

記号列化した人流データからの特徴抽出と可視化

宮城 優里[†] 大西 正輝^{††} 渡辺知恵美^{†††} 伊藤 貴之[†] 高塚 正浩^{††††}

[†] お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 〒112-8610 東京都文京区大塚2丁目1番1号

^{††} 産業技術総合研究所人工知能研究センター 〒305-8560 茨城県つくば市梅園1丁目1番1号

^{†††} 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

^{††††} シドニー大学情報工学部 オーストラリア連邦ニューサウスウェールズ州 2006

E-mail: [†]{miyagi.yuri,itot}@is.ocha.ac.jp, ^{††}onishi@ni.aist.go.jp, ^{†††}chiemi@cs.tsukuba.ac.jp,

^{††††}masa.takatsuka@sydney.edu.au

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が多く、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。本論文では、SAX(Symbolic Aggregate Approximation)を拡張した UniversalSAX とランレングス符号化によって人流データを記号列化し、各地での滞在時間や交通量などの特徴を抽出して可視化する手法について報告する。新たな試みとしては、人流の非類似度計算に重み付きレーベンシュタイン距離を導入した点、可視化機能を2段階に拡張し各地の流量などの概要表示、並びに具体的な歩行経路などの詳細表示を実装した点が挙げられる。

キーワード 人流, 可視化

1. はじめに

監視カメラで記録された映像から歩行者の行動パターンを見つけることにより、様々な分野で役立つ情報を得ることが出来る。特に交通、防災、マーケティングとの関連が深く、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が可能となる。しかし、蓄積された映像は膨大となるため、人流の全体像把握や重要な現象の発見を効率よく進めるのは困難な場合が多い。計算機を用いた人流解析の手法は開発途上にあり、特に大規模な人流情報の圧縮とマイニングについて検討する必要がある。

我々は人流情報の圧縮・マイニング・可視化に関する手法を提案している[1]。この手法ではまず UniversalSAX [2] を適用し、人流データを記号列化して圧縮する。これらの記号列から自然言語処理手法によって特徴的な情報を抽出して可視化する。本報告では主に特徴抽出および可視化に関する進展について述べる。特徴抽出に関しては、各要素からの抽出結果を客観的に比較するために行う歩行経路間の非類似度計算に重み付きレーベンシュタイン距離を導入した。これにより、条件を柔軟に変更しながらの歩行経路分類や検索に応用できる可能性を示す。可視化については、各地の通過人数などを表示する概要表示機能と、特定の地点に絞って具体的な歩行経路を表示するなどの詳細表示機能にわけて実装した。これらの機能を用いて、注目すべき場所の発見と人流の特徴の把握を短時間で出来るようになったことを報告する。

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 [3] 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。深田ら [4] は小樽市内で観光客の歩行経路を記録し、歩行速度や各地での滞在時間を分析することで、人の集まりやすい場所をマイクロスケールで特定した。データの取得に GPS を用いている点が本手法と異なっており、より広範囲での観測に適している反面、室内での適用が難しいという課題がある。福手らによる研究 [5] 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 と呼ばれる手法によって流量の時間変化を可視化している。Wang ら [6] 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処する解析、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 [7] 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記号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。矢田ら [8] は RFID によって買い物客の歩行動線を記録し、文字列化した上で行動パターン分析を行った。この研究では、売り場ごとの滞在時間が分析されておらず、さらにユーザの関心に沿って提示内容を変更できる可視化機能が実装されていない点で本手法と異なる。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 [9] や [10] が挙げられる。[9] は元の空

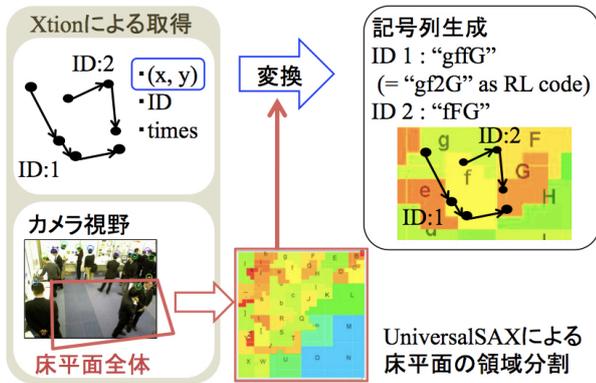


図 1 人流データの記号列化の流れ

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点に特徴があり、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。[10]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している。

