

空間インデックスを用いた移動オブジェクト管理システムの構成と性能比較

南 卓朗[†] 田名部 淳^{††} 河野 浩之[†]

交通計画や交通予測などを行う上で頻りに利用される解析処理を効率良く実行することを目標に、リアルタイムに取得した位置データを格納する空間データベースシステムの構成を検討する。提案システムは、移動端末から送信される位置データに対して TPR-tree に基づく空間インデックスを構築しながらデータを蓄積し、同時に、交通状況予測に関わる問合せを実行する。なお、精度の高い位置問合せ処理を行うために、位置データの測定誤差を補正する数値地図を併用する。また、位置データ補正段階が異なる 2 種のシステムを提案し、大阪市周辺における実測交通データに基づいて「定時刻問合せ、時間帯問合せ、等速移動領域問合せ」の実行性能をシミュレーション実験により比較し、データ処理量に応じたシステム設計手法を明らかにする。

Management of Moving Objects in Spatial Database: Architecture and Performance

TAKURO MINAMI,[†] JUN TANABE^{††} and HIROYUKI KAWANO[†]

In order to execute analytical processing for traffic control and traffic management effectively, we have been developing the spatial information systems for real-time location service. Our proposed system stores mobile location data using a spatial index, TPR-tree. At the same time, our system executes spatial queries for traffic estimation. In order to get results with high accuracy, our proposed system corrects measurement error of positioning data using road attributes in numerical maps. Based on real traffic data collected in Osaka city, we have simulation experiments to compare performance of “time-slice query, window query and moving query” executions. From the view points of the amount of data and number of queries, we make clear the performance of two architectures with different data correction steps.

1. はじめに

交通工学は、地理情報システム (GIS) を効果的に活用できる領域の一つである。例えば、個人の交通行動に付随するデータを記録し、都市計画や道路計画、地域施設の配置計画、最短経路等、交通システムに関わる各種問題の解決が試みられている⁷⁾。また、交通管理や交通管制においては、GIS 利用に加えて、移動端末から得られる位置情報の活用が検討されている¹⁰⁾。すなわち、携帯電話や PHS などの携帯端末を通じてリアルタイムに収集された移動オブジェクト (各種車輛、歩行者など) に関する位置データを用いて、より精度の高い交通データベースを作成し、詳細かつ正確な交通情報提供を目指すものである。もちろん、この種の技術を確立することによって、路側などに設置された定点型の車両検知器から得られる交通データに基

づいた交通制御や交通情報提供に関わる様々な問題点の改善が期待されている。

例えば、PHS を用いた交通行動調査手法の研究¹⁾や、PHS を用いたパーソントリップ調査の有効性に関する研究²⁾などが具体例として挙げられる。そして、このような行動調査を効率よく実現するシステム構築には、経路推定を行うための交通履歴情報を蓄積する空間データベース技術^{4)~6)}や、各種移動オブジェクトの経路予測のための問合せ処理に関する研究³⁾が欠かせない。

そこで、本研究では、移動オブジェクトが携帯する端末からリアルタイムに獲得できる位置データを、どのような空間インデックスを用いて蓄積すべきかを検討し、同時に、索引付けされた空間データを用いて交通状況予測を行うための典型的な問合せ処理について考察する。そして、先の研究^{4)~6)}で明らかにした成果を踏まえながら、移動経路データの処理精度を向上させるために、空間データベースに格納した数値地図を位置補正処理に併用した空間データ処理システムとして提案する。

[†] 京都大学大学院情報学研究所
Graduate School of Informatics, Kyoto University
^{††} (株)都市交通計画研究所
Institute of Urban Transport Planning Co., Ltd.

なお、本稿では、位置補正を行う段階の異なる 2 種のシステムを提案し、それらの性能比較を行う。一方のシステムは、移動オブジェクトの位置データ格納時にデータ補正を行い、補正後のデータに対して索引付けを行うものである。他方のシステムは、収集された位置データの補正を行わずに索引付けを行い、問合せ処理時に位置補正を行うものである。そして、提案した 2 種のシステムにおいて、大阪市周辺で観測した実データに基づく「定時刻問合せ、時間帯問合せ、等速移動領域問合せ」処理をシミュレーション実行し、処理結果に含まれる移動オブジェクト数と、探索処理に必要なノード数の関係を用いて処理性能を示す。

