

経路情報の要約と可視化の一手法

藪下浩子¹ 伊藤貴之

お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科

A Summarization and Visualization Technique for Traffic Paths

Hiroko Yabushita Takayuki Itoh

Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

{yabu, itot} @ itolab.is.ocha.ac.jp

概要

我々は大規模な経路情報の要約可視化手法を提案する。本手法では、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、センサー、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 センサー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。

Abstract

We present a summarization and visualization technique for large-scale traffic path data. The research aims to 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.

¹現在、日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所に勤務

1 はじめに

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。近年、コンピュータビジョンやセンサー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、取得した経路情報を解析する際に、ビデオを閲覧するなどの手段だけ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、人流経路情報を取得するだけでなく、その全体像を把握する手段も必要である。その一手段として、経路情報の可視化手法の確立は重要である。

現在までに発表されている経路情報の可視化手法は、実空間上に経路を描画する手法と、グラフなどの論理構造を用いて経路を表現する手法に大別される。以下、実空間上に経路を描画する既存の可視化手法について論じる。経路情報の可視化に関する黎明期の手法 [1, 2] には、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。経路情報の可視化は、さまざまな分野・業界・用途に活用される技術であることから、これらの問題点の解決は必須であるといえる。それに対して近年、これらの問題点の克服を目指し、いくつかの研究が発表された。それらの多くは、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、経路群に対してクラスタリングを適用する [3, 4, 5, 6, 7]。しかしこれらの発表においても、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対しては、依然として効果の高い実行結果を示せていない。したがって我々は、このような場所を含めたあらゆる場所で適用可能である要約可視化技術を開発することが、大変有用であると考えられる。

本論文では、上記の問題を解決し、通路の存在の有無にかかわらず適切に経路情報を要約・可視化する一手法を提案する。本手法では、まず 2 次元の格子を計測領域に重ね、その格子線で切断することにより経路を量子化する。次に、各格子領域の内部における経路線分を位置で分類し、分類結果から類似線分を束にする。そしてエルミート曲線化によって束をなめらかに接続し、これらを接続する。以上の処理により本手法は、以下の特徴を有するような要約・可視化結果を実現する。

特徴 1: 人流情報の全体像を把握できる。

特徴 2: はっきりとした通路が存在しない場所や、代表的な経路を事前に規定できない場所においても、与えられた経路情報から有意な知見を得られる。

特徴 3: その空間における代表的な経路だけでなく、逸脱経路や詳細経路も表現できる。

本論文では 2 章にて関連研究を示し、3 章では提案手法の具体的な処理手順を述べる。4 章では、通路が

存在する空間における適用事例、通路が存在しない空間における適用事例、乱雑度が高い経路の可視化結果を示す。そして 5 章では、適用事例に対する評価結果から、本手法の有用性を議論する。

なお本論文による提案手法の技術的概要は、著者自身による国際会議講演でも述べられている [8]。本論文はそれに対して、より詳細に処理手順を述べると同時に、国際会議予稿では触れられていなかった主観評価および定量評価について論じるものである。

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 グラフによる表現手法

経路情報の可視化手法として、実空間を表現した地図や間取り図などの上に要約した経路を描画せずに、類似する経路をまとめてグラフを用いて表現する研究がいくつか発表されている。グラフを用いることの利点は、異なる時刻や地点間における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時刻や場所が明確である等の、目的が決まっている解析者に対し適した手法であると考えられる。Larson ら [9] 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し解析した。大西ら [10] は、最尤推定によって動線の数が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した。Shen ら [11] 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 [12] 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。本論文の提案手法は、これらとは違って、地図や間取り図などが表現する実空間の上に、経路情報の要約結果を可視化するものである。

2.1.2 実空間上の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、直観的な可視化手法により予期していなかった事象の発見に強いことがあげられる。更に地理情報との関係性から可視化結果の経路の形状の意味を推測しやすいといった利点もある。初期の手法 [1, 2] は経路情報を実空間上に直接描いていたが、大規模かつ混雑した経路情報を描画すると画面上で多くの線分が絡み合ってしまうので、可読性の面で明らかに限界がある。これらを改善するために、類似経路をまとめることで経路を要約して可視化する、という考え方の手法がいくつか発表されてきた。Andrienko ら [3, 4, 5] は、進行方向が決まっている環境下において、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した。帷子ら [6] は、経路選択の自由度が高い環境下において、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、最多経路を表現した。Widhelm らの手法 [7] も同様に、主要経路への統合によって、経路情報の要約を試みている。しかしこれらの発表における実行例は、道路や通路などで経路の存在範囲が限られており、さらに移動物体の移動方向がほぼ一定である空間、あるいは大半の移動物体が同一方向に移動する空間、などに限定されており、人物が自由に歩行できる広場などの環境での実行例が十分に示されていない。また最近の手法として、動体の通過情報を、位置を引数にした密度関数に変換して、ヒートマップ的に表示する手法 [13] も提案されている。しかし、このような手法では、画面上を全面的に埋め尽くしてしまうような乱雑な経路情報 (4.3 節参照) に対して、視認性の高い可視化結果を得るのが困難である。

