

図形的関係記述に基づく移動軌跡データ検索システム

柳沢 豊[†] 赤埴 淳一[†] 佐藤 哲司[†] 小暮 潔^{††}

[†] 日本電信電話株式会社, NTT コミュニケーション科学基礎研究所
〒 619-0237 京都府相楽郡精華町光台 2-4

^{††} ATR 知能ロボティクス研究所, 〒 619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2
E-mail: †{yutaka,akahani,satoh}@cslab.kecl.ntt.co.jp, ††kogure@atr.co.jp

あらまし 近年, GPS などの位置取得デバイスの発達により, 人間や車の移動軌跡を高い精度で取得できるようになり, これを利用するアプリケーションが開発されつつある. 例えばイベント会場などでの来場者の移動軌跡から, 混雑状況を把握したりユーザに情報を提示するシステムなどがある. こうしたアプリケーションで扱われる移動軌跡データの量は年々増大し, またその利用目的も多様化している. そして, ユーザが求める移動軌跡データを, 容易に検索できるシステムに対する需要が高まっている. そこで本研究では, ユーザが地図上に図形を描画し, その図形と移動軌跡データとの関係を記述することで, 目的とする移動軌跡データを検索できるシステムを構築した. 本システムでは, ユーザは移動軌跡データ問合せのための複雑な条件記述を行う必要がなく, 従来より直観的にデータの検索を行うことを可能としている.

キーワード 空間データベース, 位置情報, 移動軌跡

A Moving Object Trajectory Retrieving System based-on Geometric Relations

Yutaka YANAGISAWA[†], Jun-ichi AKAHANI[†], Tetsuji SATOH[†], and Kiyoshi KOGURE^{††}

[†] NTT Communication Laboratories, NTT Corporation,
2-4 Hikaridai, Seikacho, Sorakugun, Kyoto, 619-0237 Japan
^{††} ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories,
2-2-2 Hikaridai, Seikacho, Sorakugun, Kyoto, 619-0288 Japan

E-mail: †{yutaka,akahani,satoh}@cslab.kecl.ntt.co.jp, ††kogure@atr.co.jp

Abstract Recently, the management of moving object trajectories becomes one of the most important technologies for various applications, such as car navigation systems, location management systems, geographic information systems, and so on. In order to handle a large number of trajectory data, several kinds of moving object database (MOD) systems have been developed. Moreover, each database system has a query language for retrieving required trajectory data from the databases. However, it is difficult for novice users to describe strict queries because many of existing MOD systems require users to describe a spatio-temporal query as a text. To avoid such difficulties, we propose a moving object trajectory retrieving system which has a graphical query editor. The database users can retrieve trajectories by drawing visual queries on the screen of our system.

Key words Spatial Database, Location Information, Trajectory

1. はじめに

GPS や三次元レーダー測位装置などの位置取得デバイス技術の発展により, 人間や車などの移動する物体の位置を継続的に取得できるようになった. 位置データを利用するナビゲーションシステムやロケーション管理システムなどのアプリケー

ションも数多く開発されている. さらに近年では, 物体の移動した経路 (移動軌跡) の情報をもとに, その物体の以後の移動パターンを予測したり, 行動パターンを抽出する研究も進みつつある [6] [13]. その一方で, これらのアプリケーションで利用できる位置データの量は年々増大しており, 個々のアプリケーションでデータを管理することが難しくなりつつある. このた

め、位置データや移動軌跡などを専門的に扱うことができるデータベースシステムの需要が高まっている。こうした要求に応えるデータベースを構築するための技術として、移動軌跡データのデータモデルや問合せ方式などが数多く提案されてきた [1], [7], [11].

一般に物体の移動軌跡は時空間上の線分として表現することが可能であり、従来の手法の多くがこのモデルを用いている [8], [9]. このようにモデル化された移動軌跡データに対する問合せは、必然的に空間的なパラメータと時間的なパラメータの両方を含む形で記述される。例えば、移動軌跡データに対する問合せとしてよく用いられる範囲問合せ (Range Query) がある。この問合せでは、「午後 2 時から 3 時までの間に京都駅から半径 1km 以内を通ったタクシーを探す」というように、移動軌跡データが含まれる空間的な範囲と時間的な範囲の両方を指定して問合せを行う。また指定する空間的な範囲を時間変化に合わせて動的にかえることができる動的範囲問合せ (Dynamic Query) [7] や、移動軌跡の形状の近さを利用した筆者らの提案している形状ベースの問合せ [15] では、問合せのために多数の空間的、あるいは時間的な条件を与える必要がある。

これらの問合せをサポートする従来のデータベースシステムでは、移動軌跡データに対して問合せを SQL に近い構文を持つ問合せ言語を用いて記述する方法が一般的である。例えば移動軌跡を扱うデータベースの一つである DOMINO [10] では FTL と呼ぶ問合せ言語を利用することができる。つまり従来は、移動軌跡データに対する問合せを記述するためには、空間上の範囲や時区間などの条件をテキストで直接記述する必要がある。しかしこの方法では、記述された条件の内容が直観的に理解しにくいことから、アプリケーションを利用する一般のユーザが条件を的確に与えることが難しいという問題がある。この問題を解決するためには、問合せに含まれる空間的・時間的な条件を、より視覚的に分かりやすく与えることができるインタフェースの開発が必要である。

