

モバイルコンピューティング環境における 時間制約付きデータベースシステムの性能評価

和田 雄次*
三菱電機

水野忠則
静岡大学

携帯型コンピュータを用いたモバイルコンピューティング環境において、その携帯型コンピュータから無線を用いてモバイルサポートサーバ経由でホスト計算機のデータベースをアクセスするための時間制約付きデータベースシステムを提案する。次に、その携帯型コンピュータが複数セル間を移動しながらホストデータベースをアクセスするときに、ホストデータベースとセルデータベースの間で行なわれるデータベースキャッシュの管理方式を示す。最後に、各々のキャッシュ管理下での平均データベースアクセス時間やセルデータベースのヒット率などをシミュレーションにより定量的に比較する。

Performance Evaluation of A Timing Constrained Database System in Mobile Computing Environments

Yuji Wada
Mitsubishi Elec. Corp.

Tadanori Mizuno
Shizuoka Univ.

In this paper, we propose a timing constrained database system which accesses a database at a host computer via a mobile support server with a wireless portable computer running in mobile computing environments. Then, we provide some kinds of database cache algorithm that manages the data downloading and uploading among a host database and some cell databases at mobile support servers, where the host database is accessed by the wireless portable computer user who moves among the cells. Finally, we show the averaged database access time and the cell database cache hit ratio, obtained by simulating each database cache algorithm.

1 はじめに

近年、携帯電話や携帯型コンピュータの低価格化や高性能化により、その普及が急速に進んできた。こうしたモバイルコンピューティングの進展に伴い、そのコンピューティング環境からのデータベースアクセス要求も高まってきているが、その研究は緒についたばかりである [Alon93, Barb94, Huan94-1, Huan94-2, Imie92, Imie93, Imie94-1, Imie94-2, Imie94-3, 劉 94]。例えば、[Alon93] は既存データベースシステムに対するノマディックコンピューティングの影響 (具体的には、バッテリー電源、無線通信

などの問題) について議論している。[Barb94] はクライアントの電源断が高頻度で発生する無線コンピューティング環境におけるデータベースキャッシュ無効化手法を提案し、評価している。[Huan94-1, Huan94-2] はモバイルコンピュータのための静的および動的なデータ割当アルゴリズムを提案し、そのコストを評価分析している。[Imie92, Imie93, Imie94-1, Imie94-2] はモバイルコンピューティングという新パラダイムに対してデータベース技術から挑戦する際の問題点 (例えば、無線データ放送、通信切断管理、電源節約型データアクセス) を提示している。[Imie94-3] はデータを多数の利用者に無線放送するときのそのデータの編成方法と

*静岡大学大学院博士課程

アクセス方法を提案評価している。
 一方、本稿では無線携帯型コンピュータを用いたモバイルコンピューティング環境において、その携帯型コンピュータが複数の無線通信セル（以下、単にセルと呼ぶ。）間を移動しながらモバイルサポートサーバ経由でホスト計算機のデータベースをアクセスするための時間制約付きデータベースシステムを提案し、これに加えてホストデータベースとセルデータベース間のデータベースキャッシュの管理方式も提案し、各々のキャッシュ管理下での平均データベースアクセス時間やセルデータベースのヒット率をシミュレーションにより定量的に比較評価する。

