

移動体環境における位置依存データベースビューの維持手法

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計算機ハードウェア技術の急速な発展により、無線通信機能を備えた携帯端末などを利用することで、利用者は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。このような環境において、利用者の位置に応じた適切な情報を利用したいという要求が高まっており、サービス実現のための処理方法が研究されつつある。しかし、データベースの情報継続して利用する状況においては、これらの研究は十分であるとは言えない。これに対して筆者らは、移動体環境において効率良くデータベースを利用するためのデータ管理モデルとして、移動体ビューとよぶビューメカニズムを提案している [8]。いくつか提案されている移動体ビューのうちの位置依存ビューを利用することで、利用者は自分の位置に応じた情報を容易に利用することができる。本稿では、この位置依存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 Location-dependent 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 variety of information from anywhere using handy terminals with wireless communication equipments. In such environments, it has been often pointed out that, if we have the facility which enables us to choose automatically the available database depending on the location of users, there are many applications using this facility. Based on our model *MobiView* which we proposed in our previous paper [8], the *location-dependent views* provide this facility. However, as for the database access realizing location-dependent views, few performance evaluation studies have so far been done. Therefore, in this paper, we consider several possible methods for maintaining location-dependent views and analyze their performance in the traffic point of view. As the result, we show how the most appropriate method depends on 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急速な発展により、無線通信機能を備えた携帯端末などを利用することで、利用者は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, 14]。このような計算環境は移動体計算環境と呼ばれ、携帯端末などの移動型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考えられなかったさまざまなサービスを提供することができ[4, 5, 6]、これに対して移動体計算環境特有のアプリケーションのみではなく、移動ホストとのデータ交換[7, 13]や移動ホストへのデータ問合せ[15]といった基礎的なサービスのための研究が盛んに行なわれている。

このように、サービスの可能性が広がるにつれて利用者からの要求の範囲も拡大しており、特に自分の現在地に合った適切な情報を利用したいという要求が増えている。

- 美術館や博物館、モーターショーなどの展示会において、移動する先々の展示物の詳細な情報を携帯端末で見たい。
- 博覧会などのイベント会場において、近くで催されているイベントの開催時間や混雑状況を知りたい。
- カーナビゲーションシステムと統合し、自分の現在地から半径5km以内の交通情報や駐車場情報といった、リアルタイム性の高いサービスを利用したい。
- グループのメンバーの集合場所として、分散したメンバーの中心付近に適当なレストランを探したい。

このような要求に対して、サービス利用者の位置に依存した情報の問合せに関するさまざまな研究が行なわれている。文献[4]では「近くにいる医者を知りたい」といった利用者の位置に依存した問合せについて考察している。また、文献[2]では、携帯端末の位置に応じてアクセスするサーバが変化するWWWを実現している。しかし、いずれの場合も利用することのできる情報は問合せ時点のものであり、その後の情報の更新等については考慮していない。

これに対して筆者ら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、移動体計算環境におけるさまざまなデータベース利用を容易にしている[8]。移動体ビューは当初、移動ホストがもつデータを統合利用するための枠組として提案され、筆者らはこのための管理機構の考察[10, 11]や実動システム的设计およびアプリケーションの構築[12]などの研究を行ってきた。さらに、文献[9]で移動ホストからのデータベース利用を含めた包括的なモデルを提案した。利用者などの位置に応じて情報源となるデータベースが変化する位置依存ビューもこのモデルに含まれている。位置依存ビューを用いることで、利用者は上のような要求を満たす情報を容易に利用することができるが、利用者の位置の変化やデータベースの更新などに応じて収集された情報を更新する必要がある。

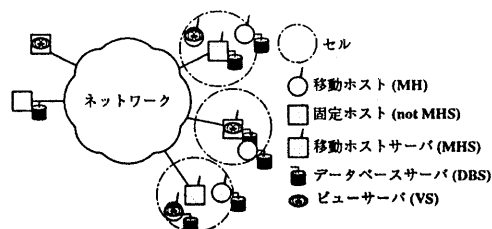


図1: 移動体ビューをサポートする移動体計算環境

本稿では、この位置依存ビューのための維持手法について考察し、これらの定量的な解析を行なって、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。

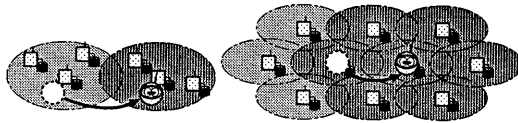
以下、2章では移動体計算環境において位置依存ビューがどのように利用されるかについて述べ、3章では、この移動体ビューのための維持手法について考察する。4章では、これらの維持手法を定量的に解析して、最適な手法がどのように変化するかを示す。最後に、5章で本稿のまとめと今後の研究課題について述べる。

