

経路情報の解析インタフェースの一手法

藪下 浩子[†] 伊藤 貴之[†]

[†] お茶の水女子大学人間文化創成科学研究科
東京都文京区大塚 2-1-1 お茶の水女子大学理学部情報科学科 伊藤研究室
E-mail: †yabu@itolab.is.ocha.ac.jp, ††itot@is.ocha.ac.jp

あらまし 我々は大規模な経路情報の解析インタフェースを提案する．本インタフェースは，歩行のぶれを取り除く近似可視化手法と，類似経路を線分の束として描画することで，類似経路の流量を視覚的に識別する要約可視化手法を搭載しており，それらを連動的に使用することで経路情報の内容理解を深めることを目的とする．我々の技術は，まず蓄積された経路情報を量子化し，それから経路線分を分類し，最後に線分の束を描画する．また，我々は GUI も実装しており，GUI でパラメータを調節することで集約度も調節可能であるため，様々なタイプのデータをインタラクティブに解析することが可能である．本手法は，動画像からの人物追跡，センサ，シミュレーションによって取得されるような時系列順に記録された連続形式の位置情報であれば，様々な種類の経路情報を可視化できる．本手法の特徴のうちの一つは，はっきりとした通路が存在しない場所において，経路を効果的に可視化できるということである．本論文は，RFID センサによって取得されたデータと，動画像から取得されたデータの，2つのタイプの経路情報に適用することによって，本手法の効果を示す．

キーワード 経路，可視化，GUI，解析

A User Interface Technique for Analyzing Traffic Paths

Hiroko YABUSHITA[†] and Takayuki ITOH[†]

[†] Ochanomizu University

Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 163-0427 Department of Information Science, Laboratory of Takayuki Itoh,
Ochanomizu University

E-mail: †yabu@itolab.is.ocha.ac.jp, ††itot@is.ocha.ac.jp

Abstract We present a technique of the user interface for analyzing large-scale traffic path data. The research aims to remove blurring of walking by approximating lines, and visually distinguish the amount of similar traffic, by representing the similar traffic as bundles of lines. Our technique firstly quantizes the collection of paths, then categorizes the segmented paths, and finally renders the bundles of the segments. Our implementation also provides graphical user interface (GUI) allowing users to interactively explore the various types of data, so that they can adjust the degree of summarization by controlling parameters on the GUI. The technique can visualize various kinds of path data recorded as chronologically ordered positions which form sequential segments, acquired from movies, sensors, and computer simulations. One of the features of the technique is that it can effectively visualize paths in the place where there are not expressly constructed ways. This paper demonstrates the effectiveness of the technique by applying to two types of the path data, where one is acquired by RFID sensors, and the other is extracted from a movie.

Key words Path, Visualization, Graphical user interface(GUI), Analyzing

1. はじめに

人物移動の経路追跡によって得られる，歩行者の通行量やその動線といった人流情報は，その周辺の土地や建物，広告など

の評価において，大変重要な要素である．また，医療機関や空港などの公共施設では，人流情報に基づく施設運営の効率化が求められている．つまり，人流情報は様々な分野で使用される可能性のある情報である．そのため人物の経路追跡の技術は，

学術研究のみならず、防犯や警護面等の実用面でも広く行われ、近年、人物追跡に関わるコンピュータビジョンやセンサの技術が飛躍的に進歩し、それら人流情報を非常に正確に、また膨大に取得できるようになってきた。しかし、取得した経路情報の解析を行う際、ビデオ再生などの形で解析者が追跡結果を観察することは非現実的である。よって、人流情報の全体像を把握する手段が必要であり、経路情報の表現方法が問題となっている。既存の可視化手法では、取得した動線をそのまま表示したものが多く、そのため、動線が重なると流量がわからなくなる、人物の歩行のぶれにより経路自体がわかりにくくなる、などの問題がある。これは、さまざまな分野の人が扱う可能性のある情報の可視化として最善であるとはいえない。近年、それら問題点の克服を目指し、いくつかの研究が発表された。それらは既知の通路や、あらかじめ設定した代表的な経路情報を基準にして、経路群をクラスタリングし、類似経路をまとめるものが多い。しかしそれらの手法は、公園、広場、スクランブル交差点などの、はっきりとした通路が存在しない場所や、代表的な経路を規定できない場所には、依然として対応が難しい。したがって、あらゆる場所で適用可能である経路情報の可視化技術を開発する試みは、大変有意であると考えられる。