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、時系列データに代表されるような 1 次元的に変化するデータに対してクラスタ化アルゴリズムを適用し、平行な 2 軸上にある点を結ぶ線分を束化することによって問題を解決した。例えば Fua ら [14] 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 [15] 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 [16] 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 [17] 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。どちらの手法も近接する 2 点間の線分を束化することで問題を解決している。

しかしこれらの手法は、各々の線分が 2 次元的に変化する、かつ可視化前にノードとなり得る地図上の地点が規定されていない経路情報を可視化することに適さない。

3 提案内容:経路情報の近似・集計・要約・描画

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. 経路の近似：経路座標の量子化
 - 経路を一定間隔の格子に重ねる (図 1(a) 参照)
 - 経路と格子の交点を取得する (図 1(b) 参照)
 - 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
2. 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
3. 経路の要約：線分の束化と接続
 - 同じグループに分類される線分群を束にして 1 本の線分で表現する (図 1(c) 参照)
 - 線分群をエルミート曲線でなめらかに接続する (図 1(d) 参照)
 - 以上の結果を描画する
4. 経路の描画

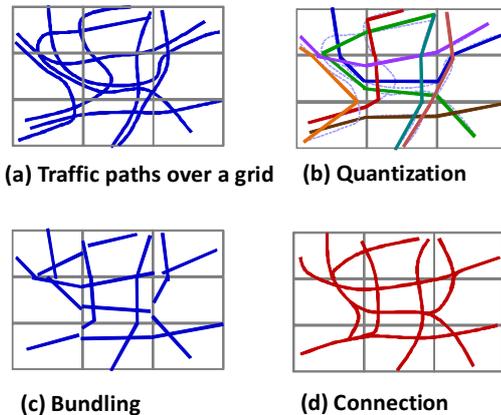


図 1: 本手法の処理手順。

以下に、本手法の処理について詳しく示す。

3.1 前処理：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 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 4.2 節で示す固定カメラによって撮影された動画像の人物追跡結

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、動画像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 経路の近似：経路座標の量子化

本手法はまず、すべての経路を量子化する。図2(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2(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2(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。このとき、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2(2)で示したような量子化経路を取得する。なお、図2(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。

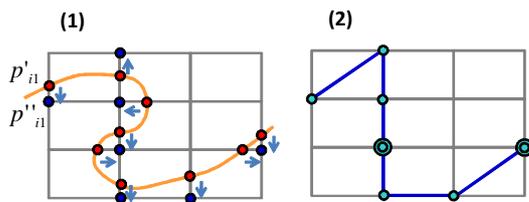


図 2: 座標の量子化。

3.3 経路の要約：線分の束化と接続

続いて、本手法は経路を集計するため、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 B_k とし、それぞれを 2×2 の v_{k1} から v_{k4} となる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、以下の r_{k1} から r_{k10} の10個のパターンに分類する。

- r_{k1} : v_{k1} から v_{k2} への移動、またはその逆。
- r_{k2} : v_{k2} から v_{k3} への移動、またはその逆。
- r_{k3} : v_{k3} から v_{k4} への移動、またはその逆。
- r_{k4} : v_{k4} から v_{k1} への移動、またはその逆。
- r_{k5} : v_{k1} から v_{k3} への移動、またはその逆。
- r_{k6} : v_{k2} から v_{k4} への移動、またはその逆。
- r_{k7} : v_{k1} から v_{k1} への移動。
- r_{k8} : v_{k2} から v_{k2} への移動。
- r_{k9} : v_{k3} から v_{k3} への移動。

r_{k10} : v_{k4} から v_{k4} への移動。

図3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 B_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。

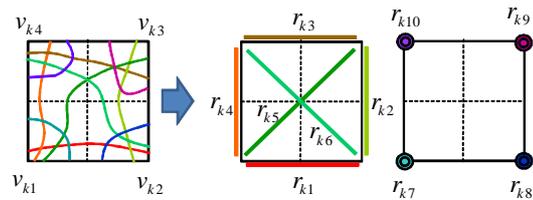


図 3: 線分集計のためのパターン。

そして本手法は、それぞれの長方形スペース B_k の各パターンごとに、線分群を要約する。この時、線分の本数に応じて、処理を分岐する。

もしパターン r_{pq} ($q:1 \sim 10$) 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4(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要約結果とする。図4(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4(右下)に赤線で示すように、2本の線分の平均経路を要約結果とする。

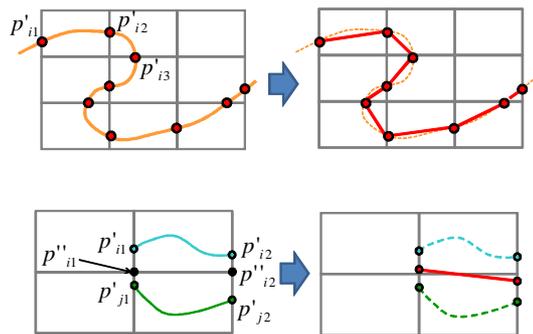


図 4: 線分の束化。

以上の処理によって生成された線分束は、断片的になることが多い。この不連続性は主に、幅の狭い通路での経路要約結果よりも、歩行者が自由に歩行できる広場などの経路要約結果において発生する。しかしデータ構造上は各々の経路についてその連結関係を保存しており、この不連続の問題を解消すべく、我々は1人以上の歩行者の経路の連続性に基づいて、隣接す

