

移動データベース環境におけるセル指定ビューの維持手法

仲秋 朗 劉 渤江 塚本 昌彦 西尾 章治郎
大阪大学工学部情報システム工学科

〒565 大阪府吹田市山田丘2-1
{nakaaki, liu, tuka, nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

近年、無線通信技術およびハードウェア技術の発展により、通信機能を備えた携帯端末を利用することで、場所を固定せずにネットワーク上のさまざまなサービスが利用できるようになった。これに対し筆者らは、複数の携帯端末がもつデータから要求に合うものを容易に統合利用することを可能にする移動体ビューと呼ぶデータ管理モデルを提案した[5]。携帯端末が急激に増加している現状では、特に指定された範囲内にいる不特定多数の携帯端末がもつデータを利用するセル指定ビューの有効性が高まるものと考えられる。しかし、筆者らが文献[7]で提案した移動体ビューのいくつかの維持手法は、セル間の連続移動などといったセル指定ビューの特徴を十分に反映していないなど、このようなビューの維持に関する議論が不十分である。本稿では、セル指定ビューの特徴をふまえていくつかの可能な維持手法を考え、トラフィック量の観点からこれらの定量的な比較を行なう。そして、移動頻度などのパラメータに応じて最適な手法がどのように変化するかを示す。

Maintenance of Cell Specified Views in Mobile Database Environments

Akira NAKAAKI Bo-jiang LIU Masahiko TSUKAMOTO Shojiro NISHIO
Dept. of Information Systems Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University

2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565, Japan

As technologies of wireless communication and computer hardware have been rapidly growing, users can access to a wide of variety of information from anywhere using handy terminals with wireless communication equipments. In order to provide mechanisms to integrate data distributed in such a mobile communication environment, we have proposed a data management model MobiView in our previous paper[5]. Observing the current situation that handy terminals are rapidly gaining their popularity, we consider that there are many opportunities to use *cell-specified views*, which enable us to integrate data on the terminals located within a specified region. However, there have been little amounts of discussions on maintaining such views, while we have also proposed several methods for maintaining view in another paper [7], in which the discussion was too fundamental to include several possible optimization of such view maintenance. In this paper, we consider several possible methods for maintaining these views and analyze their performance in the traffic point of view. Then we show how most suitable methods vary according to several network conditions such as the frequency of mobility.

1 はじめに

近年、無線通信技術および計算機ハードウェア技術の発展により、通信機能を備えた携帯端末を利用することで、場所を固定せずにネットワーク上のさまざまなサービスを利用できるようになった[1]。このような計算環境は移動体計算環境と呼ばれ、移動通信可能な計算機は移動ホストと呼ばれる。移動体計算環境では、従来の固定ネットワークではできなかったサービスを提供することができ[2][3][4]、移動ホストとのデータ交換に関する研究

[8][9]や、各々の移動ホストがもつデータ(移動データ)への問合せに関する研究[10]が盛んに行なわれている。

このように基礎的なサービス環境が整備されていくにつれて携帯端末の利用者は年々増加しており、これらの複数の移動ホストがもつ移動データを統合して、より有効に利用したいという要求が高まっている。これに対し、筆者らの研究グループでは移動体ビューと呼ぶデータ管理モデルを提案しており、複数の分散した移動データから要求に合うものを容易に統合利用できるようにしてい

る [5]。固定ホストから移動体ビューを利用する場合、移動体ビューは、欲しい情報をもつ移動ホストを識別子等で直接指定するもの（移動ホスト指定ビュー）と、指定された範囲内にある移動ホストからある条件を満たすホストを指定するもの（セル指定ビュー¹）に大別できる。前者はある特定のグループ内での利用などに適しており、それに対して後者は不特定多数の移動ホストから情報を得る場合に有効である。携帯端末が急激に増加している現状では、これら移動ホストがもつデータからさまざまな情報を取得することができ、セル指定ビュー利用の可能性が広がるものと考えられる。セル指定ビューの利用例として次のようなものが考えられる。