本論文では、通路が存在するか否かに関係なく、あらゆる場所に適用可能な近似/要約可視化手法を掲載した、経路情報の解析インタフェースを提案する。本手法では、経路を近似/要約表示することで、歩行者の歩行のぶれをとりのぞき、また類似経路をまとめて流量を表示する。本論文は最後に典型的な2つの適用事例を紹介する。

2. 関連研究

2.1 経路情報の要約可視化手法

経路情報の要約可視化についてはいくつかの研究が報告されているが、それらは2つのタイプに大別することができる。

2.1.1 経路描画による表現手法

地理的空間における経路情報の可視化に関していくつかの研究がある。経路を描画することの利点として、非常に直観的であることがあげられ、予期していなかった事象の発見に強い。また、得られた経路特徴の理由を、地理情報の観点から推測しやすいといった点も利点である。

代表的な手法として、Andrienkoら[1][2][3]は、ポロノイ空間分割法を使い経路を線分化し、類似経路をクラスタリングし、それらを太さの異なる直線の矢印の連結で表示することにより、方向と流量を合わせて表現する手法を提案した。彼らは、進行方向が決まっている環境下における適用事例を示している。それぞれの経路を分けて描画することにより、要約経路の重なりや交差による煩雑さを回避している。

帷子ら[4]は、軌跡成長法により主要経路を抽出し、経路を1本の曲線の矢印で表示することで、頻度の高いいくつかの経路を表現した。まだ事例の少ない、経路選択の自由度が高い環境下における適用事例を示しているが、軌跡成長法を使用していることで、より流量の多い経路に、流量が少ない経路のベクトルが吸収されてしまう問題があり、最多経路以外の流量順位

は、正しく表現できていない。

Crnovrsaninら[5]は、重要地点との近接関係に基づき、取得した経路データから抽象的な折れ線グラフを生成し、折れ線形状が類似しているものを同色で表現し、最後にそれら抽象的な折れ線グラフの色分類結果を実空間に写像することで可視化を試みている。鈴木ら[6]はHidden Markov Modelを用いた人物動線群からの人物行動パターンの自動分類、および他の人物と異なる逸脱行動を行う人物の検出を実現している。

2.1.2 グラフによる表現手法

経路情報の要約可視化の手法としてグラフを用いている研究がいくつかある。グラフを用いることの利点は、流量の比較を正確に行えることである。可視化前から比較したい流量がある等、目的が決まっている解析者に、最善の方法であると考えられる。代表的な手法として、大西ら[8]は、最尤推定によって動線の数が増える時間帯によってどのように変化するかをモデル化し、2つの異なる期間や場所の動線がどのように違うかを比較する手法を提案した。Larsonら[7]は、k-meansを改良したクラスタリング手法を用いて、複数の顧客グループを発見解析した。Shenら[9]は、隣接マトリクスを構成することで、経路をまとめ、それらを効果的に可視化した。Schreckら[10]は、経路情報を解析するために基本的なSOMアルゴリズムを拡張し、対話的な可視化モニターと、その調節機能を提案した。

2.2 絡まりあった線分群を可視化するためのクラスタリング手法

膨大な経路情報は、絡まりあった線分群を成していることが多い。絡まりあった線分群を読みやすく表現することは情報可視化技術において一般的な問題であり、さまざまな研究が行われている。Parallel Coordinatesのいくつかの改良手法は、クラスタ化アルゴリズムを適用することによって上記の問題を解決した。例えばFuaら[11]は、Parallel Coordinatesの折れ線をクラスタリングする手法を提示した。またEllisら[12]は、乱雑さを回避する一連の処理を提示した。

グラフ描画の研究においても、絡まりあったエッジの読みやすさを向上させることは重要な問題である。Holtenら[13]は、階層グラフデータのエッジを束ねることによってこの問題を解消した。また、Zhouら[14]は、地理情報に基づくグラフにおける同様の問題に対し、地図上のノードを動かすことなく、エッジを明確に可視化する新しい手法を提示した。

3. 提案内容

本手法では、時系列順に並べられた、人物座標値の変化のデータすべてを対象とし、それらの経路データを可視化する。その際、ユーザの求める近似または要約レベルに対応して、経路の概略および詳細形状の両方を可視化できるようにする。以下に、提案手法の処理手順を簡潔に示す。

