

データ間の相関性を考慮した放送データの送受信方式について

矢島 悦子* 原 隆浩** 塚本 昌彦** 西尾 章治郎**

*エフエム大阪 東京支社営業部

*大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

近年、有線および無線通信環境において、放送型通信を用いてデータを配送する情報システムに関する研究が盛んに行われている。これまでに、このようなシステムにおいて、クライアントのデータアクセスに対する応答時間の短縮を図るための様々な戦略が研究されている。本論文では、放送されている各データ間の関連性を考慮した新たな放送プログラムのスケジューリング法を提案する。提案する手法では、相関性の強いデータを隣接して放送することでデータアクセスの応答時間の短縮を図っている。また、クライアント側でのキャッシング法として、従来の手法を相関性を考慮するように拡張した手法を提案する。更に、提案した手法の有効性を、シミュレーション評価によって検証する。

On Transmission and Receiving Mechanisms of Broadcast Data Considering the Correlation among Data

Etsuko YAJIMA* Takahiro HARA** Masahiko TSUKAMOTO** Shojiro NISHIO**

*Sales Department, Tokyo Office, FM Osaka Co., Ltd.

*Dept. of Information Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

Recently, there has been increasing interest in research of the information systems that deliver data using broadcast in both wired and wireless environments. In such information systems, various strategies have been studied to reduce the average response time for data accesses. In this paper, we propose the scheduling strategies for broadcast program considering the correlation among data. These strategies put data items with strong correlation side by side in a broadcast program to reduce the average response time. We also propose a caching strategy which extends a conventional caching strategy so that it can handle efficiently correlation among broadcast data. Moreover, we evaluate the performance of our proposed strategies by simulation studies.

1 はじめに

近年、有線および無線通信環境において、放送型通信を用いてクライアントにデータを配送するプッシュ型情報システムに関する研究が盛んに行われている([1]~[12])。クライアントからの要求に応じて個別にデータ配送を行うプル型の配送方式とは異なり、プッシュ型の情報システムでは、サーバはクライアントへの広い帯域幅をもつ通信チャネルを利用して多種のデータを周期的に放送し、クライアントは自分の必要なデータのみを選択して取得する(図1)。放送型通信を用いてデータを繰り返して散布することにより、各クライ

アントから離散的に発生する同じデータに対するアクセス要求を、1周期放送する度にまとめて満たすことができる。従って、クライアント数が非常に多い分散データベースシステムにおいて、通信のための帯域確保の競合が起りにくくなり、データアクセスに対する応答時間の短縮が期待できる。プッシュ型通信を用いた情報システムは、クライアント数が増加してもシステム全体の負担コストはほとんど変わらないといった特徴があり、サーバからクライアントへの通信チャネルの帯域幅が大きく、その逆が小さい非対称型のネットワークにおいてよく用いられる。

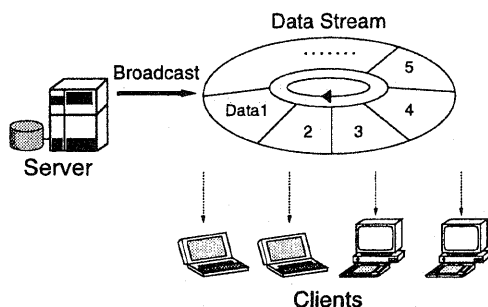


図 1: 放送型通信に基づく情報システム

これまでに、プッシュ型情報システムの性能向上のための研究がいくつか報告されている。これらの研究はいくつかに分類でき、主なものとして、サーバ側の放送データのスケジューリング戦略 [1, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12], クライアント側のキャッシュ戦略 [1, 3], プッシュ型とプル型の融合戦略 [4, 6] などが挙げられる。

一方、放送されている各データの間には、あるデータとあるデータ集合にまとめてアクセス要求を起こす確率が高いといったように、相関関係が存在する場合が多い。クライアントが相関性のあるデータの集合全体に対して頻繁にアクセスする場合には、放送データのスケジューリングおよびキャッシングの際に、それらの関係を考慮することにより、クライアントのデータアクセスに対する平均応答時間を短縮することができる。