このようなことから本研究では、ユーザが煩雑な問合せ記述を行うことなく、移動軌跡データに対する問合せを視覚的に与えることができるインタフェースをもつ、移動軌跡データ検索システムを提案する。移動軌跡に対する問合せとしては、位相幾何学的なアプローチと移動軌跡の形状に基づくアプローチがあり、本システムではこれらの双方をサポートする。位相的な問合せとしては範囲問合せと呼ばれる問合せがあり、これは例えばユーザが指定した空間的な範囲を通過する移動軌跡を求める問合せである [15]. 形状を用いた問合せとしては、ユーザの移動軌跡の形状と類似する他の移動軌跡データを探す問合せなどがある [14], 本システムでは、これらの移動軌跡データに対する問合せを、図形を描画するなどの直観的な操作によって作成できるため、従来のように複雑な条件式を記述する必要がない。これにより、ユーザは容易に移動軌跡データの検索が行えるようになる。

以下、まず 2. 章で本研究で扱う移動軌跡データについて述べる。次に 3. 章で移動軌跡データに対する各種の問合せについて説明する。そして 4. 章では、図形の作画作業などからデー

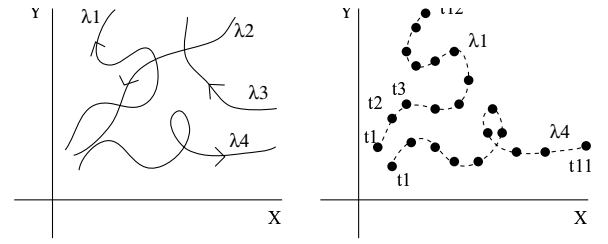


図 1 移動軌跡データ

Fig. 1 Trajectories of Moving Objects

タベースへの問合せを作成する上で必要となる機能について述べる。5. 章では本研究で実装した移動軌跡データ検索システムのプロトタイプシステムの実装について述べ、その動作例についても紹介する。最後に 6. 章で本研究のまとめを行う。

2. 移動軌跡データ

本研究で用いる移動軌跡のためのデータモデル [15] について概略を示す。実世界中の移動する物体の移動軌跡は、図 1(左)に示すように時間 t から空間 \mathbf{R}^n への連続関数として表すことができる [2]. しかし、センサなどを用いて物体の移動軌跡を取得すると、実際には図 1(右)に示すように離散的な値しか得られない。このため、本研究では、移動軌跡データは不定間隔でサンプリングされた座標値の列としてモデル化し、連続化が必要な場合は下記の近似関数 $\tilde{\lambda}(t)$ を用いる方法をとる。

ある移動するオブジェクトの識別子を o とし、時刻列を $\mathbf{T} = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ と表し、 n 次元空間 \mathbf{R}^n 上のベクトルを $\mathbf{p} = (x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)})$ とする。このとき \mathbf{T} の各時刻に記録されたオブジェクト o の n 次元空間上の位置を表すベクトル列を $\mathbf{P} = \langle \mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_m \rangle$ とすると、オブジェクト o の移動軌跡データ λ は $(o, \mathbf{T}, \mathbf{P})$ の三つ組として表すことができる。なお $\dot{\lambda}(t_i) = \mathbf{p}_i$, $|\dot{\lambda}| = m$ とする。

ただし、前述のように実際にセンサから取得された移動軌跡データは、センサの性能などにより一定間隔でデータが取得されていなかったり、データの欠損が生じることがある。このような不揃いのデータの連続な近似関数 $\tilde{\lambda}$ として、線形近似法を用いた次の関数を用いることとする。

$$\tilde{\lambda}(t) = \begin{cases} \dot{\lambda}(t) & (t \in \mathbf{T}_\lambda) \\ \frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i} \dot{\lambda}(t_i) + \frac{t_{i+1}-t}{t_{i+1}-t_i} \dot{\lambda}(t_{i+1}) & (t \notin \mathbf{T}_\lambda) \end{cases}$$

ただし $t_i < t < t_{i+1}$

線形近似法は最も単純な補間方法であるが、センサのデータ取得間隔が十分に短い場合には、少ない計算量でよい近似を与えることができるため、従来の MOD でもしばしば用いられる方法である [8]. 以後、移動軌跡データ λ の連続関数としての性質について述べる場合は、この関数によって連続化された $\tilde{\lambda}$ を想定しているものとする。

3. 移動軌跡データへの問合せ

物体の移動軌跡データに対する問合せとしては、空間データベースなどでもよく利用される範囲問合せ、近傍問合せといった基本的な問合せに加えて、以下に挙げるような移動軌跡データに特有のいくつかの問合せがある。

(1) 複数の範囲を与えたり、範囲の通過順序を与えることのできる、移動軌跡と範囲との位相幾何学的な特徴に基づく問合せ [7], [8], [14].