2 位置依存ビューの構築

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、以下の考察における前提条件を述べる。また、いくつかの位置依存ビューをその特徴に応じて分類する。

2.1 移動体計算環境

移動体計算環境は文献[9]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) は無線通信機能を備えた移動型計算機である。MHの固定ネットワークへの接続は移動ホストサーバ (Mobile Host Server: MHS) と呼ばれる固定ホスト (Static Host: SH) 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いる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。また、MHは論理的に高々一つのセルに接続できるものと仮定する。移動体ビューを提供するビューサーバ (View Server: VS) およびデータベースを管理するデータベースサーバ (Database Server: DBS) は、任意のSHおよびMHにおいて起動することができるが、本稿では、次の節で述べる位置依存ビューのみを扱うので、VSはMH上に、DBSはSH上に存在するものとする。



(a) 短期対象型 (b) 長期対象型
図 2: 位置依存ビューの分類

2.2 位置依存ビュー

位置依存ビューとは、ある MH の位置情報によって特定されたビューの対象となる DBS(以下、対象 DBS と呼ぶ) から、要求を満たす情報を提供するためのビュー機構である。その実現方法は文献 [3] に従い、対象 DBS から収集した情報を VS に保持しておいて、データベースの更新等に応じてその具体化されたビューを更新することにする。また本稿では、VS の位置情報によって対象 DBS を特定する位置依存ビューについてのみ考察する。また、位置依存ビューは、その利用方法によって VS の位置情報からの対象 DBS の算出方法が異なり、それによってビューの維持手法が異なってくる。そこで、位置依存ビューを次のように分類する。

- 短期対象型ビュー: 博物館の例のように、VS の移動毎に対象 DBS が完全に入れ代わる (図 2(a))。
- 長期対象型ビュー: カーナビゲーションシステムの例のように、対象 DBS が少しずつ変化するため、VS の移動に対して対象から外れない DBS が存在する (図 2(b))。

2.3 移動体通信プロトコル

維持手法によっては MH 上に存在する VS に情報を通知する必要性が生じ、このとき文献 [7] の移動体通信プロトコルを利用することができる。以下にその五つの戦略を簡単に説明する。

- BN (Broadcast Notification):** MHS は MH の移動を検知する度に位置情報をブロードキャストする。この所在通知方式も BN と呼ぶ。MHS は自分のもつ位置情報をもとに MH に情報を通知する。
- DQ (Default Query):** MHS は MH の移動を検知する度に位置情報をデフォルトサーバ (Default Server: DS) に通知する。この所在通知方式を DN (Default Notification) と呼ぶ。MHS は DS に MH の位置情報を問合せ、得られた結果により MH に通知する。
- DF (Default Forwarding):** 所在通知方式に DN を用いる。MHS は DS に情報を通知し、DS は自分のもつ位置情報によって MH に情報を転送する。
- BQ (Broadcast Query):** MH の移動時に位置情報の通知を行わない。この所在通知方式を NN (No Notification) と呼ぶ。MHS は位置問合せをブロードキャストし、得られた位置に情報を通知する。
- BF (Broadcast Forwarding):** 所在通知方式に NN を用い、MHS は情報をブロードキャストする。

3 位置依存ビューの維持手法

この章では、位置依存ビューに対する維持手法について考察する。位置依存ビューでは、次の事象に対して VS 上で具体化されたビューを更新しなければならない。

- VS の移動による対象 DBS の変化。
- 対象 DBS の管理するデータベースの更新

データベースの更新に対するビュー維持に、文献 [8] に基づき基本的に次の三つの手法を用いることができる。

即時通知法: VS はビュー定義を予め対象 DBS に渡しておき、DBS はデータベースが更新された時点でその差分情報を VS に通知する。

定期的通知法: VS はビュー定義を予め対象 DBS に渡しておく。DBS はデータベース更新の差分情報をログに蓄積しておき、定期的なまとめて VS に通知する。定期的な通知することで情報量を最小化することができる反面、更新頻度が低い場合には定期的に無駄な制御通信が行なわれてしまう。

定期的問合せ法: VS は定期的に対象 DBS に更新情報を問合せ。VS がビュー定義を予め DBS に渡している時には DBS はログに蓄積しておいた差分情報を返し、渡していないときには対応するすべてのデータを返す。以下では、前者を差分情報による問合せ法、後者を全情報による問合せ法と呼ぶ。