3. 処理手順の流れ

本章では提案手法の処理手順について述べる。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節では動線形状とそれらがもつ特徴の可視化について説明する。(なお、3.1節と3.2節での処理は[1]で報告した内容と同一である。)

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 を用いて、次のような形式の人流データを記録する。

- 時刻 t
- 歩行者の識別子 ID
- 座標値 (x, y)

Xtion ではマイクロ秒単位で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。

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 人流データの記号列化

続いて本手法では「データ量の削減」「特徴抽出をしやすい形への変形」という2つの目的のため、実数値座標の集合で表現された歩行経路を記号列に変換する(図1)。変換には Universal-

salSAX [2] を用いる。UniversalSAX は、時系列データを記号列に変換する手法 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、特定の軸の値が反映されなくなるなどの情報欠落や、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) 各領域に対して記号を割り当てることで、実数値座標から記号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記号列に変換する。ユーザは以下の4つのパラメータを指定し、分割の細かさを決めることができる。

- d 記号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 使用する記号の種類数
- 2^b 領域を強制分割する際の閾値

記号の割り当ては空間充填曲線の種類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。各ブロックには線が通過した順番に番号を振る。さらにこのブロックの集合を再度 a 個の領域に分割し、値の小さいブロックを含む領域から順に記号を割り当てる。それぞれの領域が何個のブロックで構成されるかはデータの分布に依存する。混雑して多くの人を通った所など、たくさんの要素が含まれている場所ほど通過点の情報を細かく区別するために領域の面積を小さくする。反対に、要素数が少ない場所では1つの領域の面積が極端に大きくなってしまう場合がある。閾値 2^b を設定することで、面積が一定値を超えた領域を強制的に分割することも可能とする。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記号列に変換する。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記号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記号列に変換し、撮影された人数と同数の記号列を生成する。続いて本手法では、生成された記号列にランレングス符号化を適用することで、データ量を圧縮する。ランレングス符号化は可逆圧縮であり、特に同じ記号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、経由地点を記号の種類、それぞれの場所での滞在時間を記号の連続出現回数として取得できる。

3.3 歩行経路の特徴抽出とそれらの比較

3.2節での処理によって得られた記号列の特徴を調べることで、人流の性質を把握する。例えば、ランレングス符号の中で連続出現回数が多い記号を調べることで、滞留が起きている場

