

放送型データベースシステムにおけるクライアントの消費電力に基づく 問合せ処理方式の提案と評価

北島 信哉[†] 原 隆浩[†] 寺田 努^{††} 義久 智樹[†] 西尾章治郎[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

^{††} 神戸大学大学院工学研究科 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: †{kitajima.shinya,hara,yoshihisa,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp, ††tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

あらまし 近年、サーバが PDA やスマートフォンなどのモバイル端末にデータベースの内容を周期的に放送する放送型データベースシステムが注目されている。放送型データベースシステムにおける問合せ処理手法としては、オンデマンド型方式、クライアント型方式、協調型方式の 3 方式が考えられる。これらの方式は電力消費に差があり、また、モバイル端末では利用できる電力に限りがある。そこで本稿では、モバイル端末を用いた実機評価により消費電力の特性を明らかにする。さらに、モバイル端末の電力残量を考慮し、3 方式の中から動的に処理方式を選択する手法を提案する。

キーワード 放送, 放送型データベースシステム, 問合せ処理, 消費電力

Proposal and Evaluation of a Query Processing Method Based on the Energy Consumption for Broadcast Database Systems

Shinya KITAJIMA[†], Takahiro HARA[†], Tsutomu TERADA^{††},

Tomoki YOSHIHISA[†], and Shojiro NISHIO[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

^{††} Graduate School of Science and Technology, Kobe University
1-1 Rokkodai, Nada, Kobe 657-8501, Japan

E-mail: †{kitajima.shinya,hara,yoshihisa,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp, ††tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

Abstract In recent years, there has been an increasing interest in a broadcast database system where the server periodically broadcasts contents of a database to mobile clients such as PDAs and smartphones. There are three query processing methods in the broadcast database system. Generally, mobile clients have limits in power consumption, i.e., battery, and each of the three methods consumes different amount of power for query processing. In this paper, we reveal the characteristics of power consumption by conducting a preliminary experiment on the implemented prototype, then propose a new query processing method which dynamically chooses a query processing method among the three query processing methods considering energy consumption.

Key words data broadcasting, broadcast database system, query processing, power consumption

1. はじめに

近年、無線通信技術の発展にともない、放送型通信を用いて情報を配信する放送型情報システムが注目されている [1], [2]. 放送型情報システムでは、サーバはクライアントへの広い帯域幅を利用して各種のデータを周期的に放送し、クライアントは必要なデータのみを選択して取得する。放送型情報システムでは、クライアント数が増加してもデータ配信のコストがほとん

ど変わらないため、クライアント数が多い場合に通信品質を落とさず情報配信ができ、さらに、データアクセスのスループット向上が期待できる。

本稿では、サーバがリレーショナルデータベースの内容を繰り返し放送し、ユーザが放送されるデータベースに対して問合せを発行する環境を想定する。このようなシステムを放送型データベースシステムと呼ぶ。放送型データベースシステムにおける問合せ処理方式としては、オンデマンド型方式、クライ

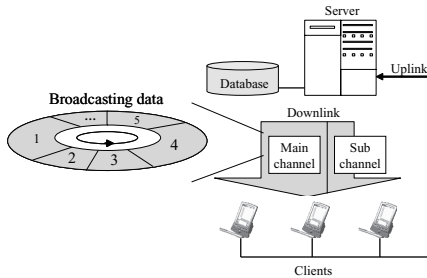


図1 放送型データベースシステム
Fig.1 A broadcast database system.

アント型方式、協調型方式 [3] の3方式が考えられる。これらの方式は、問合せ発生間隔や問合せ結果サイズ等の環境の変化に応じてその性能に優劣が生じるが、システム環境は常に変化し続けるため静的に最適な方式を選択することは困難である。

これまでに筆者らは、文献 [4] において、クライアントからの問合せがサーバに到着した時点で、3方式のうち応答時間が最も短い方式を選択する拡張 LRT 方式を提案した。しかし、拡張 LRT 方式では問合せ処理にかかる消費電力を考慮していないため、利用できる電力が限られるモバイル環境では、電力の少ない端末の生存時間が短くなってしまいう問題があった。

そこで本稿では、モバイル端末を用いた実機評価により消費電力の特性を明らかにし、モバイル端末の電力残量を考慮して問合せ処理方式を選択する手法を提案する。さらに、シミュレーション評価により、提案手法が従来手法と比べて、特に電力残量の少ない端末の生存時間を向上できることを示す。