る線分束を連結する手法を開発している．この手法では，隣接する線分束をなめらかに補間接続するために，エルミート曲線を適用している（図 5 参照）．本処理ではまず，隣接する長方形領域に属し，1人以上の歩行者を共有する 2本の線分束を抽出する．続いて，この 2本の線分束の中心点を連結するエルミート曲線を生成する．このとき，曲線の両端点における接ベクトルを，各々の線分束のベクトルと同一にする．図 5において， a と b は 2本の線分束の中心点であり，これが曲線の両端点に相当する．さらに， x は y は曲線の両端点における接ベクトルに相当する．

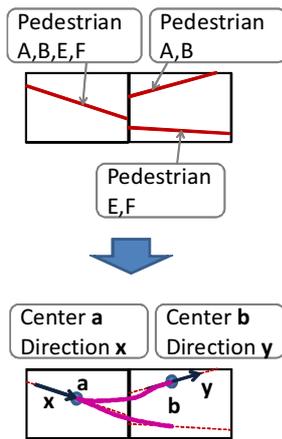


図 5: エルミート曲線の適用による線分のなめらかな接続．

3.4 経路の描画

続いて本手法では経路を描画する．我々の実装では，ウィンドウに地図や間取り図などの画像を表示し，その前面に経路情報を構成する線分群を描画する．また，描画対象となる線分群として，

- 入力された線分群をそのまま描画する
- 3.2 節で示した近似結果を描画する
- 3.3 節で示した要約結果を描画する

の 3種類を選択できるように実装している．このうち，入力線分群，近似結果，の 2種類については，各々の線分が均一の量を表現するため，各線分を単色（我々の実装では黒）で，均一な太さ・不透明度で描画する．要約結果については，各線分が表現する線分量が異なるため，各線分に対応する歩行者数を c ，およびその最小値と最大値をそれぞれ c_{min} , c_{max} としたときに，

$$ratio = \frac{c - c_{min}}{c_{max} - c_{min}} \quad (1)$$

で算出される相対値 $ratio$ から算出される太さと色相を各線分に与える．現時点の我々の実装では，線分の太さは $ratio$ に比例するものとし，最大値を 5 ピクセルとしている．また線分の色相は， $ratio = 0$ のとき紫， $ratio = 1$ の赤，となるように与えている．

3.5 GUI

我々は，本手法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．図 6 に GUI の操作画面を示す．本 GUI 上のスライダーやボタンを操作することで連動的に，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．

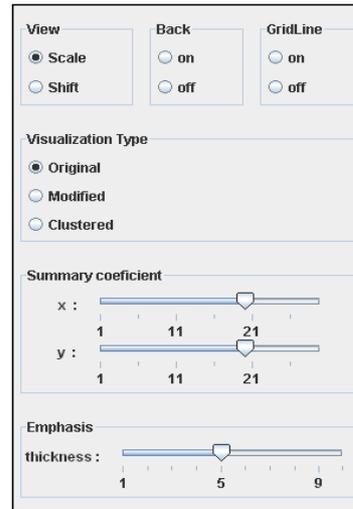


図 6: 我々の実装による GUI 画面．

4 可視化結果

以下に，タイプの異なる 3種類のデータに対する，本手法の可視化結果を示す．なお本章以降，本手法による処理結果を以下のように称する．

近似結果: 3.2 節に示した量子化処理の結果．

要約結果: 3.3 節の前半に示した束化処理の結果．

接続結果: 3.3 節の後半に示した接続処理の結果．

4.1 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 [18]．図 7 にビル内の地図を示す．赤枠で囲まれている場所が，出入口である．爆弾のマークの場所で爆発が起こり，ビル内の人々が一斉に出入口へ向かう様子を取得した．

図 10(上) 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、近似した結果を図 10(中) に、要約した結果を図 10(下) に示す。

図 10(上) と比較すると、図 10(中) 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 10(下) 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 10(下) 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。

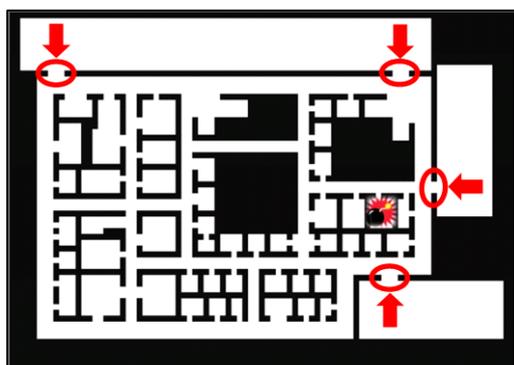


図 7: ビル内の地図。

4.2 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、動体検出処理中の画面の例を示す。

図 11(上) 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、近似した結果を図 11(中) に、要約した結果を図 11(下) に示す。図 11(上) と比較すると、図 11(中) 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(下) 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でゴミ箱に立ち寄り、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、主要経路を逸脱する例外的な経路をたどる人物が意外に多いことを知り、ひいては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。このことから本手法が、1 章で掲げた [特徴 3] を満たしていることがわかる。