(2) 複数の移動軌跡間の相対的な形状の近さなど、移動形状に基づく問合せ [15].

(3) 移動物体の速度、加速度、移動方向など、物体の移動そのものの様子を条件に用いる問合せ [5], [8].

このうち、項目 3 の問合せに関しては項目 2 の問合せの中である程度カバーできることから、本研究では範囲問合せ、近傍問合せと項目 1, 2 の問合せをサポートする検索システムを開発した。以下本章では、項目 1, 2 の問合せについて簡単に説明する^(注1)。

3.1 複数の範囲を用いた問合せ

移動軌跡データのような、空間上にある線分を探す方法として最も一般的な方法は、空間上に適当な範囲 (図形) を指定し、その図形に含まれるかその図形と交わるような線分を探す方法である。このようなユーザの指定する図形との関係記述を使った問合せは、地理情報データベースや空間データベースでは古くから用いられている。移動軌跡データは空間的な要素に加え時間的な要素も含んでいることから、空間的な範囲に加えて時間的な範囲も条件として指定できる必要がある。ただし、一般に空間的な範囲の条件は絶対的な位置として指定するケースが多いのに対し、時間的な条件は相対的に指定することが多い。例えば展示場内で特定の行動をする来場者を検索したい場合には「ブース A を AM10:00-10:15 に訪れ、なおかつブース B を AM10:30-10:45 に訪れた来場者」のような絶対的な時間で条件を指定するケースよりも「ブース A を訪れた後 10 分以内にブース B を訪れた来場者」というように、相対的に時間条件を指定したいケースが多い。このような問合せは、空間上に指定した範囲と、それらの範囲を通過する順序、範囲の通過あるいは範囲間の通過に要する時間条件の 3 つの条件に分解できる。

空間上の範囲を使った条件記述方式としては、Egenhöfer らが文献 [3] などで提案している、図形の内部・境界・外部の共通部分の有無を表す行列式を利用して、図形間の位相的な関係を記述する方式がある。この方式では、面積のある穴のない閉じた図形 R と連続した枝分かれのない線分 L との関係は、 R の内部 R° ・境界 ∂R ・外部 R^- と L の両端 ∂L ・内部 L° のそれぞれに交差があるかどうかを示す 3×2 行列で表すことができる。この行列の可能なバリエーションは 19 通りあり、1 つの閉じた図形と 1 つの連続線分との関係は、19 個の行列のうちのいずれかで必ず記述できることが知られている。

この方法では、図形と線分の一対一関係を記述することは

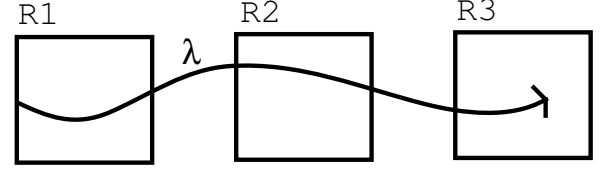


図 2 範囲と向きのある線分の関係

Fig. 2 A Relation between regions and a directed line

できるが、複数の図形と線分との関係の記述や、図形を通過する順序については記述することができない。そのため筆者らは次のような記法の拡張を行った [14].

(1) 移動軌跡データ λ を連続した向きのある線分とみなし、始点を $\partial_0\lambda$ 、終点を $\partial_1\lambda$ 、それ以外の内部を λ° で表す。

(2) 空間上の閉じた図形の集合を $U = R_1, \dots, R_n$ とし、 R_i の内部を R_i° ・境界 ∂R_i ・外部 R_i^- と記述する。

(3) U と λ の関係を、 $\partial_0\lambda$ が含まれる図形の箇所を先頭要素、 $\partial_1\lambda$ が含まれる図形の箇所を最終要素にもち、これらの間に λ° が通過する箇所を順番に要素として並べた要素列で表す。具体的には、例えば図 2 のようなケースの場合、次のように記述できる。なお便宜上 $R_1^- \cap \dots \cap R_n^- = U^-$ と表記する。

$$T(\lambda, U) = \langle \partial R_1, R_1^\circ, \partial R_1, U^-, \partial R_2, R_2^\circ, \partial R_2, U^-, \partial R_3, R_3^\circ \rangle$$

この表記を用いることで、移動軌跡データが空間上のどの図形をどの順序で通過しているかを特定することができる^(注2)。

もし $R_1 \cap R_2 = \phi$ であるとき、 R_1°, R_2° の順に λ が交差していたとすれば、 λ が $R_1^\circ, \partial R_1, U^-, \partial R_2, R_2^\circ$ の順で交差することが必要十分条件であることが容易に分かる。そのため、上記の要素列は次のように省略して記述できる。

$$T(\lambda, U) = \langle \partial R_1, R_1^\circ, R_2^\circ, R_3^\circ \rangle$$

