Vol.2016-GN-98 No.12
2016/3/15

大規模移動データの探索的分析のための視覚的ツールの開発

濵田 康平[1,a)]　三末 和男[2,b)]

概要：大規模移動体データには大量の移動体の移動情報が記録されている．移動体には衝突事故の危険を孕んだ異常行動を行うものが含まれていることがある．この異常行動を収集するためには二つの移動体の接近状態に着目するのが良いと考えられる．しかしながら，接近した移動体であっても，それらのほとんどは，特に問題なく追走，並走，すれ違い等をしている．また，一定距離以内に接近している移動体の組は膨大で，それらを個別に観察するのは非効率的である．そこで二つの移動体の最接近位置を相対的に重ねあわせて一度に観察する方法を考案した．重ね合わせの方法を工夫することで，明かな追走，並走，すれ違いを容易に排除できると考えられる．重ね合わせにはいくつかの方法が考えられるが，その一つをツールに実装し，使用感を検証した．一定の効果が期待できるとともに，改善の余地も見付かった．

1. はじめに

近年，GPS の普及や精度の向上により位置情報データを集めることが容易になった．特に複数の移動体に関する連続的な位置情報を持つ移動データは，様々な場面で活用されている．例えば，動物の群れの移動データを分析することで生態の調査を行ったり [1]，ショッピングモールにおける歩行者の動きを分析することで店や品物の配置を改善したりするなど [2] が挙げられる．本研究では船舶や飛行機等の移動体における異常行動の発見，特に異常接近の分析に焦点を当てる．

船舶や飛行機等の移動データは，交通量の多い領域，停泊領域などの分布を調べることによる交通ルートの改善など [3] で活用されている．また移動データ中に含まれる異常行動や異常接近を発見，分析することで，事故を未然に防ぐための知見が得られることも期待される．異常行動とは，急加速や急減速，交通量の多い場所での停止など，通常の動きから逸脱した行動のことである．異常接近とは，移動体同士の距離が通常よりも近い状態のことである．こうした異常行動や異常接近の分析のためには，数理モデルを構築し実際の事例を機械的に抽出することが望ましい．そしてその数理モデルを構築するためには，異常行動，異常接近の事例収集が必要となる．そうした異常行動，異常接近の事例収集手段として，ヒヤリハットの調査があげられる．ヒヤリハットとは重大な事故や災害に至らなかったものの，直結してもおかしくない事例のことである．しかしながらヒヤリハットには必ずしも報告義務がないため事例として蓄積されていない．そのため，大量のデータから異常行動と思われる事例を人の手によって拾い出す必要がある．

異常接近の事例収集には，２つの移動体の接近状態に着目することが良いと考えられる．しかしながら，接近した移動体であっても，それらのほとんどは，特に問題なく追走，並走，すれ違い等をしている．また，一定距離以内に接近している移動体の組は膨大で，それらを個別に観察するのは非効率的である．そこで本研究では異常行動の事例収集の効率化を目的とする．そのためのアプローチとして，２つの移動体の最接近時の位置に着目した重ねあわせ表現を幾つか考案した．そのうち，明らかな追走，並走，すれ違いを容易に排除できると考えられる手法をツールに実装し，使用感を検証した．ツールによる一定の効果は得られたが，改善点も見つかった．

2. 関連研究

移動データに関する研究は多く行われている．

Willems ら [4] は，大小２つのカーネルによりカーネル密度推定を行い，船の軌跡を可視化した．彼らは大きいカーネルにより生成した密度場を軌跡の概観表示に用い，小さいカーネルにより生成した密度場を軌跡の詳細表示に用いた．船の速度情報を考慮したカーネル密度推定を用いることで，航路のような速度の速い海域と，遅い海域の可視化

1 筑波大学大学院システム情報工学研究科
2 筑波大学システム情報系
a) hamada@vislab.cs.tsukuba.ac.jp
b) misue@cs.tsukuba.ac.jp