以下、2. では放送型データベースシステムについて述べる。3. で消費電力に関する実機評価について述べ、提案手法について説明する。4. では提案方式の性能評価を行い、最後に5. で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 放送型データベースシステム

図1に、放送型データベースシステムの構成要素を示す。

サーバ：サーバは、リレーショナルデータベースの内容を周期的に放送する。また、クライアントからの要求に応じて、問合せ処理を実行する。

クライアント：放送を受信するクライアントとしては、記憶領域、電力資源、処理能力の乏しい携帯端末を想定する。

ダウンリンク：サーバからクライアントへの放送帯域は、2つのチャンネルに分割されているものとする。サーバは、広帯域のメイン放送帯域を用いてデータベースの内容を繰り返し放送し、狭帯域のサブ放送帯域を用いてそれ以外のデータを放送する。

アップリンク：クライアントからサーバへの狭帯域の通信チャンネルが存在する。クライアントは、このアップリンクを用いて問合せをサーバに送信する。

2.1 想定環境

本研究では、街中で不特定多数のユーザに周辺情報を配信するというアプリケーションを想定している。その一例として、

ショッピングセンターにおける情報サービスが挙げられる。このサービスでは、サーバがショッピングセンター内の広告情報や店舗情報、また店舗で扱っている商品情報を含むデータベースを放送し、ユーザはモバイル端末を持ち歩きながら放送される情報を受信し利用する。サーバが放送しているデータベースは、店舗の地図画像や商品画像を含み、画像の数はデータベース全体で数千枚、サイズは数百メガバイトとする。ユーザは数千の規模で存在し、各ユーザは常に放送を受信できる環境であり、パケットロスによる影響はないと想定する。

端末は常に十分に充電されているわけではいため、電力を使い果たしてしまう可能性がある。ユーザがふと訪れた店舗で安い商品を検索したいというような状況の場合、端末の電力残量が少ないと、必要な検索結果を得る前に端末の電力を使い果たし、検索結果を得られずにユーザが不便を強いられてしまう。そこで、特に電力残量が少ない端末の消費電力を削減することで、このような状況でもユーザ端末の利用可能時間を延長でき、ユーザの利便性を向上できる。

放送帯域は10Mbps程度とする。サーバは、常に同じ放送スケジュールに基づいてデータベースの内容を繰り返し放送し、定期的に放送データのインデックスを放送する。

2.2 問合せ処理方式

放送型データベースシステムにおいて、クライアントによる問合せを処理する方式として、以下の3方式および文献 [4] の提案方式がある。詳細については文献 [4] に記述されているため、本稿では概要のみ簡単に説明する。

オンデマンド型方式：クライアントがアップリンクを利用して問合せをサーバに送信し、サーバが問合せ処理を行った後サブ放送帯域を用いて問合せ結果をクライアントに配信する。

クライアント型方式：クライアントは問合せに関係するすべてのテーブルを自身の記憶領域にいったん蓄え、必要なすべてのデータが揃ってから、自ら問合せ処理を行う。クライアント型方式では、問合せ処理に大きな電力が必要になるといった問題点がある。

協調型方式：クライアントは、アップリンクを利用して問合せをサーバに送信する。問合せを受け取ったサーバは、問合せを処理し、問合せ結果に含まれるタプルに処理用の識別子を付加するとともに、クライアントがデータを処理するためのルールを作成し、サブ放送帯域を用いてクライアントに送信する。クライアントは、自分宛に送信された処理ルールをもとに、問合せ結果を再現する [3]。

拡張 LRT 方式：これまでに述べた3方式をそれぞれ単独で用いた場合、問合せ発生間隔や問合せ結果のサイズなどのシステム環境に応じて、その性能に優劣が生じる。そこで拡張 LRT (Least Response Time) 方式 [4] では、クライアントからの問合せがサーバに到着すると、サーバはオンデマンド型方式、クライアント型方式、協調型方式の各方式を選択した場合の応答時間をそれぞれ計算し、応答時間が最も短い問合せ処理方式を選択する。

3. ELEC方式

2.2で述べた拡張LRT方式では、問合せの成功率の向上と応答時間の低減を目的とし、問合せ処理にかかる消費電力を考慮していないため、電力の少ない端末の生存時間が短くなってしまおうという問題があった。そこで本章では、端末の電力残量を考慮して問合せ処理方式を選択し、電力残量の少ない端末の生存時間を向上する手法を提案する。