図 11(下) に示す要約結果の線分をエルミート曲線で接続した結果を、図 12 に示す。図 11(下) に示される線分群はとところどころ断片的であるのに対して、図 12 では線分群がなめらかに接続されており、自然に注視できる描画結果となっていることがわかる。また図 12 から、我々の実装によるエルミート曲線の接続処理は、格子の解像度を変えることによって、線分の要約と接続に関する詳細度を制御できることがわかる。

2.1.2 節で論じたとおり、実空間上での経路要約結果の可視化において、関連研究では人物が自由に経路を選択できる広場のような空間での実行例を十分に示していない。それに対して提案手法は、図 11,12 が示すように、このような自由度の高い空間においても経路要約結果を可視化できていることがわかる。このことから本手法が、1 章で掲げた [特徴 2] を満たしていることがわかる。

我々の実装では、量子化・束化・エルミート曲線接続の各処理を、このデータにおいて合計 100 ミリ秒以下で実現しており、GUI での対話操作に対して十分に追従できるものとなっている。

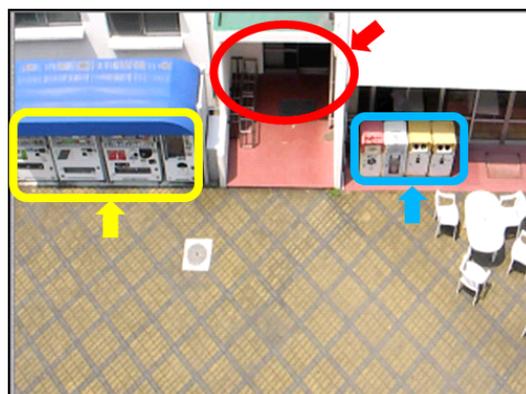


図 8: カフェテリアのドア周囲の風景。

4.3 乱雑度の高いデータの可視化結果

3 つめの可視化結果として本章では、そのまま描画したのでは画面を真っ黒に塗りつぶしてしまうような、乱雑度の高いデータの可視化結果を示す。ただし現時点で我々は、そのような乱雑度の高い経路情報を計測

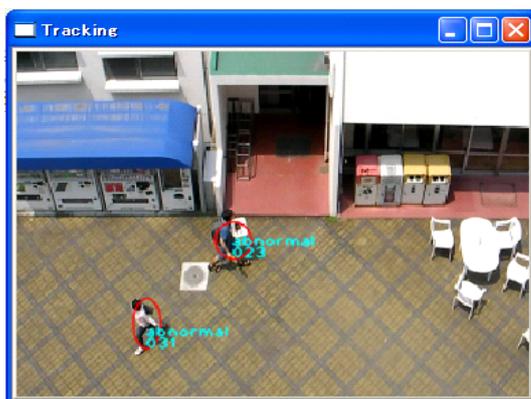


図 9: 動体検出処理中の画面。

する環境がないため、以下のようなテストデータを生成することで代用した。

我々が開発したテストデータ生成プログラムでは、まず 2000 本の直線的な経路を乱数的に生成した。具体的には、画面上の水平方向および鉛直方向を座標軸とする 2 次元直交座標系において、一次関数 $y = ax + b$ (ただし a と b は各経路に対して乱数で与えた定数) によって各経路を近似する直線を定義した。さらに、この直線上を一定速度で通過し、各時刻における座標値 (x, y) に乱数 (s, t) を加算することで、画面上での経路のブレを再現した。以上によって生成された経路 1 本 1 本を目視して、これらが 4.1 節および 4.2 節で示した可視化結果の経路と類似するように、乱数 (s, t) の範囲を調節した。

続いてテストデータ生成プログラムでは、可視化結果上で束になって見えるような 3 組の直線的な経路を乱数的に生成した。具体的には、経路を近似する一次関数 $y = ax + b$ において 1 組の乱数 (a, b) を決定し、この (a, b) に微小な乱数 (c, d) を加算することで、画面上で非常に近くを通過する 50 本の直線を生成した。これら 50 本の各々に対して、各時刻における座標値 (x, y) に乱数 (s, t) を加算した。以上の処理を 3 回反復することで、可視化結果上で束になって見える 3 組の経路群を生成した。

図 13(上) に経路をそのまま描画したものを示し、それを近似した結果を図 13(中) に示す。経路情報の乱雑度が非常に高いため、画面上で経路がほぼ真っ黒に表示されてしまい、経路の傾向を視認することが非常に難しい。それに対して、本手法を適用して経路を要約・接続した結果を図 13(下) に示す。乱雑度の高い経路情報の中に、3 組の経路の束が赤色で明確に見られることがわかる。またその 3 組以外にも、乱数生成結果として偶発的に経路が集中したとみられる束が見られる。以上により本手法が、画面上での乱雑度の高いデータにおいても一定の効果が見られることがわかる。

5 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。

5.1 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、本手法による処理過程の各々の可視化結果がどの程度適切であるか、アンケートを実施した。このアンケートにおいて我々は、4.1 節および 4.2 節に示した適用事例の可視化結果について、処理前の動線そのまま描画した結果、近似結果、要約結果、接続結果の画像を、具体的な画像生成手法を説明せずに紙に印刷して提示した。アンケートでは各々の適用事例に対していくつかの設問を提示し、その設問に対して各画像がどの程度満足できるものであるかを、以下の 5 段階