2 システムコンセプト

2.1 モバイルコンピューティング環境のモデル

本稿が研究対象とするモバイルコンピューティング環境におけるデータベースシステムは図 1 に示すようなモデルである。

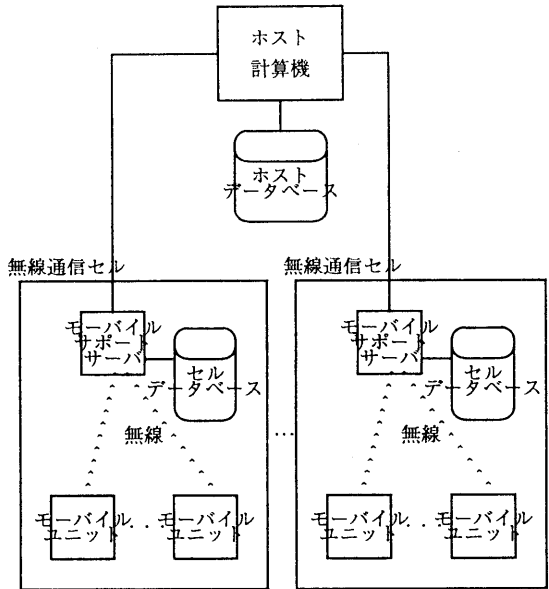


図 1: システム全体モデル

前提 全体のシステムは複数のセルの集合体であり、各セルには複数のモバイルユニット（例えば、無線携帯型コンピュータなど）と 1 台のモバイルサポートサーバ（例えば、ワークステーションやパソコン）が存在している。そして、各モバイルサポートサーバにはセルデータベースが構築されている。更に、このモバイルサポートサーバはシステムのある中心にあるホスト計算機にネットワーク経由で接続されている。そして、そのホスト計算機にはホストデータベースが構築されており、その部分集合がセルデータベースに格納されている。従って、モバイルユニットの利用者が複数のセル間を移動しながら無線を用いてモバイルサポートサーバ経由でホストデータベースをアクセスすることができる。このとき、ホストデータベースと複数のセルデータベースでデータをダウンロードしたり、あるいはアップロードしたりするためのデータベースキャッシュが図 2 に示したように行なわれる。

2.2 時間制約付きデータベースシステム

問題 モバイルユニットが当初データベースアクセス要求を發したセルとは異なる別のセルに移動した場合、モバイルサポートサーバとの無線接続が切断され、この結果ホスト計算機のデータベースサービスが受けられなくなっ

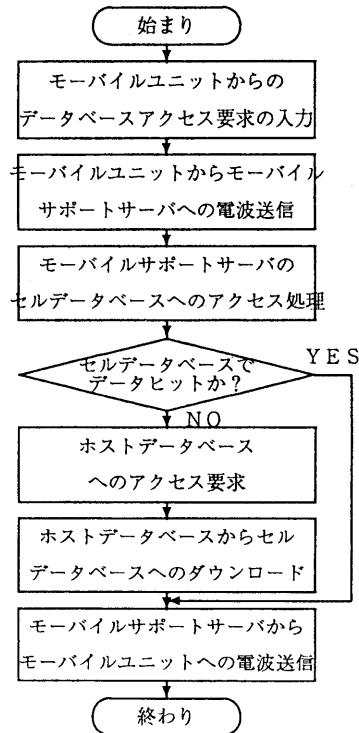


図 2: データベースアクセスの流れ図

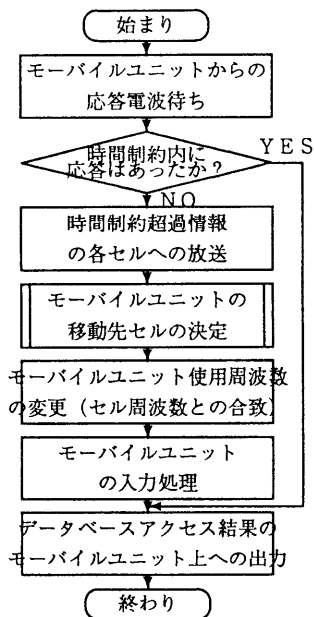


図 3: 移動元セル内時間制約処理の流れ図

しまい、移動先セルにて、再度そのセル内のモバイルサポートサーバに接続し直さねばならない問題が発生する。

そこで、こうした問題を解決するために、本稿では時間制約の概念をデータベースシステムに導入し、かつモバイルユニットを考慮した新しいデータベースキャッシュ管理方式を提案する。本節ではまず時間制約付きデータベースシステムの問題を議論していく。

