

# 文字列化による人流データの圧縮と可視化

宮城 優里<sup>†</sup> 大西 正輝<sup>††</sup> 渡辺知恵美<sup>†††</sup> 伊藤 貴之<sup>†</sup>

<sup>†</sup> お茶の水女子大学理学部情報科学科 〒112-8610 東京都文京区大塚2丁目1番1号

<sup>††</sup> 産業技術総合研究所サービス工学研究センター 〒305-8568 茨城県つくば市梅園1丁目1番1号

<sup>†††</sup> 筑波大学システム情報系情報工学域 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1丁目1番1号

E-mail: <sup>†</sup>{miyagi,itot}@itolab.is.ocha.ac.jp, <sup>††</sup>onishi@ni.aist.go.jp, <sup>†††</sup>chiemi@cs.tsukuba.ac.jp

あらまし カメラで記録した映像データから人の歩行パターンや場所ごとの特徴を発見することで交通、防災、マーケティングなど多様な分野に役立つ情報を得ることが出来る。しかし、大量に蓄積した人流データの効率的な分析は未だ課題となっており、特にデータの圧縮とマイニングについては検討の余地がある。本報告では、SAX(Symbolic Aggregate Approximation)を拡張した UniversalSAX を用いる文字列化により人流データを圧縮し、次に n-gram などの文字列用アルゴリズムを適用してマイニングを行う。最後に人流の動線形状や集計結果を可視化することで典型的な歩行パターンや交通量の多い場所などが特定可能になることを報告する。

キーワード 可視化, 人流, マイニング

## 1. はじめに

日々防犯カメラなどで記録されている映像データを分析し、人の歩行パターンを抽出することによって、社会的に役立つ様々な情報が得られる。具体的には混雑の原因究明やより良い避難経路の策定、商品陳列の改良など交通、防災、マーケティングなどの分野と関連が深い。しかし、大量に蓄積し続けている人流データを効率よく解析する手法は不足している。現在、人流の分析は人が映像を直接観察するのが主流であり時間的に大きな負担となりやすい。計算機を用いた人流解析の手法は開発途上にあり、特に大規模データの圧縮とマイニングについて検討する必要がある。本報告では時系列データを文字列に変換する SAX(Symbolic Aggregate Approximation) を、多次元データに適用できるように拡張した UniversalSAX を用いて人流データを圧縮し、自然言語処理手法によって特徴的な情報を抽出する手法、およびこれらの情報を可視化する手法を提案する。

## 2. 関連研究

本章では人流やその他の動線データ解析の手法について簡単に紹介する。

時空間情報を実数値のまま扱って分類、可視化する手法は既に多数発表されている。藪下ら [1] は規定の通路が存在しない場所で人流データを取得、分類したのちに主要な歩行経路を要約可視化する手法を提案している。問題点として動線の分類基準が通過地点のみであり、時間帯や歩行速度に関するパターンが読み取れないことがあげられる。福手らによる研究 [2] [3] では、スペクトラルクラスタリングを用いて人流を構成する動線群を分類し、ThemeRiver という手法によって流量の時間変化を可視化している。Wang ら [4] は道路上に多数のセンサを設置して様々な車両の通過情報を集計し、それらの特徴を抽出している。GPS などと異なって通過点を離散的にしか把握できないこれらのデータに対する解析、可視化手法を提案している。

これらの手法では取得したデータに対する圧縮を行っていない点に改善の余地がある。

木實ら [5] は大規模な空間時系列データの高速な検索を実現する I-Tree を提案し、シミュレーションによって生成した人流データおよび実測した微気象データを使用して類似検索に関する実験を行っている。SAX を用いてのデータの文字列化という点で本研究と類似しているが、データの可視化には着手していない。