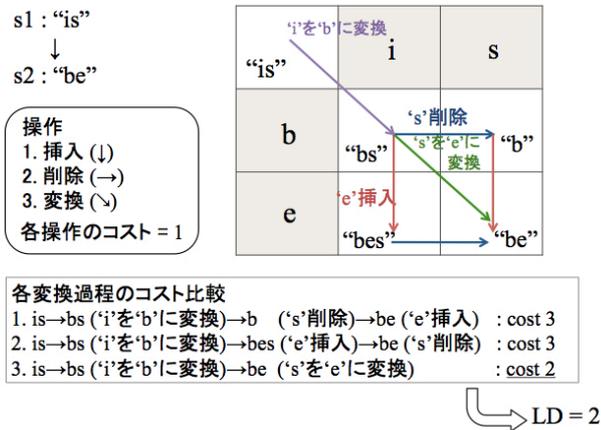


図 2 レーベンシュタイン距離 (LD) の計算例

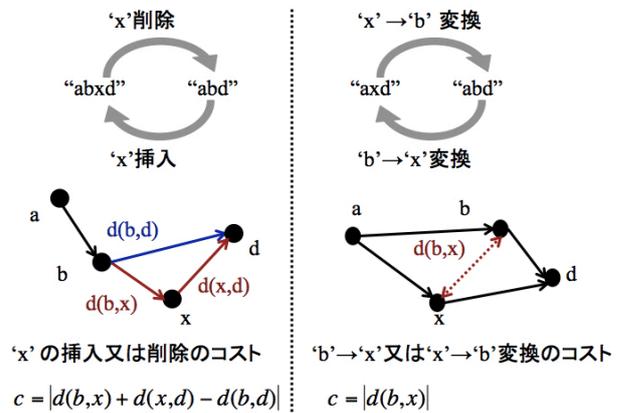


図 3 各操作のコスト計算

所や各地点での平均滞在時間を取得できる。

続いて、歩行経路を要約/検索するために、各歩行経路の特徴抽出結果を比較する。現時点で比較処理として行っているのは、通過地点に焦点を当てた歩行経路間の非類似度の計算である。記号列どうしの非類似度の定義として、レーベンシュタイン距離 (LD) を採用している。ある記号列 s_1 を別の記号列 s_2 とのレーベンシュタイン距離 $D(s_1, s_2)$ を測る場合、 s_1 に対して 1 文字の挿入、削除、置換の 3 種類の操作をそれぞれ何回行うことで s_2 に変換できるかを調べる。変換が完了するまでに必要な操作の回数が少ないほど非類似度の値が低下し、 s_1 と s_2 は似た記号列とみなされる。具体的には、いずれかの操作を 1 回行う場合のコストを 1 とし、 s_1 を s_2 に変換し終わるまでのコストの合計を求める。変換の過程が複数存在する場合は、動的計画法に基づいたアルゴリズムによって最もコストの低い方法を特定しそのコストを D とする (図 2)。 s_1 と s_2 の長さが異なる場合でも計算可能で、 s_1 の長さを m 、 s_2 の長さを n とおくと計算時間は $O(mn)$ である。

しかし、LD の計算ですべての操作コストが一律に 1 と定義されていることは、任意の 2 つの記号がどの程度異なるかが考慮されないという点で問題となる。例えば "mine" と "nine" の非類似度と、"mine" と "fine" の非類似度を比較する。発音に着目すると後者の 2 つの記号列の違いが大きいように感じられるが、 $D(\text{"mine"}, \text{"nine"})$ と $D(\text{"mine"}, \text{"fine"})$ はどちらも 1 文字目の置換による 1 であり直感的でない。そこで挿入、削除、変換の各コストを柔軟に変更し、記号の相違の程度を反映させる重み付きレーベンシュタイン距離 [11] を使用する。本研究では記号どうしの違いの程度は 2 つの領域間の距離にあたるため、3.2 節で作成した距離表を参照する。2 つの領域 r_1 と r_2 の非類似度を $d(r_1, r_2)$ とおくと、 $d(r_1, r_2)$ は距離表を参照するだけで取得できる。図 3 はそれぞれの操作のコスト計算を图示したものである。例えば "abxd" を "abd" に変換する場合 ('x' の削除) の場合や逆に "abd" を "abxd" に変える場合 ('x' の挿入)、コスト c は次のように計算する。

$$c = |d(b, x) + d(x, d) - d(b, d)|$$

"abx" と "abxd" のように最後の記号の挿入、又は削除の場合は $c = d(x, d)$ とする。記号 'a' を 'b' に変換する際のコスト

は $d(a, b)$ とする。

拡張したレーベンシュタイン距離の操作として記号どうしの入れ替えを含める場合もあるが、本研究ではとりいれていない。そのため同じ場所を通過した場合でも向きが反対のものは別々の経路として区別されるが、移動方向が異なることにより行動の意図も異なっていると考えられるため問題にはならない。まとめると、歩行経路の性質のうち非類似度に反映されるのは次のものになる

- 通過地点の違い
- 歩行範囲の違い
- 歩行する向きの違い

このように歩行経路間の非類似度を計算することで、指定した経路の検索や似た歩行経路をグループ化しての経路要約に応用できる。重み付きレーベンシュタイン距離では挿入、削除、置換のコストを独立に変更することが出来るため、どのような条件に焦点を当てて検索や分類を行なうかが調整できる。例えば、行動範囲の広さでグループ分けしたい場合は挿入と削除のコストを重くして、文字数の異なる記号列間の非類似度を大きくすれば良い。

3.4 歩行経路の可視化

最後に、記号列化した人流データを、その特徴を強調しながら可視化する。3.2 節で作成した領域分割結果を参照し、各領域の中心座標を 1 つのノードとし、各ノード間を線で結ぶことで歩行経路を表す。大まかには目的の異なる 2 通りの可視化が行える。1 つはすべての場所についての人流の概要を表示することで、もう 1 つは限定的な地点での詳細な情報を表示することである。まず概要表示を行って注目すべき場所を見つけ、その後その場所についての詳細を表示させることを想定している。概要表示としての機能は以下の通りである。