- 遊園地などのアミューズメント施設において、客の流れや統計情報を獲得して、スタッフの配置やサービス内容の変更を行なう。
- カーナビゲーションシステムと統合し、各移動ホスト（車）の集中性や移動性を検出して、各種交通情報（渋滞情報、渋滞予測など）を作成する。
- 大学キャンパス内の職員や学生の嗜好情報を獲得し、食堂のその日のメニューを決定する。
- 現在オフィスにいる社員のもつ情報により、部屋の空調や音響、照明設備などの自動管理を行なう。

これに対して文献 [7] では、移動ホスト指定ビューおよびセル指定ビューの維持手法の可能性について考察している。しかし、提案されている手法は移動ホストが指定範囲においてネットワークに接続したまま移動するといったセル指定ビューの特徴を十分に反映しておらず、また、定量的な比較も行なわれていない。そこで本稿では、セル指定ビューの維持手法をより明確に分類し、これらの定量的な比較を行なって、移動頻度などのパラメータに応じて最適な手法がどのように変化するかを示す。

以下、2章では移動体計算環境においてセル指定ビューがどのように構築され、維持されるかについて述べ、いくつかの維持手法を挙げる。3章では、これらの維持手法の通信コストを解析して、最適な手法を求める。最後に、4章で本稿のまとめと今後の研究課題について述べる。

2 セル指定ビューの構築

この章では、移動体ビューをサポートする移動体計算環境の構成および各構成要素の役割について述べ、この環境において移動体ビューの一つであるセル指定ビューがどのように構築、維持されるかについて述べる。

移動体計算環境は文献 [6] のモデルに基づき、図 1 のように表される。移動ホスト（Mobile Host: MH）は移動通信可能な計算機であり、データベースサーバをもつことができる。MH の固定ネットワークへの接続は移動

¹文献 [5][7] では MHS 指定ビューと呼んでいるが、本稿では指定方法の特徴をよりよく表すため文献 [6] に従ってセル指定ビューと呼ぶ。

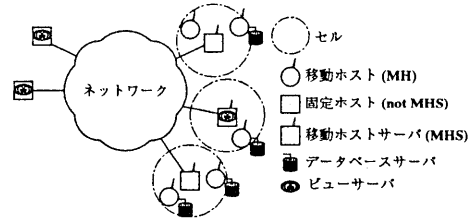


図 1: 移動体ビューをサポートする移動体計算環境

ホストサーバ（Mobile Host Server: MHS）と呼ばれる固定ホストによってサポートされ、MHS は MHS の無線通信可能範囲であるセル内にある MH と通信することができる。MHS が MH の存在を検出するための典型的な方法は、次のようなものである。固定ネットワークへの接続の意思がある MH は制御信号を定期的に MHS に送り、MHS はこの信号を初めて受け取った時点で MH が接続したと判断し、制御信号が送られてこなくなった時点で MH が断線したと判断する。移動体ビューを提供するビューサーバは、任意の固定ホストにおいて起動される。

このような環境において、セル指定ビューは、ビュー定義で指定された MHS（以下指定 MHS もしくは単に MHS と呼び、これ以外のものを指定外 MHS と呼ぶ）に接続する MH のもつデータを統合して構築される。構築された移動体ビューはビューサーバによって常に保持されるが、次のような場合に更新しなければならない。

- 新たな MH が指定 MHS に接続した時
- ビューの対象の MH が指定 MHS から断線した時
- 対象である MH のもつデータが更新された時

ただし、MH が指定 MHS 間を固定ネットワークに接続したまま移動する（以下連続移動と呼ぶ）場合には、ビューの対象は変化しないのでビューは更新されない。

ここではビューサーバと MHS 間の通信コストに関して有効な手段を考察し、MHS-MH 間については考えない。MHS-MH 間は、赤外線通信や微小電波の無線 LAN を主に想定しており、この部分の通信コストはあまり影響しないと考えられる。移動体ビューの（ビューサーバと MHS 間の）維持手法の考察において次の点を考慮しなければならない。