そこで本論文では、データ間の複雑な相関性を考慮した放送データのスケジューリング法およびキャッシング法を提案する。更に、シミュレーション評価によって提案した手法の有効性を検証する。

本論文では次のようなシステム環境を想定する。

- サーバは1つとする。
- 各アイテムのサイズは全て同じものとする。
- サーバは、IDが1から M までのアイテムから成る1周期分のプログラムを作成し、隙間なく繰り返し放送する。
- クライアントは放送プログラムを知っている。

これは、例えば、プログラム情報を定期的に放送することによって実現できる。

- 各アイテムへのアクセス確率およびデータアイテム間の相関性は各クライアントで異なるものとし、それらは各クライアントで既知とする。
- データおよび放送プログラムの更新はない。
- オンデマンド機能はない。

以下、2章では、放送データの相関性について考察する。3章で相関性を考慮したスケジューリング法、4章でキャッシング法を提案する。5章で提案した手法の性能評価を行い、最後に、6章で本論文のまとめを行う。

2 データアイテム間の相関性

一般に、サーバから放送されている様々なデータアイテムは、互いに関連性をもつことが多い。例えば、サーバが様々なサイトのホームページのHTMLファイルを放送している場合には、各ホームページから異なるページへのリンクが張っており、リンクしている複数のページに対し、まとめてアクセス要求を出す確率が高いものと考えられる。この確率は、相関関係の強さを表し、各データ間で相関性の強さは異なる。すなわち、クライアントが特定のデータアイテム集合にまとめてアクセス要求を発生する傾向が強いほど、それらのデータアイテムの相関性は強いと考えることができる。

相関性のあるアイテム集合にまとめてアクセス要求を起こす際には、それらのアイテムに対して同時に起こす場合と、ある程度の時間差をもって連続して起こす場合が考えられる。本論文では、連続するアクセス要求の時間差が1周期分のプログラムの放送時間に対して無視できるほど小さい場合も含め、相関性のあるアイテム集合に対するアクセス要求は同時に発生するものと想定する。

ここで、各データアイテム間の相関関係は非常に複雑で、放送プログラム中の個々のデータを表す複数の頂点と相関関係のある頂点同士を結ぶ辺でグラフを構成すると、木構造ではなくネットワー

ク構造を示す場合が一般的であると考えられる。このように、データアイテム間に複雑な相関性が存在するときは、相関性を考慮したスケジューリングおよびキャッシングを行うことで、データアクセスに対する平均応答時間を短縮できる。

3 放送データのスケジューリング

従来のスケジューリング手法では、クライアントから頻繁にアクセスされるデータアイテムを高い頻度で放送し、ほとんどアクセスされないデータアイテムの放送頻度を低くするといった方法がとられている [1, 7, 11]。データ間に相関関係が存在しない場合には、各データアイテムの放送周期が一定で、各アイテムの放送頻度が適当なものでさえあれば、各放送データの放送順はアクセスに対する応答時間に影響しない。(後に示すプリフェッチ型キャッシング法を用いる場合を除く。)しかし、先に述べたように、放送されているデータアイテム間には、相関関係が存在する場合が一般的である。

そこで、本章では、データアイテム間の複雑な相関性を考慮した新たなスケジューリング手法を提案する。

3.1 データ間の相関関係を考慮したスケジューリング手法

本節では、データアクセスに対する平均応答時間を短縮するための放送プログラムのスケジューリング手法として、CBS (Correlation-Based Scheduling) と呼ぶ手法を提案する。ここでは、簡単のために、クライアントからは必ず2つのアイテムに対して同時にアクセス要求が生じるものとする。但し、それ以外の場合も同様に議論可能である。

まず、各アイテムが1周期分の放送プログラム中で1回ずつ放送される場合を考える。周期的な放送プログラムのスケジューリングは、各アイテムを節点とした完全グラフにおいて、1つのハミルトン閉路を選択し、その閉路に沿う節点のアイテムを順に放送することと等価である。各データアイテム間に複雑な相関性が存在する場合、それらを考慮して最適なプログラムを構成することは、