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

を行った．また，データの条件ごとに別々の密度場を生成することにより，例えば悪天候時と通常時の軌跡の変化や，異常行動を行う船の抽出が出来ることを示した．

Scheepens ら [5], [6] は,Willems らの研究の拡張を行った．彼らはインタラクティブな操作を加えて，軌跡の分析を可能にした．これにより，ユーザは任意の軌跡領域を選択し，時間による変化や，向きの分布などを見ることが可能になった．また，船の速度や種類など，任意の特徴量を軸に取るグラフを作成可能にし，軌跡分析の支援を行った．更に，粒子を用いたアニメーションを取り入れることで，軌跡の概観表示をした際に，視覚的な重なりを起こさずに軌跡の方向を把握することを可能にした．

Riveiro ら [7] は，海上交通監視のためにインタラクティブな視覚的分析ツールを開発した．このツールではまず SOM アルゴリズムを用いて，通常の船の振る舞いモデルを作成する．そして，作成した通常の振る舞いモデルを使用して，それに当てはまらない異常な振る舞いの検出を行っている．また，アナリストは海上監視を行いながら，随時インタラクティブに通常の船の振る舞いモデルを調整することが出来る．これにより，通常のモデルを改良し，異常な振る舞いの誤検出率を下げることが出来る．

彼らの研究では，移動データを可視化し，交通量の分析や，交通ルートの分析などを可能にしている．しかしながら，異常な接近や事故などの複数の移動体が関連する以上に関しては考慮されていない．対して我々は，二つ (以上) の移動体の組に着目し，接近情報の分析を行う．

3. 重ねあわせ表現

衝突事故の危険性を孕んだ異常行動を収集するためには，二つの移動体の接近状態に着目するのが良いと考えられる．一定距離以内に接近した移動体の組は計算により求めることが可能である．しかしながら，接近した移動体のほとんどは特に問題なく追走，並走，すれ違い等をしている．また，接近した移動体の組の数は非常に多く，それら全てに対して目視によって異常であるかどうかの判断を下すことは非効率である．そこで我々は移動体同士の接近前後の動きを重ねあわせる表現をいくつか考案した．以下に考案した重ねあわせ表現について説明する．

3.1 Type1

Type1 では最接近時の二つの移動体の相対位置を固定し，前後数分の軌跡を表示する．図 1 は Type1 の概念を表した図である．Type1 ではまず，接近した移動体の最接近前後の軌跡を描く．図中の赤い円が最接近した時の位置，青い矢印が前後の軌跡を示している．次に最接近時の相対位置の角度が水平になるように回転させ，また，相対位置の距離が表現空間内で一定になるように拡大縮小処理を施す．最後に軌跡の重ね合わせを行う．

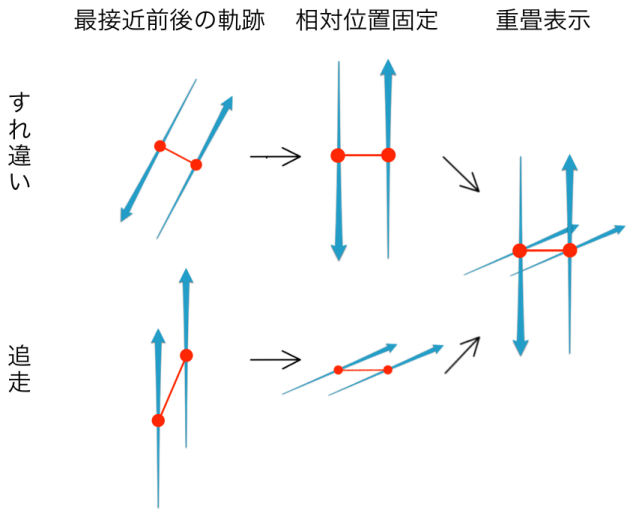


図 1: Type1

Type1 では複数の接近した移動体の組に対し，最接近前後でどのように接近していたのかを一度に観察できることが期待される．また，Type1 では接近の種類による傾向が，接近の傾きに表れる．例えば，すれ違いや並走という接近の場合，最接近前後の軌跡の傾きは縦方向を向く．また，追走時の最接近前後の軌跡の傾きは横方向を向く．