この関係式を利用し、 U と $T(\lambda, U)$ が与えられたときに $T(\lambda, U)$ を満たすような λ の集合を求める問合せを、経路問合せ (Path Query) と呼ぶ。本システムの経路問合せでは、さらに時間に関する条件記述ができる。図 2 の例で「 R_1 から R_2 に達するまでに 2 時間以上かかり、 R_2 内には 3 時間未満滞在し、 R_3 には PM5:00 までに到達する」という条件は、例えば次のように記述できる。

$$\langle \partial R_1, R_1^\circ [t_S - t_E^{(+1)} \geq 2h], R_2^\circ [t_E - t_S < 3h], R_3^\circ [t_S < \text{PM5:00}] \rangle$$

ここで t_S, t_E はその要素と交差し始めた時刻と交差が終わった時刻を意味し、 $t^{(-n)}$ はその要素の n 個前の要素に関する時刻値を指す。同様に $t^{(+n)}$ により n 個後の要素の時刻値も条件に指定できる。

(注2) : 順序を指定する必要がない場合は、AND 条件 \cap を用いることで記述することは可能である。例えば R_1, R_2 を順序に関係なく通過している軌跡を取り出す場合は、 $T(\lambda, U) = \langle \partial R_1, R_1^\circ, \partial R_1 \rangle \cap \langle \partial R_2, R_2^\circ, \partial R_2 \rangle$ のように記述できる。

(注1) : これらの詳細についてはそれぞれの文献を参考にされたい。

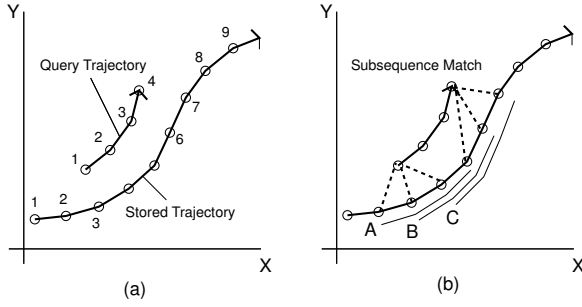


図 3 移動形状に基づく問合せ

Fig. 3 Shape-based Similarity Query for Trajectories

3.2 移動形状に基づく問合せ

前述の範囲を使った問合せは、条件として範囲のリストを与え、物体の通過した場所を絞ることで移動軌跡データを検索する問合せである。一方で、適当な移動軌跡データを与え、その軌跡との関係を用いてデータを検索したい場合がある。例えば、イベント会場内を歩いているユーザが自分自身の歩いた軌跡を使って、その移動軌跡に似ている軌跡を持つほかのユーザを検索することで、興味対象の近いユーザを見つけたいという場合である。このような移動軌跡データの形状が似ているものを取り出す検索は、ショッピングモール内での顧客行動の分析や、イベント会場での混雑の予測、都市や建築物デザインのための動線分析など、多くの分野での利用が期待されている。

筆者らはこれまでに、こうした移動軌跡データの近さを測る方法として、時系列データで用いられているデータ間の形状の類似度を拡張する方法を提案している [15]。時系列データとは、時間軸に沿って並べられた数値のデータ列のことであり、ひとつの時系列データ c は $\langle w_1, w_2, \dots, w_m \rangle$ (w_i は実数値) のように与えられる。こうした時系列データを扱うデータベースを、時系列データベースと呼ぶ。文献 [4] では、この時系列データの類似度を次のように定義している。 m 個の要素をもつ 2 つの時系列データを $c = \langle w_1, w_2, \dots, w_m \rangle$ と $c' = \langle w'_1, w'_2, \dots, w'_m \rangle$ とすると、これらのデータ間の類似度 $D(c, c')$ は、各時系列データを m 次元空間 R^m 上の点とみなし、それらの点間のユークリッド距離として、次の数式で与えられる。

$$D(c, c') = \sqrt{(w_1 - w'_1)^2 + \dots + (w_m - w'_m)^2}$$

移動軌跡データ間の類似度はこれを拡張することで与えることができる。時系列データの各要素 w_i を R^2 上のベクトル p_i に置き換えると、移動軌跡データ間の類似度を定義できる。すなわち、 λ と λ' の類似度 $D(\lambda, \lambda')$ は、それぞれの移動軌跡データに含まれる R^2 上のベクトル列 P, P' の各要素 p, p' の距離 $D(p, p') = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}$ を用いて、

$$D(\lambda, \lambda') = \sqrt{\sum_{i=1}^m D(p_i, p'_i)^2}$$

と定義することができる。この類似度をもとに、ある移動軌跡データ λ と閾値 θ を用いて、類似度が θ となるような移動軌跡の集合 Λ を求める問合せ $SSQ(\lambda, \theta)$ が定義できる。この問