- ビュー定義そのものは更新されないという前提をおいた場合、指定 MHS は変化しない。
- MHS がある程度の計算能力を備えているという状況では、ビュー定義を予め MHS に通知しておくことでビューサーバと MHS 間の通信コストを削減できる。

このような特徴に対して、本稿ではビューの維持手法は次の二つに大別できると考える。

- **トラップ法:** ビューサーバはビュー定義を予め MHS に通知しておき、MHS は MH の接続/断線および

移動データの更新が発生した時点でこれらの情報をビューサーバに通知する。

- 定期的通知法: MHS が事象の発生を定期的にビューサーバに通知する点でトラップ法と異なる。

文献 [7] では、これに加えて定期的問合せ法と呼ばれる維持手法を提案しているが、動作がビューサーバ主体であることを除けば定期的通知法と大差なく、また、ビューサーバから各 MHS に問合せをかける分、定期的通知法より通信コストが大きくなる。

また、セル指定ビューの特徴として“連続移動”が挙げられるが、上の二つの手法はこの点を考慮していない。MH が指定 MHS 間を連続移動した場合、これを検出できればデータの内容をビューサーバに送る必要がない。連続移動を検出する方法は、一度ビューの対象になった MH がビュー定義をそのまま保持しておくか、MHS がビューサーバに尋ねるかのいずれかである。ビューサーバと MHS 間の通信コストを考えれば、前者が優れているのは明らかであるが、セル指定ビューは低機能および高機能の不特定多数の MH を扱っており、必ずしも前者の方法をサポートできるとは限らない。よって、MHS は、接続した MH が連続移動したかどうかをビューサーバに尋ねるものとし、連続移動を考慮した手法をそれぞれトラップ法連続、定期的通知法連続と呼ぶ。連続移動を検出するために余分な通信コストがかかるため、連続移動を考慮しない手法と比べてどちらが通信コストが小さいかは、連続移動の比率に依存する。

3 ビュー維持手法の評価

この章では、前の章で述べた四つの維持手法のうち、MH の移動に対してビューサーバと MHS との間でかかる単位時間あたりの平均通信コストが最小となるものを求める。移動データの更新に応じたビューの更新は、スペースの都合上本稿では扱わない。以下、通信コストを評価するためのモデルについて述べ、そのモデルのもとで各維持手法の通信コストを評価し、最後にこれらと比較する。

3.1 比較モデル

単位時間あたりの平均通信コストは、状態 (MHS) 間を移動する確率と移動によって生じる通信コストを算出し、MHS のすべての組合せに対してこれらの積の和をとることで求められる。MHS i, j 間を移動する確率は、定常状態において i にいる確率 (状態確率) π_i と i にいるという条件のもとで時間 t 後に j に移動する確率 (遷移確率) $p_{ij}(t)$ の積で表すことができ、よって、 i から j への遷移によって生じる通信コストを S_{ij} とすると、平均コスト \bar{C} は次のように表される。

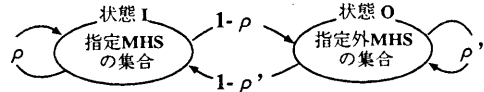


図 2: 移動モデル

$$\bar{C} = \sum_{i,j} \pi_i p_{ij}(t) S_{ij} / t \quad (1)$$

$\pi_i, p_{ij}(t), S_{ij}$ を求めるにあたって、まず、MH の移動は、不変連続時間マルコフ連鎖に従うものとする。これは、遷移確率が時刻および過去の行動に依存せず現在の状態にのみ依存し、また、移動の発生する時刻が連続的である確率過程である。このとき、移動は指数分布的に発生するという制約があり、単位時間あたりの移動率を μ とすると、現時刻から t 以内移動が発生する確率 $P[X \leq t]$ は $1 - e^{-\mu t}$ に等しくなる。