(1) 経路座標の取得

(2) 座標の量子化

- 経路を一定間隔の格子に重ねる
- 経路と格子の交点を取得する

- 交点を，隣接する格子点に移動する
- 量子化経路を構築する

(3) 経路の集計

- 量子化経路の線分を分類する
- 分類結果を集計する

(4) 描画

以下に，本手法の処理について詳しく示す．

3.1 経路座標の取得

我々は，1つの経路を P_i とし，経路の総数を n として，全ての経路のセットを $S = \{P_1, \dots, P_n\}$ と定義する．また， i 番目の経路の j 番目の位置を P_{ij} とし， i 番目の経路のステップ総数を m として，1つ1つの経路をそれぞれ $p_i = \{p_{i1}, \dots, p_{im}\}$ と示す．本手法では， i 番目の経路の，それぞれの位置 P_{ij} における，時間 t_{ij} ，座標値 x_{ij} および y_{ij} を取得する．

我々は，4.1.1 節で示す公開されている RFID センサのデータを，上記の構造に変換した．また 4.1.2 節で示す固定カメラによって撮影された動画の人物追跡結果を，上記の構造に取得した．本手法は，上記の構造で記述されたデータすべてを対象とすることができるので，動画やセンサから取得されたデータ以外にも，コンピュータシミュレーションで生成する人流情報にも適用可能である．

3.2 座標の量子化

本手法はまず，すべての経路を量子化する．図 1(1) に示すように，2次元の経路空間に格子を写像する．次に，図 1(1) で示した赤点のように，経路と格子の交点を計算する．ここで， i 番目の経路の交点の総数を l としたとき，それぞれの交点を $p'_i = \{p'_{i1}, \dots, p'_{il}\}$ と表す．続いて，それらを図 1(1) の青点で示されているように，隣接する格子点にそれぞれ移動する（移動後のそれぞれの点を $p''_i = \{p''_{i1}, \dots, p''_{il}\}$ と表す．）最後に，それらを接続することで，図 1(2) で示したような量子化経路を取得する．なお，図 1(2) の二重丸は，量子化された経路がこれらの位置を2度通過することを示す．

3.3 経路の集計

続いて，本手法は，量子化された経路線分を，格子によって分割されたそれぞれの長方形領域ごとに分類する． k 番目の長方形領域を r_k とし，それぞれを v_{k1} から v_{k4} の4つの領域に分ける．本手法では， r_k を通過する P_1 から P_n のすべての経路を対象として， r_k との2交点による線分 $p'_{ij}p'_{i(j+1)}$ を集計する．ここで，これらの線分を，量子化後の線分がどの2つの格子点を結びつけたものかで， r_{k1} から r_{k10} の10個のパターンに分類する．図 2 にそれら10パターンを10色で示す．なお， r_{k7} から r_{k10} の4パターンは，量子化後の線分の始点と終点と同じ位置であるパターンを表す．最終的に，本手法は，同じ長方形領域 r_k において，同じパターンに分類された線分を，幾何学的に近い位置を類似した移動方向で通過しているとみなし，統合する．

3.4 描画

そして本手法は，それぞれの長方形スペース r_k の各パターンごとに，線分を描画する．この時，線分の本数に応じて，処理を分岐する．

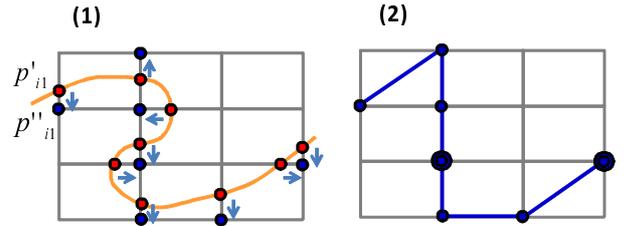


図 1 座標の量子化

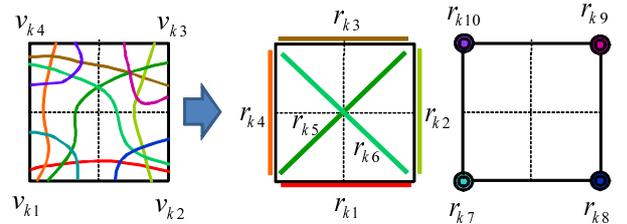


図 2 線分パターン (左) 長方形スペースを4分割 (右) 始点と終点の位置による10パターン分類

もしパターン r_{pq} に分類された線分が，1本 $p'_{ij}p'_{i(j+1)}$ だけであった場合には，量子化前の線分をそのまま描画する．図 3(上) にその様子を示す．なお，近似経路を描画する場合も，この処理と同様の処理を施す．