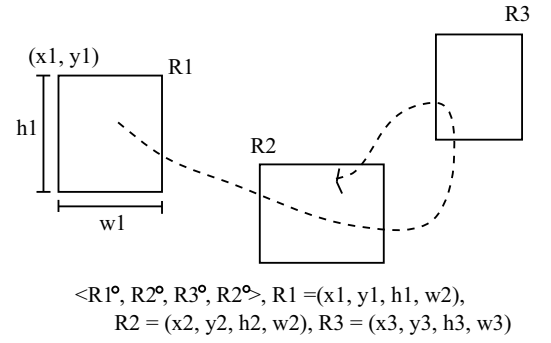


図 4 範囲を用いた問合せの例

Fig. 4 A Sample of Region-based Query

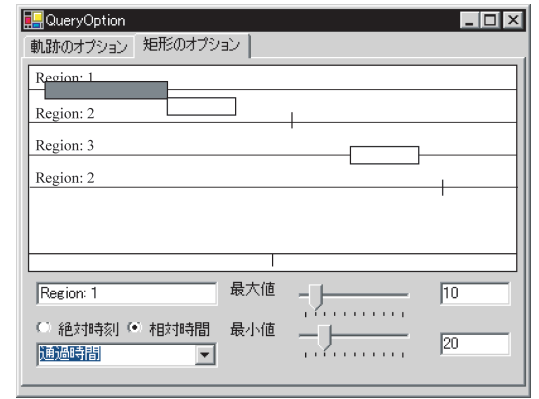


図 5 時間条件指定の例

Fig. 5 An Example of Setting Time Parameters for a Query

合せは、図 3 に示すように、データベースに蓄積されている移動軌跡データ全てに対して与えられた移動軌跡 λ との部分マッチを行う。そして、ある蓄積された移動軌跡データの一部と条件として与えられた移動軌跡データとの類似度が θ 以下であるような移動軌跡データを答として返す。

4. 図形描画による問合せ

3. 章で述べた問合せは、いずれも空間上の範囲や線分などを条件として与える必要がある。そのため、従来は座標値などをユーザが直接数値などで記入して問合せを記述しなければならなかった。しかしこの方法では、図形などの情報を数値化する作業が煩雑であり、ユーザビリティを低下させるという問題がある。また意図する条件を文字列として正確に記述するには、ユーザに相当な訓練などの労力を強いることになる。このことから本研究では、移動軌跡データに対する問合せを視覚的な作画作業により与えることのできるインタフェースシステムを導入する。システムでは、描画作業により作成された問合せを、データベースの解釈できる問合せ文字列に変換してデータベースへ送る。そして、その問合せの結果をインタフェース上に表示する。こうした仕組みを導入することにより、ユーザは複雑な条件をテキストで記述する必要がなく、視覚的な操作によって移動軌跡データを検索できる。

本章の以下の部分では、作画された図形から 3. 章で述べた問合せを生成する方法などについて述べる。また、移動軌跡デー

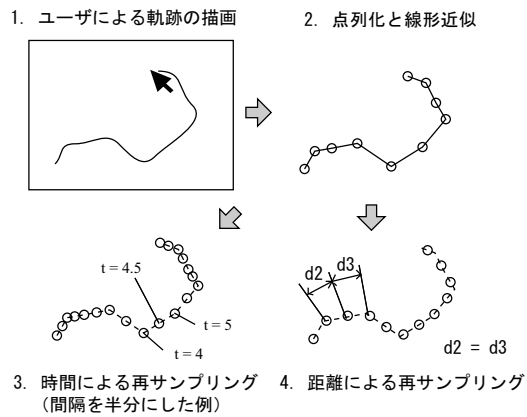


図 6 再サンプリングの例

Fig. 6 Examples of Resampling Trajectory Data

データベースを利用する上で、インターフェースに求められる機能について述べる。

4.1 複数の範囲を用いた問合せ

範囲を用いた問合せで必要となるパラメータは、「(複数の)範囲」「範囲の通過順序」「時間条件」である。問合せを記述するには、インタフェース上でこれらをそれぞれ視覚的に指定できる必要がある。

範囲の指定: ユーザが物体が通過した範囲を指定する方法としては、地図上などに直接範囲(図形)を描画する方法が最も直観的に分かりやすいと考えられる。問合せの作成時には、描画された各々の図形に ID を割り振り、図形を ID と境界を示す線の座標値列の組として扱う。

順序の指定: 通過する図形の順序については、すでに描画されている図形をユーザが通過させたい順に選択する方法が最も分かりやすい。問合せ作成時には、通過順序は図形の ID を通過順序に並べたもとして表す。

時間条件の指定: 時間条件は、順序の指定で並べられた図形ひとつひとつについて指定できる必要がある。データベースは時間条件の指定については、数式を用いて細かく指定することができる。しかし、これら全てを視覚的に作成することは難しいため、よく使われているいくつかの条件についてのみ視覚的に作成できるようにしておき、数式を用いる場合は文字列で直接ユーザが指定する方式を用いる。よく使われる時間条件としては「選ばれた図形を通過する時刻の範囲」「選ばれた図形を通過するために要する時間の範囲」「直前・あるいは直後の図形との間を移動するために要する時間の範囲」の三つがある。これらについて、数直線を利用したグラフを使ってユーザが範囲を指定できるようにする。