また、セル指定ビューの特徴を考慮し、指定 MHS の集合 I と指定外 MHS の集合 O という 2 つの状態からなるモデルを考える (図 2)。図 2 の状態間の矢印の添字は、各状態にいるという前提のもとで移動が発生したときに、矢印の先に移動する確率を表す。また、同じ集合内での移動では必ず別の MHS に移動することを除けば、矢印の先の集合のどの要素に移動するかは等しい確率で選ばれるとする。ここで、新たに図 2 に示される状態に対して遷移確率 $P_{xy}(t)$ ($x, y \in \{I, O\}$) および状態確率 Π_x を定義すると、 $p_{ij}(t)$ および π_i との間に次の関係が成り立つ。

$$\sum_{(i,j) \in \mathbf{x} \times \mathbf{y}} \pi_i p_{ij}(t) = \Pi_x P_{xy}(t) \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \mathbf{x}} \pi_i = \Pi_x$$

以下、 $P_{xy}(t)$ および Π_x を求め、式 (2) と前提条件からセル指定ビューの特徴に合った $p_{ij}(t)$ および π_i を求める。 $\mathbf{P}_{xy}(t)$ と Π_x 、 $P_{xy}(t)$ および Π_x は不変連続時間マルコフ連鎖における公式、

$$H(t) = \sum_{k=0}^{\infty} Q^k \frac{t^k}{k!} \quad (\text{ただし } Q^0 = I) \quad (3)$$

$$\Pi Q = \mathbf{o}$$

$$\sum_x \Pi_x = 1$$

から容易に求めることができる。ここで、 $H(t) \triangleq [P_{xy}(t)]$ かつ $\Pi \triangleq [\Pi_I \ \Pi_O]$ であり、また、行列 $Q \triangleq [Q_{xy}]$ の各要素は次のように定義される。

$$Q_{xy} \triangleq \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{xy}(\Delta t) - \Delta t}{\Delta t}$$

$$Q_{xx} \triangleq \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{xx}(\Delta t) - 1}{\Delta t} \quad (4)$$

微小時間 Δt における遷移確率 $P_{xy}(\Delta t)$ は、 Δt の間には移動はせいぜい 1 回しか起こらないことから次のように求められる。

$$\begin{aligned}
P_{II}(\Delta t) &= (1 - e^{-\mu\Delta t})\rho + e^{-\mu\Delta t} \\
P_{IO}(\Delta t) &= (1 - e^{-\mu\Delta t})(1 - \rho) \\
P_{OI}(\Delta t) &= (1 - e^{-\mu\Delta t})(1 - \rho') \\
P_{OO}(\Delta t) &= (1 - e^{-\mu\Delta t})\rho' + e^{-\mu\Delta t}
\end{aligned} \quad (5)$$

よって、式(3)(4)(5)から、 $P_{xy}(t)$ および Π_x は次のように求められる。

$$\begin{aligned}
P_{II}(t) &= 1 - \alpha(t)(1 - \rho) \\
P_{IO}(t) &= \alpha(t)(1 - \rho) \\
P_{OI}(t) &= \alpha(t)(1 - \rho') \\
P_{OO}(t) &= 1 - \alpha(t)(1 - \rho')
\end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 $\alpha(t) = \frac{1}{2 - \rho - \rho'}(1 - e^{-\mu(2 - \rho - \rho')t})$

$$\Pi_I = \frac{1 - \rho'}{2 - \rho - \rho'} \quad \Pi_O = \frac{1 - \rho}{2 - \rho - \rho'} \quad (7)$$