また、即時通知法、定期的通知法および差分情報による問合せ法を、ビュー定義分配による手法と呼ぶ。

次に、対象 DBS の変化に対する処理について考察する。新たに対象となった DBS にはビュー定義内で要求している情報を問合せ。また、ビュー定義分配による手法を用いている場合には、対象から外れた DBS に対してビュー定義の削除を要求する必要がある。これらの処理は VS が行なうことができるが、別のホストに予め依頼しておくことで通信コストを削減することができる。次のホストが処理することができる。

- VS: VS がすべての処理を行なう。
- 断線側の MHS: 新たに対象となった DBS への問合せは VS が行なうが、対象から外れた DBS に対する処理は、断線側の MHS が VS の代わりに処理を行なう。
- 検知した MHS: 予めビュー定義をすべての MHS に通知しておき、VS の移動を検知した MHS が処理を行なう。
- DS: 予めビュー定義を DS に渡しておき、また、VS に対する所在通知方式に DN を用いることで DS がすべての処理を行なう。移動体通信の DQ または DF を用いている場合に有効である。

*文献 [9, 10, 11] ではトラップ法と呼んでいるが、用語の統一性を考慮して本稿では即時通知法と呼ぶ。

- すべての MHS: 予めビュー定義をブロードキャストしておき、また、VS に対する所在通知方式に BN を用いることで、すべての MHS が自律的に処理を行なう。移動体通信の BN を用いている場合に有効である。

以下、短期対象型ビュー、長期対象型ビューの維持手法をそれぞれ考察する。

3.1 短期対象型ビューの維持

短期対象型ビューでは、VS の移動によって対象となる DBS が完全に入れ代わるため、対象 DBS 側から見た場合、自分が対象となっている間は VS が移動しない。よって、ビューの維持において VS と DBS は固定であると考えて良く、分散環境におけるデータベースビューと同様に定期的通知法もしくは即時通知法が有効である。ただし、位置依存ビューでは対象 DBS が変化するため、分散環境では使われなかった全情報による定期的問合せ法が有効になる場合がある。この手法では、VS の断線時に DBS に対してビュー定義の削除を要求する必要がない。

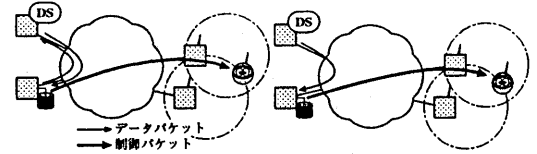
3.2 長期対象型ビューの維持

長期対象型ビューでは、VS が移動しても対象のままである DBS が存在し、よって、ビュー維持に対して通知法を用いる場合には DBS は VS の位置を知らなければならぬ。このとき文献 [7] による移動体通信プロトコルを用いることができる。これに対して、問合せ法を用いると、問合せ処理中には VS は移動しないという前提の元では DBS は問合せの発行された位置に検索結果を返せばよいので、VS の移動性を考慮する必要がない。よって、移動頻度、通知/問合せ周期等のパラメータに応じて、通知法、問合せ法両者とも最適な手法となる可能性がある。

また、長期対象型ビューの維持において通知法を用いる場合には移動体通信プロトコルを用いるが、DQ または DF を用いる場合、DBS の存在するホストと位置情報を管理するホストが異なることから、DBS は通知の度に DS に位置情報の問合せまたは通知情報のフォワード依頼を行わなければならない(図 3(a))。しかし、ビュー維持においてはこれらの処理は定期的に行なわれるため、DS に予めビュー定義を渡しておくことで、DS が DBS に定期的に更新情報を問合せ、その結果を直接 VS にフォワードする手法が有効である可能性がある。このような手法を定期的問合せ&通知法と呼ぶ(図 3(b))。

4 ビュー維持手法の評価

この章では、前の章で述べた各維持手法に対して単位時間あたりの平均通信コストを解析し、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。通信コストの算出のために以下のパラメータを定義する。



(a) DQ を用いた場合 (b) 問合せ&通知法

図 3: 問合せ&通知法の有効性

- N_{in} : 対象 DBS の平均数
- C_B : ある MHS からすべての MHS へのバケットをブロードキャストする通信コストの平均値
- C_D : MHS と DBS 間で一つのバケットを送る通信コストの平均値
- C_f : MHS 間で一つのバケットを送る通信コストの平均値
- C_w : 無線通信部で一つのバケットを送る通信コスト
- d : データベースの一つのデータに対応するデータバケットの平均サイズ
- c : 制御バケットの平均サイズ
- S_{DB} : データベースの平均サイズ数
- T : 定期的手法の周期
- T_v : ビューの存続期間
- μ : VS の移動頻度
- λ : データベースの更新頻度。その時間間隔は指数分布となる。