3.1 概要

ELEC (Extended LRT considering Energy Consumption)方式では、サーバは拡張LRT方式に従って問合せ処理方式を選択するが、問合せを発行した端末の電力残量が閾値 P_{TH} 以下ならば、電力残量が少ないと判断し、消費電力の少ない問合せ処理方式を優先的に選択する。ここで、すべての問合せに対し、消費電力が最小となる方式を選択しないのは、サブ放送帯域の混雑や識別子数の不足といった問題が生じるためである。新たに問合せを発行した端末の電力残量を P_{NEW} とすると、問合せ処理方式選択の流れは以下ようになる。

(1) $P_{NEW} < P_{TH}$ ならば、消費電力が最小となる方式を選択

(2) $P_{NEW} \geq P_{TH}$ ならば、拡張LRT方式に従って問合せ処理方式を選択

問合せの発生頻度に応じて、最適な閾値 P_{TH} は変化すると考えられる。そこで、サーバに問合せが q 個到着するごとに、閾値 P_{TH} を計算により求める。

3.2 閾値の計算方法

閾値を計算する際には、閾値を変化させて過去 q 個の問合せを再現し、電力残量が閾値以下の端末が発行した問合せにおける1問合せ当たりの消費電力が最小となる閾値を、次にサーバに到着する q 個の問合せに対する閾値とする。ここで、 q をサンプル問合せ数と呼ぶ。具体的には、以下の手順を問合せが q 個到着するごとに行う。

(1) x 個前にサーバに到着した問合せ Q_x を発行した端末の電力残量を P_x とする。 q 個の要素からなる数列 $A = (P_1, P_2, \dots, P_q)$ に対し、これを昇順に並び替えたものを閾値候補列 A' とする。

(2) A' の先頭から k 番目の要素を $A'[k]$ と表すこととする。 $A'[i](i = 1, 2, \dots, q)$ に対し、次の手順を行う。

(2a) $A'[i]$ を閾値として、過去 q 個の問合せを再現する。

(2b) 電力残量が $A'[i]$ 以下の端末が発行した問合せにおける1問合せ当たりの消費電力を求め、これを E_i とする。

(2c) 過去 q 個の問合せすべてを再現するのは冗長であるため、 E_j に対し、 $E_j > E_{j-1} > E_{j-2}$ が成り立つ場合、最適な閾値は A_j より小さいと判断し、以降の $A'[i]$ については手順(2)を行わず、手順(3)へ移る。これにより、閾値計算にかかる負荷を低減する。

(3) $E_i(i = 1, 2, \dots, q)$ が最小となる i を \min_i とし、 $A'[\min_i]$ を次にサーバに到着する q 個の問合せに対する閾値とする。

手順(2a)において過去 q 個の問合せを再現するために、サー

表1 日本HP社 iPAQ rx5965 スペック

Table 1 Spec of HP iPAQ rx5965.

項目	性能
OS	Windows Mobile 5.0
プロセッサ	Samsung SC32442 400MHz
ROM メモリ	2GB Flash ROM
RAM メモリ	64MB SDRAM
無線 LAN 機能	IEEE 802.11b/g
バッテリー	充電式 Li-Ion バッテリー (1700mAh)

バは過去 q 個の問合せの情報と、 q 個前の問合せがサーバに到着した際のサブ放送帯域の待ち行列の状態、使用している識別子の情報を保持する。

3.3 消費電力に関する実機評価

本節では消費電力が最小となる問合せ処理方式を決定するために、実機評価によりクライアントの各処理にかかる消費電力を調査する。評価に用いた端末は、日本HP社のiPAQ rx5965である。スペックを表1に示す。実装に用いた言語はMicrosoft Visual C# 2005である。

消費電力の測定には特別な機器は用いず、ソフトウェアによる電力残量表示を用いた。これは、最大値に対する電力残量を%で表示するものである。端末において特定の動作を一定時間継続して行い、動作時間に対する電力残量の減少率を測定することで、端末の消費電力の傾向を知ることができる。

無線LANによるデータ受信やROMメモリへのデータ書き込みにかかる消費電力を比較するために、端末においてこれらの処理のみを繰り返し、一定時間、または一定周期ごとに電力残量を記録するプログラムを端末に実装した。また、端末を用いて放送を受信する際の消費電力を調べるために、放送サーバと受信用のアプリケーションを実装した。放送内容は2.1で示したショッピングセンターにおける情報サービスを想定し、決定した。