動線データを構成する時空間情報を文字列化する手法として [6] や [7] が挙げられる。前者は元の空間の距離関係を維持しつつ文字列変換し圧縮した上で分類している。動線のパターンだけではなく絶対的な場所も考慮した分類という特徴があり、異なる状況下で取得された4種類のデータをデバイスごとに自動分類することに成功している。後者は文脈自由文法を用いた手法で、ノイズを含む動線データからのモチーフ検出を実現している。これらの研究では、取得した動線をすべて可視化するため、データの増加に伴って注目すべき動線や場所を見つけにくくなる傾向がある。この点に関し、本手法では人流データを変換してできる文字列から何らかの特徴のある動線を抽出し、その特徴を強調表示するように可視化する点が異なる。

## 3. 提案手法

本章では提案手法の処理手順について述べる。処理の流れは図1のようになっている。3.1節ではカメラで取得できる人流データの形式、3.2節では人流データの文字列化による圧縮、3.3節では文字列を対象としたアルゴリズムによる人流データの特徴抽出、3.4節では動線形状と集計結果の可視化について説明する。

### 3.1 人流データの取得

モーションキャプチャデバイス Xtion によって取得した人流データを使用する。Xtion では微小時間ごとに、歩行者の頭部座標と、各時刻のフレーム情報を記録する。各歩行者には固有



図1 提案手法の流れ

の識別子が割り当てられる。頭部座標は3次元で取得可能だが歩行中に高さの変化はないものとみなし、床平面上での位置を表す2次元座標系を使用する。つまり本研究が想定する人流データは、時刻  $t$ 、識別子  $id$ 、座標値  $(x,y)$  の4変数からなるレコードの集合であると考えられる。この人流データを構成する各時刻のフレーム情報の集合から、同じ識別子を有する点を時系列順に連結することで、各歩行者の経路を取得できる。

### 3.2 人流データの文字列化

続いて本手法では、UniversalSAX [8] を用いて実数値座標の集合で表現された歩行経路を文字列に変換する。UniversalSAXは、時系列データを文字列に変換する手法SAX(Symbolic Aggregate Approximation)を、多次元データにも適用できるように拡張した手法の1つである。他の拡張手法と比較して文字列への変換による情報欠落や要素間の距離関係の崩れが発生しにくいという特長がある。UniversalSAXのアルゴリズムは概ね次のようになっている。

(1) 多次元空間(本研究では  $x,y$  の2次元)に領域分割を適用し、各領域間の距離表を作成する。

(2) 各領域に対して文字を割り当てることで、実数値座標から文字への変換が可能になる。この変換を用いて、多次元時系列データ全体を文字列に変換する。

ユーザが指定できる引数は以下の通りである。

$d$ : 文字列化するデータの次元数

$2^k$ : 各軸を量子化する際の分割数

$a$ : 使用する文字の種類

$2^b$ : 領域を強制分割する際の閾値

文字の割り当ては空間充填曲線の一種であるヒルベルト曲線に基づいた配置となっている。まず  $d$  次元空間を各軸  $2^k$  区分の格子状に分割し、すべてのブロックを一筆書きで通過するヒルベルト曲線を作成する。線が通過した順番に各ブロックに番号を振る。

さらにこのブロックの集合を再度  $a$  個の領域に分割し値の小さい方の領域から順に文字を割り当てる。この時、領域分割の結果に加えて領域間の距離表を保存でき、距離計算の際には参照できるため処理が高速化する。続いて人流データを文字列に変換する。まずはじめに Xtion によって取得した人流データの座標にアフィン変換を適用し、視野の中央を原点座標とする。これによって領域全体とカメラの視野を一致させ、広範囲の座標値が同一文字に変換されることを避ける。その上で領域分割に従って多次元時系列の人流データを文字列に変換し、撮影さ



図2 代表経路の選出

れた人数と同数の文字列を生成する。

続いて本手法では、生成された文字列にランレングス符号化を適用することで、データ量を削減する。ランレングス符号化は可逆圧縮であり、特に同じ文字が連続で出現している部分(歩行者が立ち止まっている部分)ほど圧縮率が高くなる。これらの処理により歩行者の各々について、滞り場所を文字の種類、滞り時間を文字の連続出現回数として取得できる。