パターン r_{pq} に分類された線分が複数存在した場合は，それらの平均線分を描画する．図 3(下) に平均線分の例を示す．このとき，水色の線分 $p'_{i1}p'_{i2}$ と緑色の線分 $p'_{j1}p'_{j2}$ の2本が同じ $p'_{i1}p'_{i2}$ に量子化される．この場合，図 3(右下) に赤線で示すように，2本の線分の平均経路を描画する．

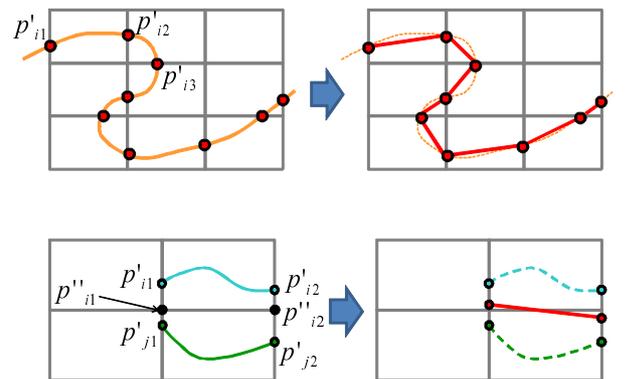


図 3 描画 (上) あるパターンに1本の線分のみ属す場合は，そのものを描画 (下) あるパターンに複数の線分が属す場合は，平均経路を描画

3.5 GUI

また我々は，本インタフェースをさまざまな目的やデータに適用できるように，各種グラフィカルユーザインタフェース (GUI) を実装した．本 GUI 上のスライダーやボタンを操作することで運動的に，要約度合い，太さの割り当ての調節，描画モードの切り替え，描画結果の拡大縮小，画面の移動，背景画面の描画のオンオフの切り替え等を実行できる．

4. 結 果

4.1 可視化結果

以下に、タイプの異なる2種類のデータに対する、本手法の可視化結果を示す。

4.1.1 通路が存在する場所におけるデータの可視化結果

本節では、通路が存在する場所で取得したデータの可視化結果を示す。本データは、避難時の動線を RFID センサで取得したものであり、Web でも公開されている [15]。図4にビル内の地図を示す。赤枠で囲まれている場所が、出入り口である。爆弾のマークの場所で爆発が起り、ビル内の人々が一斉に出入り口へ向かう様子を取得した。

図5に、取得動線をそのまま描画したものを示す。ビル内は通路が存在するため、動線の重なり合いが強く、流量が読み取りにくくなっている。そこで本手法の処理を施し、近似/要約した結果を、図6/図7に示す。図5と比較すると、図6の近似結果は、近似により歩行のぶれが取り除かれている。また図7の要約結果は、流量に応じて線分が赤く、かつ太く描画されているため、流量が読み取りやすい。これらの結果から、避難経路の近くに空いている経路があるにも関わらず、避難者が避難下において冷静さを失ったためか、適当な理由なく過密状況を招いてしまっていることが示唆される。また、図7の左上部の過密している経路をよく見ると、要約線分がその前後よりも太く表示されている。我々はこの結果を不思議に思い、元データを詳しく検証したところ、避難時に右往左往している人物の存在が明らかとなった。我々はこの発見によって、避難経路をわかりやすく提示する必要性を感じた。この可視化結果に基づいて我々は、避難経路の改良案を提示できるのではないかと考える。

4.1.2 通路が存在しない場所におけるデータの可視化結果

つぎに我々は、従来研究には事例の少ない、通路が存在しない場所で取得したデータの可視化結果を示す。我々は大学食堂の出入り口付近を、別のビルの最上階から、30分間撮影した。図8に食堂前の風景を示す。ここで、赤枠で囲まれた場所は食堂の出入り口、青枠で囲まれた場所はゴミ箱、黄枠で囲まれた場所は自動販売機である。我々はこの場所で撮影した動画中の動体を、Mean-Shift法で検出し、人物の位置を各フレームごとに取得した。