- 滞留表示
- 2 領域間の流量表示

滞留表示では、各場所での混雑度や歩行者がスムーズに移動しているかを示すため各ノードに円を描く。円の大きさは通過人数を示す。色は黄色から赤に変化し、平均滞在時間が長いほど赤くなる。似た機能として、2 つの領域間の歩行者の累計人数も可視化でき、線の太さで人数を表す。

これらの機能を使い、歩行者の大まかな分布を示すことで、

より詳しく調べるべき場所を絞り込む。ユーザはノード x を選び、 x に関する以下の情報を見ることが出来る。

- 行きやすい場所の組合せ
- 歩行経路のアニメーション

x を通った歩行者は、他にどのような場所を通りやすいかを可視化する。 x を含んでいる記号列を検索し、それらの記号列は x の他にどのような記号を含んでいるかを調べる。この結果をもとに、 x を通過した歩行者がその前後に通過した領域に2つの半円を描写する。1つの領域について、 x とその領域のどちらを先に通ったかを区別し、 x に行った後その場所へ行った場合は明るい緑、反対にその領域を経由してから x に来た場合は暗い緑の半円で表す。該当する歩行者が多かった領域の半円ほど半径を大きくする。このような情報は、店舗である商品を購入した買い物客が同時に何を買いやすいかの推測や、展示会において来場者が関心を持ちやすそうな展示をまとめて配置するなどのレイアウト考案に活用できる。

さらに、ユーザは具体的な歩行経路のアニメーションを観察することができる。2領域間を結ぶ線を各歩行者が通った順に描画する。これによって歩行者がどこから来たのか、どのような順番でどこを通ったのかを細かく知ることが出来る。ユーザは表示する歩行経路の条件を指定でき、具体的には選択した領域を通過したものか、そこから出発したものか、そこに到着したものの3種類から選択できる。

表示すべき歩行経路がいくつあるかによって、線の密度を変更する。歩行者が少ない場所では、個別の歩行経路を比較できるように線間隔を離して描写する。反対に多いところは密集させ、細い線の集合が太い一本の帯としてみえるようにする。これによって大量の線が絡み合っで見辛くなることを避ける。個人の動きを確認することは難しくなるが、集団的な動きの特徴を見落とす可能性は少なくなる。線の色づけは歩行者がその場所を通過した時間を反映している。撮影していた時間帯の中で、早く来た歩行者は赤く、遅く来た歩行者は青く表示される。特定の場所における歩行者数の変化の度合いや特に混雑していた時間帯の特定などが可能になる。

表示する線をさらに絞り込む機能として、経路検索機能がある。歩行経路を表す記号列をキーワードとして入力すると、キーワードと記録されていた歩行経路すべてとの非類似度計算を行なう。キーワードとの非類似度が閾値以下のものを検索結果として返し、表示する。閾値を低くするほど完全一致検索に近づき、高くした場合は曖昧検索となる。

このように人流の特徴を明示するような可視化を行うことで、長期間にわたって取得した人流データの特徴を効率良く理解することができる。

4. 展示会における人流分析の一例

我々はある展示会場で取得した人流データを可視化した。部屋の左端から上端にかけて展示物があり、出入口は下と右上の2カ所がある(図4上)。データは8時間分延べ人数5,531人分の動線を含む。まず人流データの概要を理解するため、滞留を表示し歩行者の多かった場所を調べた(図4下)。下部から