### 3.3 人流データの特徴抽出

3.2節までの処理によって得られた文字列に対し、以下の情報を得るためのマイニング処理を適用する。

- 立ち止まる人が多い場所
- 各領域の平均滞在時間
- 典型的な歩行経路

歩行者が立ち止まりやすい場所は、ランレングス符号の中の連続出現回数が多い文字として検出できる。同時に各領域での滞在時間についても、文字ごとの連続出現回数の平均値をとることで検出可能である。典型的な歩行経路の検出は次のような手順で行う。

ランレングス符号から連続出現回数を示す数値を除去して、文字だけを残した文字列を作成し、これに  $n$ -gram を適用する。

以上の処理によって部分的な歩行経路を  $n$  文字の単語として検出し、それぞれの出現回数を取得する。この時、含んでいる文字の種類数(歩行範囲)が一定値以下の単語は除外する。

次にこれらの単語の中から、図2のような流れで代表経路を  $m$  種類選択する。まず最も出現回数の多かった単語を1つめの代表経路として決定し、2つめ以降は出現数が多くかつ選択済みの代表経路との距離が一定以上あるものを追加する。2つの動線同士の距離は  $i$  番目の文字同士の距離を距離表から取得し、その合計値として算出する。このため同じ場所を通ったものでも向きが正反対だった歩行ルートは別々に代表経路として採用されることがある。これらの操作は代表経路数が  $m$  種類に達するか、全ての文字列の判定が終わるまで繰り返す。代表経路として選択されなかった残りの文字列については、領域分割時の距離表を用いて各代表経路との距離を計算し、最も近いものと同じとみなす。いずれの代表経路とも距離が大きかった場合は例外的な歩行経路とみなして個別に記録する。

### 3.4 歩行経路と集計結果の可視化

最後に本手法では、3.3節までで得られた情報に基づいて、以下の2通りの可視化を適用する。まず図1のように、取得した歩行経路を平面上に描写するアニメーションを実行する。画面右下に時刻を表示し、その時刻に歩行者がいる位置に○、ID、

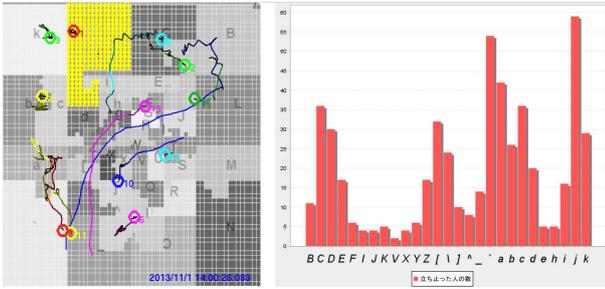


図3 動線アニメーション(左)と特徴集計結果グラフ(右)

及び実数値座標を表示する。現在の実装では動線はIDごとに異なる色で着色し、同一時刻に複数の歩行者がいた場合と同じ色の動線が交差して区別しづらくなることを避けている。さらに場所ごとの歩行速度の傾向をつかむため、同一人物でも歩行速度によって色の明るさを変化させている。高速で歩いている人が多い場所ほど多数の動線が交差しやすいため、速度が大きい場合ほど色が明るくなるようにして、動線を明瞭に識別できるようにしている。これによって特定の時間帯における各歩行者の具体的な行動が把握できる。それと同時に、マイニング処理によって得られる集計結果、例えば各領域で立ち止まった人の数、典型的な歩行経路の出現頻度なども棒グラフを用いて可視化する(図3(右))。これによって動線アニメーションの観察だけでは把握しづらい人流の長期的な傾向や歩行者集団の動きの特徴に関するユーザの理解を促進する。