1. まったく有用だと思わない
2. あまり有用だと思わない
3. どちらともいえない
4. おおむね有用である
5. 非常に有用である

で回答してもらう形式とした。アンケート回答に参加した被験者は、可視化技術に精通する 20 代の学生 14 名、および可視化技術に精通していない 20 代の学生 22 名であった。本章ではこれら 2 組の被験者の回答を別々に集計した結果を示す。

4.1 節に示した適用事例に関する主観評価

表 1 および表 2 に、4.1 節の適用事例に関するアンケート結果を示す。ここで問 1 ~ 問 6 は以下の設問である。

- 問 1: 混雑している通路を見つける
- 問 2: 空いている通路を見つける
- 問 3: 避難時の問題点を指摘する
- 問 4: 各部屋にいた人数を把握する
- 問 5: 人々の動きを感じる
- 問 6: 避難による混雑の改善案を提案する

本アンケートでは、処理前の画像、近似結果、要約結果のみを提示し、エルミート曲線による接続結果は提示しなかった。その理由は、4.1 節に示した適用事例の場合、エルミート曲線による接続結果が通路をはみ出す場合があったからである。また、本アンケートで用いた近似結果および要約結果における表 1, 2 の (1)(2)(3) は、それぞれ格子分割数を 20×20 , 15×15 , 10×10 とした結果である。図 10 に示した 3 枚の可視化結果は、それぞれ表 1, 2 の処理前、近似 (1)、要約 (1) に対応する。ただし要約 (2) と要約 (3) は視覚的にほとんど同一であったため、被験者には片方のみを提示した。

この結果から、特に問 1,2,3 において、本手法による要約結果が他の結果に比べて効果的であることがわかる。一方で問 4 についてはどの表示結果もあまり高評価を得られておらず、今後の検討が必要であると考えられる。また問 5,6 については、可視化技術に精通した被験者からは要約結果に対して高評価を得られたが、可視化技術に精通していない被験者からはあまり高評価を得られていないことがわかる。このことから、可視化技術に精通していないユーザにも可読性の高い可視化技術を今後の目標の一つに考えていきたい。

表 1: 4.1 節の適用事例に関して、可視化技術に精通した被験者 14 名によるアンケート回答結果。

	問 1	問 2	問 3	問 4	問 5	問 6
処理前	4.43	4.21	3.36	2.43	3.57	3.36
近似 (1)	4.43	4.29	3.57	2.57	3.69	3.54
近似 (2)	4.21	4.00	3.50	2.50	3.64	3.64
近似 (3)	1.57	1.71	1.71	2.43	2.21	1.86
要約 (1)	4.71	4.71	4.07	2.50	3.79	4.21
要約 (2)	4.50	4.71	4.00	2.43	3.71	4.14

表 2: 4.1 節の適用事例に関して、可視化技術に精通していない被験者 22 名によるアンケート回答結果。

	問 1	問 2	問 3	問 4	問 5	問 6
処理前	4.23	3.86	3.27	2.32	2.68	3.36
近似 (1)	4.27	3.82	3.55	2.91	3.36	3.41
近似 (2)	4.23	3.91	3.41	3.00	3.32	3.18
近似 (3)	2.73	2.36	2.23	2.36	2.68	2.14
要約 (1)	4.73	4.50	4.00	2.86	3.32	3.50
要約 (2)	4.64	4.59	4.09	2.64	3.41	3.55

4.2 節に示した適用事例に関する主観評価

表 3 および表 4 に、4.2 節の適用事例に関するアンケート結果を示す。ここで問 1~問 6 は以下の設問である。

- 問 1: 主要な経路を見つける
- 問 2: 逸脱経路を見つける
- 問 3: 大観をつかむ
- 問 4: 人々の動きの目標をとらえる
- 問 5: 人々の動きの細部の特徴をとらえる
- 問 6: ゴミ箱前へ向かう人の流れをとらえる

本アンケートでは、処理前の画像、近似結果、要約結果、エルミート曲線による接続結果を提示した。また、本アンケートで用いた近似結果および要約結果における表 3,4 の (1)(2)(3) は、それぞれ格子分割数を 20 × 20, 15 × 15, 10 × 10 とした結果である。図 11 に示した 3 枚の可視化結果は、それぞれ表 3,4 の処理前、近似 (1)、要約 (1) に対応する。また、図 12 に示

した 3 枚の可視化結果は、それぞれ表 3,4 の接続 (1)、接続 (2)、接続 (3) に対応する。

この結果からは、格子分割数の変化が大きく評価を分けていることが非常によくわかる。特に問 (4)(5)(6) については、(1) の評価が高く (3) の評価が低いのが如実に現れている。このことから本手法において、格子分割数を適切に調節する必要性がわかる。現時点での本手法は、近似・要約・接続処理の処理時間が小さく、GUI を介して対話的に格子分割数を設定することが可能であるが、一方で適切な格子分割数を自動設定する手法を開発することも今後の課題として考えられる。また、この結果では、総じて要約結果と接続結果の評価に大差は見られないが、例えば表 3 の問 4,6 など、いくつかの設問において要約結果より接続結果のほうが高い評価が得られているのがわかる。このことから、本手法における接続処理の有効性がわかる。また表 3 において、問 5 では処理前の表示結果が最も評価が高かったことに注目されたい。この結果から、ある特定の目的においては、処理前の表示結果を提示することにも意義があることがわかる。言い換えれば、本手法があれば処理前の動線をそのまま表示する必要はない、というのではなく、GUI を介して処理前の表示結果と要約・接続結果を切り替えられる我々の実装が妥当であるといえる。