4.1 移動体通信のコスト

長期対象型ビューでは、DBS から VS への通信は移動体通信となり、VS の位置管理等の通信コストを算出する必要がある。移動体通信プロトコルを提案している文献 [7] において通信コストの評価を行なっているが、ブロードキャストのためのコストが戦略によって異なるなどいくつか不明な点があるため、ここで再評価することにする。MH に送るデータのサイズを D とすると、五つの戦略の通信コストは表 1 のようになる。

4.2 定期的手法における差分情報のサイズ

定期的通知法や差分情報による問合せ法などでは、更新情報をログに蓄積しておいて定期的にとめて VS に通知する。この際、同一データへの更新は最後のもののみが有効であるように、通知する更新情報を最小化することができる。この節では、サイズ S_{DB} のデータベースに対して頻度 λ で更新がかかった場合において、周期 T の間にログに蓄積された更新情報から求められる差分情報の平均サイズ D_{diff} を求める。 D_{diff} の評価に当たって次の前提をおく。

表 1: 五つの戦略の通信コスト

	BN	BF	BQ	DF	DQ
通信毎	$(C_f + C_w)D$	$(C_B + C_w)D$	$(C_B + C_f)c + (C_f + C_w)D$	$(2C_D + C_w)D$	$2C_{Dc} + (C_f + C_w)D$
移動毎	$2C_{Bc}$	0	0	$2C_{Dc}$	$2C_{Dc}$

- データベースの更新はデータの編集のみを扱い、データの挿入/削除を考慮しない。
 - データの編集はすべてのデータに等確率で発生する。
 - VS に通知する差分情報は、編集されたデータの時刻 0 における値と時刻 T における値の組である。編集データ数が 0 の時は制御パケット c が送られる、
- 時間 t の間に k ($0 \leq k \leq S_{DB}$) 個のデータが編集される確率を $P_k(t)$ とすると、 D_{dif} は次のように表される。

$$D_{dif} = \sum_{k=1}^{S_{DB}} 2kdP_k(T) + cP_0(T) \quad (1)$$

$P_k(t)$ を求めるために、図 4 に示す状態遷移図を考える。図 4 において円に描かれた数字は編集されたデータ数を表し、矢印の添字は遷移確率を表す。

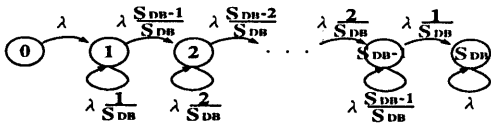


図 4: 差分情報のサイズを求めるための状態遷移図

図 4 より、状態確率 $P_k(t)$ に対して次の式が成り立つ。

$$P_k(t + \Delta t) = P_k(t) \{ (1 - \lambda \Delta t) + \lambda \frac{k}{S_{DB}} \Delta t \} + P_{k-1}(t) \lambda \frac{S_{DB} - k + 1}{S_{DB}} \Delta t + o(\Delta t) \quad (2)$$

$1 \leq k \leq S_{DB}$

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) (1 - \lambda \Delta t) + o(\Delta t) \quad (3)$$

$$P_k(0) = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

式 (2)(3) から微分方程式を導き、これらと式 (4) の初期条件から $P_k(t)$ は次のように求められる。

$$P_k(t) = \binom{D}{k} (1 - e^{-\frac{\lambda}{S_{DB}} t})^k e^{-\lambda(1 - \frac{k}{S_{DB}}) t} \quad (5)$$

これを式 (1) に代入すると、 D_{dif} を求めることができる。

4.3 対象の変化に対する処理コスト

新たに対象となった DBS に対する処理コストを C_{query} 、対象から外れた DBS に対する処理コストを C_{del} とすると、各処理方法に対するコストは表 2 のように表される。表 2 における変数 N_{vary} は、新たに対象に加わったまたは対象から外れた DBS の個数を表す。短期対象型ビューの場合は $N_{vary} = N_{in}$ であり、長期対象型ビューでは「VS」、「DS」、「すべての MHS」の場合は $N_{vary} = \beta N_{in}$ あり、それ以外の場合は $N_{vary} = N_{in}$ である。「定義分配」の項は、VS 以外のホストにビュー定義を分配して処理を依頼する場合の定義分配/破棄コストを表す。