図9に取得動線をそのまま描画したものを示す。通路が存在しないため、歩行の自由度が高く、歩行のぶれや交差が目立つ。本手法の処理を施し、近似/要約した結果を、図10/図11に示す。図9と比較すると、図10の近似結果は、近似により歩行のぶれが取り除かれている。また、図11の要約結果は、流量に応じて線分が赤く、かつ太く描画されているため、流量が読み取りやすい。我々はこの結果から、昼食時の大学食堂前における主要経路を発見することができた。また我々は、近似経路からゴミ箱の右側を通る人物が少ないことを確認し、さらに要約結果から、主要経路とゴミ箱の間に赤く太い線分を発見した。つまり、食堂の出入りの途中にゴミ箱に立ち寄り、その後主要経路に合流する人物が多く存在することが分かった。このように我々は、本手法の可視化結果から、物体の配置に関する有意

な事実を発見することができた。

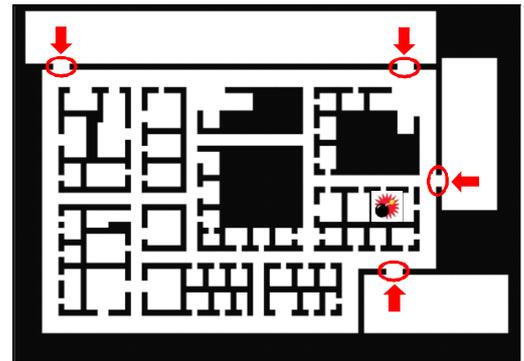


図4 ビル内の地図

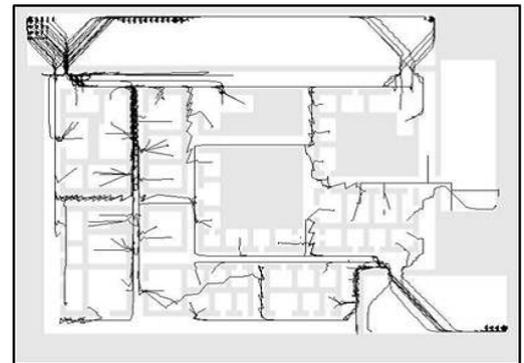


図5 取得動線をそのまま描画した結果

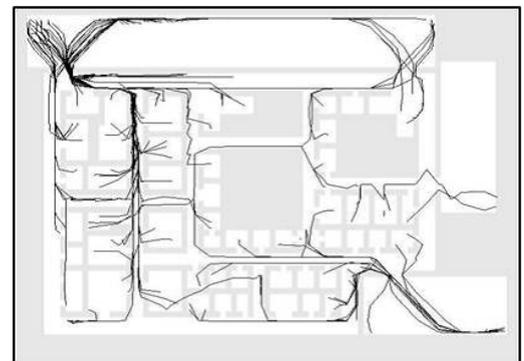


図6 近似結果



図7 要約結果



図 8 大学食堂前の風景

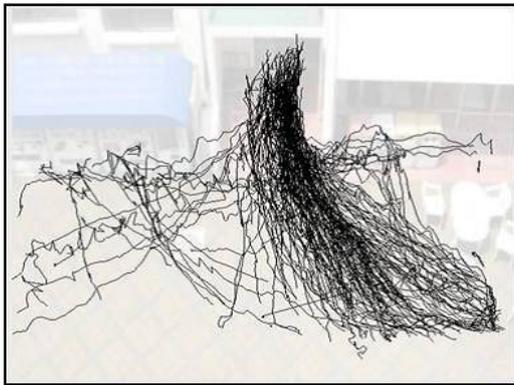


図 9 取得動線をそのまま描画した結果

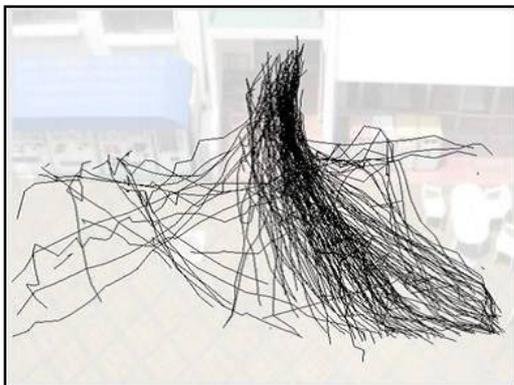


図 10 近似結果

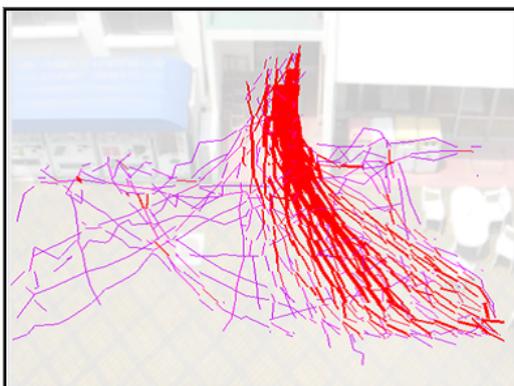


図 11 要約結果

4.2 評価

我々は本手法に対して、主観評価と数値評価を実施した。以下に評価結果を示す。

4.2.1 主観評価

我々は、本手法の主観評価のため、以下に示したいくつかの目標に対し、どの可視化結果が最もふさわしいか、男女 20 名の被験者にアンケートを実施した（複数回答可）。表 1 と表 2 に結果を示す。Q1 から Q4 が、被験者に提示した目標である。これらの結果から、本手法の近似/要約結果が、さまざまな傾向の解析に役立ったことが分かる。しかし、表 2 の Q4 で示されたように、本手法は逸脱経路や詳細経路の表現に関して、まだ改善の余地がある。我々は、要約可視化手法を改良することで、この問題を解決したいと考える。