解1 本稿で提案する時間制約付きデータベースシステムとは、図3と図4に示すようにホストデータベースアクセス要求を發したモバイルユニットがモバイルサポートサーバから見て自セル内に滞在しているか否かを判断するのに、そのモバイルサポートサーバから当該モバイルユニットへ無線送信したときの返信がある一定時間内にあったかどうかを調べる機能を有しているデータベースである。言い替えば、ある制約時間内に応答が無かった場合は、当該モバイルユニットは別のセルに移動済みであると判断し、逆に応答が時間制約内にあったときは依然として自セル内に滞在していると判断する方式である。

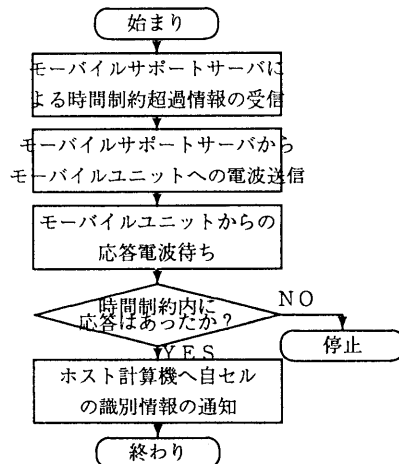


図 4: 移動先セル内時間制約処理の流れ図

2.3 データベースキャッシュ管理方式

解2 本稿で提案するデータベースキャッシュ管理方式は、以下のような手続きである。

1. モバイルユニットからのアクセス要求を受けた第1のセル内の第1のモバイルサポートサーバが、接続されている第1のセルデータベースにアクセス要求されたデータが存在するか否かを調べ、
2. データが存在しない場合、そのアクセス要求をホスト計算機へ通知し、
3. ホスト計算機はホストデータベースからのアクセス結果を第1のセルデータベース及び第1以外の第2のセル内の第2のモバイルサポートサーバに接続された第2のセルデータベースにも転送し、
4. 第1のモバイルサポートサーバは当該モバイルユニットが第1のセル内に滞在しているか否かを判定し(先述の解1)、
5. 当該モバイルユニットが第1のセル内に滞在していない場合、第1のモバイルサポートサーバは当該モバイルユニットが第1のセル内に滞在していないことを第2のモバイルサポートサーバに通知し、
6. 第2のモバイルサポートサーバは当該モバイルユニットが第2のセル内に滞在しているか否かを判定し(先述の解1)、

- 7. その滞在を確認してから第2のセルデータベースに転送されたアクセス結果を当該モバイルユニットに転送する。

尚、上記の第2のセルは、

- 全セル：ホスト計算機により管理されている全てのセル
- 隣接セル：第1のセルに隣接しているセル

の2種類である。

3 シミュレーション評価

2.3節に記述したデータベースキャッシュ管理方式の性能を比較評価するために、モバイルユニットが複数セル間を移動しながら、無線によりモバイルサポートサーバ経由でホストデータベースをアクセスする状態を計算機シミュレーションした。また、このときのシミュレーションによる測定項目は、

- ホストデータベースアクセス経過時間の平均値
- セルデータベースのキャッシュヒット率

の2件である。

3.1 シミュレーション方法

本稿で採用したシミュレーション方法は、乱数発生によるモンテカルロ法に基づいている。

3.1.1 シミュレーション・モデル

図1に示したようなモデルにおいて、次のような統計的な性質を仮定する。

- 各計算機の処理時間
 - ホスト計算機+ホストデータベース：平均 T_h 秒の指数分布
 - モバイルサポートサーバ+セルデータベース：平均 T_c 秒の指数分布
 - モバイルユニット：平均 T_u 秒の指数分布
- ホストデータベース格納
 - 格納ブロック数：一様分布
- ホストデータベースアクセスパターン
 - 種類：read
 - エントリ：等確率 $1/B_h$ 、但し B_h は総ブロック数。

- モバイルサポートサーバ動作
 - モバイルユニット応答待ち時間：平均 T_w 秒の指数分布
 - 時間制約：一定
 - セルデータベースのブロック再配置：LRU¹法
- モバイルユニット動作
 - 出発セルの決定：等確率 $1/N$ 、但し N は総セル数。
 - 移動先セルの決定（移動するセル個数の変化量）：平均 C_m 個の指数分布
 - セルのトポロジー：リング構造
 - セル間を移動するモバイルユニット個数：システム全体でただ1個。
 - 1セル内での移動距離：一様分布
 - 移動速度：一定