4.4 ビュー維持コストの解析

この節では、前の章で述べた維持手法の単位時間当たりの平均通信コストを解析する。また、短期対象型ビューおよび長期対象型ビューの特徴を調べるため、分散ビュー、および、固定ホストを対象とし MH 上に VS が存在する状況 (以下、固定ホスト指定ビューと呼ぶ) についても考察する。

ビュー定義分配による手法では、通信コストは対象 DBS の変化に対する処理コストとデータベースの更新に対する処理コスト C_z^{mnt} の和として次のように表される。

$$C_z = C_{query} + C_z^{mnt} + C^{del} \quad (6)$$

C_z の添字 z は各手法名を表す。これに対し、全情報による問合せのようなビュー定義を分配しない手法では、対象から外れた DBS に対してビュー定義の削除を要求する必要がないので次のようになる。

$$C_z = C_{query} + C_z^{mnt} \quad (7)$$

また、分散ビューおよび固定ホスト指定ビューの場合は、式 (6)(7) において、 $C_{query} = C^{del} = 0$ である。

以下では、各々のビューに対して C^{mnt} を評価する。

4.4.1 分散ビューの解析

前に述べたように、分散ビューでは即時通知法もしくは定期的通知法が有効である。短期対象型ビューとの比較を目的とするので、VS は MH 上に存在するが MH が移動しないという状況で解析する。

即時通知法では、データベースの更新が発生する度にサイズ $2d$ の差分情報を DBS から VS に送るので、通信コストは次のようになる。

$$C_{trapp}^{mnt} = 2d \cdot (C_f + C_w) N_{in} \quad (8)$$

また定期的通知法では、ログに蓄積された差分情報 D_{dif} を周期 T 毎に通知するので、コストは次のようになる。

$$C_{period}^{mnt} = D_{dif} / T \cdot (C_f + C_w) N_{in} \quad (9)$$

4.4.2 短期対象型ビューの解析

即時通知法では、分散ビューと同様の結果が得られる (式 (8))。定期的通知法では、DBS が対象となった時点から時間 T 毎に差分情報を通知し、対象から外れる直前にログに蓄えられている差分情報は VS に通知されずに破棄されてしまう。DBS が対象である時間 t の間には、 $[t/T]$ 回の通知が行なわれ、それぞれの通知においてサイズ D_{dif} の差分情報が通知される。よって、 $\mu \neq 0$ のとき DBS が時間 t だけ対象である確率が $\mu e^{-\mu t}$ で表されることを利用すると、通信コスト C_{period}^{mnt} は次のように表される。

$$C_{\text{period}}^{mnt} = \int_0^{\infty} ([t/T] D_{dif}/t) \mu e^{-\mu t} dt \cdot (C_f + C_w) N_{in} \quad (10)$$

$$= D_{dif} A(\mu) \cdot (C_f + C_w) N_{in} \quad (\mu \neq 0)$$

$$A(\mu) = \mu \sum_{k=0}^{\infty} k \int_{kT-0}^{(k+1)T+0} e^{-\mu t} / t dt \quad (11)$$

$\mu = 0$ の場合は対象が変化しないため、分散ビューと同じ結果が得られる(式(9))。式(11)において、定積分の部分が数式解析できないため、定積分の定義により、

$$\int_{kT-0}^{(k+1)T+0} e^{-\mu t} / t dt = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{e^{-\mu(kT+ki/n)}}{kT+ki/n} \cdot \frac{k}{n} \quad (12)$$

と分解する.. 式(12)は収束するがこのままでは数値を求められないため、値がほぼ収束するような十分大きな数値 N によって、

$$\int_{kT-0}^{(k+1)T+0} e^{-\mu t} / t dt \simeq \sum_{i=0}^{N-1} \frac{e^{-\mu(kT+ki/n)}}{kT+ki/n} \cdot \frac{k}{n} \quad (13)$$

として解析する。式(11)の無限級数についても同様であり、級数の要素が十分小さくなった時点で加算を停止した近似値をその値とすることにする。

全情報による定期的問合せ法の通信コスト C_{allq}^{mnt} は定期的通知法の場合と同様に求めることができる。

$$C_{\text{allq}}^{mnt} = A(\mu) \times ((C_w + (N_{in} - 1)C_f)c + ((N_{in} - 1)C_f + N_{in}C_w)dS_{DB}) \quad (14)$$

4.4.3 固定ホスト指定ビューの解析

固定ホスト指定ビューでは対象 DBS が変化しないため、即時通知法、定期的通知法、差分情報による定期的問合せ法を、また、長期対象型ビューと同様に差分情報による定期的問合せ&通知法を用いることができる。通知法を用いる場合には移動体通信となるため、移動体通信プロトコルを利用する。