これらの可視化画面を連動させることで、動線アニメーション画面において特徴的な人流や場所を選択または強調して表示する。例えば棒グラフの中で一定値を超えた要素や、ユーザがクリックした要素に該当する動線や領域を色付けする。これによって従来の映像観察だけでは見落とす可能性が高い、なんらかの特徴を持った人流をグラフ画面から発見し、それを具体的にアニメーション画面に描写することで注目すべき人流や場所を素早く把握できるようにする。

#### 4. 分析例

ある施設での展示会において取得した人流データの分析結果を図4に示す。

この実行例では、展示が行われていた部屋の一部を図4(上)に示す構図で撮影し、その動画から人流データを取得した。撮影時間は1時間で、のべ645人の歩行を取得した。カメラの視野の左端から上端にかけては展示スペースとなっている。カメラの視野には入っていないが下方、右上にはそれぞれ出入口がある。この実空間を真俯瞰した平面を図4(下)に対応づけ、歩行者の通過座標を文字列化した。領域分割は $d=2, k=6, a=43, b=4$ として実行した。各領域には‘A’-‘Z’, ‘a’-‘k’, ‘[’, ‘\’, ‘^’, ‘\_’, ‘`’のうち1文字が割り当てられている。部屋を斜めに見下ろした構図で撮影し取得したデータを使用しているため、右下の領域‘O’, ‘N’周辺はカメラの死角となり歩行者がカウントされていない。

今回使用した人流データのサイズについて、Xtionで取得したものは85.1MBだった。ここから高さを表す座標や時刻情報

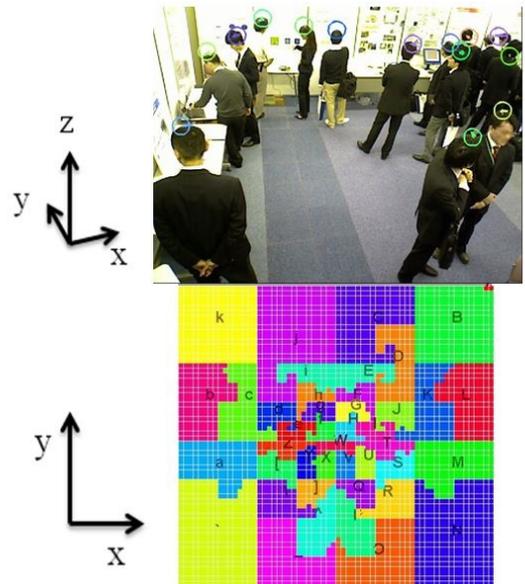


図4 撮影場所風景(上)と領域分割結果(下)

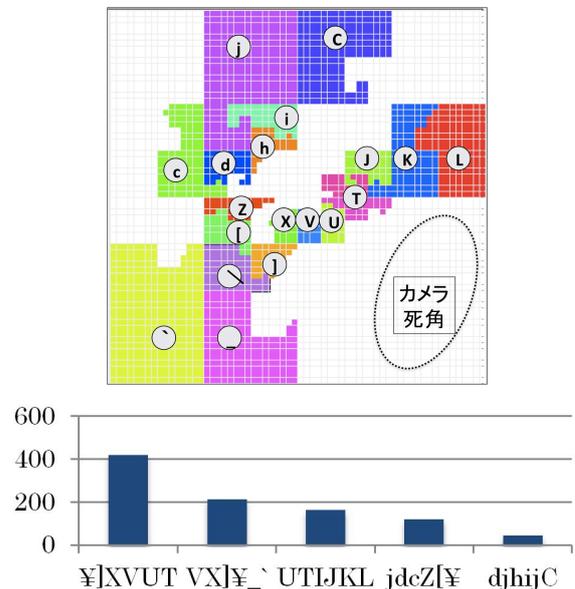


図5 典型的な歩行経路とその出現頻度

を削除し、UniversalSAXで文字列化したところ276KBとなり、さらにランレングス圧縮によっておよそ20KBに減少した。一部の情報を削除しているため正確な圧縮率は特定できないが、後述の特徴を検出できる程度の情報量を維持しつつ情報の圧縮を実現している。