$P_{ij}(t)$ と π_i 次に、上で求めた式と前提条件から $p_{ij}(t)$ および π_i を求める。 π_i は、集合内における状態の対称性より容易に求めることができ、次のようになる。

$$\pi_i = \frac{\Pi_I}{|I|} \quad (i \in I) \quad \pi_i = \frac{\Pi_O}{|O|} \quad (i \in O) \quad (8)$$

遷移確率 $p_{ij}(t)$ は $P_{xy}(t)$ と同様の手法で求めることができるが、状態数が多いため計算が困難である。しかし、状態の対称性に着目すれば、集合の要素間の遷移確率は要素の選び方に関係なく一様であることから $p_{ij}(t)$ を容易に計算することができる。まず、 $(i, j) \in I \times O$ または $(i, j) \in O \times I$ である場合は次のようになる。

$$p_{ij}(t) = \frac{P_{xy}(t)}{|y|} \quad (i, j) \in x \times y \wedge x \neq y \quad (9)$$

$(i, j) \in I \times I$ または $(i, j) \in O \times O$ である場合には、少し注意が必要である。式(8)を式(2)に代入すると、

$$p_{ii}(t) + (|x| - 1)p_{ij}(t) = P_{xx}(t) \quad (i \neq j) \quad (10)$$

となり、これより次式が得られる。

$$p_{ij}(t) = \frac{P_{xx}(t) - p_{ii}(t)}{|x| - 1} \quad i, j \in x \wedge i \neq j \quad (11)$$

$p_{ii}(t)$ を求めるには、図2において $I = \{i\}$ かつ $\rho = 0$ としたモデルを考えればよい。便宜上 $\rho' \rightarrow \rho''$ としておくと、 $P_{II}(t)$ や Π_I を求めたのと同様に、

$$\begin{aligned}
p_{ii}(t) &= 1 - \frac{1}{2 - \rho''}(1 - e^{-\mu(2 - \rho'')t}) \\
\pi_i &= \frac{1 - \rho''}{2 - \rho''}
\end{aligned} \quad (12)$$

が得られ、これと式(8)により次式が得られる。

$$p_{ii}(t) = 1 - (1 - \frac{\Pi_x}{|x|})(1 - e^{-\mu \frac{|x| - 1}{|x|} t}) \quad i \in x \quad (13)$$

以下、式(8)(9)(11)(13)に示される各確率を用いて維持手法の通信コストを計算するが、計算にあたってさらに次のパラメータを導入する。

- M ネットワーク内に存在する MH の個数
- S_i MHS i とビューサーバとの間における通信コスト (/byte)
- \overline{S}_v 指定された MHS i に対する S_i の平均
- c 制御パケットのバイト数
- d データパケットのバイト数
- n 各 MH がもつデータベースのサイズ
- T 定期的通知法における通知周期

3.2 トラップ法の通信コスト

トラップ法では、移動が発生した時点で断線側の MHS が断線の通知 (c) を、接続側の MHS が MH のデータ (dn) をビューサーバに送り、ビューサーバはこれらの通知をもとにビューの更新を行なう。よって、MHS i から MHS j への移動によって生じる通信コスト S_{ij} は次のようになる。

$$S_{ij} = \begin{cases} S_i c + S_j dn & (i, j) \in I \times I \\ S_i c & (i, j) \in I \times O \\ S_j dn & (i, j) \in O \times I \\ 0 & (i, j) \in O \times O \end{cases} \quad (14)$$

トラップ法では、1回の移動毎に S_{ij} の通信コストがかかるので、せいぜい1回しか移動が起こり得ない微小時間 Δt について通信コストの平均 $C_i(\Delta t)$ を求め、得られた結果を Δt で割って極限 $\Delta t \rightarrow 0$ をとることで単位時間あたりの通信コストの平均 \overline{C}_i を求める。

$C_i(\Delta t)$ は (8)(9)(11)(13)(14) より次のように求められる。

$$\begin{aligned}
C_i(\Delta t) &= \sum_{i, j} \pi_i p_{ij}(\Delta t) S_{ij} \\
&= (1 - e^{-\mu\Delta t}) \Pi_I (c + dn) \overline{S}_v
\end{aligned} \quad (15)$$