実装には、放送サーバ用のデータベースシステムとしてMicrosoft SQL Server 2005、クライアント用のデータベースシステムとしてMicrosoft SQL Mobile 2005を利用した。データベーススキーマとして、店舗の名前や地図をもつSHOPテーブルと、店舗で販売される商品名やその画像、値段をもつGOODSテーブルを用意した。また、店舗は販売品目によってジャンルごとに分類されており、各ジャンルのSHOPテーブル、GOODSテーブルをこの順に放送し、全ジャンル分のテーブルを放送し終えるまでを1放送周期と呼ぶ。クライアントは放送を受信すると、受信したデータを端末内のデータベースに格納する。

表2に、実験結果から求めた要素電力消費係数を示す。要素電力消費係数とは、特定動作にかかる電力消費の度合いを表す係数である。また、簡単のため、略号を表に示した。さらに、各要素電力消費係数をアイドル時の要素電力消費係数で割った値を併記した。

表から、複合動作の要素電力消費係数である E_{LW} 、 E_{LC} は、それぞれ $E_L + E_W$ 、 $E_L + E_C$ とほぼ等しいことがわかる。このことから、複合動作の要素電力消費係数は、要素電力消費係

表 2 要素電力消費係数

Table 2 Element power consumption coefficient.

	略号	要素電力消費係数	対アイドル比
アイドル	E_I	13.2	1.0
無線 LAN オン	E_L	47.2	3.6
読み込み	E_R	23	1.7
書き込み	E_W	21	1.6
ダウンロード	E_D	68.4	5.2
放送データ受信	E_B	71.6	5.4
タプル結合	E_C	23.6	1.8
無線 LAN + 書き込み	E_{LW}	69.6	5.3
無線 LAN + タプル結合	E_{LC}	71.6	5.4

数の和で表せることがわかる。また、 E_D 、 E_B は E_{LW} と等しいことから、無線 LAN のスイッチをオンにし、通信は行わない場合の消費電力と、無線 LAN を用いて通信を行う場合の無線 LAN 部分に消費電力は等しいと言える。

3.4 消費電力の定式化

本節では表 2 における対アイドル比の値を用いて消費電力の定式化を行う。問合せ処理に必要な電力とは、問合せを発生した後に、必要なテーブルの受信やタプルの結合処理に必要な電力を指す。