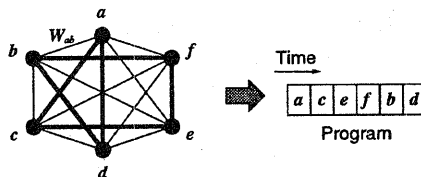


図 2: CBS 法

非常に困難である。

そこで、本論文では、クライアントからまとめてアクセス要求を出される確率が高いアイテムを放送プログラム内に隣接して配置することで、アクセスの平均応答時間の短縮を図るヒューリスティックな手法 (CBS 法) を提案する。

CBS 法

1. 各データアイテムを節点、節点 ij 間の辺の重みを $W_{ij} = 1 - P_{ij}$ とした完全グラフを用意する。但し、 P_{ij} はクライアントがアイテム i と j に一括して同時にアクセス要求を起こす確率とする ($\sum_{j=i+1}^M \sum_{i=1}^M P_{ij} = 1$ かつ $P_{ij} = P_{ji}$)。
2. すべての節点を一度ずつ通り、かつ、その道に含まれる辺の重みの総和が最小となる閉路を見つける。
3. 閉路上のアイテムを順に配置した放送プログラムを作成する。

図 2 は、CBS 法を適用した様子を表している。ID が a から f のアイテムを左図のような完全グラフで表し、グラフ内のハミルトン閉路のうち、閉路上の辺の重み $W_{ij} = 1 - P_{ij}$ の総和が最小となる閉路を選択する。その閉路に沿って右図のように各アイテムを配置して、放送プログラムを構成する。ここで、データアクセスに対する平均応答時間を最短にする放送プログラムを作成するためには、放送するアイテム間に存在する相関性を全て考慮しなければならない。CBS 法では、放送プログラム内で隣接されるデータアイテムの相関性の強さのみを考慮しているため、作成される放

送プログラムは必ずしも最適とはならない。しかし、相関性の強いアイテムを隣接させることにより、応答時間の大幅な短縮が期待できる。

CBS法は、最適解を求める問題よりは大幅に簡単になっているとはいえ、その第(2)ステップは、巡回セールスマン問題と等価である。巡回セールスマン問題はNP完全であるため、放送データのアイテム数が大きくなると実時間で解くことができない。しかし、高速に巡回セールスマン問題の近似解を求めるアルゴリズムはこれまでに多く提案されており、工学の様々な分野においてその近似解が利用されている。CBS法においても、アイテム数が多い場合は、高速近似アルゴリズムを利用して近似的に巡回セールスマン問題を解くことにする。

3.2 放送頻度を考慮したCBS法の拡張

先に述べたように、従来のスケジューリング手法では、クライアントから頻繁にアクセスされるアイテムの放送頻度を高めることにより、平均応答時間の短縮を図っている。前節では、簡単のために各アイテムの放送頻度を同一としたが、相関性を考慮した場合のスケジューリングにおいても、各アイテムの放送頻度をクライアントからのアクセスの偏りによって設定することが有効である。そこで、放送頻度を考慮するようにCBS法を拡張した手法として、FCBS (Frequency-and-Correlation-Based Scheduling) と呼ぶスケジューリング手法を提案する。

FCBS法

1. 各データアイテムの放送頻度を決める。ここで、データアイテム σ の放送頻度を F_σ (正の整数) とし、各アイテムの放送頻度のうち、最小のものを1として決定する。
2. 各アイテムをその放送頻度分の個数の節点とした完全グラフを用意する。例えば、データアイテム σ の場合、 F_σ 個の節点 $(\sigma_1, \dots, \sigma_{F_\sigma})$ を設けるものとする。更に、節点 ij 間の辺に重み $1 - P_{ij}$ を付ける。
3. グラフから節点 σ_m と σ_l ($1 \leq m, l \leq F_\sigma$) を結ぶ辺を全て除く。