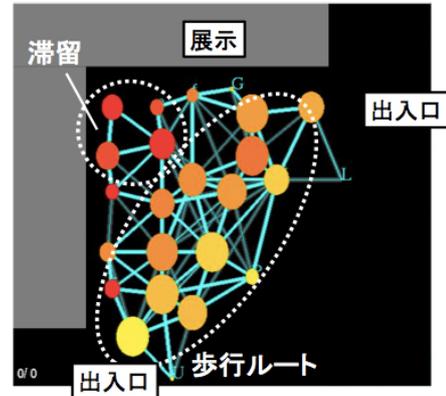


図4 (上)Xtionの視野(下)滞留表示結果

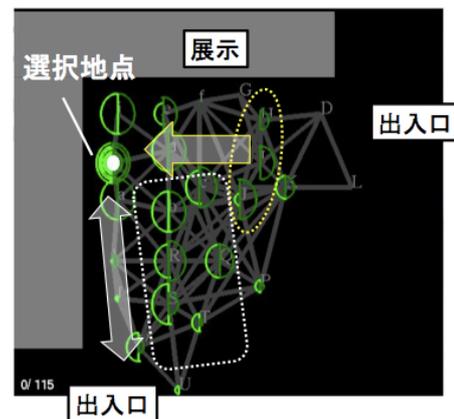


図5 歩行者が選択地点を通過した前後に立ち寄りやすい場所の表示

右上にかけての領域では、黄色からオレンジの大きな円が多くなっており、多くの人々がスムーズに通過した歩行ルートにあたることわかる。反対に左端、上端の展示物前の付近は赤い円が多くなっており、展示物をよく見るために足を止めた人が多かったことが読み取れる。中でも、左上隅の円は半径が大きく、その場所の展示物は特に人を集めたことがわかる。

続いて、滞留表示機能により異なる性質の人流パターンが可視化された以下の2カ所を選択し、それぞれの詳細な情報を可視化した。

- 展示物付近(滞留発生地点)
- 下端の出入口(スムーズな歩行ルートの一部)

図5は展示物付近を経由した歩行者が、その前後に通過していた領域を示している。暗いグリーンの半円が多くの領域に描写されていることから、右の入り口からも下の入り口からも人が来ていたことがわかる。一方、明るいグリーンの半円は選択

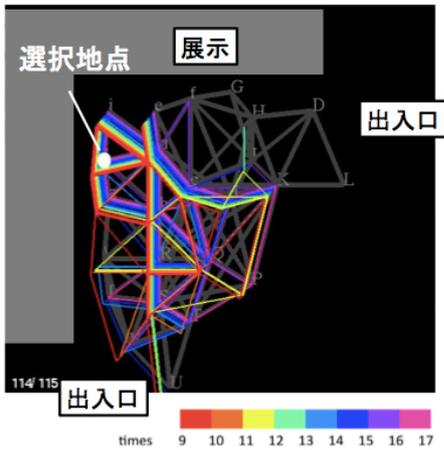


図 6 展示物付近を通過した歩行者の動線可視化結果

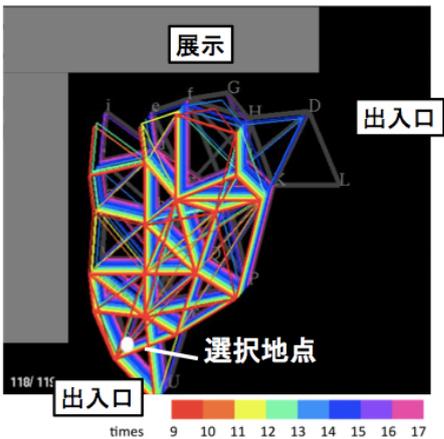


図 7 下端の入り口を通過した歩行者の動線可視化結果

した領域より下のエリアに集中しているが、これは選択した領域を経由したのち下に向かう歩行者が多かったことを示している。つまり、一方の入り口から入り展示物を見て別の出口から向かう動きだけでなく、下の入り口から入って引き返す人も一定数いたことがわかる。

次に、具体的な歩行ルートを可視化し各時間帯での歩行者の人数を調べた(図 6)。展示物付近は赤から紫までの色がまんべんなく確認でき、人が絶えなかったことがわかる。その中でも、14時から15時までを表す青の線が太く描写されており、朝や夕方よりも真昼の方が、人出が多かったことが分かる。

次に展示物から遠い、スムーズに歩行者が移動していた場所について可視化した。下端の入り口を通過した歩行者の歩行ルートを可視化すると(図 7)、展示物のあるエリアよりも典型的ルート上(図 4 上)の方が、多くの線が描写されている。そこで具体的に、展示物の方に行かず 2 つの出入口を結んだ“UVTQJK”というルートを検索すると(図 8)類似した歩行パターンが実在し、展示物を素通りした人が一定数いたことが確認された。