3.4.1 要素消費電力

まず、CPU、無線 LAN、読み込み・書き込みに必要な電力をそれぞれ定義する。

a) 最低消費電力

端末の電源を入れただけの、何もしていない状態（アイドル状態）の消費電力を最低消費電力 E_I と呼び、以下のように定義する。

$$E_I(t) = t$$

b) 無線 LAN

無線 LAN のスイッチをオンにすることで消費される電力 E_L は、以下のように定義する。

$$E_L(t) = 3.6t$$

c) 読み込み・書き込み

読み込み・書き込みにかかる電力は、読み込みにかかる電力 E_R 、書き込みにかかる電力 E_W で定義する。

$$E_R(t) = 1.7t$$

$$E_W(t) = 1.6t$$

d) タプル結合

タプル結合にかかる電力 E_C は、以下のように定義する。

$$E_C(t) = 1.8t$$

3.4.2 動作にともなう消費電力

3.4.1 で定義した要素消費電力をもとに、実際に放送受信、処理、書き込み、読み込みの際に必要な電力を定義する。

a) 放送受信

放送を受信しながら、受信したデータを書き込む際の消費電力 E_{rcv} を以下の式で定義する。

$$E_{rcv}(t) = E_I(t) + E_L(t) + E_W(t) = 5.2t \quad (1)$$

b) タプル結合処理

タプル結合処理にかかる電力 E_{tpr} は以下のように定義する。

$$E_{tpr}(t) = E_I(t) + E_C(t) = 2.8t \quad (2)$$

c) 書き込み

放送を受信しながらの書き込みに必要な電力は式 (1) と等しいとする。その他のデータ書き込みに必要な電力 E_{wrt} は以下のように定義する。

$$E_{wrt}(t) = E_I(t) + E_W(t) = 2.6t \quad (3)$$

d) 読み込み

データを処理する前に読み込む際にかかる電力 E_{rd} は以下の式で定義する。

$$E_{rd}(t) = E_I(t) + E_R(t) = 2.7t \quad (4)$$

3.4.3 問合せ処理に必要な電力

3.4.2 で定義した消費電力をもとに、オンデマンド型方式、クライアント型方式、協調型方式の問合せ処理に必要な電力を定義する。

a) オンデマンド型方式

オンデマンド型方式では、問合せ結果をサブ放送帯域から受信するだけである。よって、オンデマンド型方式の問合せ処理にかかる電力 E_{on} は、以下の式で表せる。

$$E_{on}(t) = E_{rcv}(t) = 5.2t \quad (5)$$

b) クライアント型方式

クライアント型方式では、問合せ処理に必要なテーブルをメイン放送帯域から受信した後、問合せ処理を行う。よって、クライアント型方式の問合せ処理に必要な電力 E_{cl} は、必要テーブルの受信にかかる時間 t_{cl}^{rcv} 、必要テーブルの読み込みにかかる時間 t_{cl}^{rd} 、タプル結合処理にかかる時間 t_{cl}^{tpr} 、問合せ結果の書き込みにかかる時間 t_{cl}^{wrt} を用いて以下の式で表せる。

$$E_{cl}(t) = E_{rcv}(t_{cl}^{rcv}) + E_{rd}(t_{cl}^{rd}) + E_{tpr}(t_{cl}^{tpr}) + E_{wrt}(t_{cl}^{wrt}) \quad (6)$$

c) 協調型方式

協調型方式では、処理ルールを受信した後、処理ルールをもとに必要なタプルのみを受信し、タプル結合処理を行う。よって、クライアント型方式の問合せ処理に必要な電力 E_{co} は、処理ルールの受信にかかる時間 $t_{co}^{rcvrule}$ 、処理ルールの読み込みにかかる時間 t_{co}^{rdrule} 、必要タプルの受信にかかる時間 t_{co}^{rcvtpi} 、必要タプルの読み込みにかかる時間 t_{co}^{rdtpi} 、タプル結合処理にかかる時間 t_{co}^{tpr} 、問合せ結果の書き込みにかかる時間 t_{co}^{wrt} を用いて以下の式で表せる。

$$E_{co} = E_{rcv}(t_{co}^{rcvrule}) + E_{rd}(t_{co}^{rdrule}) + E_{rcv}(t_{co}^{rcvtpi}) + E_{rd}(t_{co}^{rdtpi}) + E_{tpr}(t_{co}^{tpr}) + E_{wrt}(t_{co}^{wrt}) \quad (7)$$

4. 評価

本章では、次に示す3つの評価基準を用いて、ELEC方式の有効性をシミュレーション実験の結果から検証する。

- ・問合せ成功率 発生した全問合せのうち、クライアントが問合せ結果を受け取れたものの割合。

- ・平均応答時間 問合せが成功した場合における、クライアントが問合せを発行してから、問合せ結果を得るまでの平均時間。ただし、クライアントが問合せをサーバへ送信するのにかかる時間、サーバにおけるデータ処理にかかる時間は、十分に小さいため無視する。

- ・平均生存時間 クライアントが到着してから、予定滞在時間が経過した、もしくは端末の電力残量が0になったことにより退出するまでの平均時間。ただし、端末は問合せに関わる処理でのみ電力を消費するものとする。

4.1 評価モデル

本評価では、4.1と同様に、2.1で示したショッピングセンターにおける情報サービスをアプリケーション例として想定し、データベーススキーマと問合せモデルを決定した。

データベーススキーマは、で述べたSHOPテーブル、GOODSテーブルをもつものとした。問合せはSQLによって記述されるものとする。簡単化のため、店舗テーブルと商品テーブルのタプルサイズは等しいものとする。また、ユーザは店舗テーブルと商品テーブルを自然結合する問合せのみを行うものとし、自然結合した結果のタプルには射影演算は行わないものとする。

シミュレーション評価では、各問合せに対しデッドラインをパラメータとして与え、設定したデッドラインの時間内にクライアントが問合せ結果を受け取れない場合は、問合せは失敗とする。また、端末のディスク容量をパラメータとして与え、問合せ処理の過程でクライアント側にディスク容量以上のデータを蓄積しようとした場合は問合せは失敗とする。