以下、2 章では、本研究で用いた空間インデックスと典型的な空間問合せに関して述べる。また、空間インデックスを用いた位置情報システムの構成を 3 章で述べる。そして、4 章で、自動車(移動オブジェクト)から収集された実データに基づくシミュレーション結果と考察を示し、5 章の結論と今後の課題で締めくくる。

2. 空間問合せと空間インデックス

本研究が目的とするシステム構築には、移動オブジェクトの位置データや地図データを蓄積する際に用いる空間インデックス技術、及び、効率的な位置問合せ処理を行うための技術が深く関わる。

まず、本研究に係る空間インデックスとして、R-tree⁸⁾ や、それを移動オブジェクトに適応させた TPR-tree (Time Parameterized R-tree)⁹⁾ などが考えられる。もっとも、一般に良く用いられている空間インデックスである R-tree によって、時々刻々と変化する多数の移動オブジェクトに対する位置管理を行う場合、位置情報の更新により生ずる負荷が問題となる。そこで、移動オブジェクトの位置と速度の 2 つの測定データをもとに、移動オブジェクトの将来の位置を時間に関する線形関数により近似表現し、移動オブジェクトの位置と移動方向に基づいて管理する空間インデックスである TPR-tree を、2.1 節で取り上げる。

次に、TPR-tree により索引付けされ格納された位置データは、交通計画や交通状況予測で効果的に活用されなければならない。そこで、2.2 節では、移動オブジェクトに関わる典型的な問合せを、交通工学の視点から解釈する。

2.1 TPR-tree⁹⁾

TPR-tree は R-tree 構造に基づくが、各ノードに対応する d 次元長方形の位置や大きさは、時間に関する関数により表現される。したがって、基本となる

R-tree とは、オブジェクトのグループ生成手法が異なる。

まず、TPR-tree では、移動オブジェクトの現在の位置と速度を用いて、将来の位置を線形関数で近似する。すなわち、時刻 $t = t_{ref}$ において、位置 x_{ref} 、速度 v である移動オブジェクトの時刻 $t (t > t_{ref})$ における位置 $x(t)$ を、(1) 式で表す。

$$x(t) = x_{ref} + v(t - t_{ref}) \quad (1)$$

そして、現在だけでなく、未来においても位置が近いと考えられる移動オブジェクトを同じグループとして索引付けする。つまり、位置 x 、速度 v に対し、 (x, v) 空間内での距離が近いものを同じノード内に格納する。これにより、境界長方形が時間の経過と共に拡大することを抑制し、効率的なインデックスを構築する。

例えば、図 1(a) のように、2 次元空間上で等速直線運動をするオブジェクト A, B, ..., G があると、それぞれのオブジェクトの速度を矢印で示す。いま、各ノードにオブジェクトを最大 3 個格納できるとする。R-tree のように現在地に近いものを同じグループにすると、図 1(b) のように (A, B, C), (D, E), (F, G) の 3 グループに分けられる。しかし、2 秒後には、オブジェクトの位置、及びグループごとの境界長方形は図 1(c) の実線で表されたように境界長方形が大きく広がってしまう。よって、2 秒後の位置を考慮すると、図 1(d) のように (A, B, C), (D, F), (E, G) の 3 グループに分ける方が効率的である。

また、 (x, v) 空間における距離の定義を変える事により、位置データの更新頻度や、対象オブジェクトの速度分布などの特性変化にも対応できる。例えば、データの更新周期が長い時や、移動オブジェクトの速度分布の分散が大きい時は、 x よりも v における距離の影響を大きくし、より遠い将来の位置を重要視するインデックス化が可能となる。

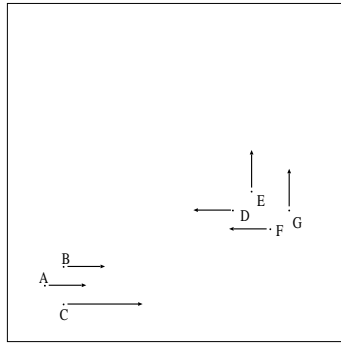
以上、TPR-tree は、R-tree に比べて、本研究で扱う移動オブジェクト処理に適した空間インデックスであると考えられる。