表 3: 4.2 節の適用事例に関して、可視化技術に精通した被験者 14 名によるアンケート回答結果。

	問 1	問 2	問 3	問 4	問 5	問 6
処理前	3.79	3.29	3.93	3.43	3.93	3.07
近似 (1)	4.14	3.57	4.14	3.71	3.71	3.43
近似 (2)	4.64	4.00	4.36	4.07	3.27	3.36
近似 (3)	3.79	3.14	4.14	3.29	1.43	2.14
要約 (1)	4.71	4.21	4.43	3.79	3.79	3.86
要約 (2)	4.71	3.86	4.21	3.50	2.79	3.14
要約 (3)	4.71	2.79	4.36	3.36	1.79	2.71
接続 (1)	4.50	3.93	4.36	4.21	3.79	4.14
接続 (2)	4.71	3.93	4.36	4.07	3.50	3.79
接続 (3)	4.71	3.57	4.21	3.86	2.93	3.79

表 4: 4.2 節の適用事例に関して、可視化技術に精通していない被験者 22 名によるアンケート回答結果。

	問 1	問 2	問 3	問 4	問 5	問 6
処理前	4.36	3.09	3.73	3.64	2.86	2.91
近似 (1)	4.14	3.23	3.36	3.36	2.95	3.09
近似 (2)	4.00	3.14	3.59	3.68	2.76	3.10
近似 (3)	3.77	2.82	3.45	3.55	2.27	2.18
要約 (1)	4.50	3.95	4.18	3.86	3.27	3.55
要約 (2)	4.36	3.50	4.09	3.77	3.18	3.09
要約 (3)	4.55	2.86	4.14	3.23	2.50	2.59
接続 (1)	4.45	3.82	3.91	3.82	3.82	3.64
接続 (2)	4.36	3.77	3.91	3.55	3.50	3.55
接続 (3)	4.23	3.27	3.59	3.14	2.77	3.23

5.2 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 5 に、4 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、前節の主観評価において良好な結果を得ているだけでなく、線分数の削減によって描画速度を向上していることがわかる。

表 5: 描画線分数の比較

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

6 まとめ

我々は、経路情報の要約可視化の一手法を示した。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。それに対して本手法では、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。本手法により、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。

本手法は現在、人物歩行の方向や時間帯などを表現するに至っていない。今後の課題として、これらの表現に取り組みたい。最近の手法として、人物歩行量やその人物別属性を別ウィンドウで表示し、人物歩行の可視化結果と連携操作させる可視化システム [19] が発表されている。このような実装を参考にすることが、方向性の一つとして考えられる。

本手法は、4.1 節で示した動画像や 4.2 節で示したセンサから取得した経路情報に限らず、さまざまな手段で得られた経路情報に対して適用可能である。我々は現在、計算機シミュレーションによって得られた仮想人物歩行結果への本手法の適用を考えている。

参考文献

- [1] T. Kapler, W. Wright, GeoTime Information Visualization, *Information Visualization*, 4(2), 136-146, 2005.
- [2] M.-J. Kraak, The Space-Time Cube Revisited from a Geovisualization Perspective, *21st International Cartographic Conference*, 1988-1995, 2003.
- [3] G. Andrienko, N. Andrienko, S. Wrobel, Visual Analytics Tools for Analysis of Movement Data, *ACM SIGKDD Explorations*, 9(2), 38-46, 2007.
- [4] G. Andrienko, N. Andrienko, Spatio-temporal Aggregation for Visual Analysis of Movements, *IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology 2008*, 51-58, 2008.
- [5] N. Andrienko, G. Andrienko, Spatial Generalization and Aggregation of Massive Movement Data, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, RapidPosts, 2010.
- [6] 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, 239-244, 2006.
- [7] P. Widhalm, N. Braendle, Learning Major Pedestrian Flows in Crowded Scenes, *20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, ThCT3.2, 2010.
- [8] H. Yabushita, T. Itoh, Summarization and Visualization of Pedestrian Tracking Data, *15th International Conference on Information Visualization (IV2011)*, 2011.
- [9] 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, 2005.
- [10] 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, 2009.
- [11] Z. Shen, K.-L. Ma, Path Visualization for Adjacency Matrices, *Eurographics/IEEE-VGTC Symposium on Visualization*, 83-90, 2007.
- [12] T. Schreck, J. Bernard, T. Tekusova, Visual Cluster Analysis of Trajectory Data With Interactive Kohonen Maps, *IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology*, 3-10, 2008.
- [13] O. D. Lampe, H. Hauser, Interactive Visualization of Streaming Data with Kernel Density Estimation *IEEE Pacific Visualization Symposium*, 171-178, 2011.
- [14] Y. H. Fua, M. O. Ward, E. A. Rundensteiner, Hierarchical Parallel Coordinates for Visualizing Large Multivariate Data Sets, *IEEE Visualization '99*, 43-50, 1999.
- [15] G. Ellis, A. Dix, Enabling Automatic Clutter Reduction in Parallel Coordinate Plots, *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, 12(5), 717-723, 2006.
- [16] D. Holten, Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 12(5), 741-748, 2006.
- [17] H. Zhou, Energy-Based Hierarchical Edge Clustering of Graphs, *IEEE Pacific Visualization Symposium*, 55-61, 2008.