サーバはクライアントからの問合せに対し、3方式のうちどの方式で処理するか、また、問合せが失敗であるかをクライアントに通知する選択方式通知メッセージをサブ放送帯域を用いて送信する。選択方式通知メッセージのサイズは無視できるほど小さいものとし、常にサブ放送帯域の放送キューの先頭に挿入されるものとする。

4.2 シミュレーション環境

表3に、評価で用いるパラメータとその値を示す。各パラメータは、2.1で示したショッピングセンターにおける情報サービスを想定して決定した。タプル利用率 r は、1ジャンル分のテーブルの全タプルに対する、問合せ結果に含まれるタプルの割合を表す。また、テーブルサイズの違いにより問合せにかかる消費電力に差が出ると考えられるため、ジャンル内ショッピング数は5から8までを2ジャンルずつ、9、10を1ジャンルの合計10ジャンルとした。

クライアントは、指数分布に従った間隔でショッピングセンターに到着するものとした。各クライアントはサービスを受けられる端末を1台ずつ所持しており、各端末の初期電力量は

表3 評価に用いるパラメータ
Table 3 Parameter configuration.

パラメータ名	値
シミュレーション時間 [秒]	36000
クライアントの予定滞在時間 [秒]	7200
クライアントの到着間隔 [人/秒]	10.0
1クライアント当たりのクエリ発生間隔 [秒]	300
応答時間のデッドライン [秒]	80
ジャンル数	10
ジャンル内ショップ数	5-10
ショップ内商品数	200
1タプルのサイズ [KByte]	10
1タプルに付加可能な最大識別子数 [個]	200
メイン放送帯域 [Mbps]	10
サブ放送帯域 [Mbps]	1
処理ルールのサイズ [KByte]	1
r の平均	0.003
r の標準偏差	0.001
余裕時間の計算に用いるサンプル数	5

100単位エネルギーから1000単位エネルギーの一様分布、各端末のディスク容量は1MBから100MBの一様分布とした。また、各端末のCPU速度は、200、300、400、500MHzの一様分布とした。ショッピングセンターに到着したクライアントは、クエリ発生間隔に従って問合せを発行する。このとき、デッドラインや端末のディスク容量、電力残量、処理速度のデータを、問合せとともにサーバに送信する。各クライアントはショッピングセンターに到着したのち、予定滞在時間が経過するとショッピングセンターを出る。簡単化のため、端末の電力残量が0になったクライアントはサービスが受けられなくなるため、ショッピングセンターから退出するものとする。

評価の際には、各問合せに対し、クライアント型方式における必要テーブルを、クライアントの問合せ発生時刻から1放送周期の範囲内でランダムに選択し、選択したテーブルの放送開始時刻と放送終了時刻をパラメータとして与えた。また、協調型方式における必要タプルを、クライアントの問合せ発生時刻から1放送周期の範囲内で問合せ結果サイズに応じてランダムに選択し、選択したタプルの放送開始時刻と放送終了時刻をパラメータとして与えた。式(6)における t_{cl}^{prc} をCPU速度が400MHzである日本HP社のiPAQ rx5965を用いて測定実験を行ったところ、1.8秒となったことから、 t_{cl}^{prc} は処理速度に反比例するものとし、以下の式により決定した。

$$t_{cl}^{prc} = 1.8 \times \frac{400}{CPU[MHz]} \quad (8)$$

また、式(7)における t_{co}^{prc} は、ジャンル内ショップ数を N_s として、以下の式により決定した。

$$t_{co}^{prc} = t_{cl}^{prc} \times \frac{r}{N_s} \quad (9)$$

データの書き込み、読み込み速度は、日本HP社のiPAQ rx5965を用いた測定実験の結果から、それぞれ3.5MB/s、0.6MB/sとした。

表 4 問合せ成功率と平均応答時間
Table 4 Success rate and response time.

手法	問合せ成功率	平均応答時間
拡張 LRT 方式	100%	34.2 秒
ELEC 方式	100%	36.3 秒

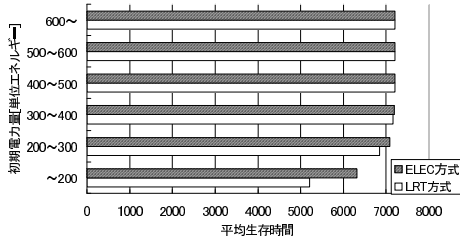


図 2 平均生存時間
Fig. 2 Average lifetime.

表 5 問合せ成功率と平均応答時間への初期電力量の影響
Table 5 Impact of initial battery power on success rate and response time.