2.2 位置情報予測に関わる問合せ処理

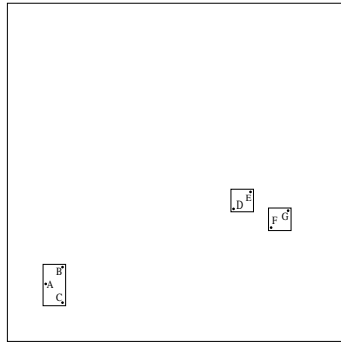
本節では、交通工学の視点から、移動オブジェクトに関する空間問合せとして、以下に述べる 3 種類を考える。ここで、 $t_1, t_2 (t_1 < t_2)$ を時刻、 R_1, R_2 を地図上の領域(長方形)とする。

(1) 定時刻問合せ $Q_{ts} = (R_1, t_1)$: 図 2 に示したように、ある時刻 t において、領域 R_1 内に存在するオブジェクトを出力する。

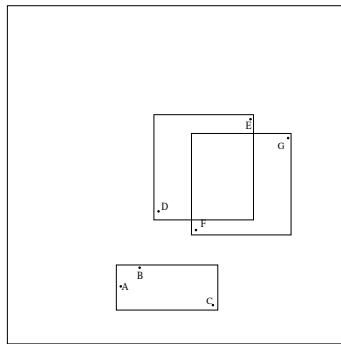
(例) 出力されたオブジェクトの集合から交通密



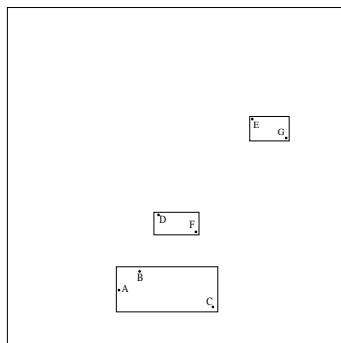
(a) 等速直線運動するオブジェクト



(b) オブジェクトの距離によるグループ化



(c) 2 秒後のオブジェクトの位置



(d) 2 秒後のオブジェクトのグループ化

図 1 移動オブジェクトの動きと葉ノードにおけるグループ化

度や空間平均速度といった、ある瞬間の交通状況を表現する空間交通流パラメータを算定する。

- (2) 時間帯問合せ $Q_{win} = (R_1, t_1, t_2)$: 図 3 に示したように、ある時間帯 t_1 から t_2 の間に領域 R_1 内に存在するオブジェクトを出力する。

(例) 空間平均速度に比べて安定的な時間平均速度などの時間交通流パラメータを算定する。

- (3) 等速移動領域問合せ $Q_{mov} = (R_1, R_2, t_1, t_2)$: 図 4 に示したように、位置ベクトル x と時刻 t の空間 (x, t) 内で、 (R_1, t_1) と (R_2, t_2) とを結ぶ台形内に存在するオブジェクトを出力する。

(例) 進行方向と経過時間を考慮した時空間領域の交通密度から混雑状況を予測する。

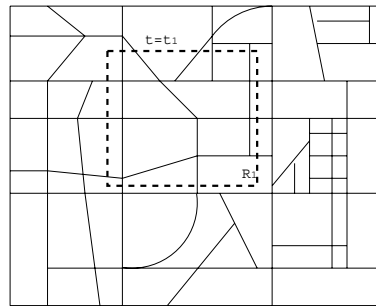


図 2 定時刻問合せの例

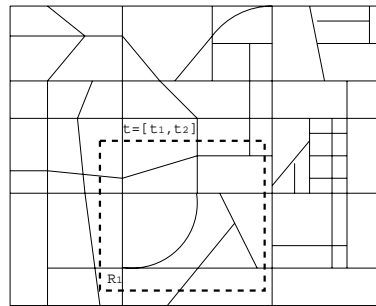


図 3 時間帯問合せの例

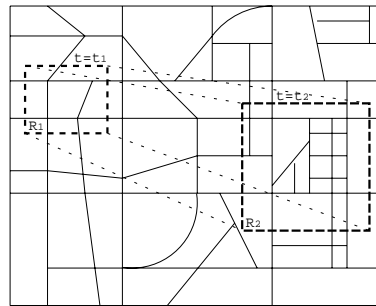


図 4 等速移動領域問合せの例

3. 位置情報処理システムの構成

多数の移動オブジェクトを管理し、交通状況を予測するシステム構築に必要な構成要素を列挙する。

- (1) 携帯端末から送信される位置データ収集システム
- (2) 位置情報及び地図情報が格納される空間データベースシステム
- (3) 地図上の位置推定、ならびに、位置データ補正システム
- (4) 交通状況予測に関わる問合せ処理システム