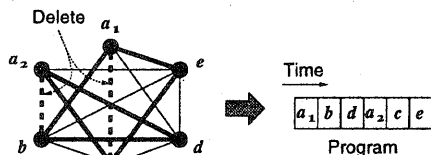


図 3: FCBS 法

4. すべての節点を一度ずつ通り、かつ、その道に含まれる辺の重みの総和が最小となる閉路を見つける。但し、探索中に、節点 σ_m ($1 \leq m \leq F_\sigma$) と節点 a を結ぶ辺が選択されたとき、グラフから節点 a と σ_l ($l = 1, \dots, F_\sigma, m \neq l$) を結ぶ辺を全て消去する。
5. 閉路上のアイテムを順に配置した放送プログラムを作成する。

図3は、アイテム a の放送頻度を2、アイテム b から e の放送頻度を1としてプログラムを構成する場合にFCBS法を適用した様子を表している。まず、アイテム a の節点数を2 (a_1 および a_2)とした完全グラフから、 a_1 と a_2 を結ぶ辺を除き、巡回セールスマン問題を解く。閉路を探索中に辺 (a_1, b) が選択されたとき、辺 (b, a_2) を消去する。辺 (a_2, c) が選択されたとき、同様に辺 (c, a_1) を削除する。このようにして決定した閉路に沿った節点のアイテムを順に配置することにより、右図のような放送プログラムが構成できる。

FCBS法においては、データアイテム σ の放送頻度 F_σ を決定する手法の違いが性能に大きく影響する。そこで、FCBS法では、文献[11]のZipf分割法をベースとして、各アイテムの放送頻度をヒューリスティックに決定する。

4 放送データのキャッシング

頻繁にアクセスするアイテムやアイテム間の相関性などがクライアントによって全く異なる場合、クライアント全体の嗜好を考慮したスケジューリングによって、あるクライアントでは平均応答時間が非常に大きくなってしまふ。このとき、クラ

クライアントがキャッシュを所有していれば、適切なキャッシング法の採用により個々のクライアントの嗜好に応じたキャッシングが可能となり、このような問題を緩和できる。

本章では、まず、これまでに提案されているプリフェッチ型キャッシング法のPT法について説明する。次に、PT法をアイテム間の相関性を考慮するように拡張した手法を提案する。

4.1 従来のプリフェッチ型キャッシング法

プリフェッチ型キャッシング法は、フィルタリングの手間以外のコストの増加を伴うことなく、重要なアイテムに対するヒット率を高め、平均応答時間を短縮できることから、放送型通信に適したキャッシング法と考えられている[3]。代表的なプリフェッチ型キャッシング法として、文献[3]においてPT法と呼ばれる手法が提案されている。PT法の概要を次に示す。

PT法

1. 各アイテムの放送開始時に、キャッシュ内のアイテムおよび放送されるアイテムにPT値と呼ばれる値を与える。アイテム*i*に与えるPT値 L_i は次式で表される。

$$L_i = P_i \cdot T_i - P_i \cdot \lambda_i (= P_i \cdot \tau_i) \quad (1)$$

但し、 P_i はアイテム*i*に対するそのクライアントのアクセス確率、 T_i はアイテム*i*が放送される周期、 λ_i はアイテム*i*がキャッシュに格納されてから経過した時間、また、 τ_i は次にアイテム*i*が放送されるまでの時間とする。

2. 放送されるアイテム*i*のPT値 L_i が、キャッシュ内でPT値が最小となるアイテム*j*のPT値 L_j より大きい場合、アイテム*i*と*j*を置き換える。

L_i は、アイテム*i*がキャッシュに格納されるときに最大値 $P_i \cdot T_i$ となり、次のアイテム*i*の放送開始時には0となる。

PT値は、あるアイテムに対してアクセス要求を起こしたとき、そのアイテムをキャッシュに保持していない場合に生じる待ち時間を示している。

すなわち、PT法では、各アイテムの放送開始時に、各々のアイテムをキャッシュから追い出すことにより増加する待ち時間を比較し、その値の大きなアイテムをキャッシュに残す。従ってPT法は、与えられたキャッシュ内のアイテム集合に対するアイテム放送時の置き換えを最適にし、その瞬間のアクセス要求に対する平均応答時間を最短にする。なお、PT法におけるデータアイテムの置き換えは長期的に見た場合に必ずしも最適とはならないが、従来の手法の中では特に良い性能を示す。