図形による問合せの作成例を図 4 に示す。図 5 は時間条件を指定する例である。通過する各範囲への進入時刻、範囲からの退出時刻、範囲を通過するのに要する時間、直前直後の図形間との移動にかかる時間について、それぞれ最大値と最小値を設定できる。各範囲ごとに時間条件を絶対時刻 (PM5:00 など) と相対時間のいずれかで指定できる。各時間条件に矛盾については、問合せへの変換時に整合性のチェックを行う。

4.2 移動形状に基づく問合せ

この問合せで必要となるパラメータは、比較対象として与える移動軌跡データ λ と類似度 θ である。移動軌跡データは 2. 章で述べたように、座標値と時刻値の組で表されるため、これをユーザが数値で直接指定することは現実的ではない。移動軌跡データを与える方法としては、次の二通りの方法が考えられる。

(1) データベース中のある移動軌跡データの一部を指定する。

この方法は、例えばユーザが GPS を持ち歩きながら移動軌跡データを取得している場合に、この GPS に蓄積された直前の移動軌跡データを使って検索をするようなケースである。移動形状に基づく問合せをユビキタス環境下などで利用する場合は、こうしたセンサのデータを比較対象として直接使用することが多いと考えられる。この場合は、クライアント側に GPS などからデータを読み出し、サーバにデータとして登録する機能を持たせることで対応することができる。

(2) ユーザが与える移動軌跡データの形状を、描画するなどして直接に与える。

大量に取得された移動軌跡データの分析を行うときは、ユーザが任意の移動軌跡データの形状を与えて検索を行う方法がとられる。この場合は、移動軌跡の形状を作画により直接与える方法が最も直観的で分かりやすいことから、これを実現するためのポインティングデバイス等で自由な線分を入力する機能が必要である。

ただし、いずれの方法で入力された移動軌跡データも、3. 章で述べた形状問合せで用いるためには、データベース中に蓄積されている移動軌跡データのサンプリングレートにあわせる必要がある。このため、適当なサンプリング間隔を与えて、入力された移動軌跡データを近似関数 $\tilde{\lambda}$ を用いて再サンプリングする機能も必要である。このため本システムでは、任意の時間間隔と距離間隔で再サンプリングする機能を導入する(図 6)。なお問合せそのものは、上記の方法で与えられた移動軌跡データとし、これに加えユーザが数値にて適当な閾値を与えることで作成することができる。

なお範囲を用いた問合せと、形状を用いた問合せは同時に用いることができる。この場合は「範囲による問合せで得られた答」に対してさらに「形状を用いた問合せ」を適用した結果を、最終的な答として返すものとする。形状を用いた問合せを複数指定するケースについては、すべての問合せの答の積集合を返すものとする。

5. システムの実装

本章では 4. 章で述べた図形を用いて問合せを作成する作業と、データベースへの問合せ、問合せの答のプレビューを一貫して行える、移動軌跡データ検索システムのプロトタイプシステムについて述べる。