3.2 Type2

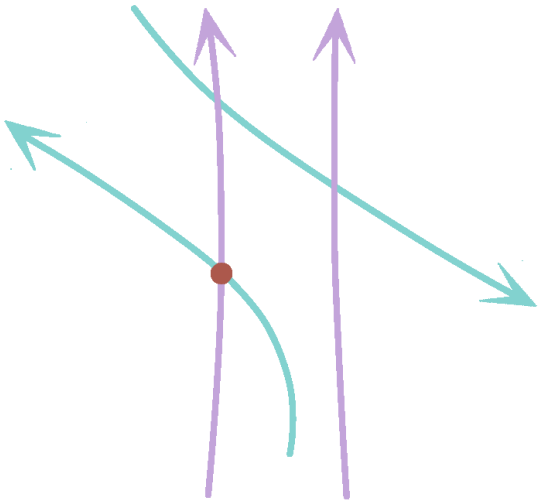


図 2: Type2

Type2 では接近した移動体の一方を中心に配置した時の他方の分布を表示するものである．図 2 は Type2 の概念を表した図である．Type2 ではまず，接近した移動体の最接近時の位置を描く．そしてどちらか一方の位置を表現空

間の中央に位置するように重ねあわせる．

Type2 では，接近した移動体の一方を中心に置くことで，最接近時の位置関係がどのようになっていたかを一度に観察できることが期待される．

Type2 には一方の移動体の最接近時の位置を中央に移動させる際，移動体の進行方向が上向きになるように回転させてから，重ね合わせを行うというバリエーションも考えられる．上向きに回転させた場合，中央に移動させた移動体に対し，もう一方の移動体がどこに位置していたかをより主観的に観察できることが期待される．

また，Type2 と同じように，最接近前後の軌跡を描くことで，どのように動いていたかを観察できるようにするバリエーションも考えられる．

3.3 Type3

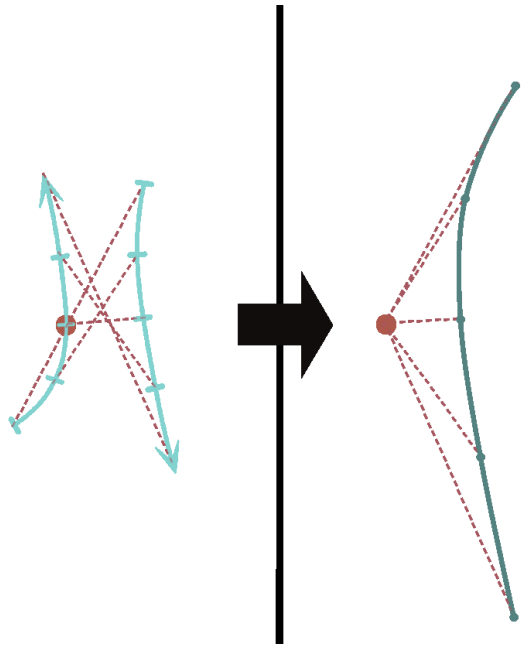


図 3: Type3

Type3 では接近した移動体の一方を中心に置き続けながら，最接近前後の位置関係を表示する．図 3 は Type3 の概念を表した図である．Type3 ではまず接近した移動体の一方を表現空間の中心に置く．そして中心に置いた移動体を原点としてみた時の，もう一方の移動体の位置を描く．最接近前後の移動に対し，同様の処理を行う．

Type3 では，一方の移動体に対して，もう一方の移動体はどのような位置に見えていたのかを観察することが出来る．

また，Type2 と同じように，中央に置いた移動体の向きが常に上向きになるように回転させるバリエーションも考えられる．

4. 扱うデータについて

本研究では大規模移動体データを扱う．大規模移動体データは，移動体が発信するレコードの集合である．1 レコードには，移動体の動的情報（発信時刻，速度，針路，緯度，経度），静的情報（ID，移動体の長さ，移動体の幅）が含まれている．また，大規模移動体データを元に計算した接近データも使用する．接近データとは，一定時間ごとに一定距離以下に接近した移動体の組を集めたものである．