図5は、作成した文字列に $n=6$ としてn-gramを適用し、典型的な歩行経路を選出した結果である。最も多く出現した単語“\XVUT”や“UTIJKL”は‘\_’付近の出入口から‘L’付近の出入口へ直行した場合の部分経路と考えられる。これを逆向きに移動した経路が“VX[\\_”として別に集計された。前者に比べて出現数が少なくなっている理由は、展示会の受付に近い‘\_’側の出入口からの入室者の方が多かったためと考察される。それに対して“jdcZ[\\_”と“djhijC”は出入口と展示スペースの間を往来した人の動きに相当する。

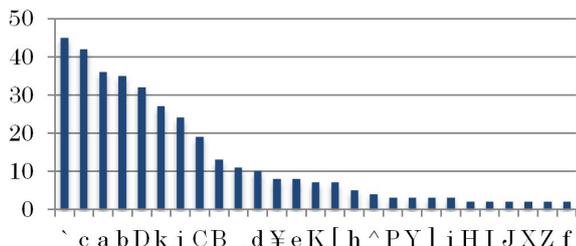
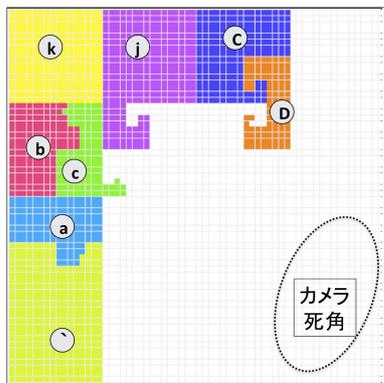


図6 各領域で立ち止まった歩行者の集計結果

図6は1つの領域内におよそ30秒以上留まっていた人の延べ人数を領域ごとに集計した結果である。図6(上)はそのうち特に立ち止まる人数が多かった8つの領域を色付けたものである。領域の左端から上端にかけての展示スペース前で立ち止まる歩行者が多かったことが読み取れる。逆に‘X’や‘Z’など典型的な歩行ルート上の領域では立ち止まっている人が少ないことが読み取れる。

図7はこの実験で使用した1時間分の人流データのうち、最初の15分間に取得したものをアニメーション画面に表示したものである。典型的なルートにあてはまる場所を通過した動線の多くが明るい色になっており、2つの出入口間を移動する際はほとんど立ち止まらずに移動する人が多かったことがわかる。一方展示スペース付近には、暗い色の動線が狭い範囲を移動しているパターンが多かった。さまざまな色の動線が入り混じっている典型的なルート上と比べて現れている動線の色数が少ないことから、長時間立ち止まって展示を見る人が多くいる一方展示を見ずに通過する人も一定数存在したことが推測できる。

現時点での実装では入力したデータから表示する動線を選択する機能を実装していないため、これより長時間分の人流の可視化結果から上記のような情報を読み取るのは困難だった。表示する動線の絞り込みについて開発を進めていきたい。

## 5. まとめと今後の課題

本報告では、大規模人流データを文字列化により圧縮した上で、文字列を対象としたアルゴリズムによる検索や分類を適用することで、人流データにおける特徴的な動きを抽出し可視化する手法を提案した。この手法により、大規模人流データへの高速な処理を実現し、かつ重要な要素を素早く発見することが可能になると考えられる。今後の課題は以下の通りである。