4.2 データ間の相関関係を考慮したプリフェッチ型キャッシング法

本節では、PT法を相関性を考慮するように拡張した、CB-PT法 (Correlation-Based PT) と呼ぶキャッシング法を提案する。

CB-PT法

1. 各アイテムの放送開始時に、キャッシュ内および放送中のアイテムに対して、PT値を相関性を考慮するように拡張したCB-PT値 G_i を次式で与える。

$$G_i = \tau_i \cdot \sum_{k \in C} P_{ik} + \sum_{k \in Q_i} (\tau_i - \tau_k) \cdot P_{ik} \quad (2)$$

ここで、 τ_i はアイテム*i*の次の放送までの時間、 P_{ij} はクライアントがアイテム*i*と*j*に一括してアクセス要求を起こす確率とする。また、 C は放送データのうちキャッシュ内にあるアイテムまたは現在放送中のアイテムの集合とし、 Q_i は現時点からアイテム*i*の次の放送時間までに放送され、かつ、 C に含まれないアイテムの集合とする。

2. 放送されるアイテム*i*のCB-PT値 G_i がキャッシュ内でCB-PT値が最小となるアイテム*j*のCB-PT値 G_j より大きい場合、アイテム*i*と*j*を置き換える。

図4は、*a*から*h*のデータアイテムで構成された放送プログラムを放送しており、放送中のアイテムが*a*、キャッシュ内のアイテムが*b, e, f*の場

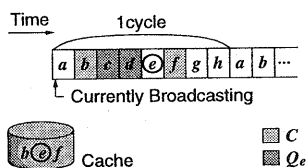


図 4: アイテム e に対するアイテム集合 C と Q_e

合の、アイテム e の CB-PT 値を計算する際の集合 C と Q_e を示している。

式 (2) は、アイテム i と放送プログラム内の任意のアイテムの 2 つに同時にアクセス要求を起こしたとき、アイテム i をキャッシュに格納していなかった場合に増える待ち時間を示す。従って、放送中のアイテムおよびキャッシュ内のアイテムのうち、式 (2) の値が大きなアイテムをキャッシュに残す置き換えは、その瞬間に生じるアクセス要求に対する平均応答時間を最短にすることができる。CB-PT 法における置き換えも、PT 法と同様に長期的に見た場合に必ずしも最適とはならないが、平均応答時間をかなり短縮できるものと考えられる。

式 (2) において、 P_{ii} をアイテム i のみに単独でアクセス要求を起こす確率とすると、放送プログラム内に相関性のあるアイテムと相関性のないアイテムが混在する環境においても適用することができる。従来の PT 法は、CB-PT 法においてアイテム間の相関性が全くない特殊なケースである。

5 性能評価

本章では、アイテム間に存在する相関関係が異なるいくつかの環境において、提案した CBS 法および CBPT 法をシミュレーションにより性能評価し、その有効性を検証する。

シミュレーションの条件として、次のものを用いた。

- 放送されるアイテム数を 120 とし、1 アイテムの放送にかかる時間は 10 (10 単位時間) とする。これらの定数パラメータの値は、応

答時間に比例的に影響するだけであるから、この値の設定が比較対象と本論文で提案した手法の相対的な差異には影響しない。従って、シミュレーションでは、特に現実の環境を想定することなく、適当な値を用いた。

- クライアントからは、単位時間当たり 10 分の 1 の確率でアクセス要求が発生する。アクセス確率は、応答時間に影響しないため、上記のパラメータ同様に適当な値を用いた。
- 2 アイテムに同時にアクセス要求を起こす確率、すなわち、アイテム間の相関性は、 120×120 の正方行列として与える。 i 行 j 列目の要素 P_{ij} は、アイテム i と j に同時にアクセス要求を起こす確率とする ($P_{ij} = P_{ji}$)。ここでは簡単のために、全ての i において $P_{ii} = 0$ とする。行列の各要素の与え方としては、次の 2 つを用いる。

行列 1: 行列の全要素のうち、ある割合の要素は、一定の大きさの正の値をもつ。それ以外の要素は 0 とする。0 でない要素の割合が増えるにつれて、個々の相関関係は弱くなる。