即時通知法による通信コストは、表1において $D = 2d$ としたとき、次のように表される。

$$C_{\text{trap}}^{mnt} = (\text{所在通知コスト})\mu + (\text{フォワードコスト})\lambda N_{in} \quad (15)$$

定期的通知法による通信コストは、表1において $D = D_{dif}$ としたとき、次のように表される。

$$C_{\text{period}}^{mnt} = (\text{所在通知コスト})\mu + (\text{フォワードコスト})N_{in}/T \quad (16)$$

差分情報による問合せ法の通信コスト C_{difq}^{mnt} 、差分情報による問合せ&通知法の通信コスト C_{difqn}^{mnt} は、それぞれ次のようになる。

$$C_{\text{difq}}^{mnt} = ((C_w + N_{in}C_f)c + N_{in}(C_f + C_w)D_{dif})/T \quad (17)$$

$$C_{\text{difqn}}^{mnt} = (DN \text{所在通知コスト})\mu + (C_{DC} + (C_f + C_w)D_{dif})N_{in}/T \quad (18)$$

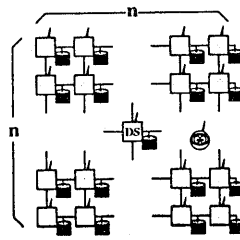


図5: ネットワークモデル

4.4.4 長期対象型ビューの解析

即時通知法による通信コスト C_{trap}^{mnt} は、固定ホスト指定ビューと同様の結果が得られる(式(15))。定期的通知法による通信コストは、短期対象型ビューと同様に求めることができる。ただし、DBSが時間 t の間対象となる確率は $\beta\mu e^{-\beta\mu t}$ となり、表1において $D = D_{dif}$ として、 C_{period}^{mnt} は次のように表される。

$$C_{\text{period}}^{mnt} = (\text{所在通知コスト})\mu + (\text{フォワードコスト})A(\beta\mu)N_{in} \quad (19)$$

差分情報による定期的問合せ法のコスト C_{difq}^{mnt} 、全情報による定期的問合せ法のコスト C_{allq}^{mnt} 、差分情報による定期的問合せ&通知法のコスト C_{difqn}^{mnt} 、全情報による定期的問合せ&通知法のコスト C_{allqp}^{mnt} はそれぞれ次のようになる。

$$C_{\text{difq}}^{mnt} = (C_f + C_w)(c + D_{dif})A(\beta\mu)N_{in} \quad (20)$$

$$C_{\text{allq}}^{mnt} = (C_f + C_w)(c + dS_{DB})A(\beta\mu)N_{in} \quad (21)$$

$$C_{\text{difqn}}^{mnt} = (DN \text{所在通知コスト})\mu + (C_{DC} + (C_f + C_w)D_{dif})A(\beta\mu)N_{in} \quad (22)$$

$$C_{\text{allqp}}^{mnt} = (DN \text{所在通知コスト})\mu + (C_{DC} + (C_f + C_w)dS_{DB})A(\beta\mu)N_{in} \quad (23)$$

4.5 通信コストの比較

この節では、前の節までに求めた式に基づいて、実際の通信コストを算出し、最適な維持手法の分布を求める。以下の考察において、いくつかのパラメータを次のように固定する。

c	1	d	5	S_{DB}	50
C_w	1	N_{in}	5	T	20
β	0.5	T_v	3600		

また、図5に示す格子状のネットワークモデルに基づいて通信コストを算出する。この時、ネットワークに関するパラメータ C_f 、 C_B 、 C_D はそれぞれ次のように表される[15]。

$$C_f = \frac{2}{3n}(n+1)(n-1)$$

$$C_B = n^2 - 1$$

$$C_D = \begin{cases} \frac{1}{2n}(n+1)(n-1) & n: \text{奇数} \\ \frac{n}{2} & n: \text{偶数} \end{cases}$$

また、図5において、VSの移動先はランダムに決定されるものとする。以下の節では、このような前提条件に基づいて各維持コストを求める。

4.5.1 短期対象型ビュー

図6に、短期対象型ビューにおける即時通知法、定期的通知法および全情報による定期的問合せ法の維持コストを示す。X軸はVSの移動頻度、Y軸はデータベースの更新頻度を表し、Z軸は通信コストを表す。図8(b)に通信コストの最も低い最適な手法の分布を示す。また、比較のために図8(a)に分散ビューの最適手法の分布を示す。