5. 分析の流れ

本研究では接近情報の分析を以下のように行う．

(1) 情報提示
データに含まれている移動体がどのような動きをしているのかを把握するために，地図上に移動データを描く．また，データに含まれている接近情報がどのような動きをしているかを観察するために，重ね合わせ表現を描く．そして，重ね合わせ表現だけでは表しきれない，接近に関わる情報（最接近時の距離や，接近過程の距離の変動など）を表すグラフもともに表示する．

(2) フィルタリング
重ねあわせ表現を用いてどのような接近が存在するのかを把握する．そして，Type1 による接近の種類の分類を用いて，並走等の特に問題のなさそうな接近を取り除く．また，接近に関わる情報を用いてフィルタリングをかけることで，より危険な接近を探しだす．

(3) 注目対象の選択
フィルタリング結果から，異常と考えられる接近情報を選択する．

(4) 異常行動の確認
注目した接近情報が本当に異常であるかどうかを確認する．接近に関わる情報を詳しく見たり，アニメーションによる動きを確認などを行う．

6. ツールの開発

接近情報分析のためにツールを開発した．図 4 がツールの外観である．ツール左側には操作パネルを設置している．ツール中央には地図を表示している．ツール右上には Type1 が描画される．また，移動データや接近データに関係するグラフも描かれる．本章ではそれぞれの描画内容について詳しく説明する．

6.1 移動体データの描画

ツール中央の地図上に移動体データを描画する．指定された時間範囲内に含まれるレコードを描く．レコードには一つのマーカーを割り与える．マーカーの色には，緑から赤へのグラデーションを使用している．色は時間に対応し