3.1.2 入力パラメータ

また、次のようなパラメータを外部から指定する。

- システム構成
 - ホストデータベース最大記憶可能容量： $hostdbsize$ (GByte)
 - セルデータベース最大記憶可能容量： $celldbsize$ (MByte)
 - セルの個数： N (個)
- 各計算機の平均処理時間
 - ホスト計算機+ホストデータベース： T_h (秒)
 - モバイルサポートサーバ+セルデータベース： T_c (秒)
 - モバイルユニット： T_u (秒)
- モバイルサポートサーバ
 - セル内最大移動距離： $distance$ (Km)
 - 時間制約時間： $timecnstrnt$ (秒)
 - 平均モバイルユニット応答待ち時間： T_w (秒)
- モバイルユニット
 - 平均移動セル個数： C_m (個)
 - 移動速度： $muspeed$ (Km/h)

¹Least Recently Used

表 1: 入力パラメータ値

変数名	値
<i>hostdbsize</i>	10(GByte)
<i>celldbsize</i>	500(MByte)
<i>N</i>	10 (個)
T_h	10 (秒)
T_c	100 (秒)
T_u	5 (秒)
<i>distance</i>	80(Km)
<i>timecnstrnt</i>	可変 (秒)
T_w	60 (秒)
C_m	2 (個)
<i>muspeed</i>	80(Km/h)
<i>comline</i>	64(Kbps),1536(Kbps)
<i>wireless</i>	可変 (bps)
<i>blocksize</i>	2(KByte)
<i>hostmtime</i>	5 (ミリ秒)
<i>cellmtime</i>	20 (ミリ秒)
<i>loop</i>	500 (回)

● データ通信速度

- ホスト計算機とモバイルサポートサーバ間の有線通信速度：*comline*(Kbps)
- モバイルサポートサーバとモバイルユニット間の無線通信速度：*wireless*(bps)

● データベースブロック

- ブロック長：*blocksize*(KByte)
- 1ブロック当たりの平均処理時間（ホストデータベース）：*hostmtime*（ミリ秒）
- 1ブロック当たりの平均処理時間（セルデータベース）：*cellmtime*（ミリ秒）

● データベースアクセス回数：*loop*（回）

3.2 シミュレーション結果

本稿では、表 1に示すようなパラメータを指定してシミュレーションした。

3.2.1 データ通信速度

2.3節に述べたデータベースキャッシュ方式の各々に対して、パラメータ *comline* = 64(Kbps) かつ *timecnstrnt* = 60 (秒) に固定し、またパラメータ *wireless* を変化させた場合の平均データベース・アクセス時間とデータベースキャッシュの平均ヒット率の測定結果を、各々表 2と

表 2: 平均データベースアクセス時間

<i>wireless</i>	全セル	隣接セル
2400(bps)	4h36m07s	4h36m39s
4800(bps)	2h40m27s	2h41m00s
9600(bps)	1h42m37s	1h43m10s
19200(bps)	1h13m42s	1h14m15s
38400(bps)	0h59m15s	0h59m47s

表 3: データベースキャッシュの平均ヒット率

<i>wireless</i>	全セル	隣接セル
2400(bps)	0.174%	0.172%
4800(bps)	0.174%	0.172%
9600(bps)	0.174%	0.172%
19200(bps)	0.174%	0.172%
38400(bps)	0.174%	0.172%

表 3に示す。但し、表中の h,m,s は各々時間、分、秒を意味する。

考察1 モバイルサポートサーバとモバイルユニット間の無線通信速度は、平均データベース・アクセス時間にインパクトを与える（表 2）。

考察2 モバイルサポートサーバとモバイルユニット間の無線通信速度は、データベースキャッシュの平均ヒット率に大きなインパクトを与えない（表 3）。

3.2.2 時間制約

2.3節に述べたデータベースキャッシュ方式の各々に対して、パラメータ *comline* = 1536(Kbps) かつ *wireless* = 38400(bps) に固定し、またパラメータ *timecnstrnt* を変化させた場合の平均データベース・アクセス時間とデータベースキャッシュの平均ヒット率の測定結果を、各々表 4と表 5に示す。