5.1 プロトタイプシステムの概要

図 7 は本研究で実装したシステムの全体構造である。

図中のデータベースシステムは 3. 章で述べた問合せを処理

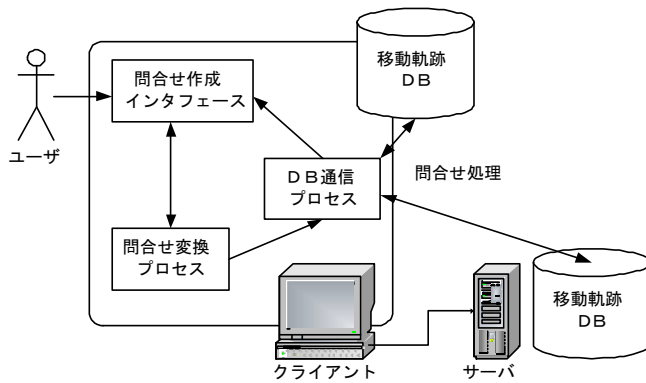


図 7 移動軌跡データ検索システムの全体図

Fig. 7 A Prototype System of the Trajectory Retrieving System

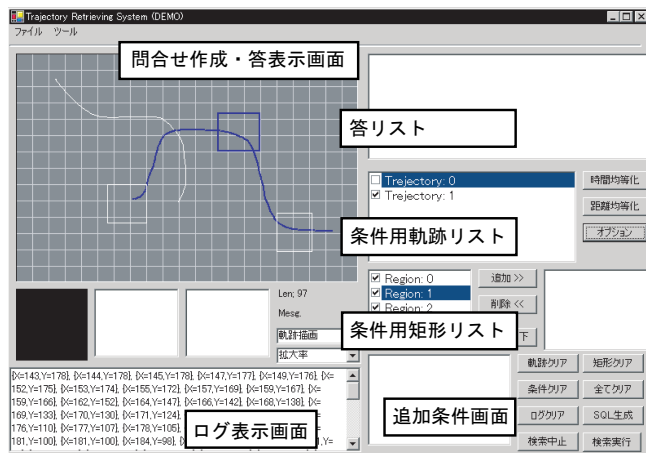


図 8 インタフェースの外観

Fig. 8 The GUI for our Trajectory Retrieving System

する能力をもち、移動軌跡データを蓄積・管理することができる。データベースシステムは、http を用いてネットワーク経由でサーバにアクセスして利用する方法と、クライアント側で動的にプログラム内にリンクするいずれの方法でも利用することができる。データベースでは CVS 形式で記述された移動軌跡データの他、GPS から取得されたデータ (TRK; フォーマット)、モーションキャプチャデータなどを、データフォーマットの区別なく直接読み込み蓄積する機能を有する。データベースシステムの詳細については文献 [12] で詳しく述べているが、3. 章で述べた問合せを効率的に処理できるインデックス構成システムをもち、データに応じて R^+ -Tree を始めとするいくつかの空間インデックスを切り替えて使用することができる。

クライアント側のシステム内は、図に示す三つの部分からなる。

インタフェース: ユーザが問合せを作成したり、問合せの結果を確認するためのインタフェースである。その外観を図 8 に示す。ユーザは問合せ作成画面内にて、移動軌跡を示す線分あるいは範囲を示す矩形をポインティングデバイスを用いて描画できる。図形を描画すると、その一覧が条件用矩形リストまたは条件用軌跡リストに登録される。ユーザは描画した図形の中から条件として用いる図形をチェックし、オプション画面で時間条件などを別途指定する。最後に実行ボタンを押すことで問合せ

```
# c:\Work\Programs\EPAA\DAT\log100.txt DAT
2002/07/01:15:39:30 48.36323124 39.72188171
2002/07/01:15:39:31 48.26646248 39.33376342
2002/07/01:15:39:32 48.16969373 38.94564513
2002/07/01:15:39:33 48.07292497 38.55752684
2002/07/01:15:39:34 47.97615621 38.16940855
2002/07/01:15:39:35 47.87938745 37.78129026
```

図 9 移動軌跡データの例 (テキスト)

Fig. 9 A Sample Trajectory Data (Text Format)

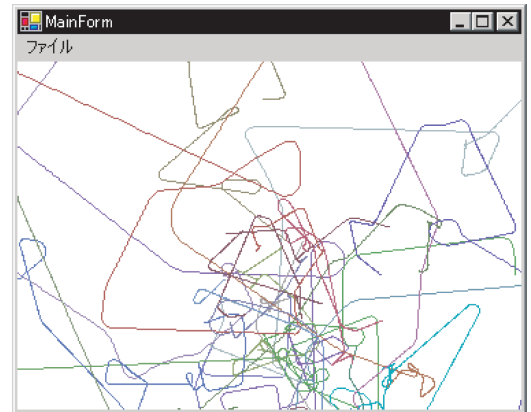
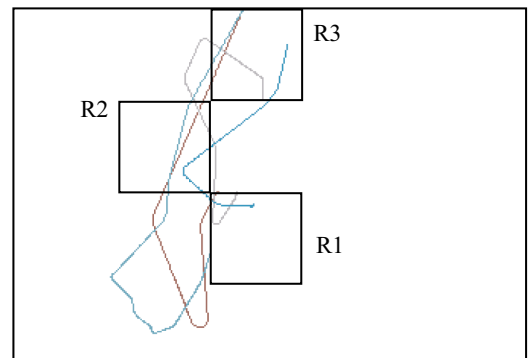


図 10 移動軌跡データのサンプル

Fig. 10 Stored Trajectory Data



$\langle R1^O, R2^O, R3^O \rangle, R1 = (40, 40, 20, 20),$
 $R2 = (20, 20, 20, 20), R3 = (40, 0, 20, 20)$

図 11 問合せの実行結果

Fig. 11 An Answer of a Query for Trajectories

せが生成され、DB での処理結果が画面に表示される。得られた答の一覧は、結果表示画面と答リスト内に表示される。

問合せ作成プロセス: インタフェース上で作成された図形情報などから、データベースの処理できる形へ問合せを変換するプロセス。

DB 通信プロセス: データベースと直接通信を行うプロセス。データベースへの問合せの送付、答の受け取り、データの登録依頼などを行う。

本システムのうち、データベースシステムは C 言語を用いて記述されており、クライアント側のシステムは Java1.3 および C# .NET を用いて作成した二つのバージョンがある。図 8 は C# を用いて実装したもののスナップショットである。

5.2 動作例

図9に実際に検索対象として使った移動軌跡データの例を示す。これらのデータは、シミュレーションプログラムを用いて作成したもので、移動物体の加速度、角加速度をランダムな時間だけ変化させ続ける（あるいは変化しないようにする）という条件の下で生成したものである。このようにして作成した移動軌跡データは図10に示すように、平面上を歩き回る人間の移動する様子に似た形状をもっている。各移動軌跡データは1秒間隔で予めサンプリングしており、1つの移動軌跡データには最大1000個のポイントデータが含まれる。このデータを用いて、実際に範囲問合せを行ったときの表示例を図11に示す。範囲として矩形 R_1, R_2, R_3 を指定しており、この順序で通過した移動軌跡データが表示されている（ここでは4本の線分が表示されている）。矩形の境界上で線分が切れているように見える箇所は、移動軌跡は条件を満たす部分のみが表示されるためである。