よって、 \overline{C}_i は次のようになる。

$$\begin{aligned}
\overline{C}_i &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{C_i(\Delta t)}{\Delta t} M \\
&= \mu \Pi_I (c + dn) M \overline{S}_v
\end{aligned} \quad (16)$$

次に連続移動を考慮したトラップ法連続について考察する。この手法では、移動が発生した際、接続側の MHS がビューサーバに連続移動かどうかを尋ね、そうならば制御信号 c を送らなければデータ dn をビューサーバに送る。よって、 S_{ij} は次の組合せについてトラップ法のものとは異なる。

$$S_{ij} = \begin{cases} S_i c + S_j 3c & (i, j) \in I \times I \\ S_j (2c + dn) & (i, j) \in O \times I \end{cases} \quad (17)$$

よってトラップ法と同様、単位時間あたりの通信コストの平均 \overline{C}_{ic} は次のように求められる。

$$\overline{C}_{ic} = \mu \Pi_I ((3 + \rho)c + (1 - \rho)dn) M \overline{S}_v \quad (18)$$

3.3 定期的通知法の通信コスト

定期的通知法では、時刻 $t = 0$ と $t = T$ においてどの MHS に接続しているかだけが問題となり、その間にどのように移動したかは関係ない。ここで S_{ij} を、時刻 $t = 0$ で MHS i に時刻 $t = T$ で MHS j に接続しているときにかかる通信コストとして再定義すると、定期的通知法では S_{ij} は次のようになる。

$$S_{ij} = \begin{cases} S_j c & (i, j) \in I \times I \wedge i = j \\ S_i c + S_j dn & (i, j) \in I \times I \wedge i \neq j \\ S_i c & (i, j) \in I \times O \\ S_j dn & (i, j) \in O \times I \\ 0 & (i, j) \in O \times O \end{cases} \quad (19)$$

よって、1つの MH に対して時間 T の間にかかる通信コスト $C_p(T)$ は次のようになる。

$$C_p(T) = \sum_{i,j} \pi_i p_{ij}(T) S_{ij} = \Pi_I (c + (1 - p_{ii}(T)) dn) \overline{S}_v \quad i \in I \quad (20)$$

よって、定期的通知法による単位時間における平均通信コスト \overline{C}_p は、次のようになる。

$$\begin{aligned} \overline{C}_p &= C_p(T) M / T \\ &= \Pi_I (c + (1 - \frac{\Pi_I}{|I|}) (1 - e^{-\mu \Pi_I T}) dn) \\ &\quad \times M \overline{S}_v / T \end{aligned} \quad (21)$$

次に定期的通知法連続について考察する。トラップ法では、連続移動を検出した時点でデータをビューサーバに送る必要がなくなるが、定期的通知法では時間 T にデータの更新が発生している可能性があり、必ずしもそうではない。通信コストを削減できるのは、MH のもつデータベースサーバがタイムスタンプ（最後に更新が発生した時刻）を保持しているか、あるいは、差分情報の問合せが可能であり、更新の有無を検出できるような場合である。このとき、トラップ法連続における考察と同様、単位時間における定期的通知法連続による通信コスト \overline{C}_{pc} を、次のように求めることができる。

$$\begin{aligned} \overline{C}_{pc} &= \Pi_I ((3(1 - \frac{\Pi_I}{|I|}) (1 - e^{-\mu \Pi_I T}) \\ &\quad + P_{II}(T)) c + P_{IO}(T) dn) M \overline{S}_v / T \end{aligned} \quad (22)$$