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

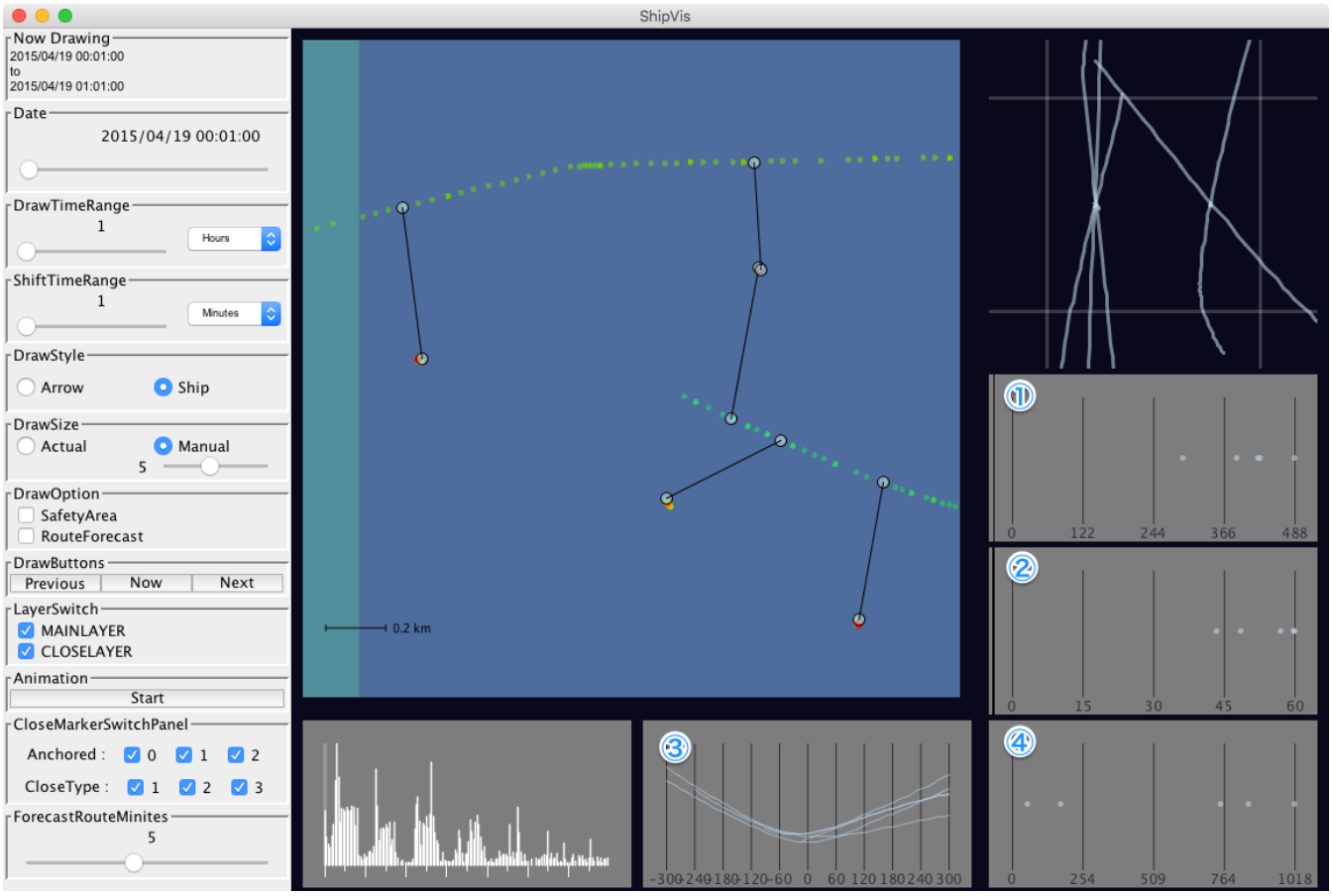
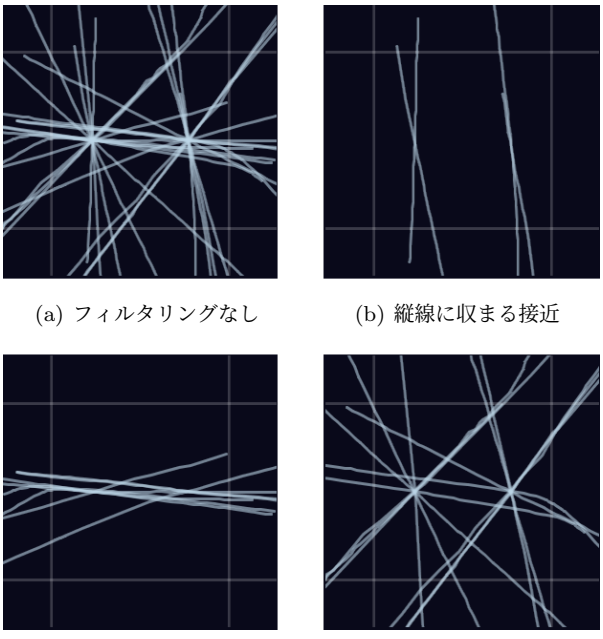


図 4: ツールの外観

ており，描画した時間範囲において，古いものは緑，新しいものは赤で描かれる．これにより，移動体の移動方向を把握することが容易になる．マーカーの大きさは，地図の縮尺にかかわらず一定の大きさで描画する方法と，縮尺に合わせた大きさで描画する方法の 2 種類を用意した．一定の大きさで描く場合，広い範囲の地図を見た時でも移動体を確認することができ，広範囲での移動体の分布や動きを把握することが容易になる．縮尺に合わせた大きさで描画した場合，詳細な地図を見た時にどのくらいの大きさの移動体であったかを確認することができ，移動体同士の接近の危険度の把握などが容易になる．

6.2 接近データの描画

地図上には，移動体データの描画とともに，接近データの描画も行う．接近データは地図上で，二つの白円とそれを結んだ線で表される．白丸は二つの移動体が最接近した時のそれぞれの位置を示している．また，白丸は選択することが可能であり，後述するアニメーションを行うことが出来る．