本章では、これらの各構成要素の説明を行い、次に、これらの構成要素間の関係について述べる。

3.1 位置データ収集システム

移動オブジェクトの位置情報は携帯端末を利用して収集する。携帯端末から送信されるデータは、表 1 に示したように、ID、日時、携帯端末が探知したアンテナ数、位置座標（緯度、経度）、速度の各座標成分、地図データベース内に建物情報がある建物内などの特別な地点かどうかの判定ビット、特別な地点である場合の地点情報などから構成される。ここで、1 点の位置データは、約 80 バイトである。ただし、速度情報が得られない場合には、位置情報データベースに蓄積された履歴データに基づき、オブジェクトの移動速度の推定を行う。なお、位置座標は、日本測地系（緯度、経度）から平面直角座標系への変換を必要とする。

3.2 空間データベースシステム

空間データベースには、移動オブジェクトの位置情報と道路情報の 2 種のデータが格納される。ここで、移動オブジェクトの位置データは、2.1 節で述べた TPR-tree で索引付けする。また、道路データは、R-tree や Quad-tree で索引付けする。

なお、道路情報としての道路リンクデータは、表 2 のように道路線分の境界長方形の左下の座標、右上の座標、および、判定ビットからなる。判定ビットとは、線分を境界長方形で囲んだ際、道路はその長方形の対角線と等しくなるので、長方形のどちらの対角線上に道路が存在するかを判定するフラグである。なお、1 つの道路リンクデータは約 50 バイトである。

3.3 位置推定システム

携帯端末から収集される位置データや速度データには誤差が含まれるので、誤差補正を行いながら、オブジェクト位置と速度を推定しなければならない。例えば、通常道路上を走る自動車から、道路から外れた測定位置や、道路方向と大きく異なる速度方向が観測さ

れることがある。このような誤差は、地図データに基づいて補正しなければならない^{4)~6)}。また、位置データのみが得られる場合には、速度データの推定を必要とする。そこで、次の手順で、データ補正を行う。

移動オブジェクトに関するデータ処理手順

手順 1 速度データが欠測した位置情報が得られた場合、同じ ID のデータを検索し、位置データや速度データなどに基づいて速度推定を以下のように行う。

1-1 移動オブジェクトの過去のデータが存在しない場合、速度を 0 とする。

1-2 1 つ前の位置情報と最新の位置情報との距離を求め、その距離があるしきい値以下なら、その差は誤差であるとし、オブジェクトが静止しているとする。この処理は低速で移動することが稀なオブジェクトが対象となる時に特に有効である。

1-3 オブジェクトが静止していないなら、1 つ前の位置情報と最新の位置情報から平均速度を算出する。この値を \bar{v} とする。そして、1 つ前の速度情報を v_{old} とし、速度を (2) 式を用いて推定する。ただし、 α は $0 < \alpha < 1$ を満たす定数パラメータとする。

$$\alpha \bar{v} + (1 - \alpha) v_{old} \quad (2)$$

ここで、 α の値が小さいと、速度は v_{old} の影響が大きくなり、データが更新されても速度の値がほとんど変化せず、実際のオブジェクトの速度の変化に対応できない。よって、現実的には $0.5 < \alpha < 1$ とするのが望ましい。また、データの精度が上がるほど、データが実際の位置を反映しているので、 α の値を大きくとることができる。

手順 2 地図データベース中で、得られた測定位置からもっとも近い、あるいは、その位置を含む葉ノードを探索する。

手順 3 選択した葉ノード中に格納されている道路と得られた測定位置との距離 $Dist$ と、測定速度または推定速度とその道路とのなす角 θ を求め、評価関数として (3) 式を与える。(ただし、 β は正のパラメータとする。)

$$h(Dist, \theta) = Dist + \beta |\sin \theta| \quad (3)$$

そして、この評価関数の値が最小となる道路上にそのオブジェクトが存在すると推定する。

評価式 (3) の第 1 項は距離、第 2 項は速度の向き

の誤差を表す。よって、位置データの平均精度に

認識番号	測定日	測定時刻	アンテナ数	測定位置	測定速度	判定ビット
123456	2000/12/25	12:34:56	2	(34.5678,135.6789)	(123,456)	0

表 1 送信されるデータの一例

左下の座標	右上の座標	判定
(12345.6, 65432.1)	(34567.8, 45678.9)	0

表 2 道路リンクデータの一例

対し速度方向の誤差が小さい時、 β の値を大きく取る。また、速度データが直接得られない時は、速度推定を行っているため、実際の速度の方向との差が大きいと予測されるので、 β の値を小さく取る。