3.4 維持手法の比較

この節では、前の節までで求めた各維持手法の通信コストを比較し、場合に応じた最適な手法を求める。

式(16)(18)(21)(22) から分かるように、 $M \overline{S}_v$ は各式の共通項になっているため、通信コストの比較においてこれらのパラメータを考慮する必要はない。即ち、本稿で扱うモデルでは、通信コストは移動ホストの個数およびネットワークポロジに依存しない。また、これまでの節では、パラメータ μ 、 ρ および ρ' に基づいて、遷移確率および状態確率を計算して各手法のコストを求めてき

たが、一般のセル指定ビューにおいては、ビュー定義で指定した範囲における移動ホストの振舞いは観測可能であるが、 ρ' はネットワーク全域に対するものであり観測は困難であると思われる。そこで、ここでは ρ' のかわりに対象セルに関連する Π_I を用いて通信コストを比較することにした。つまり、式(7)より ρ' を ρ と Π_I で表し、各コスト式から ρ' を消去して比較を行なう。その他のパラメータについては、次のように固定するものとした。

パラメータ	値	パラメータ	値
c	1	$ V_I $	10
d	1	T	5
n	10		

このようにして求めた各手法の通信コストを図3から図6に示す。次に得られた通信コストをもとに比較した結果、通信コストの低い最適維持手法の分布は Π_I の変化に応じて図7から図9に示される。ただしそれぞれの図において、X 座標は指定 MHS 内での移動率 ρ 、Y 座標は移動頻度 μ を表す。この結果、移動頻度が小さい場合にはトラップ法が、大きい場合には定期的通知法が優れており、また、連続移動率が大きい場合には連続的手法が優れていることが判明し、さらにその境界線が明確になった。

4 おわりに

本稿では、移動データベース環境において、ある範囲にいる不特定多数の移動ホストがもつデータを統合利用するセル指定ビューの維持手法について考察し、移動ホストの移動頻度、指定範囲にいる確率、範囲内での移動率によってどの維持手法が有効かを定量的に求めた。それぞれのパラメータはビュー定義において指定した範囲内で観測可能であり、よって限られた範囲を観測するだけで状況に応じた最適手法を得ることができる。

今後の研究課題としては次のものが挙げられる。(1) 移動データの更新に対する維持手法の比較: 本稿ではスペースの都合上省いたが、データ更新に対する最適維持手法も求めることができ、また、移動に対するものとの組合せが問題になる。(2) 維持手法の動的な適用: 本稿によって得られた結果により、維持手法を動的に適用する。これら以外にも、さまざまな発展性がある [7]。

謝辞

本研究の一部は、財団法人立石科学技術振興団体からの助成金によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Forman, G.H. and Zahorjian, J.: The Challenges of Mobile Computing, *IEEE COMPUTER*, Vol.27, No.4, pp.38-47, 1994.

- [2] Imielinski, T. and Badrinath, B.R. : Querying in Highly Mobile Distributed Environments, *Proc. of VLDB'92*, pp.34-39, 1993.
- [3] Imielinski, T. and Badrinath, B.R. : Data Management for Mobile Computing, *ACM SIGMOD RECORD*, Vol.22, No.1, pp.34-39, 1993.
- [4] Imielinski, T. and Badrinath, B.R. : Mobile Wireless Computing: Solutions and Challenges in Data Management, *Technical Report DCS-TR-296*, Department of Computer Science, Rutgers University, U.S., 1993.
- [5] 劉 渤江, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎 : 移動体計算環境におけるデータベースビュー, *Proc. of Advanced Database System Symposium '94*, pp.9-18, 1994.
- [6] 劉 渤江, 仲秋 朗, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎 : 移動体計算環境におけるデータベースビュー定義言語, 電子情報通信学会技術研究報告 DE95-4, pp.25-32, 1995.
- [7] 仲秋 朗, 劉 渤江, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎 : 移動型データベースのためのビュー維持手法, 情報処理学会第102回データベースシステム研究会報告, pp.33-40, 1995.
- [8] Tanaka, R. and Tsukamoto, M. : A CLNP-based Protocol for Mobile End Systems within an Area, *Proc. of IEEE International Conference on Network Protocols*, pp.64-71, 1993.
- [9] Teraoka, F., Uehara, K., Sunahara, H., and Murai, J. : VIP: A Protocol Providing Host Mobility, *Communications of the ACM*, Vol.37, No.8, pp.67-76, 1994.
- [10] Tsukamoto, M., Tanaka, R., and Nishio, S. : Strategies for Query Processing in Mobile Computing Environments, Imielinski, T. and Korth, H.F.(eds.): *Mobile Computing*, Kluwer 1995 (to appear).