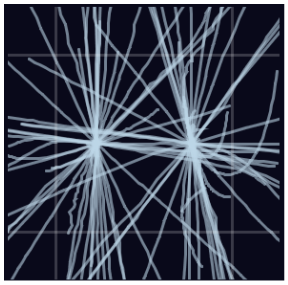
(a) フィルタリングなし　(b) 縦線に収まる接近

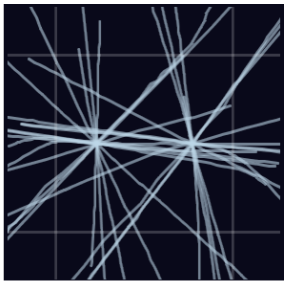
(c) 横線に収まる接近　(d) それ以外の接近

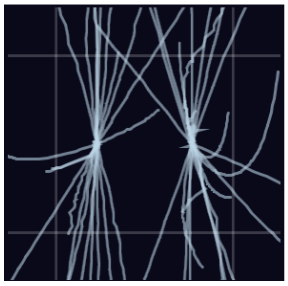
図 5: 接近の方法による分類

6.3 重ねあわせ表現

ツール右上には Type1 を描画している．地図上に描かれた分の接近データについて，重ね合わせ表現を行っている．Type1 上には横 2 本，縦 2 本の線を描いている．これは安全な並走・すれ違い・追走を除去するために用いる基


(a) フィルタリングなし


(b) 両方移動していると思われる接近


(c) 一方が停止していると思われる接近

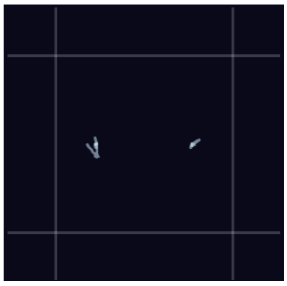

(d) 両方停止していると思われる接近

図 6: 停止している移動体による分類

準線である．安全な並走・すれ違いの多くは最接近前後の軌跡が縦 2 本の間に収まり，安全な追走の多くは横 2 本の間に収まると考えた，これらによってフィルタリングすることで事例収集の効率化を試みた．基準線を用いて，最接近前後の軌跡が縦 2 本の間に収まるもの，横 2 本の間に収まるものに分類する．また，最接近前後の移動体の変化量から，停止していると考えられる移動体を検出した．これにより，接近情報を，接近方法について「縦線に収まる接近情報」,「横線に収まる接近情報」,「それ以外」の 3 種類，接近した移動体について「両者移動しているもの」「一方が停止しているもの」「両者停止しているもの」の 3 種類に分類することが可能になる．図 5 は接近の種類で分類したものである．図 5a は何もフィルタリングしていない状態，図 5b は縦線に収まる接近，図 5c は縦線に収まる接近，図 5d はそれ以外の接近である．図 6 は停止した移動体の数で分類したものである．図 6a は何もフィルタリングしていない状態，図 6b は両方移動していると思われる接近，図 6c は一方が停止していると思われる接近，図 6d は両方停止していると思われる接近である．

6.4 接近関連情報のグラフ

Type1 による接近情報の分類だけでは，フィルタリングが不十分で多くの危険ではないと思われる接近データが残る場合がある．そこで，接近に関連する情報をグラフで表示し，更にグラフ上でフィルタリングを可能にすることで，異常行動の事例収集の効率化を図る．

6.4.1 最接近時の距離

図 4 中の 1 のグラフは最接近時の距離を表している．横軸一次元のグラフで，単位はメートルである．このグラフを用いることで，より最接近時の距離が短い，危険と思われる接近を見つけ出すことが出来る．

6.4.2 接近前後の距離の標準偏差

図 4 中の 2 のグラフは最接近前後 5 分間の距離の標準偏差を表している．横軸一次元のグラフで，単位はメートルである．最接近前後 5 分間を 10 秒間隔でサンプリングし，標準偏差を計算している．接近前後の距離変動が特に大きいものは，急激に近づくような接近であり，危険であると推測できる．最接近前後の距離の標準偏差が大きいものをフィルタリングにより選択可能にすることで，異常行動の事例収集の効率化を図る．

6.4.3 接近前後の距離推移

図 4 中の 3 のグラフは最接近前後 5 分間の距離の変動を表している．横軸は秒，縦軸は距離を表している．このグラフが凹型を描いているような接近は，停止している移動体とそれに近づいていく移動体との接近や，すれ違う移動体の接近であること，水平な線を描いているような接近は，並走などの接近であることが予想できる．また，グラフの傾きを見ることで，接近速度を把握することが出来る．