手順 4 オブジェクトの測定位置と、選択された道路上の点との距離が最小となる点をオブジェクトの推定位置とする。すなわち、測定位置から道路線分に下ろした垂線の足を H とすると、 H が道路線分上に存在するならば、 H が推定位置、道路線分上に存在しないならば道路の端点のうち、 H に近い方の点を推定位置とする。

3.4 問合せ処理システム

先に 2.2 節で述べた空間問合せを用いて、交通状況などの予測に関する処理を行う。

ここで、空間データベースにおいて、関連ノードを調べる際に、問合せ対象領域よりも、位置入力データの平均誤差程度広い領域を調べなければならないことに注意する。なぜなら、3.3 節で述べたように、誤差を含む入力データを扱わねばならないため、問合せの領域外のノードに存在するオブジェクトに対してデータ補正を行った場合、問合せ領域内に存在するケースが想定されるからである。

3.5 システム構築

ここまで述べてきた構成要素を用いて、位置情報システムの構成を考える際、2 種の異なるシステムが考えられる。一方は、図 5 に示したように、問合せに応じて移動オブジェクトの探索時にデータ補正を行う、探索時補正システムである。他方は、図 6 に示したように、携帯端末から得られたデータを入力する時点で補正し、補正後のデータに対する索引付けを行う、入力時補正システムである。本研究では、これら 2 種のシステム性能を明らかにする。

4. 実データに基づくシステム性能評価

3.5 節で述べた 2 種のシステム、すなわち、探索時補正システムと、入力時補正システムの性能を、2.2 節で述べた 3 種類の問合せ処理性能を求めるシミュレーション実験を用いて比較する。なお、それぞれの問合せを満たすオブジェクト数と、検索に関わるノード数

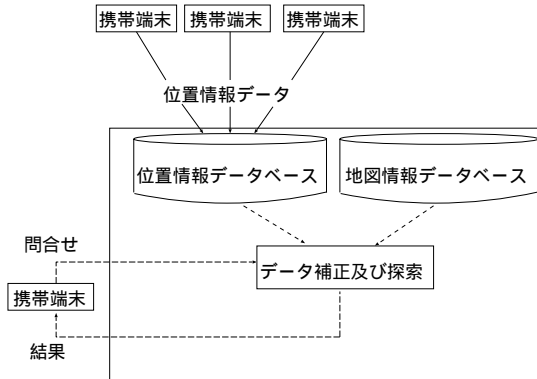


図 5 探索時補正システム

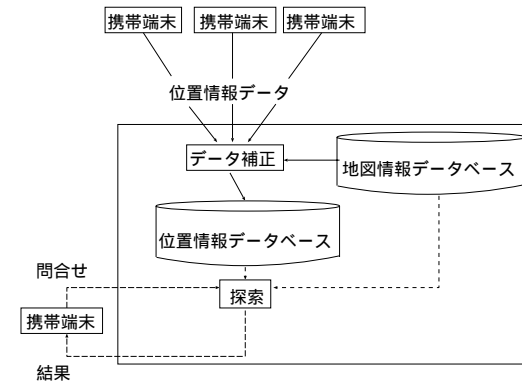


図 6 入力時補正システム

の関係に基づいて評価する。

4.1 実測位置データ加工など各種条件

本節では、シミュレーション実験に用いた、位置データ、地図データ、空間データベース、データ補正パラメータ、その他、問合せに関する設定などを簡単に示す。

[位置データ]

位置データは、2000 年 2 月 21 日より 3 月 17 日までの平日（測定事故が生じた 3 月 3 日を除く）の午前 6 時から午前 10 時、及び、午後 5 時から深夜 0 時まで強化信号強度方式で PHS により 1 分間隔で取得したものである。被験者は 30 名（うち 1 名は最初の 2 週間のみ）で、自動車を利用して大阪市港区、あるいは、中央区に通勤している。また、速度データは収集されない。

なお、大量のサンプル調査が困難であり、調査領域が広域であるため、収集データに対して、シミュレーション実験に適した加工を施した。まず、範囲を限定し、かつ、勤務地に駐車（長時間停止）している自動車数を減らすため、時間を午前7時1分から午前9時と、午後6時31分から午後10時30分の計6時間に限定した。さらに、サンプルの自動車数を増やすため、6時間のデータを30分ずつに区切り、時間を重ね合わせた。そして、処理範囲は、港区、中央区などを含む東西10km、南北4.5kmの範囲に限定した。これによって、該当領域中の自動車数は延べ2677台となった。

[地図データ]

地図データは、国土地理院発行の数値地図2500を元にした。座標系は、数値地図第VI系の絶対座標であり、単位はmである。地図情報の範囲は、先の位置データの範囲よりも少し広げた。これは、未来の位置データを予測する際に、予測位置が地図領域外部に出ないようにするためである。これにより、地図の範囲は大阪市の港区、中央区などを含む、東西[-5400, -40000]の14km、南北[-151500, -144000]の7.5kmの範囲となった。なお、数値地図2500は、東西2km、南北1.5kmずつの図葉に区切られており、大阪市内の1葉の数値地図あたり、約1700本の道路線分が含まれ、実験で用いた領域に存在する道路線分は、51,343本である。ある時点で観測されたデータの一部分を図7に示す。

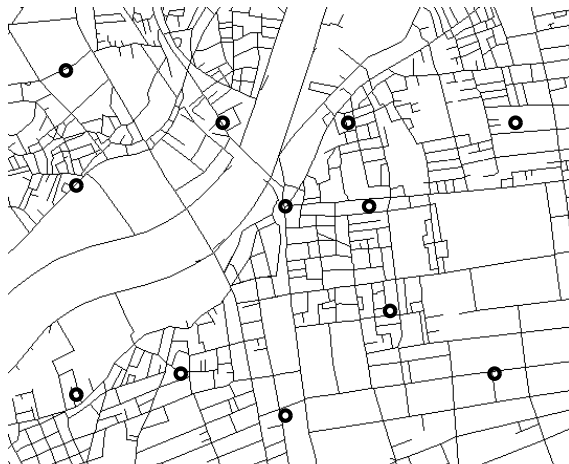


図7 地図上の移動オブジェクトの位置の例

[データベース]

3章で述べたように、自動車の位置情報をTPR-tree

で索引付けた。TPR-treeの各ノードに格納するデータ数は最小1、最大2とした。また、位置情報データベースにおける境界長方形の更新は、位置データをTPR-treeに格納する際に挿入された葉ノードとその祖先のノードについて行う。

[データ補正パラメータ]

3.3節で述べたデータ補正を行うためのパラメータとして、 $\alpha = 0.7$ 、 $\beta = 30$ を用いた。そして、手順1-2において静止しているかどうかを判定するしきい値は、都市部におけるPHSシステムを利用した位置データの平均的誤差を考慮して、50mとした¹⁰⁾。

また、2.2節より、問合せにおいてノードを調べる際には、{位置データからの高さ}×100(m)に範囲を広げて調べた。すなわち、葉ノードでは問合せの領域から東西南北各方向に50m広げた範囲の領域について調べることにより、問合せに適合するオブジェクトを除外しないようにした。

[問合せ]

本システムの利用者を想定しながら、各システムについて、2.2節で述べた3種の問合せを、位置データ入力開始より3分後から1分毎に、次のように実行した。ただし、問合せ対象領域は、位置データ入力範囲内にあるとし、領域の位置の選定は一様乱数を用いてランダムに行った。

- (1) 定時刻問合せ: 3分後に東西、南北2km四方の領域を対象とする。
- (2) 時間帯問合せ: 3分後から5分後に東西、南北2km四方の領域を対象とする。
- (3) 等速移動領域問合せ: 3分後に東西、南北2km四方の領域を出発点とし、そこから、東西南北各方向に、最低速度は30km/hから45km/hの範囲、最高速度は45km/hから60km/hの範囲でランダムに選び、その速度で2分間移動する。

4.2 実験結果

定時刻問合せ(1)による結果を図8に示す。ただし、図8における直線は、各システムのデータから最小二乗法を用いて求めたものである。また、時間帯問合せ(2)、等速移動領域問合せ(3)についての結果を、それぞれ図9、10に示す。

ここで、 x 軸は問合せを満たすオブジェクト数、 y 軸は問合せ実行時の探索ノード数である。また、図8、9、10中の最小二乗法により求めた直線の傾きと切片の値を、表3に示す。

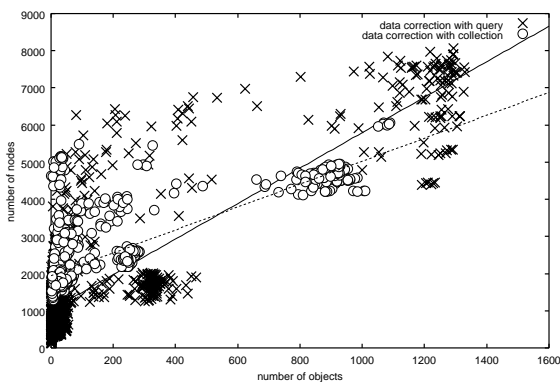


図 8 定時刻問合せを満たすオブジェクト数とノード数

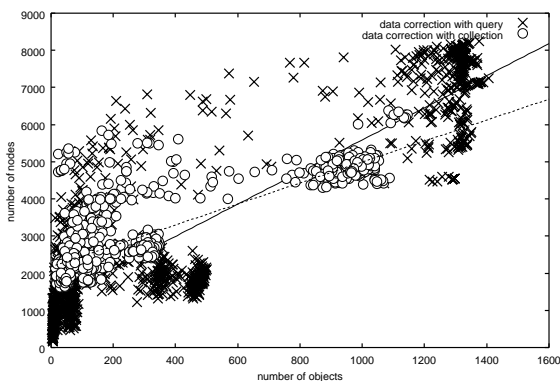


図 9 時間帯問合せを満たすオブジェクト数とノード数

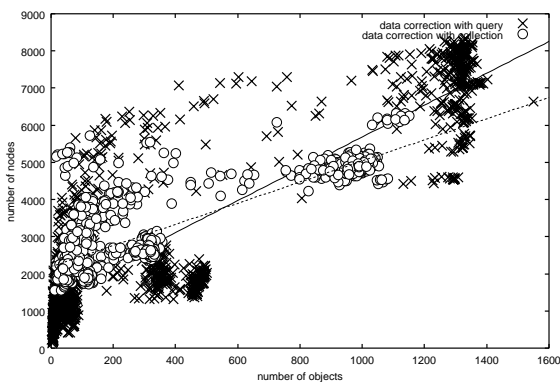


図 10 等速移動領域問合せを満たすオブジェクト数とノード数

図 8 から分かるように、定時刻問合せの際、問合せを満たすオブジェクト数が少ない時、探索時補正システムの方が、入力時補正システムよりも、探索ノード数が少なくなる。すなわち、より高速なデータ検索が実現できる。

一方、条件を満足するオブジェクト数が増加しても、探索ノード数の増加は探索時補正システムに比べ、入力時補正システムは緩やかである。すなわち、問合せ領域が広い時や極度に混雑している時など、問合せを

	探索時補正		入力時補正	
	傾き	切片	傾き	切片
定時刻	4.77235	1022.01	3.08558	1942.22
時間帯	4.32488	1263.68	2.82203	2171.82
等速移動	4.28517	1399.27	2.84352	2194.30

表 3 各問合せのオブジェクト数とノード数の関係

満たすオブジェクト数が多い場合、探索時補正システムの間合せ応答時間は長くなる。このことは表 3 において、探索時補正システムは入力時補正システムに比べ、グラフの切片は小さく、傾きが大きいことから分かる。

ここで、 x 軸方向の間合せを満たすオブジェクト数について両システム共偏りが見られるが、その傾向は異なる。偏りが見られるのは勤務地である港区と中央区に自動車が集まっているためであり、その領域を問合せの範囲に含める時と含めない時で、その値が大きく左右されるからであると考えられる。また、二者の傾向が異なるのは、速度の算出及びデータ補正を行うことにより、索引付けするデータに差異が生じたからであると考えられる。

また、時間帯問合せと等速移動領域問合せについても、定時刻問合せと同じ傾向が観察される。すなわち、図 9、10 に示したように、問合せを満たすオブジェクト数が少ない時は、探索時補正システムの方が探索すべきノード数が少ない。しかし、問合せを満たすオブジェクト数が増加するにつれ、探索時補正システムで探索するノード数が急増するのに対し、入力時システムでは探索ノード数の増加は緩やかである。つまり、表 3 において、問合せ時にデータ補正を行う方が切片の値は小さく、傾きが大きい。

4.3 システム性能に関する考察

提案したシステムを利用する際には、以下のような点を留意すべきである。

- (1) 探索時補正システムは、問合せに合致する葉ノードの位置データについて、全データの補正を行って、問合せを満たすかどうか判定しなければならない。そのため、問合せを満たすオブジェクト数が増加するに従って、応答時間が増加する。すなわち、探索時補正システムの方が、問合せ応答時間が大きい。
- (2) 探索時補正システムでは問合せに必要なオブジェクトに対してのみデータ補正を行うが、入力時補正システムでは、全データに対するデータ補正を必要とする。よって、入力時補正システムの方がシステムに対する全負荷は大きい。これらの点を考慮に入れると、システムが対象とす

るオブジェクト数と問合せの頻度，種類などに応じて，適切なシステム選択を行なわねばならない．すなわち，極端にシステムが対象とするオブジェクト数が多く，かつ，問合せ領域が狭く，問合せを満たすオブジェクト数が少ない状況に対しては，探索時補正システムを採用する．逆に，システムが対象とするオブジェクト数に対して問合せ領域が大きく，問合せを満たすオブジェクト数が多い状況では，入力時補正システムを採用すべきであると判断できる．

もっとも，交通状況は地域により大きく異なるという現実がある．また，この種の交通状況予測サービスを行う場合，利用者の要求は多岐にわたり，問合せの種類が，より複雑になると考えられる．

したがって，実用面からは，問合せを満たすオブジェクト数が増え，探索すべきノード数の増加が緩やかで，問合せ応答時間の増加が小さい，入力時にデータ補正を行う入力時補正システムによるサービス提供が望ましいと思われる．

5. 結論と今後の課題

本稿では，道路データと移動オブジェクトから得られる位置データに索引付けを行い，交通情報管理や交通状況の推定に役立つ2種の異なる位置情報システムの構成を提案し，それぞれのシステムの性能を比較した．

なお，実測データを用いたシミュレーション実験の結果，問合せを満たす移動オブジェクト数が増加するにつれて，探索時補正システムでは探索ノード数が急増するのに対し，入力時補正システムでは探索ノード数の増加が緩やかであった．すなわち，問合せ応答時間のばらつきが小さくなると考えられることから，多くの場合には，後者の入力時補正システムの構成が安定していて望ましいと判断できた．

今後，問合せ時の探索ノード数以外の指標を用いた性能評価，データ補正や位置・速度推定アルゴリズムの改善，交通工学で利用する複合的な問合せ処理など，引き続き検討してゆく必要がある．

謝 辞

本研究の一部は，マツダ研究助成金「データマイニング技術を用いたトリップデータ処理に関する研究」による支援を受けている．

参 考 文 献

- 1) 朝倉 康夫, 羽藤 英二, 大藤 武彦, 田名部 淳, “PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法”, 土木学会論文集, No.653/IV-48, pp.95-104, 7, 2000.
- 2) 朝倉康夫, 羽藤英二, “時空間アクティビティデータ収集のための移動体通信システムの有効性に関する基礎的研究,” 交通工学, Vol. 35, No. 4, 2000.
- 3) 河島徹, 石川佳治, 北川博之, “移動オブジェクトに対する連続的な最近傍問合せ,” 情報処理学会研究報告, 2000-DBS-122, pp.267-274. 2000.
- 4) 河野 浩之, “位置情報活用に関する基礎的考察～経路データ活用とインデックス～,” 情報処理学会研究報告, 2000-DBS-122, pp.291-298, 2000.
- 5) Kawano, H., “Architecture of Trip Database Systems: Spatial Index and Route Estimation Algorithm,” XIV International Conf. of Systems Science, Poland, 2001. (to appear)
- 6) 村上幸治, “クワッドツリーを用いた移動経路推定アルゴリズムの PHS データへの適用,” 修士論文, 京都大学大学院情報学研究科, 2000.
- 7) 日本建築学会編, “建築・都市計画のためのモデル分析の手法,” 井上書院, pp.71-84, pp.122-162, 1992.
- 8) Samet, H., “Spatial Data Structures,” *Modern Database Systems*, New York, ACM, pp.361-385, 1995.
- 9) Saltens, S., Jensen, C. S., Leutenegger, S. T., and Mario A. Lopez, “Indexing the Positions of Continuously Moving Objects,” Proc. of the 2000 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp.331-342, USA, 2000.
- 10) 都市交通計画研究所, 地域未来研究所, “移動体位置情報に基づく動的時空間データ分析技術の開発(技術開発報告書),” 平成 10 年度新規産業創造技術開発費補助事業, 2000.