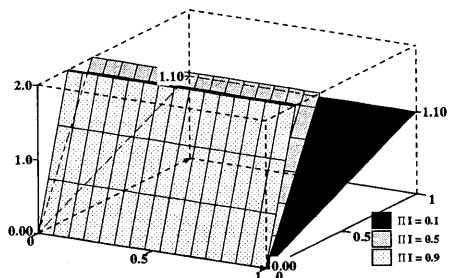


図 3: トラップ法の通信コスト

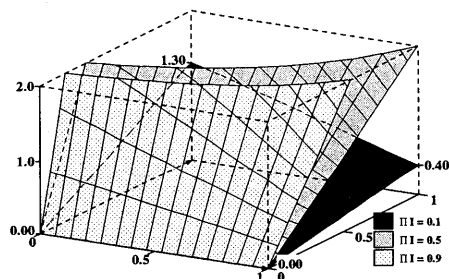


図 4: トラップ法連続の通信コスト

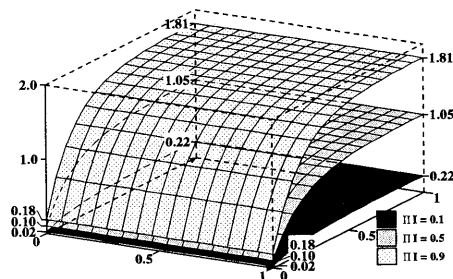


図 5: 定期的通知法の通信コスト

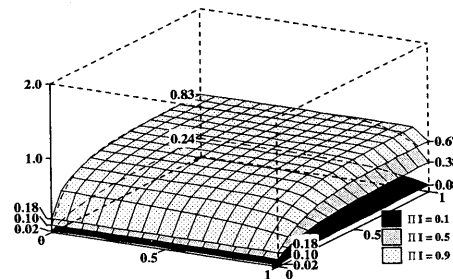


図 6: 定期的通知法連続の通信コスト

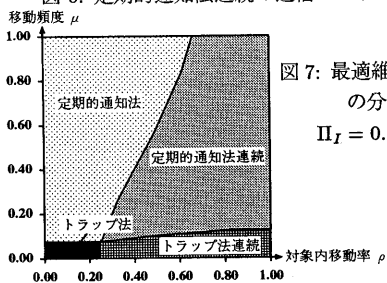


図 7: 最適維持手法の分布:
 $\Pi_I = 0.1$ の場合

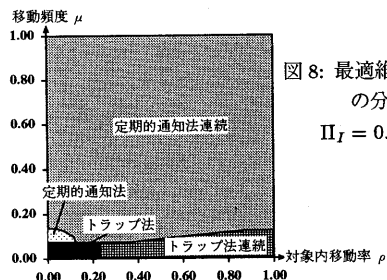


図 8: 最適維持手法の分布:
 $\Pi_I = 0.5$ の場合

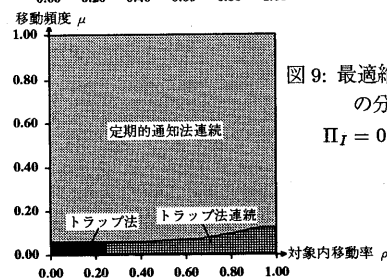


図 9: 最適維持手法の分布:
 $\Pi_I = 0.9$ の場合