このように、記号列化した人流データからいくつかの行動パターンを抽出することができた。データの記号列化により、時刻や歩行経路に関する情報の粒度は粗くなっている。一方で、

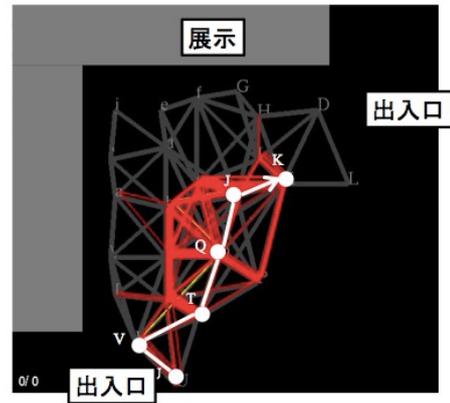


図 8 歩行経路検索結果(白:入力 赤:検索結果)

記号化前のデータがおよそ 669MB だったのに対し、可視化に使用したデータは 62KB の記号列データと 53KB の領域情報のみだった。このことから、人流の特徴を残しながらデータを軽量化することに成功し、さらに短時間で人流の特徴を把握できる手法を開発できたと考える。

5. まとめと今後の課題

本報告では、大規模人流データを記号列化により圧縮した上で、記号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。この手法によれば、大規模人流データへの高速な処理が実現し、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。

今後の課題としては以下のような点が挙げられる。

- 歩行経路の要約結果の可視化
- 経路検索機能の拡張
- ユーザによる領域形状の指定

現時点の処理では、可視化画面に表示する歩行経路は記号列化した実データのみとなっており、表示する動線が多すぎると可視化結果が煩雑になってしまうことがある。類似経路の検索機能などを使い、動線をグループ化したのち平均的な歩行経路を算出するなどの要約を行えるようにすることを検討している。要約結果は個別の線ではなく領域の塗りつぶしなどで表現し、多数の歩行経路を描写する際も可能な限りシンプルな画像を生成することを目指したい。このような可視化については、Continuous Parallel Coordinates [12] を参考にする予定である。

経路検索機能についても、ユーザが指定できる条件の幅を増やしたい。ユーザによる検索条件指定によって非類似度計算時のコストを変更し、重点を置く要素を変更しながらの検索が行えるようにすることを検討中である。操作についても、キーワード検索に加えて任意の曲線をスケッチしそれと似た経路を検索できるようにする予定である。領域分割は現在 4 つのパラメータで細かさを指定できるが、具体的に境界線の形状や位置を指定することはできない。障害物やブースなどがあらかじめわかっている場合はユーザによる属性指定と具体的な領域の形状指定が行えるようにしたい。

文 献

- [1] 宮城, 大西, 渡辺, 伊藤, “ 記号化による人流データの圧縮 と可視化 ”, 第 18 回画像の認識・理解シンポジウム, SS5-9, 2015.
- [2] 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 .
- [3] H. Yabushita, T. Itoh, “ Summarization and Visualization of Pedestrian Tracking Data ”, 15th International Conference on Information Visualisation (IV2011), pages. 537-542, 2011 .
- [4] 深田, 奥野, 大津, 橋本, “ 観光歩行行動データに対する GIS を用いた 3 次元可視化手法の提案 ”, 観光と情報, Vol. 8, No. 1, pp. 51-66, 2013 .
- [5] 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 .
- [6] 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 .
- [7] 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 .
- [8] 矢田, “ スーパーマーケットにおける顧客動線分析と文字列解析 ”, 統計数理, Vol. 56, No. 2, pp. 199-213, 2008.
- [9] N. H. Thach, E. Suzuki, “ A Symbolic Representation for Trajectory Data ”, The Japanese Society Artificial Intelligence, 1A2-2, 2010 .
- [10] 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 .
- [11] 鎌水, “ 語形間距離の計算における「重みづけ」 ”, 明海日本語, Vol. 18, pp. 179-194, November 2013.
- [12] J. Heinrich, D. Weiskopf, “ Continuous Parallel Coordinates ”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 15, No. 6, pp. 1531-1538, 2009.