手法	問合せ成功率	平均応答時間
拡張 LRT 方式	100%	34.4 秒
ELEC 方式	100%	36.4 秒

4.3 シミュレーション結果

4.3.1 従来方式との比較

拡張 LRT 方式と ELEC 方式における問合せ成功率、平均応答時間を表 4 に示す。また、端末の初期電力量をもとに 100 単位エネルギーごとに分類した平均生存時間を図 2 に示す。ELEC 方式におけるサンプル問合せ数 q は 50 とした。

図表から、ELEC 方式では拡張 LRT 方式と比べ、わずかながら平均応答時間が長くなっているが、初期電力量の少ない端末の平均生存時間が大きく改善していることがわかる。ELEC 方式では、電力残量の少ない端末が発行した問合せに優先的に消費電力が最小となる問合せ処理方式を割り当てることにより、初期電力量の少ない端末の平均生存時間が長くなる。しかし、オンデマンド型方式はサブ放送帯域が混雑しており、応答時間がデッドラインを越えてしまう場合には使用できない。そのため、消費電力が最小の方式を選択し続けると、サブ放送帯域の混雑が顕著になり、平均応答時間の性能が悪化したと考えられる。

4.3.2 初期電力量の影響

端末の初期電力量を正規分布としたときの問合せ成功率、平均応答時間、閾値の平均を表 5 に示す。また、端末の初期電力量をもとに 100 単位エネルギーごとに分類した平均生存時間を図 3 に示す。

4.3.1 と比べ、問合せ成功率、平均応答時間の性能はほとんど変化していないが、初期電力量が 200 以下の端末における生存時間が大きく向上している。これは、端末の初期電力量の分布が正規分布の場合には、電力残量の少ない端末数が 4.3.1 の

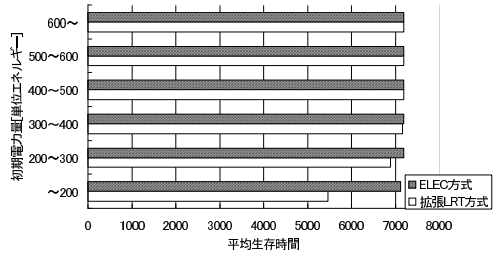


図 3 平均生存時間への初期電力量の影響
Fig. 3 Impact of initial battery power on average lifetime.

場合と比べて少なくなり、消費電力の少ない問合せ方式を選ぶ頻度が減るため、サブ放送帯域の混雑による影響が少なくなったと考えられる。

5. おわりに

本稿では、放送型データベースシステムにおいて、モバイル端末の電力消費を考慮して、動的に問合せ処理方式を選択する手法を提案した。提案手法では、閾値を設定することにより、残存電力が多い端末には優先的に消費電力の多いクライアント型方式を割り当て、残存電力が少ない端末には優先的に消費電力の少ないオンデマンド型方式を割り当てる。また、提案手法の有効性を検証するために、問合せ成功率と平均応答時間についてシミュレーション評価を行った。シミュレーション評価の結果から、提案手法が従来手法と比べて、特に電力の少ない端末の生存時間を向上できることを確認した。

今後は、問合せの類似性を考慮した問合せ処理方式について検討する予定である。また、パケットロスを考慮した問合せ処理方式について検討する必要がある。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省グローバル COE プログラム（研究拠点形成費）、および文部科学省科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成：ゆらぎプロジェクト」、および文部科学省特定領域研究 (18049050) の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] S. Acharya, R. Alonso, M. Franklin, and S. Zdonik, "Broadcast disks: data management for asymmetric communication environments," Proc. ACM SIGMOD'95, pp.199-210, May 1995.
- [2] D. Aksoy, M. Franklin, and S. Zdonik, "Data staging for on-demand broadcast," Proc. VLDB'01, pp.571-580, Sept. 2001.
- [3] 加下雅一, 寺田努, 原隆浩, 塚本昌彦, 西尾章治郎, "データベース放送システムのためのサーバと移動型クライアントによる協調型問合せ処理方式," 情処学論データベース, Vol.44, No.SIG8 (TOD 18), pp.92-104, June 2003.
- [4] 北島信哉, 寺田努, 原隆浩, 西尾章治郎, "放送型データベースシステムにおける問合せ発生頻度に基づいた問合せ処理方式," 情処研報, Vol.2006, No.9, pp.175-182, Jan. 2006.