- [18] IEEE 2008 VAST CHALLENGE, <http://www.cs.umd.edu/hcil/VASTchallenge08/>
- [19] H. Guo, Z. Wang, B. Yu, H. Zhao, X. Yuan, TripVista: Triple Perspective Visual Trajectory Analytics and Its Application on Microscopic Traffic Data at a Road Intersection, *IEEE Pacific Visualization Symposium*, 163-170, 2011.



藪下 浩子

2008 年お茶の水女子大学理学部情報科学科卒業 . 2010 年お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科博士前期課程修了 . 2010 年より日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所勤務 .



伊藤 貴之

1990 年早稲田大学工学部電子通信学科卒業 . 1992 年早稲田大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了 . 同年日本アイ・ピー・エム (株) 入社 . 1997 年博士 (工学) . 2000 年米国カーネギーメロン大学客員研究員 . 2003 年から 2005 年まで京都大学大学院情報学研究科 COE 研究員 (客員助教授相当) . 2005 年日本アイ・ピー・エム (株) 退職 , 2005 年よりお茶の水女子大学理学部情報科学科助教授 (准教授) . 2011 年より同大学教授 . ACM, IEEE Computer Society, 情報処理学会, 芸術科学会, 画像電子学会, 可視化情報学会, 他会員 .

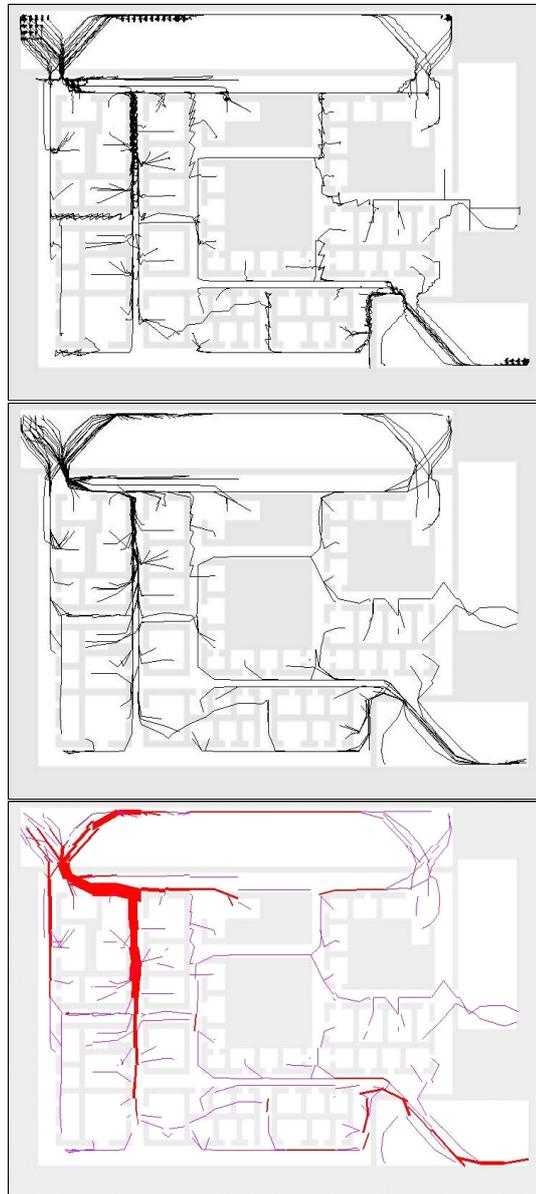


図 10: RFID センサで取得した経路の可視化結果 . (上) そのまま描画した結果 . (中) 近似した結果 . (下) 要約した結果 .