6. まとめ

本研究では、移動軌跡データに対する問合せである「範囲問合せ」「形状問合せ」などを視覚的に与えることのできる、移動軌跡データ検索システムを提案した。このシステムを利用することで、ユーザは直観的な方法で、問合せに含まれる空間的・時間的な条件を与えることができるため、従来よりも移動軌跡データの検索を簡単に行うことができる。

今後はシステムの機能の拡張と、実データを使った評価実験を行う予定である。機能拡張としては、GISや地域情報検索システムなどの地理情報を扱うシステムと統合し、地理的な条件も検索条件として利用できるようにする予定である。また現システムは2次元的数据しか扱えないため、三次元のモーションキャプチャデータや航空機の飛行データなどを扱えるよう拡張する予定である。

評価実験としては、現在奈良公園近辺で営業する人力車の移動軌跡データをGPSを用いて収集中であり、得られた移動軌跡データを分析し、システムの使いやすさなどについて検討を行う予定である。このほか、人の動きをモーションキャプチャによって取得した三次元データを用いて、三次元拡張の有効性についても評価していく予定である。

謝辞

本研究に関し、東京大学空間情報科学センターの柴崎亮介教授より多くの有益なコメントを頂いた。ここに記し、深く感謝する次第である。

文献

- [1] H.D. Chon, D. Agrawal, and Amr El Abbadi. Query processing for moving objects with space-time grid storage model. In *MDM2002 Conference Proceedings*, pp. 121–129, 2002.
- [2] E. Clementini and P. Di Felice. Topological invariants for lines. *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 10, No. 1, pp. 38–54, 1998.
- [3] M. Egenhofer, E. Clementini, and P. di Felice. Topological relations between regions with holes. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 8, No. 2, pp.

- 129–142.
- [4] E.J. Keogh, K. Chakrabarti, M.J. Pazzani, and S. Mehrotra. Dimensionality reduction for fast similarity search in large time series databases. *Knowledge and Information Systems*, Vol. 3, No. 3, pp. 263–286, 2001.
- [5] George Kollios, Dimitrios Gunopulos, and Vassilis J. Tsotras. On indexing mobile objects. In *PODS'99 Symposium Proceedings*, pp. 261–272, 1999.
- [6] Patrick Laube and Stephan Imfeld. Analyzing relative motion within groups of trackable moving point objects. In *GIScience 2002 Conference Proceedings*, pp. 132–144, 2002.
- [7] Iosif Lazaridis, Kriengkrai Porkaew, and Sharad Mehrotra. Dynamic queries over mobile objects. In *EDBT 2002 Conference Proceedings*, pp. 269–286, 2002.
- [8] Hoda Mokhtar, Jianwen Su, and Oscar H. Ibarra. On moving object queries. In *PODS2002 Symposium Proceedings*, pp. 188–198, 2002.
- [9] Michalis Vazirgiannis and Ouri Wolfson. A spatiotemporal model and language for moving objects on road networks. In Christian S. Jensen, Markus Schneider, Bernhard Seeger, and Vassilis J. Tsotras, editors, *SSTD 2001*, Vol. 2121 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 20–35. Springer-Verlag, 2001.
- [10] Ouri Wolfson, Prasad Sistla, Bo Xu, Jutai Zhou, and Sam Chamberlain. DOMINO: Databases fOr MovINg Objects tracking. In *SIGMOD'99 Conference Proceedings*, pp. 547–549, 1999.
- [11] Ouri Wolfson, Bo Xu, Sam Chamberlain, and Liqin Jiang. Moving objects databases: Issues and solutions. In *Statistical and Scientific Database Management (SSDM'98) Conference Proceedings*, pp. 111–122, 1998.
- [12] Yutaka Yanagisawa, Junichi Akahani, and Tetsuji Satoh. Shape-based similarity query for trajectory of mobile objects. In *MDM2003 Conference Proceedings*, pp. 63–77, 2003.
- [13] 杉野勝敏, 朝倉康夫, 羽藤英二. 移動体位置情報を用いた交通行動シミュレーションモデルの開発. 土木学会, 第26回土木計画学研究発表会(講演番号188).
- [14] 柳沢豊, 赤埴淳一, 小暮潔. 移動軌跡データモデルと領域に基づく問い合わせ処理. FIT2002 一般講演論文集第二分冊, pp. 39–40, 2002.
- [15] 柳沢豊, 赤埴淳一, 佐藤哲司. 移動軌跡データに対する類似度検索手法. FIT2002 一般講演論文集第二分冊, pp. 37–38, 2002.