考察3 時間制約時間は、平均データベース・アクセス時間に大きなインパクトを与える（表 4）。

表 4: 平均データベースアクセス時間

<i>timecnstrnt</i>	全セル	隣接セル
20 (秒)	1h16m34s	1h16m37s
30 (秒)	1h05m37s	1h05m40s
60 (秒)	0h49m49s	0h49m51s
120 (秒)	0h29m39s	0h29m40s
180 (秒)	0h21m45s	0h21m45s
300 (秒)	0h17m46s	0h17m46s

表 5: データベースキャッシュの平均ヒット率

timecnstrnt	全セル	隣接セル
20 (秒)	0.254%	0.221%
30 (秒)	0.224%	0.199%
60 (秒)	0.174%	0.172%
120 (秒)	0.074%	0.070%
180 (秒)	0.028%	0.040%
300 (秒)	0.004%	0.004%

考察4 時間制約時間は、データベースキャッシュの平均時間にもインパクトを与える (表5)。

4 おわりに

本稿ではモバイルコンピューティング環境において、無線携帯型コンピュータが複数セル間を移動しながらホストデータベースをアクセスするときセル間でシームレスなデータベースアクセスを保证するための時間制約付きデータベースシステムを提案した。次に、その携帯型コンピュータが複数セル間を移動しながらホストデータベースをアクセスするときデータベースキャッシュの管理方式も2種類提案した。最後に、各々のキャッシュ管理下での平均データベースアクセス時間やセルデータベースのヒット率をシミュレーションにより定量的に測定して比較評価した。更に、時間制約時間の変化に対する平均データベースアクセス時間の変化もシミュレーション測定して評価した。因みに、このシミュレーションプログラムはC言語で記述し、総ステップ数は約2K行である。今後の研究課題としては時間制約時間の最適化や複数モバイルユニットの同時移動の問題などが考えられる。

参考文献

- [Alon93] Alonso, R. *Database System Issues in Non-medic Computing*. Proc. of ACM SIGMOD 93, pp.388-392, May 1993.
- [Barb94] Barbara, D. and Imielinski, T. *Sleepers and Workaholics: Caching Strategies in Mobile Environments*. Proc. of ACM SIGMOD 94, pp.1-12, May 1994.
- [Huan94-1] Huang, Y., Sistla, P. and Wolfson, O. *Data Replication for Mobile Computers*. Proc. of ACM SIGMOD 94, pp.13-24, May 1994.
- [Huan94-2] Huang, Y. and Wolfson, O. *Object Allocation in Distributed Databases and Mobile Computers*. IEEE Proc. of the 10th DE'94, pp.20-29, 1994.
- [Imie92] Imielinski, T. and Badrinath, B. R. *Querying in Highly Mobile Distributed Environments*. Proc. of the 18th VLDB, pp.41-52, 1992.
- [Imie93] Imielinski, T. and Badrinath, B. R. *Data Management for Mobile Computing*. ACM SIGMOD RECORD, Vol.22, No.1, pp.34-39, March 1993.
- [Imie94-1] Imielinski, T. and Viswanathan, S. *Adaptive Wireless Information System*. 情報処理学会他 第100回データベースシステム研究会 記念合同研究会資料 pp.19-41 (1994年10月).
- [Imie94-2] Imielinski, T. and Badrinath, B. R. *Mobile Wireless Computing*. Comm. of ACM, pp.18-28, Oct. 1994.
- [Imie94-3] Imielinski, T., Viswanathan, S. and Badrinath, B. R. *Energy Efficient Indexing on Air*. Proc. of ACM SIGMOD 94, pp.25-36, May 1994.
- [劉94] 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 ADBS'94, pp.9-18, Dec. 1994.