行列 2: 全アイテムをいくつかのグループに分け、同じグループに属するアイテム間の要素に正の値を与える。異なるグループに属するアイテム間の行と列の組み合わせの要素は全て 0 とする。つまり、放送されるアイテムにおいて、同じグループ内のアイテム間には互いに相関性があり、異なるグループのアイテム間には相関性は全くない。与える正の値は、大、中、小の 3 つがあり、行列の同一グループ内の各要素はそれらの値からランダムに選ばれる。大、中、小の値の比は、8:5:2 とする。

シミュレーションでは、この 2 つの行列を用いて各アイテムの相関性を決定し、クライアントのアクセスに対する平均応答時間を計算した。但し、同時に発生する 2 アイテムに対するアクセス要求のうち、最初に放送されるアイテムの待ち時間はスケジューリング手法に依存しないため、ここでは 1 つ目のアクセス要求が満たされた後に 2 つ目

のアクセス要求が満たされるまでの時間 (1 つ目のアクセスと 2 つ目のアクセスの時間間隔) を平均応答時間と考える。

5.1 CBS 法の性能評価

本節では、CBS 法の有効性を検証するために行ったシミュレーション評価の結果を示す。

行列 1 と行列 2 のいずれを用いた場合にも、アイテム間の相関性を考慮しないスケジューリング法、つまり、放送プログラム内にアイテムをランダムに配置する手法を CBS 法の比較対象として用いた。

シミュレーション 1:

行列 1 において行列の要素のうち 0 以外の値をもつ要素の割合を変化させて、クライアントからのアクセスの平均応答時間を計算した。

図 5 に、シミュレーションの結果を示す。図中の 'SCATTER' は、CBS 法の比較対象である相関性を考慮しないスケジューリング手法を示している。横軸は行列 1 の要素のうち 0 以外の値をもつ要素の割合 (%), 縦軸はアクセスの平均応答時間を表している。この結果から、アイテム間の相関性を考慮しない手法に比べて、提案した CBS 法の応答時間が短くなることが分かる。また、行列中の 0 でない要素の割合が小さくなる、つまり、相関性が強くなるにつれて、提案した手法の効果が顕著に現れる。

シミュレーション 2:

行列 2 においてグループの数を変化させて、クライアントからのアクセスの平均応答時間を計算した。

シミュレーションの結果を図 6 に示す。横軸は行列 2 におけるグループの数、縦軸はアクセスの平均応答時間を表している。この結果から、相関性を考慮しない手法に比べて、CBS 法の平均応答時間が短くなることが分かる。また、グループ数の増加に伴い、従来の手法と提案した手法の性能の差が大きくなる。これは、グループの数が増加するにつれてアイテム間の相関関係が明確になり、相関性を考慮した手法の効果が顕著に現れるためである。

5.2 CB-PT 法の性能評価

次に、CB-PT 法の有効性を検証するために行ったシミュレーション評価の結果を示す。

シミュレーションでは、クライアントのキャッシュサイズが放送プログラムのサイズの 40% の場合に、行列 1 において行列中の 0 でない要素の割合 (%) を変化させて、クライアントからのアクセスの平均応答時間を計算した。

CB-PT 法の比較対象としては PT 法を用いた。但し、PT 法では PT 値の計算の際に、アイテム i へのアクセス確率 p_i は $p_i = \sum_{j=1}^M P_{ij}$ として計算している。

シミュレーション結果を図 7 に示す。この結果から、CB-PT 法が、従来の手法のうちで最も良い性能を示すものと考えられている PT 法よりも更に良い性能を示すことが分かる。特に、行列内で 0 でない要素の割合が小さくなる、つまり、アイテム間の相関性が強くなると、PT 法との平均応答時間の差が大きくなる。

6 おわりに

本論文では、放送されている各データ間の関連性を考慮した放送プログラムのスケジューリング法およびキャッシング法を提案した。更に、シミュレーションによって提案した手法の性能評価を行い、有効性を確認した。