分散ビューにおいて、更新頻度が小さい場合には定期通知法では無駄な制御通信の割合が増えるため、即時通知法が最適となる。逆に更新頻度が大きくなると、ログ情報の最小化によって定期的通知法が最適となる。

これに対して短期対象型ビューでは、移動頻度が小さい場合には分散ビューと同じ結果を示すが、移動頻度が大きくなると定期的通知法ではログに蓄えられた差分情報が破棄される確率が高くなるので、定期的通知法が有効となる領域が大きくなる。さらに移動頻度が十分大きくなると、ビュー定義の削除を要求する必要がある全情報による定期的問合せ法が最適となる。

4.5.2 長期対象型ビュー

図7に、長期対象型ビューの維持コストを示す。また、図8(c)に固定ホスト指定ビューの、図8(d)に長期対象型ビューの最適手法の分布を示す。

固定ホスト指定ビューにおいて、更新頻度が小さい場合には、分散ビューと同様に即時通知法が最適となる。逆に更新頻度が大きくなると、ログ情報の最小化によって定期的手法が有効となる。通知法において移動体通信のどの戦略を用いるかは文献[7]の結果と同様であり、移動頻度が小さいときは情報通知コストが小さいBNが、移動頻度が大きいときには所在通知コストが0のBQが、その中間ではDQが適している。ただし、定期的通知法においてDQ、DFが用いられることはなく、その代わりに差分情報による問合せと通知法が有効になる。また、移動頻度がある程度大きくなると、移動体通信を用いる必要がない差分情報による定期的問合せ法が有効になる。

長期対象型ビューでは、短期対象型ビューと同様、移動頻度が大きくなるにつれて定期的手法が有効となる領域が大きくなる。また、対象DBSが変化するため、ビュー定義の削除を要求する必要がある全情報による定期的問合せ法が有効になる場合がある。

5 おわりに

本稿では、移動体環境において、サービス利用者の位置に応じた適切な情報を提供することのできる位置依存ビューの維持手法について考察し、ビューサーバの移動頻度、データベースの更新頻度によってどの維持手法が有効かを定量的に求めた。これより、ビューサーバの移動性が維持手法にどのように影響するかが分かった。

今後の研究課題として次のものが挙げられる。(1)ビューサーバの断線の考慮：携帯端末の電源等の制限によるVSの断線が維持手法にどのように影響するかを調べ

る。(2)維持手法の動的な適用：本稿で得られた結果をもとに、維持手法を動的に適用する。

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] Geoffrey M.V. and Brian N.B. : Mobisaic: An Information System for a Mobile Wireless Computing Environment, *Proc. of the 1994 Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1994.
- [3] Gupta, A., Mumick, I.S., and Subrahmanian, V.S.: Maintaining Views Incrementally, *Proc. of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pp.157-166 1993.
- [4] Imielinski, T. and Badrinath, B.R. : Querying in Highly Mobile Distributed Environments, *Proc. of VLDB'92*, pp.34-39, 1993.
- [5] Imielinski, T. and Badrinath, B.R. : Data Management for Mobile Computing, *ACM SIGMOD RECORD*, Vol.22, No.1, pp.34-39, 1993.
- [6] 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.
- [7] Kadobayashi, R. and Tsukamoto, M. : Performance Comparison of Mobile Support Strategies, *Proc. of The First Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.218-225, 1995.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 仲秋 朗, 劉 渤江, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎 : 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, 情報処理学会第71回マルチメディア通信と分散処理研究会報告, pp.175-180, 1995.
- [12] 白井 博章, 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機構の設計および実装, 情報処理学会第104回データベースシステム研究会報告, pp.145-152, 1995.
- [13] 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.
- [14] 塚本 昌彦 : 変わる電子文具・可能性秘める赤外線通信, *Computer Today*, No.63, pp.46-51, 1994.
- [15] Tsukamoto, M., Kadobayashi, R., and Nishio, S.: Strategies for Query Processing in Mobile Computing, Imielinski, T. and Korth, H.F.(eds.): *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, 1996 (to appear).