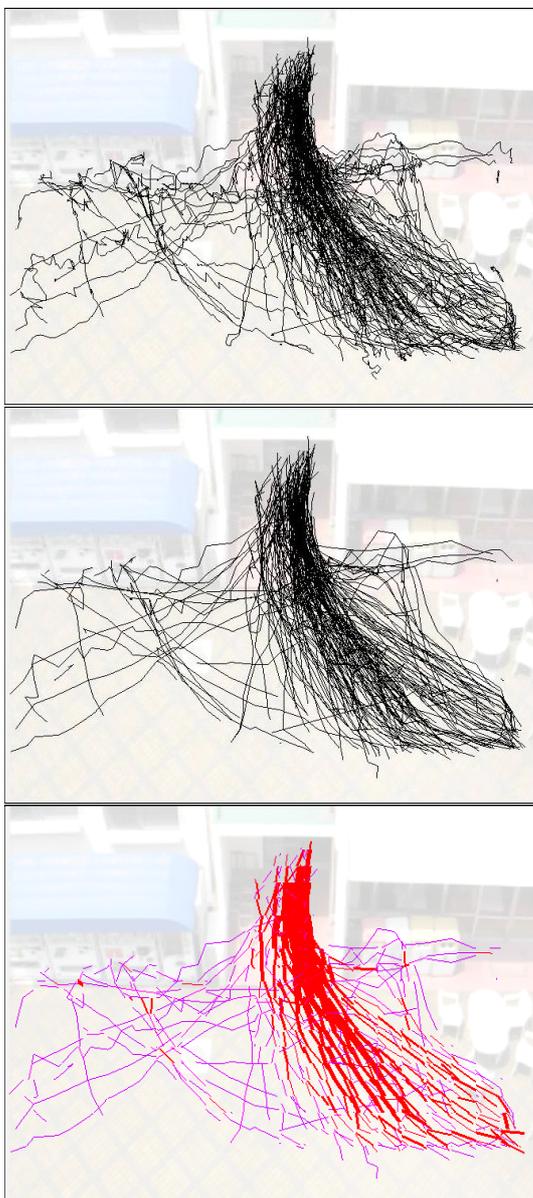


図 11: 動画ファイルから取得した経路の可視化結果 . (上) そのまま描画した結果 . (中) 近似結果 . (下) 要約結果 .

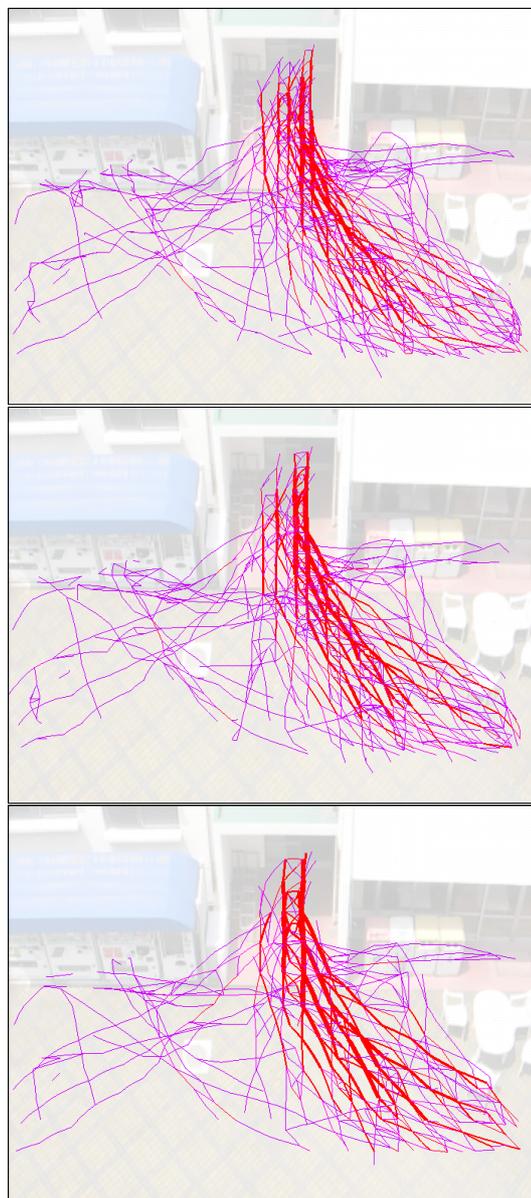


図 12: エルミート曲線による線分の接続結果 . (上) 格子分割数 20×20 . (中) 格子分割数 15×15 . (下) 格子分割数 10×10 .

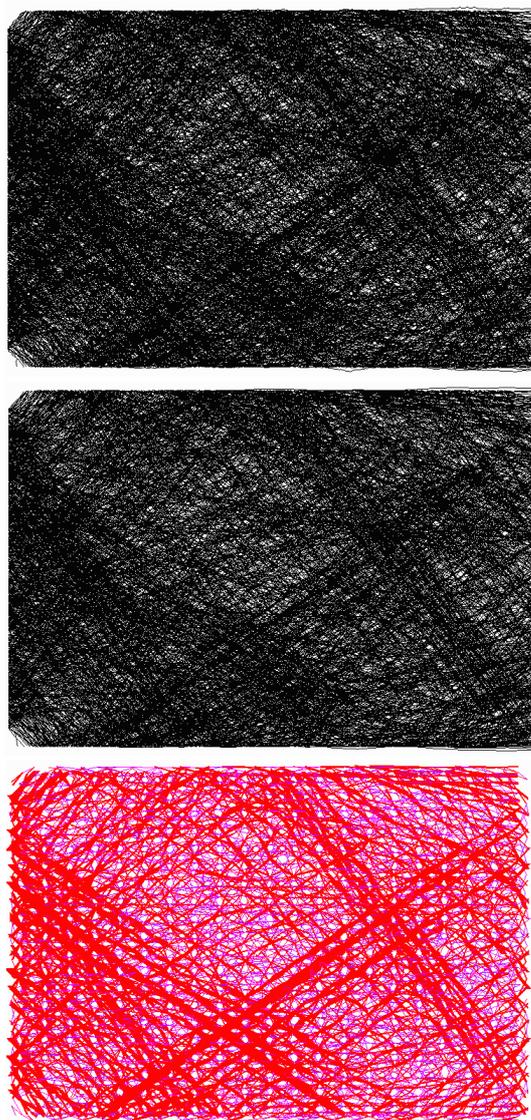


図 13: 乱数的に発生させた経路の可視化結果 .
(上) そのまま描画した結果. (中) 近似結果. (下)
接続結果.