
sum	365		42

6. 歩行者の移動方向の判別

6.1 移動方向の判別方法について

前節では断面を通過した歩行者の通過時刻と通過位置を推定するアルゴリズムを紹介したが、空間内の人の数を把握する上でそれに加えて通過した歩行者の向きを求めることが重要になる。筆者らは、異なる断面間において歩行者の挙動の変化を調べることで歩行者の向きを求めることができると考え、その方法を以下に概説する。

図8には異なる断面においてラベリングされる歩行者の位置について示す。これら断面間において、歩行者K (Kを歩行者の重心座標を要素にもつ位置ベクトルとする)の移動する「向き」を式(1)のように「微小空間における重心の変化量」として2次元のベクトル量 $\Delta\vec{u}$ で定義する。そして Δt の正負で歩行者の向きを判別する。本研究では、図9に示すように5画素毎に計3つの断面に関してアルゴリズムを適用し、歩行者の重心の変化量を算出した。

$$K_{|y=\alpha} - K_{|y=\beta} = \Delta\vec{u} = (\Delta x, \Delta t) \quad (1)$$

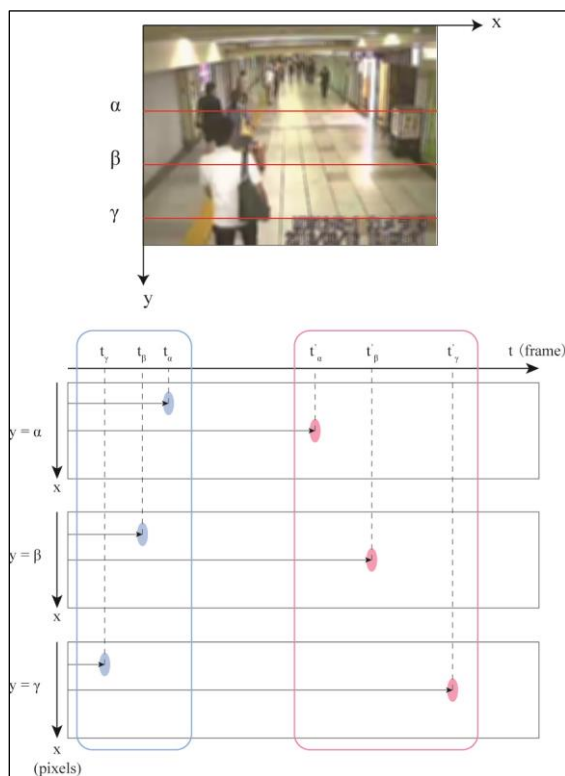


図8 歩行者の移動方向の判別



図9 重心の変化量算出の対象とする3断面の位置

6.2 結果

本報対象の動画像において断面を通過した155人の歩行者のうち、歩行者の重なりがなく完全に1人として独立していると判断できる歩行者83人に対し、3つの断面における重心座標の変化量を計算し、移動方向の正否を確認した。その結果、表3に示すように歩行者の移動方向を正しく計測できたのは74人となり、その正答率は89.2%であった。移動方向を誤って判断しているものは、他の断面でクラスターが分離したことにより重心座標が著しく変化したことが原因であると考えられる。

表3 歩行者の移動方向の正否

対象人数	正しく判断できた歩行者数	正答率
83	74	89.2%

7. まとめ

本研究では、地下街に設置されたカメラ映像から歩行者の時空間分布をラフに推定する方法について紹介した。課題であった歩行者の重なりを高い精度の近似モデルで再現することができた。しかしながら、ラベリングの段階で1人の歩行者を複数のクラスターに分割していることがあり、統合することで精度をさらに高めたい。また、歩行者の移動方向の判別方法に関して高い正答率を得ることができた。今後は、他の空間を撮影する動画像においても推定し、空間内の歩行者数を算出する予定である。

謝辞

データを提供していただいた大阪市建設局、大阪駅前地下街総合共同防火管理協議会、大阪市立大学大学院谷口与史也研究室の皆様へ感謝いたします。また本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(A)とJST CREST ビッグデータに向けた革新的アルゴリズム基盤(代表:加藤直樹関学教授)の援助を受けています。

【参考文献】

- 1) 高木尚哉, 瀧澤重志: カメラ映像を用いた地下街歩行者の分布推定方法に関する研究, 2015年日本建築学会大会(関東)学術講演論文集, シミュレーション, 11032, 2015
- 2) 木下芳郎, 笹澤正善, 吉田圭一, 石間計夫: 断面交通量を用いたデータ同化による駅コンコースのリアルタイムOD通行量推計方法 鉄道駅におけるOD推計技術に関する研究 その2, 2015年日本建築学会大会(関東)学術講演論文集, 歩行流動(1), 5346, 2015
- 3) 合田祥子, 谷口与史也, 吉中進, 瀧澤重志, “大阪駅前地下街の津波避難計画に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.147-148, 2014

*1 大阪市立大学大学院工学研究科

*2 独立行政法人科学技術振興機構, CREST