6.4.4 接近前後の針路変動の合計

図 4 中の 4 のグラフは最接近前後 5 分間の針路変動の合計を表している．使用しているデータには針路の情報が含まれている．針路は 0 から 360 度の値を持つ．最接近前後 5 分間を 10 秒間隔でサンプリングし，それぞれの移動体の針路の変動値を積算している．この値が大きいほど，接近の前後で針路変更を行っていることが予想される．よって，より針路のぶれの大きい異常な接近の発見に繋がることが期待される．

これらのグラフのうち，1 次元のものは，矩形選択によるフィルタリングが可能である．これにより，異常接近の事例収集の効率化を図る．

6.5 その他

その他，接近情報分析にあたって必要となる機能を実装した．

6.5.1 アニメーション

任意の接近データに対し，前後のアニメーションを再生することが出来る．アニメーション時のマーカーは縮尺に合わせた大きさで描画する．これにより，接近前後の状況や危険度を詳細に確認することが出来る．

6.5.2 予想経路の描画

移動体の速度や針路，位置を元に，その後どのような経路をたどるのかを表した予想経路を描画することが出来る．また，予想経路が交わるものに関しては，「x」印によ

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

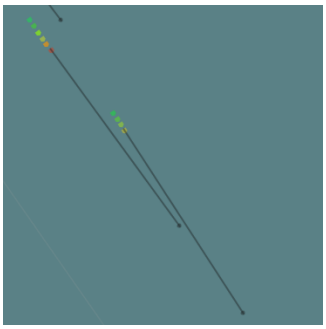


図 7: 予想経路の描画

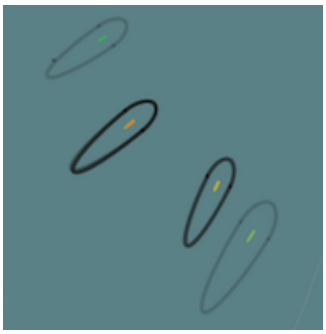


図 8: 許容距離の描画

るアノテーションを行う．これにより，接触の危険性のある移動体を見つけることが出来る．

6.5.3 許容距離の描画

移動体の種類によっては，衝突回避のために，移動体の大きさに応じた許容距離というものが存在する．この距離も描画することが出来る．これにより，接近情報分析の際に，その接近はどの程度危険だったのかを把握することが出来る．

7. ツールの使用感の調査

ツールの使用感を調査するため，実際に大規模移動体データの分析を行った．

分析は以下の様な流れで行った．まず，3 時間分の接近データをまとめて表示した．この状態だと大量の接近情報が表示されてしまった．そこで，安全な並走・すれ違い・追走と思われる接近，停止移動体を含んでいると思われる接近を取り除いた．これにより，大幅に接近情報を取り除くことができたが，依然として接近情報は多く残った．次にその中から，フィルタリングを組み合わせて，最接近距離の短いもの，距離変動の標準偏差の大きいもの，針路変動の大きいもの等，より危険と思われる接近情報を探索した．気になった接近情報が見つかった場合，地図を拡大して周辺の移動体の配置の確認や，アニメーションによる動きの確認を行い，どのような接近であったのかを確認した．

ツールを使ってみた結果，接近種類と停止移動体に着目したフィルタリングは非常に有用であった．このフィルタリングを用いることで，2 つの移動している移動体同士の安全ではないと考えられる接近を抽出することができ，事例収集の効率化ができたと感じた．また，接近関連情報を用いたフィルタリングも有用であった．接近種類と停止移動体に着目したフィルタリングだけでは大量に接近データが残る場合があり，その時に任意の接近関連情報を用いたフィルタリングをすることで，事例収集の効率化ができたと感じた．アニメーションの再生による接近前後の動きの確認も非常に有用であった．アニメーションを行うことで，軌跡の表示だけでは読み取れない，接近前後の移動体の動きを読み取ることができた．