表 1 4.1.1 節の適用事例に関するアンケート結果 (単位：%)

	動線描画	近似結果	要約結果	該当無し
Q1	0	5	100	0
Q2	15	10	75	0
Q3	0	25	75	5
Q4	15	60	10	20

Q1:混雑している経路を発見する

Q2:避難の問題点を指摘する

Q3:避難時の混雑を回避する改善案を考案する

Q4:各部屋にいた人物の人数を比較する

表 2 4.1.2 節の適用事例に関するアンケート結果 (単位：%)

	動線描画	近似結果	要約結果	該当無し
Q1	5	10	100	0
Q2	0	20	85	0
Q3	10	55	25	10
Q4	45	40	30	0

Q1:主要経路を見つける

Q2:大観をつかむ

Q3:人々の動きの目標物をとらえる

Q4:細部の特徴をとらえる

また、被験者のうち 7 名が、アンケートの任意コメント欄にいくつかのコメントを記述した。それぞれのコメントを項目ごとに分類し、以下に示す。

動線描画について

・動線をそのまま描画している結果は、わかりにくい (2 名)

近似結果について

・近似を最大限に強めた場合の結果 (図 12) は、人物の始点と終点を結ぶため、非常に面白い事象の発見につながる可能性があると感じる (2 名)

要約結果について

- ・他の結果と比較し、要約結果がわかりやすいと感じる (3名)
- ・逸脱経路を把握する観点では、要約結果は不利だと感じる
- ・色のバリエーションをもっと増やしてほしい
- ・矢印等で方向が表示されると更に色々な事象の発見につながると感じる

全体/本インタフェースについて

- ・細かい動きを認識できるのは黒い線 (動線描画/近似結果), おおまかに把握できるのは赤い線 (要約結果) と使い分けができそうで、連動的に操作可能な点が魅力に感じる
- ・ユーザによる近似/要約度調節が大変有用に感じる

以上の任意コメントからも、本論文の近似/要約可視化手法、またそれら可視化手法を連動的に操作することが可能である本インタフェースの有効性を示す内容が得られた。また、コメントの中で指摘された、方向の表示とカラーバリエーションに関しても、今後の課題としたい。

4.2.2 数値評価

我々は、本手法の数値評価の一指標として、描画された線分数を計算した。表3に、4.1章で紹介した2つの可視化結果の描画線分数を示す。この結果から本手法が、描画する線分数を削減しながら、経路の観測を支援していることがわかる。