- 圧縮した人流データを用いてのアニメーション作成

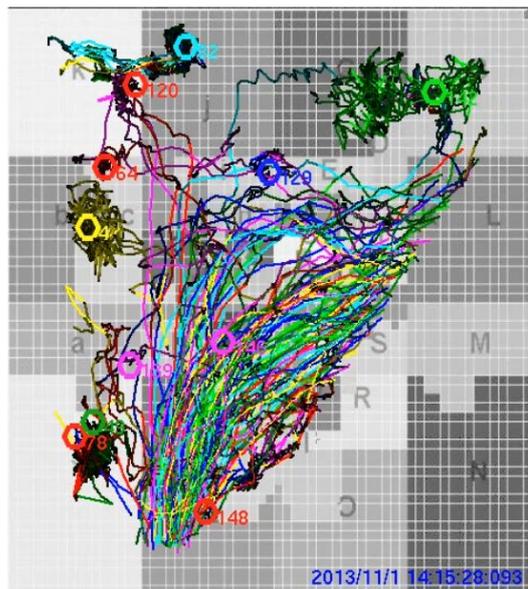


図7 動線アニメーション実行結果

- より広範囲における行動パターンの把握
- 人流データに最適な領域分割手法の考案
- 特定の時間帯にのみ頻出する人流の発見

現状のアニメーションの実装では、圧縮した人流データを用いずに、Xtionで取得した実数での位置データをそのまま読み込んでいる。アニメーションでも圧縮したデータを読み込む方向で実装を修正したい。その上で、アニメーションで表示される動線のなめらかさ、通過点の正確性の維持と処理速度のバランスがとれた圧縮率を模索したい。また、より広範囲における人の行動パターンを把握するためには、途中通過した場所に関わらず出発点と到達点が同一な歩行経路を取得する必要がある。現在実装しているn-gramによる歩行ルートの取得では難しいため、曖昧検索手法を強化したい。領域分割については、最適な分割基準について検討が必要である上に、現状のUniversalSAXの実装では領域の境界線の位置を明示的に指定できないという問題がある。必要に応じて出入口、受付などの位置をあらかじめ与えたうえで領域分割し、直感的に理解しやすい形状の領域を作成することも検討中である。

最後に、今回の実験は1時間という短時間のデータを使用しているが、さらに長時間にわたる人流データ、あるいは複数のデータを同時に適用することで、例えば朝と夕それぞれで限定的に出現する人流の検出、同時刻に複数の場所で取得した人流データ間の相関性発見、などが可能になると考えられる。

## 文献

- [1] 藪下, 伊藤, “経路情報の要約と可視化の一手法”, 芸術科学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 167-178, 2011.
- [2] 福手, 伊藤, 大西, “人流情報の比較可視化の一手法”, 第4回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2012), C10-2, 2012.
- [3] A. Fukute, M. Onishi, T. Itoh, “A Linked Visualization of Trajectory and Flow Quantity to Support Analysis of People Flow”, 17th International Conference on Information Visualisation (IV2013), pp. 561-567, 2013.
- [4] Z. Wang, T. Ye, M. Lu, X. Yuan, H. Qu, J. Yuan, Q.

Wu, "Visual Exploration of Sparse Traffic Trajectory Data", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 20, No. 12, 2014.

- [5] 木實, 石塚, 岩井, 宮崎, 瀬崎, 戸辺, "I-Tree : センシングデータの統合検索を支援する空間時系列索引機構", 情報処理学会論文誌:データベース, Vol. 4, No. 1, pp.26-39, 2011.
- [6] N. H. Thach, E. Suzuki, "A Symbolic Representation for Trajectory Data", 2010 年度人工知能学会全国大会 (JSAI2010), 1A2-2, 2010.
- [7] T. Oates, A. P. Boedihardjo, J. Lin, C. Chen, S. Frankenstein, S. Gandhi, "Motif Discovery in Spatial Trajectories using Grammar Inference", ACM International Conference on Information & Knowledge Management (CIKM 2013), pp. 1465-1468, 2013.
- [8] 大西, 渡辺, "Universal SAX:空間充填曲線を利用した SAX の多次元時系列データへの適用", 日本データベース学会論文誌, Vol. 11, No. 1, pp. 43-48, 2012.