しかしながら，改善点もいくつか見つかった．重ねあわせ表現により，接近前後の軌跡を見てみると，傾きの軽微な追走はフィルタリングで取り除くことが難しかった．また，最接近前後の軌跡が交差しているものも存在し，そうした接近を抽出可能にすることで，より危険と思われる接近の事例収集の効率化が出来ると感じた．また，接近関連情報グラフを用いたフィルタリングにも改善点は見つかった．最接近距離の短いものでフィルタリングした際は，船でいうところの港のような移動体が多く停止する領域での接近が検出され，針路変動の大きいものでフィルタリングした際は，曲線を描く経路上での並走やすれ違いの接近が検出されることがあった．このように，接近の傾向が領域に依存することがあるため，領域ごとにどのような接近が多く発生しているのかをヒートマップのような形で表現できれば良いと感じた．また，複数のフィルタリングをかける際に，表示する接近情報がどの程度減少するのか，全体の接近情報からどのくらいの割合のものを表示しているのかを可視化できれば良いと感じた．また，数時間単位の接近情報を表示する際に，同一の移動体同士の並走や追走などの接近情報が表示される事があった．これらの多くは，並走や追走などの，特に問題ないと考えられる接近であり，このような接近は何らかの形でアノテーションを行うと良いと感じた．アニメーションにも改善点は見つかった．現在は地図を固定して移動体を動かす，いわば 3 人称視点でのアニメーションを行っているが，一方の移動体を地図の中心に起き続け，また常に向きを上に向け続けるような一人称視点アニメーションがあるとより状況把握に便利だと感じた．

8. まとめと今後の課題

本研究は接近情報の事例収集の効率化を目的とした．そのために 2 つの移動体の動きに着目した重ねあわせ表現を幾つか考案した．重ねあわせ表現では，複数の接近情報を一度に観察することが出来る．そして重ねあわせ表現を組み込んだ視覚的ツールを開発した．このツールでは，重ね合わせ表現と接近関連情報によるフィルタリングを行うことが出来る．また，注目した接近に対し，アニメーション表現を行うことで，以上であるかどうかの確認を行うことが出来る．

しかしながら，大規模移動体データに対して効率的にフィルタリングを行うためにはいくつか課題が残っている．我々は今後，Type2 や Type3 の重ねあわせ表現を実装して，使用感の調査を行う．また，分析に有用な接近関連情報の洗い出しを行い，それらのグラフとフィルタリング機能を実装し，効率化を図る．また，異常確認に関して，1 人称視点のアニメーションを実装する．他にも，天気等の環境に関する情報を表現するなどして，より状況把握の

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

支援を行う．

参考文献

[1] Fujii, K., Suzuki, M., Era, S., Kobayashi, M. and Ohtaishi, N.: tracking Kuril harbor seals at Cape Erimo using a new mobile phone telemetru system, *Animal Behaviour and Management*, Vol. 42, No. 3, pp. 181–189 (2006).
[2] Asahara, A., Maruyama, K., Sato, A. and Seto, K.: Pedestrian-movement prediction based on mixed Markov-chain model, *GIS '11 Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pp. 25–33 (2011).
[3] Hurter, C., Tissoires, B. and Conversy, S.: FromDaDy: spreading aircraft trajectories across views to support iterative queries., *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 15, No. 6, pp. 1017–24 (2009).
[4] Willems, N., van de Wetering, H. and van Wijk, J. J.: Visualization of vessel movements, *Computer Graphics Forum*, Vol. 28, No. 3, pp. 959–966 (2009).
[5] Scheepens, R., Willems, N., van de Wetering, H. and van Wijk, J.: Interactive Density Maps for Moving Objects, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 32, No. 1, pp. 56–66 (2012).
[6] Scheepens, R., Hurter, C., Van De Wetering, H. and Van Wijk, J. J.: Visualization, Selection, and Analysis of Traffic Flows, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 22, No. 1, pp. 379–388 (2016).
[7] Riveiro, M., Falkman, G. and Ziemke, T.: Visual Analytics for the Detection of Anomalous Maritime Behavior, *Proc. of 2008 12th International Conference on Information Visualisation*, IEEE, pp. 273–279 (2008).

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan