

Σ -tree による時空間 OLAP 技術の交通データへの適用

岸 浩史[†] 田名部 淳^{††} 河野 浩之^{†††}

[†] 京都大学工学部情報学科

^{††} 都市交通計画研究所

^{†††} 京都大学大学院情報学研究科

E-mail: †kishih@sys.i.kyoto-u.ac.jp, ††jun1022@po.iijnet.or.jp, †††kawano@i.kyoto-u.ac.jp

あらまし 携帯端末や GPS からリアルタイムに得られる位置データを，交通管制や都市計画に活用するシステムが提案され，多量の時空間データ処理に対するオンライン解析処理 (OLAP) が必要とされている．そこで，本研究では，交通状況を蓄積する交通データウェアハウスにおいて，車両数・平均速度・空間占有率などの交通管制で用いる各種交通パラメータを高速に求めるために，時空間特性を考えた Σ -tree を提案する． Σ -tree は，空間的制約を考慮したノードを生成し，各ノードが含む各種交通データに対してデータキューブで用いられる前処理演算を施すことで，典型的な解析処理における計算コストを低減する．また， Σ -tree 構造を用いた各種交通パラメータの算出方法についても述べる．そして，提案した Σ -tree の性能を評価するために，2次元空間座標を中心に索引付けた 3DR-tree を用いた場合の処理性能と簡単な比較を行う．その際，阪神高速道路において定点観測した実測値に基づいたシミュレーションモデルにより生成したデータを用いる．定区間通過車両台数の処理過程における，ノードへのアクセス回数と，そのノードに含まれるデータ数に基づいて比較した結果， Σ -tree の処理コストが少ないことが明らかになった．

キーワード 交通データウェアハウス, OLAP, Σ -tree, 3DR-tree, Data Cube, 交通パラメータ

Σ -tree for Temporal Spatial OLAP in Traffic Data Warehouse

Hirofumi KISHI[†], Jun TANABE^{††}, and Hiroyuki KAWANO^{†††}

[†] School of Informatics and Mathematical Science, Kyoto University

^{††} Institute of Urban Transport Planning Co., Ltd .

^{†††} Graduate School of Informatics, Kyoto University

E-mail: †kishih@sys.i.kyoto-u.ac.jp, ††jun1022@po.iijnet.or.jp, †††kawano@i.kyoto-u.ac.jp

Abstract In order to execute analytical queries in data warehouses, many researchers proposed various system architectures. We also develop spatial information systems for real time location services using PHS and GPS, we need OLAP (On-Line Analytical Processing) technologies in our traffic data warehouse. In order to deal with huge amount of data, many kinds of attributes, and a lot of dynamic queries, we store temporal spatial data using Σ -tree, which is the data structure to calculate traffic parameters fast. Our proposed Σ -tree can decrease computing costs by making nodes with spatial constraints and using prefix-sum techniques. We also discuss how to calculate traffic parameters in Σ -tree. We compare Σ -tree with 3DR-tree by using simulation data based on the traffic model of Hanshin expressway. We evaluate “the number of operations in a query region” by counting the numbers of nodes in a query space and objects in leaf nodes. As the result, we make clear that Σ -tree is superior to 3DR-tree.

Key words Traffic data warehouse, OLAP, Σ -tree, 3DR-tree, Data Cube, Traffic parameters

1. はじめに

交通管制業務として、精度の高い所要時間予測、時間変化に伴う交通渋滞の推移、さらに、突発事象である事故に伴う緊急車両の対応、その時の作業車両の最適配置などが日常的に行われている。また、過去の経験に基づいて、工事やイベントなどに伴う交通状況の変化を予測した交通計画も必要である。その他、長期間にわたる経時的な交通行動の変化などの調査も実施される。そして、この種のデータ処理の一部は、現行の交通管制システムでも実装されているが、システム構築コストの面から十分な機能を備えているとは言えない。

そこで、現在、交通管制、交通計画、都市計画などの高度化を目指して、道路網上に配備された各種情報センサーから取得した様々なデータを蓄積するデータウェアハウス (data warehouse) が整備されつつある [4]。さらに、各種情報センサーの高度化が進められており、より広範な領域からリアルタイムに、車両の位置データを高精度に収集することも検討されている [5]。これは、定点に設置されたセンサー感知領域のみの観測データを用いた現在の交通管制を高度化し、渋滞時や事故時などの急激な交通状況の変化を正確に把握することを目指すものである。

また、我々は、PHS や GPS 機能を備えた移動体端末などの普及を視野に、長期間にわたる大規模な位置データの蓄積が可能になると考えて、地理情報システム (GIS: Geographic Information System) のアプリケーション構築に必要なデータ処理技術を検討してきた [1], [2], [6], [7], [9], [14]。

本稿では、長期かつ連続的にデータを格納する交通データウェアハウスを利用した交通流解析に注目し、交通工学の研究動向を踏まえながら議論を行う。特に、管制や計画などの意思決定支援に有効な実時間解析技術である OLAP (On-Line Analytical Processing) に焦点を当てる [8]。そして、交通データウェアハウスにおける各種交通パラメータに対する OLAP を実現するデータ構造として Σ -tree を提案する。

以下、2章では現在の交通データ処理の現状を簡単に紹介し、時空間データを処理する基本的手法として、時空間インデックスの一つである 3DR-tree [13] と、領域和の高速演算を可能にするデータキューブ (Data Cube) [3] について述べる。そして、3章において、空間的制約を考慮したデータ構造として Σ -tree を提案する。また、4章では、時間平均速度や空間平均速度など、交通計画の基礎データとなる典型的な

交通パラメータ処理を議論する。なお、この種の解析的問合せ処理によって、より精度の高い交通モデル構築が可能となる [5]。次に、5章では、シミュレーションモデルにより生成した阪神高速道路守口線の交通流データを用いて、提案手法と従来の R-tree 型構造 [12] によるデータ処理アクセスコストの簡単な比較を行う。最後に、6章で、結論と今後の課題を述べる。

2. 交通管制システムとデータ処理

本章では、まず、既存の交通管制システムにおけるデータ収集と問題点に触れる。次に、今後高度化される情報収集システムから得られる大量の交通データ処理に関わる技術として、3DR-tree などの時空間インデックスとデータキューブにおける領域和処理を取り上げる。

2.1 交通管制データの高度化

これまで、交通計画では、個人の交通行動のデータなどを基に、都市計画や道路計画、地域施設の配置計画、さらには、最短経路問題等、様々な交通システム設計や運用に伴う研究がなされてきた [11]。そして、実際に、交通管理・交通管制において、移動体に関わる各種情報を交通管制システムのデータベースに格納し利用している。

例えば、現在、路側に設置した車両検知器によってモニタリングした交通状況のデータは、交通制御や交通情報提供のベースとなっている。しかし、既存の超音波センサーを用いた定点型モニタリングデータでは、車両検知器が設置された道路区間においてのみデータが収集されることは勿論、交通流の断面的な観測による解析となる問題が指摘されている。実際、現在の交通管制システムでは、センサーの精度やデータ処理速度の制約から、処理単位時間を 5 分とした 5 分間交通量に基づいた実装が行われている。さらに、その大部分の処理データは、短期間に磁気テープへと格納されるため、交通計画を行う上で十分な解析が実現できているとは言いがたい。

そこで、この種の問題解決のために、道路面を観測する画像センサーの開発や、移動体端末から取得される位置データ活用などの研究が進められている。特に、後者は、移動体通信という既存インフラの活用によって、他の情報提供システムより安価なシステム構築が期待される。そして、より精度の高い交通データウェアハウスを整備することにより、詳細かつ正確な交通情報の提供が可能になると期待される [1], [2], [6], [7], [9], [14]。

なお、これら各種センサーの高度化や、携帯端末から送られてくる移動オブジェクトの位置データ取得によって、大量データをリアルタイムに解析処理する技術の必要性が高まる。また、交通管制データの解析作業では、さまざまな属性を考慮した分析を必要とする。例えば、季節変動、時間帯、地域的特性、道路の特性、車種などの車両の特性、性別・年齢などのドライバーの特性が考えられ、過去の交通状況を検索するに十分な属性値を要する。したがって、多様な視点から解析するには、時空間データと多次元データの両面から考察する必要がある。

2.2 時空間インデックス:3DR-tree

車両などの移動オブジェクトに対して、どのようなデータ構造を用いることが適切かを考える。まず、交通データを検索するには、平面座標系 (x, y) と時間軸 t による時空間インデックスを利用し、その検索処理の高速化が必要である。そこで、オブジェクトの動きを3次元データとして格納することを考えるならば、例えば、3DR-treeの利用が考えられる [13]。

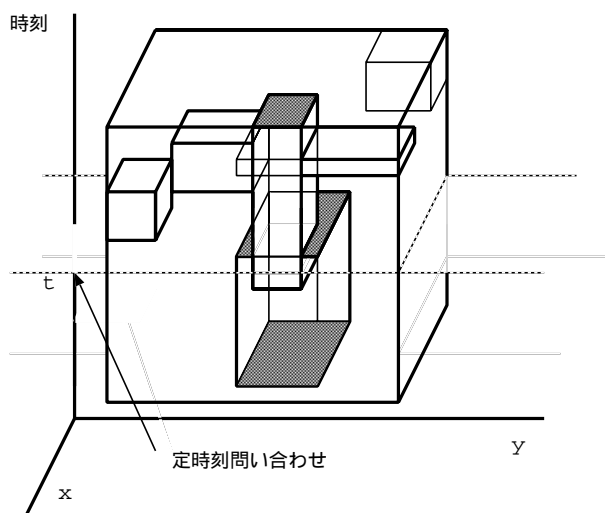


図1 3DR-treeの例(定時刻間合わせ)

しかし、図1に表すような時刻 t における定時刻間合わせや、図2に表す短時間区間の間合わせを処理する場合、必要以上に大きな親ノードを操作することが生じるため、非効率なデータアクセスが生じることに注意したい。例えば、図1に示す定時刻間合わせに対する間合わせ領域は、網掛けされたノードとなる。ここで、 t 軸方向に大きく伸びたノードが含まれる場合、親ノードの覆う領域も大きくなり、アクセスノード数が増加する。これは、図2のような時

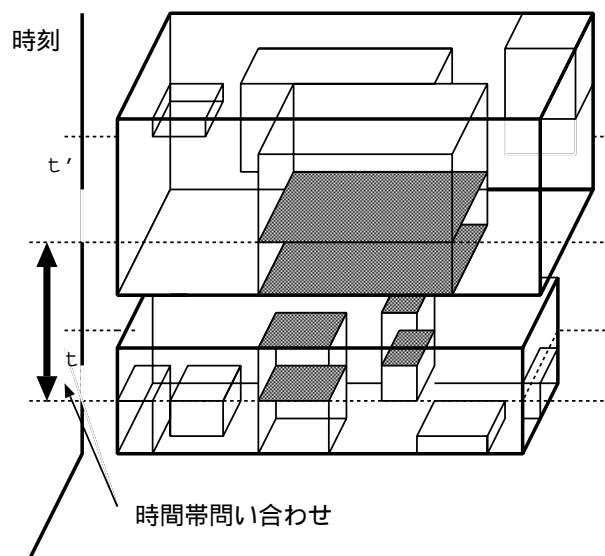


図2 3DR-treeの例(時間帯間合わせ)

間軸に幅をもつ時間帯間合わせに対しても同様である。

そこで、一定時間間隔にノードを区切ることで、ノードが t 軸上に長くない処理が必要と考えられる。そのため、本稿では、交通データ特有の時空間制約を考慮したノード分割を必要とする。

2.3 データキューブによる領域和演算

交通管制データの格納は追記型であり、そのデータ量が増大する一方である点は、通常のデータベースと大きく異なる。なお、この種の性質を備えたデータベースは、データウェアハウスと呼ばれている。すなわち、本稿の対象は、車両の特性や、運転手の性別、年齢など先に挙げた種々の特性に着目した集計演算を頻繁に利用する交通データウェアハウスである。

また、交通計画を策定する上で、アドホックかつダイナミックな問合せをオンラインで処理する必要があり、OLAP技術との関連性が高い。さらに、交通流の傾向、類似性、関係性など、データマイニングに関わる処理も必要となる。そして、これらの処理において、各種交通流パラメータを算出するには、各ノード内のデータの領域和が多数必要となる。そこで、データ処理コストの削減を目標とした、データキューブなどの技術が提案されていることから、本稿では、交通データウェアハウスに対する適用を考える。

ここで、領域和を処理する場合に用いる、元のデータ構造のセルに関する和を格納したデータキューブの性質について簡単に触れておく [3]。まず、 $D = 1, 2, \dots, d$ をデータ構造の次元とし、 n_i を次元 i の中に含まれるセル数とすると、元のデータで和

を求めるには $N = \prod_{i=1}^d n_i$ 回のアクセスを必要とする。他方, d 次元データキューブを構成すると 2^d 個の和は $2^d - 1$ 回のアクセスで求めることができる。このように, 領域和を, 一定のデータアクセス回数で求まるのがデータキューブの利点である。

なお, 形式的にデータキューブの構成方法を示すと, $0 \leq x_i < n_i$ かつ $i \in D$ の条件で, データキューブ A は, 元のデータ B を用いて, 次式で表せる。

$$\begin{aligned} A[x_1, x_2, \dots, x_d] &= \text{Sum}(0 : x_1, 0 : x_2, \dots, 0 : x_d) \\ &= \sum_{i_1=0}^{x_1} \sum_{i_2=0}^{x_2} \dots \sum_{i_d=0}^{x_d} B[i_1, i_2, \dots, i_d] \end{aligned}$$

また, データキューブに格納される 2^d 個のパラメータの領域和は次のとおりである。

$$\text{Sum}(l_1 : h_1, l_2 : h_2, \dots, l_d : h_d) = \sum_{\forall x_j \in l_{j-1}, h_j} \left[\left\{ \prod_{i=1}^d s(j) \right\} * A[x_1, x_2, \dots, x_d] \right]$$

ただし,

$$\forall j \in D, s(j) = \begin{cases} 1 & (x_j = h_j) \\ -1 & (x_j = l_j - 1) \end{cases}$$

3. Σ -tree の提案

前章では, 交通データ収集と処理の高度化に必要な技術として, 時空間データに対するインデックスと多次元データの領域和の演算処理について述べた。そこで, 本章では, 時空間データの特性を踏まえながら, 各ノードとその下位のノードに含まれるオブジェクト数, 速度の和などを効率的に処理するデータ構造である Σ -tree を提案する。

3.1 Σ -tree のデータ構造

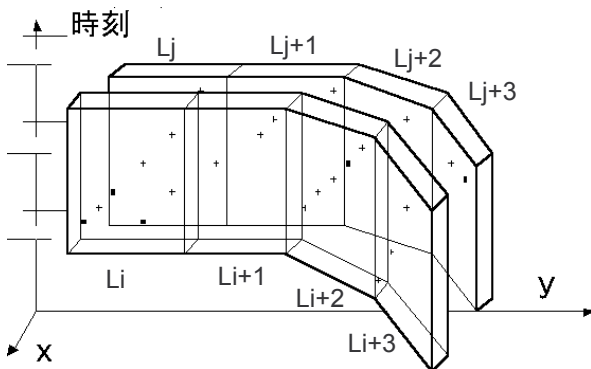


図3 道路セグメントに基づく時空間分割

時空間データ (x, y, t) を格納するデータ構造として Σ -tree を定義する。まず, 全オブジェクト数を n と

し, 葉ノードは時空間データ $(x_1, y_1, t_1), (x_2, y_2, t_2), \dots, (x_n, y_n, t_n)$ を含む。ここで, ノード集合からなるツリー構造を作るが, オブジェクト距離の近いものでノードを構成するのではなく, オブジェクトに対する空間的制約を考慮する。

ここで, 交通データに対する空間的制約は, オブジェクトの存在する道路車線であり, 車線内のオブジェクト距離の近いものにより上位ノードを構成する。よって, ノード L_1, L_2, \dots, L_N を構成すると, 次のようなデータ格納となる。

$$\begin{cases} (x_1, y_1, t_1), (x_2, y_2, t_2), \dots, (x_i, y_i, t_i) \subset L_1 \\ (x_{i+1}, y_{i+1}, t_{i+1}), \dots, (x_j, y_j, t_j) \subset L_2 \\ \vdots \\ (x_{k+1}, y_{k+1}, t_{k+1}), \dots, (x_n, y_n, t_n) \subset L_N \end{cases}$$

なお, 図3中の点が, オブジェクトデータに対応する。

次に, Σ -tree に格納される属性値であるが, 移動体データは, (オブジェクト ID, 時刻, (x, y) 座標) が, 基礎属性となるが, 交通流を解析するには, オブジェクトの移動速度属性なども必要である。そこで, オブジェクト間の距離算出が必要となるので, t 時点から 1 観測時点前における t' 時点のデータを用いて, 速度 $v_t = \frac{\sqrt{(x_t - x_{t'})^2 + (y_t - y_{t'})^2}}{t - t'}$ を与える。そして, オブジェクトの移動経路格納時に, オブジェクトが属する道路セグメントと照合しながら, Σ -tree のノードに格納する。したがって, 各種交通パラメータの和が各ノードに格納される。

すなわち, 各オブジェクトの速度に着目すると, 速度を含めたデータ $(x_1, y_1, t_1, v_1), (x_2, y_2, t_2, v_2), \dots, (x_n, y_n, t_n, v_n)$ が葉ノードに格納され, 上位ノードには, 次式で表される速度和 $V_{L_1}, V_{L_2}, \dots, V_{L_N}$ が格納される。

$$V_{L_1} = \sum_{l=1}^i v_l, V_{L_2} = \sum_{l=i+1}^j v_l, \dots, V_{L_N} = \sum_{l=k+1}^n v_l$$

さらに, 各ノードには, 様々な交通データを演算するために, 例えば, オブジェクト数 n_{ij} , オブジェクト速度和 V_{ij} が格納される。ここで, 親ノードが含む子ノード数を k 個とすると, 図4に示す Σ -tree に, 次式の値が格納される。

$$n_{(i-1)j} = \sum_{l=1+(j-1)k}^{jk} n_{il}$$

$$V_{(i-1)j} = \sum_{l=1+(j-1)k}^{jk} V_{il}$$

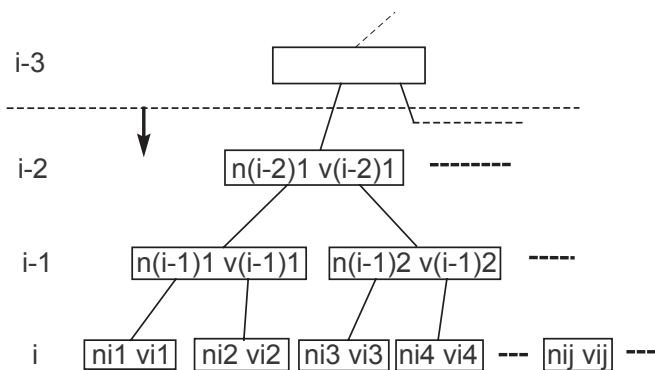


図4 Σ -tree 構造

ところで、各ノードは立体で示されており、頂点を2つ定めることで、その立体を表すことができる。よって、立体を表す2点の座標を始点 $(x_{ijs}, y_{ijs}, t_{ijs})$ 、終点 $(x_{ije}, y_{ije}, t_{ije})$ とし、ノード空間を $(\langle x_{ijs} : y_{ijs} : t_{ijs}, x_{ije} : y_{ije} : t_{ije} \rangle)$ で表す。子ノードの数を k 個すると、親ノードとの関係は次式で表される。

$$\begin{cases} x_{ijs} = \min[x_{i(1+(j-1)k)s}, x_{i(2+(j-1)k)s}, \dots, x_{i(jk)s}] \\ x_{ije} = \max[x_{i(1+(j-1)k)e}, x_{i(2+(j-1)k)e}, \dots, x_{i(jk)e}] \\ y_{ijs} = \min[y_{i(1+(j-1)k)s}, y_{i(2+(j-1)k)s}, \dots, y_{i(jk)s}] \\ y_{ije} = \max[y_{i(1+(j-1)k)e}, y_{i(2+(j-1)k)e}, \dots, y_{i(jk)e}] \\ t_{ijs} = \min[t_{i(1+(j-1)k)s}, t_{i(2+(j-1)k)s}, \dots, t_{i(jk)s}] \\ t_{ije} = \max[t_{i(1+(j-1)k)e}, t_{i(2+(j-1)k)e}, \dots, t_{i(jk)e}] \end{cases}$$

したがって、図5に示すように、上位ノード L_u に、ノードの座標領域 $(x, y, t) \subset L_u$ 、各種交通データの和 (速度の和 V_{L_u} 、通過車両数 N_{L_u}) を格納する。また、上位の親ノードには、ノード領域に属する子ノードの各属性値の和を格納する。

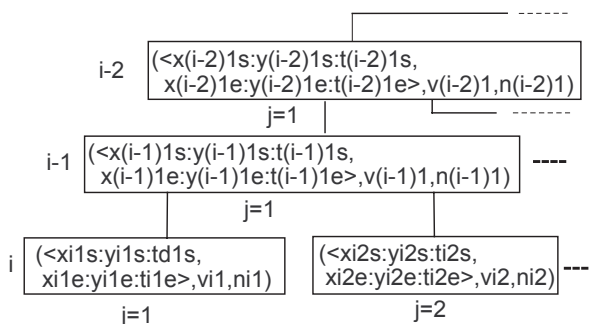


図5 Σ -tree のノードに対する格納値

以上のようにデータを格納することで、ノード内の全オブジェクトの交通データの和は、ノードへの

一回のアクセスで求められる。なお、解析の要求に応じて、同じ時空間領域に対して、属性値の異なる複数の Σ -tree を構成することも検討する必要がある。

3.2 空間領域と時間軸分割に関する考察

ところで、空間領域と時間軸方向の特性と、さらに、計算コストを考慮して、葉ノードと上位ノードを構成しなければならない。

まず、道路セグメントの (x, y) 座標の最小単位区間は、各道路の特性に応じて設定する必要がある。例えば、高速道路を対象としたデータ処理では、検知器の設置区間である 300m 程度の問合せが行われることが一般的であることを考慮しなければならない。また、問合せの範囲指定として、センサー間の一車線、守口周辺といった地域単位の問合せなども必要としている。よって、典型的な問合せを分析し、計算コストを最小化するセグメント構成が必要である。

他方、時間軸方向のセグメントも必要となる。例えば、各ノードに含まれるデータ分布の偏りを抑制するために、道路セグメント長と時間、及び、対象時空間に含まれるオブジェクト数の積を一定範囲に抑える処理が必要となると考えられる。また、 Σ -tree を構成する際、最大問合せ領域を考慮すれば、図4の矢印以下の領域のノードを構成すれば良くなる。

なお、以上のように、問合せコストと、データの前処理コストとのトレードオフの関係が生じることは、データキューブの作成コストの議論と同様であり [3]、今後、様々な解析特性を考慮した評価を必要とする。

4. 交通パラメータと解析処理

本節では、車両数、断面交通量、空間平均速度、交通密度の4種の交通パラメータを、 Σ -tree を用いてどのように求めるかを簡単に述べる。なお、交通パラメータは、交通状況の把握・予測に用いる重要な値である [5]。

4.1 通過車両台数

通過車両台数 n を、各オブジェクトの (x, y) 座標と、道路セグメントの座標を用いて算出することができる。もっとも、 Σ -tree 内にある (x, y) 座標と時刻 t からなる離散的な生データとして収集されるので、オブジェクトの連続的な移動を表現しなければならない。よって、図6に示したように、各オブジェクトの移動経路をベクトル表示して考える。

図6の直方体の底面は、通過している道路セグメントを表し、移動の様子を t 軸に沿って表現している。例えば、100m 区間の道路セグメントにおける

分間の通過状況などを最小単位と考えることになる。

なお，図 7 に示す長方形内のベクトルの本数が，通過車両台数であり， Σ -tree の各ノード (A_1, B_1, C_1, \dots) に格納される。ただし，3次元のノード表示の煩雑さを避けるため， t 軸方向を考えた 2次元表示とした。

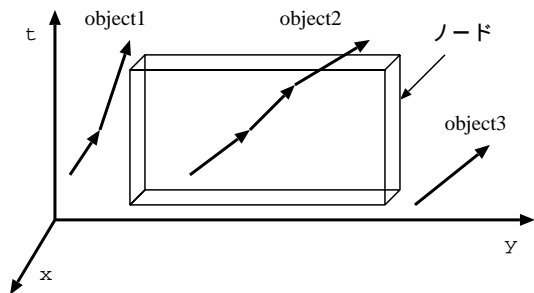


図 6 通過車両台数

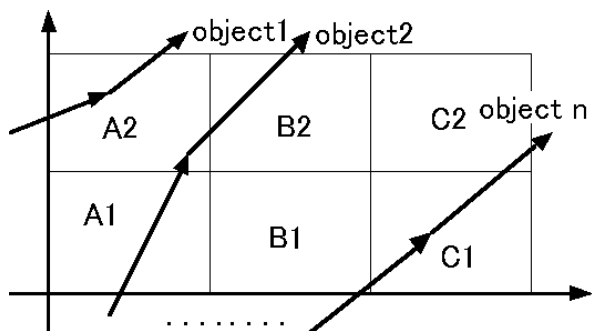


図 7 Σ -tree 上の通過車両台数

4.2 断面交通量

交通量は，道路断面を単位時間に通過した車両台数で定義される。したがって，ある時間帯 ($t_1 \sim t_2$) に，定区間を通過したオブジェクトの割合の和を求める演算が必要である。一般的には定区間における各オブジェクトの移動距離の和を道路の長さで除した値で求める。

そこで，図 8 を用いて，その一例を示す。ある道路セグメント上の区間 A~C に 4 台のオブジェクトが存在しており，区間 A~C でのそれぞれの断面交通量は，それぞれのノードを通過しているオブジェクト数を n_a, n_b, n_c とすると， $\sum_{k=1}^{n_a} \frac{a_k}{A}$ ， $\sum_{k=1}^{n_b} \frac{b_k}{B}$ ， $\sum_{k=1}^{n_c} \frac{c_k}{C}$ となる。また Σ -tree 上で区間 A における断面交通量に用いるパラメータは図 9 のように対応する。

4.3 空間平均速度

速度には地点速度と区間速度の二つの定義があり，定点を通過する車両の瞬間的な速度が地点速度，定区間を走行するのに要した時間で区間長を除した値

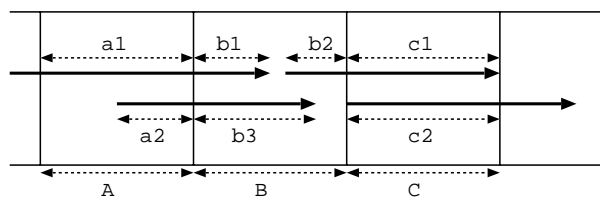


図 8 定区間内の交通量

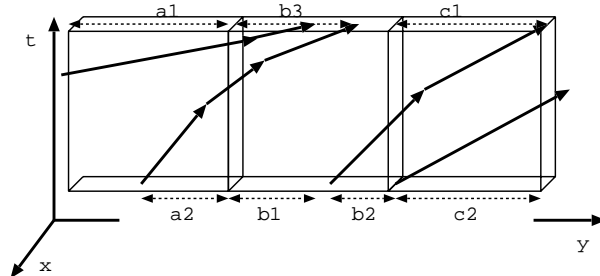


図 9 Σ -tree 上での断面交通量

が区間速度である。空間平均速度は，ある区間での通過したオブジェクトの区間速度の平均値で表される。図 10 は，道路セグメントのある区間でのオブジェクトの移動と通過した距離，通過に要した時間を示す。この場合，空間平均速度はオブジェクト数を n とすると， $\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{t_k}$ となる。

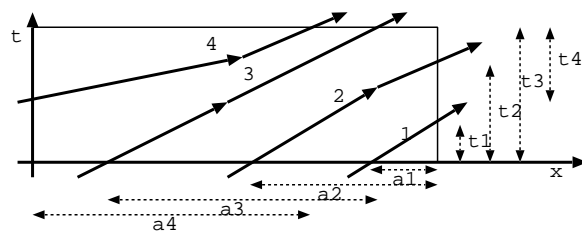


図 10 空間平均速度

4.4 空間占有率

ある時刻 t で，定区間に存在する車両が空間的に占有している割合 R は，存在する車両長の和を区間長で除した値である [5]。

以上のように， Σ -tree を用いることで，既存のシステムで用いられている 5 分間交通量ではなく，交通計画に関わる各種パラメータの挙動解析がリアルタイムに実行可能になると考えられる。また，これまでの断面交通量は，道路上の地点でしか観測できなかったが，リアルタイムでオブジェクト位置を把握できる情報収集システムを用いることで，地点ではなく，区間での交通量を把握できる。そして，この種のパラメータ処理を円滑に求めることで，渋滞時などの地点ごとに交通流が大きく異なる状況においても，より詳細なデータ収集に基づいて，時間変

化により追従した渋滞判定や予測が可能になる。

また、現在の交通管制は、定点観測による地点速度の平均値を算出し、観測区間外で区間速度一定とみなしているため、精度の高いモデルでは無い可能性がある。よって、この種の交通データウェアハウスによる実データ解析により、より優れたモデル構築も可能になると考えられる。

5. Σ -tree の性能評価

本章では、阪神高速道路守口線において実測された定点観測データを基に、追従モデルによるシミュレータ (MITSIMLab) [10] を用いて交通流を生成し、 Σ -tree による解析処理効率に関する評価を行う。提案した Σ -tree の性能を評価するために、2次元空間 (x,y) 座標を中心に索引付けた 3DR-tree との処理性能を比較する。なお、空間データ構造を対象とした OLAP 操作に対する研究 [8] では、データの空間的分布に着目した性能評価を行っている。

5.1 交通データの前処理

MITSIMLab から得られるデータは、図 11 で表される形式であり、各オブジェクトのデータとして、ID、時刻、そのオブジェクトの存在する道路 ID、その道路の下流からの道のり (図 11 における L) が与えられる。ID は、各オブジェクトにその日観測された順に番号をつけたものである。また、時刻は、観測し始めた時刻 (午前 0 時) から秒単位で記録される。

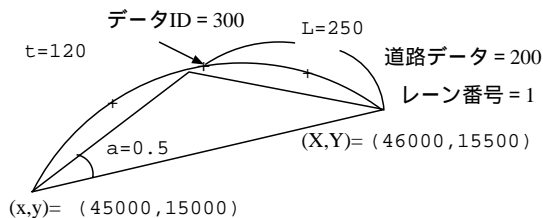


図 11 オブジェクトデータと道路データ

道路データは、道路を直線と円弧に近似することで、その形状ごとに区切られている。そして、各道路データは、道路 ID、各レーン番号、区切られた始点の (x_s, y_s) 座標、終点の (x_d, y_d) 座標と、曲率を表すために、始点と終点を結んだベクトルと、始点から道路を弧と見たときの中点へのベクトルのなす角 (図 11 の a) で与えられており、座標変換を必要とする。

さらに、道路の始点と終点の座標は道路の最も左側の車線を表しており、レーン番号によって、その道路から幾つ右車線にずれたレーンであるかを表す。そのため、レーン番号に基づいて一番左の車線から 11feet の道路幅の同心円の弧を描くように必ず

要がある。

5.2 数値結果と考察

ある一定区間のシミュレーションデータの一例を、図 12 に示す。図 12 より、ある時刻の道路上に分布するオブジェクトの分布状況が把握できる。また、次節の実験では、インターチェンジ部分に注目し、図 12 内の太線で囲んだ長方形の領域を拡大した図 13 の領域を、問合せ範囲として用いた。

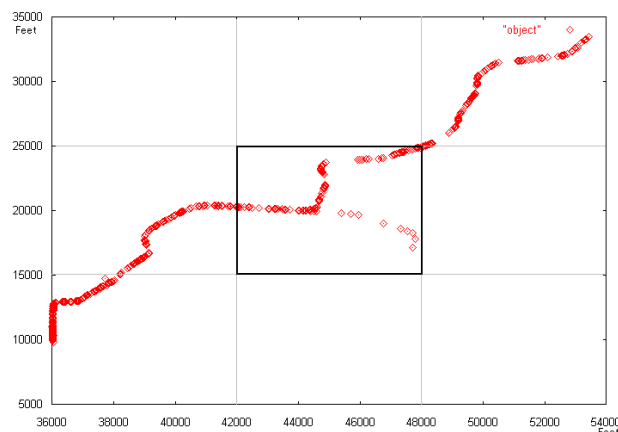


図 12 道路上での分布と問合せ領域

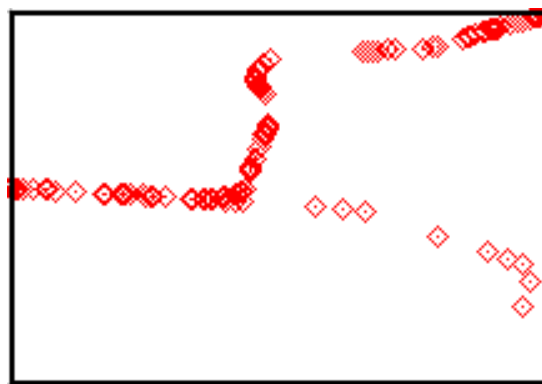


図 13 問合せ領域の拡大図

そして、 Σ -tree を構成するために、阪神高速道路守口線の該当区間を 300feet おきにセグメント化し、時間軸方向には 15 秒間隔で区切ることによって、最小ノードを構成した。比較対照として用いる 3DR-tree は、15 秒間隔で区切ったデータを最小ノードに含むオブジェクトとして、そのオブジェクト数を $1 \leq n \leq 4$ とするノードに構成した。そして、15 秒間隔の定区間通過車両台数を求めるために必要となる、最小葉ノードのアクセス回数とその葉ノードに含まれるデータ数を求めて比較を行った。

なお、表 1 が、その結果である。非常に簡単な比

較ではあるが， Σ -tree でのデータごとのアクセスが，問合せの道路の始点と終点を含むノードのみであるため，妥当な結果を与えているものと思われる．

	Σ -tree	R-tree 型構造
データアクセス数	20	133
ノードアクセス数	39	52

表 1 Σ -tree と R-tree 型構造の比較

6. む す び

本稿では，現在，整備されつつある交通データウェアハウスを用いて，交通計画で用いられている解析が，どのように高度化できるかを検討した．提案した Σ -tree を用いて，各種交通パラメータを効率良く操作できることを述べた．また，交通パラメータを扱う処理コストを簡単に評価することで，提案手法の妥当性を示した．

なお，空間と時間軸に対して，どのような特性をもつ Σ -tree を構成するかによって，そのシステム性能が大きく異なると予測される．そのため，どのようなノード分割をもつツリー構造が最適であるかについて，今後検討を進める予定である．

また，将来，一定時間で平滑化した断面交通量による現行の交通管制システムにおける交通モデルが，この種の実時間解析技術によって，どのように発展できるかも興味深い題材である．

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．

文 献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Chun, S., Chung, C., Lee, J. Lee. S., “Dynamic Update Cube for Range-Sum Queries,” Proc. of VLDB 2001, pp.521-530, Sep. 2001.
- [4] (財) 阪神高速道路管理技術センター，“阪神高速道路交通管制施設に関する調査検討業務報告書”，阪神高速道路交通管制施設に関する調査検討委員会，2001.
- [5] (財) 阪神高速道路管理技術センター，“画像センサに関する検討”，阪神高速道路の交通管制に関する調査研究委員会，2001.
- [6] 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.

- [7] Kawano, H., “Architecture of Trip Database Systems: Spatial Index and Route Estimation Algorithm,” XIV International Conf. of Systems Science, Vol. III, pp.110-117, Poland, 2001.
- [8] Miksovsky, P., and Kouba, Z., “GOLAP-Geographical Online Analytical Processing,” Proc. of 12th Int. Conf. on Database and Expert Systems Applications (DEXA01), pp.442-449, 2001.
- [9] 南卓朗，田名部淳，河野浩之，“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評価”，情報研報 Vol.2001, No.70, DBS-125, pp.225-232, 2001.
- [10] MIT Intelligent Transportation Systems Program, “User’s Guide for MITSIMlab and Road Network Editor (RNE),” [Online] http available: <http://web.mit.edu/its/products.html>, Aug. 2001.
- [11] 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”，pp.71-84, pp.122-162, 井上書院，1992.
- [12] Samet, H., “Spatial Data structures,” Modern Database Systems, (W. Kim, ed.), ACM Press, New York, pp. 361-385, 1995.
- [13] Tao, Y. and Papadias, D., “The MV3R-Tree: A Spatio-Temporal Access Method for Timestamp and Interval Queries,” Proc. of VLDB 2001, pp.431-440, Sep. 2001.
- [14] 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.