表 2: 対象 DBS 変化時の処理コスト

処理ホスト	C_{query}	C_{del}	定義分配
VS	$((C_w + N_{vary}C_f)c + N_{vary}(C_f + C_w)dS_{DB})\mu$	$(C_w + N_{vary}C_f)c\mu$	0
断線側の MHS	$((C_w + N_{vary}C_f)c + N_{vary}(C_f + C_w)dS_{DB})\mu$	$N_{vary}C_f c\mu$	0
検知した MHS	$(N_{vary}C_f c + N_{vary}(C_f + C_w)dS_{DB})\mu$	$N_{vary}C_f c\mu$	$2(C_w + C_B)c/T_v$
DS	$(N_{vary}C_{DC} + N_{vary}(C_f + C_w)dS_{DB})\mu$	$N_{vary}C_{DC}\mu$	$2(C_w + C_D)c/T_v$
すべての MHS	$N_{vary}(C_f + C_w)dS_{DB}$	0	$2(C_w + C_B)c/T_v$

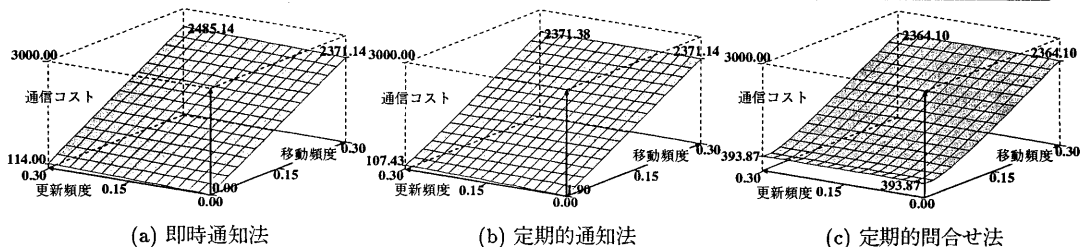


図 6: 短期対象型ビューにおける維持コスト

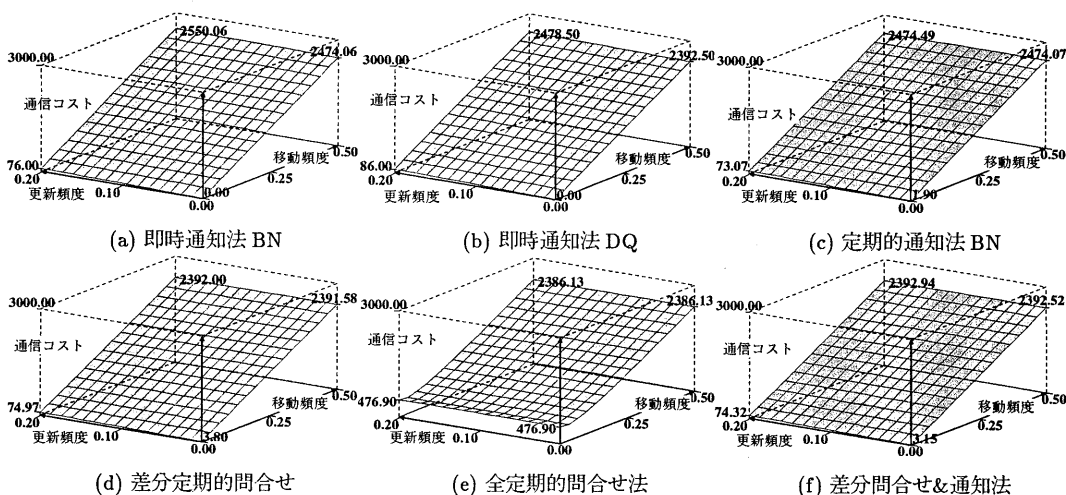


図 7: 長期対象型ビューの維持コスト

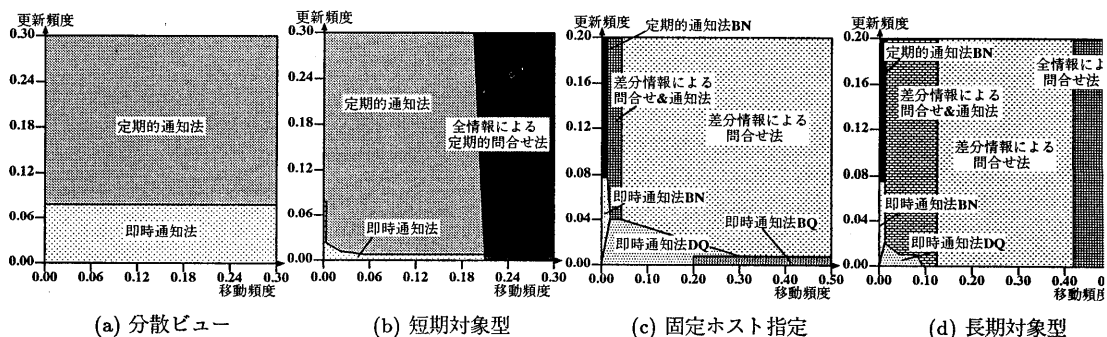


図 8: 最適手法の分布