表3 描画線分数の比較

	動線描画	近似結果	要約結果
4.1.1節の結果	68552	1429	454
4.1.2節の結果	19270	3579	976

5. ま と め

我々は、大規模な経路情報の解析インタフェースを示した。これまで、経路を要約的にとらえるための可視化に関する研究は、通路が存在するなどの限られた条件下を中心に進められてきた。それに対して本報告では、経路が存在する環境下だけでなく、今まで事例が少なかった交差の多い環境下における経路情報も可視化した。本インタフェースにより、経路情報の可視化のための描画線分を飛躍的に減少させ、かつ良好な主観評価を得た。また、本手法のGUIを操作して、近似結果と要約結果を連動的に解析することで、いくつかの有用な事実を発見することができた。

我々は現在、ぶつぎれに描画されている要約結果の線分同士を、連結した曲線に変換する手法に取り組んでいる。また、我々は、流れの方向を表現することで、本手法の可能性を拡げたいと考える。

本手法は、4.1.1節で示した動画像や4.1.2節で示したセンサから取得した経路情報に限らず、さまざまなデータに適用可能である。我々は現在、シミュレーション結果等への本手法の適用を考えている。

文 献

- [1] G. Andrienko, N. Andrienko, S. Rinzivillo, M. Nanni, D. Pedreschi, F. Giannotti, Interactive Visual Clustering of Large Collections of Trajectories, In Proceedings of IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology (VAST 2009), 2009.
- [2] G. Andrienko, N. Andrienko, Spatio-temporal Aggregation for Visual Analysis of Movements, IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology 2008, 51-58, 2008.
- [3] G. Andrienko, N. Andrienko, S. Wrobel, Visual Analytics Tools for Analysis of Movement Data, ACM SIGKDD Explorations, 9(2), 38-46, 2007.
- [4] 帷子, 趙, 柴崎, 有山, レーザスキャナを用いた群集の流動抽出およびセンサネットワークを用いた温度分布モニタリング, 全国測量技術大会 2006 学生フォーラム, pp.239-244, 2006.
- [5] T. Crnovrsanin, C. Muelder, C. Correa, K. L. Ma, Proximity-based Visualization of Movement Trace Data, In Proceedings of IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology (VAST 2009), 2009.
- [6] 鈴木, 平澤, 田中, 小林, 佐藤, 藤野, Hidden Markov Model を用いた逸脱行動人物検出, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, vol.106, no.99, PRMU2006-46, pp.43-48, 2006.
- [7] J. S. Larson, E. T. Bradlow, P. S. Fader, An Exploratory Look at Supermarket Shopping Paths, International Journal of Research in Marketing, 22(4), 395-414, Dec. 2005.
- [8] 大西, 依田, 大型複合施設における長期間にわたる人流解析, 第15回画像センシングシンポジウム (SSII09), IS4-02, June 2009.
- [9] Z. Shen, K.-L. Ma, Path Visualization for Adjacency Matrices, Eurographics/IEEE-VGTC Symposium on Visualization, 83-90, 2007.
- [10] T. Schreck, J. Bernard, T. Tekusova, Visual Cluster Analysis of Trajectory Data With Interactive Kohonen Maps, IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology 2008, 3-10, 2008.
- [11] Y. H. Fua, M. O. Ward, E. A. Rundensteiner, Hierarchical Parallel Coordinates for Visualizing Large Multivariate Data Sets, IEEE Visualization '99, 43-50, 1999.
- [12] G. Ellis, A. Dix, Enabling Automatic Clutter Reduction in Parallel Coordinate Plots, IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 12(5), 717-723, 2006.
- [13] D. Holten, Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 12(5), 741-748, 2006.
- [14] H. Zhou, Energy-Based Hierarchical Edge Clustering of Graphs, IEEE Pacific Visualization Symposium, 55-61, 2008.
- [15] IEEE 2008 VAST CHALLENGE, <http://www.cs.umd.edu/hcil/VASTchallenge08/>

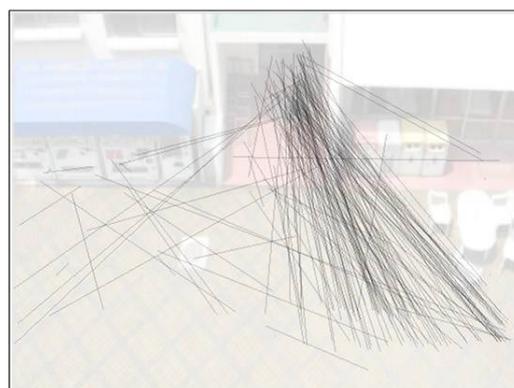


図12 近似の度合いを最大限に強めた結果