実際の環境においては、本論文で想定したように相関性のあるアイテムに対して同時にアクセス要求を起こす場合だけでなく、ある程度の時間差をもって連続して起こす場合があるものと考えられる。今後は、後者の場合について、効率的な放送プログラムのスケジューリング法およびキャッシング法を考察する必要がある。

謝辞

本研究は、文部省科学研究費補助金重点領域 (1) 「高度データベース」(課題番号 08244103) および日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

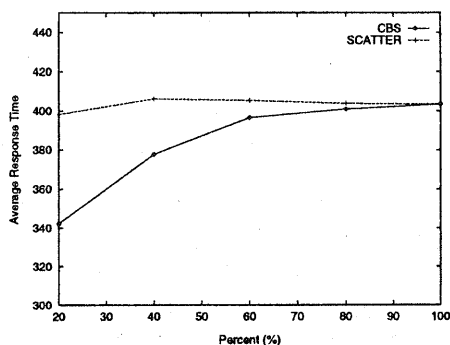


図 5: シミュレーション 1 における平均応答時間

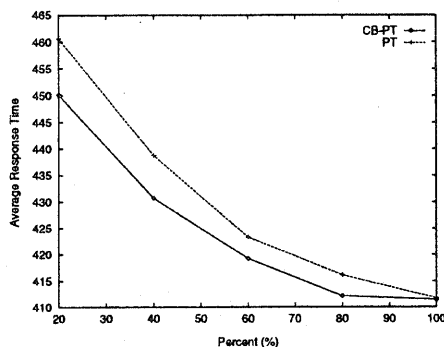


図 7: CB-PT 法の平均応答時間

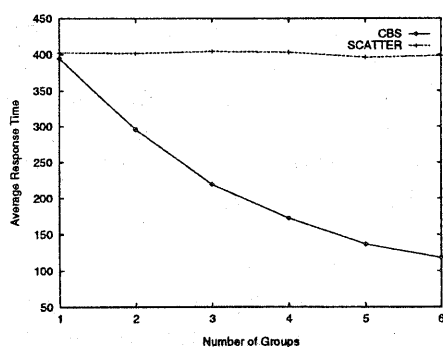


図 6: シミュレーション 2 における平均応答時間

参考文献

- [1] Acharya, S., Alonso, R., Franklin, M., and Zdonik, S.: Broadcast Disks: Data Management for Asymmetric Communication Environments, Proc. ACM SIGMOD Conference, pp. 199-210 (1995)
- [2] Acharya, S., Franklin, M., and Zdonik, S.: Disseminating Updates on Broadcast Disks, Proc. VLDB Conference, pp.354-365 (1996)
- [3] Acharya, S., Franklin, M., and Zdonik, S.: Prefetching from a Broadcast Disks, Proc. Int'l Conference on Data Engineering, pp.276-285 (1996)
- [4] Acharya, S., Franklin, M., and Zdonik, S.: Balancing Push and Pull for Data Broadcast, Proc. ACM SIGMOD Conference, pp. 183-194 (1997)
- [5] Gondhalekar, V., Jain, R., and Werth, J.: Scheduling on Airdisks: Efficient Access to Personalized Information Services via Periodic Wireless Data Broadcast, Technical Report CS-TR-96-25, Univ. Texas at Austin, Dept. of Comp. Sci. (1996)
- [6] 箱守聡, 田辺雅則, 石川裕治, 井上潮:放送型通信/オンデマンド型通信を統合した情報提供システム, 情処研報, Vol. 34, No. 8, pp. 55-60 (1997)
- [7] Hameed, S. and Vaidya, Nitin H.: Log-time Algorithms for Scheduling Single and Multiple Channel Data Broadcast, Proc. MOBICOM 97, pp. 90-99 (1997)
- [8] Imielinski, T., Viswanathan, S., and Badrinath, B.R.: Energy Efficient Indexing On Air, Proc. ACM SIGMOD Conference, pp. 25-36 (1994)
- [9] 石川裕治, 田辺雅則, 箱守聡, 井上潮:ハイパーテキスト間のデータ共有を考慮した放送型情報提供方式, 信学技報, Vol.97, No.160, pp. 121-126 (1997)
- [10] Jain, R. and Werth, J.: Airdisks and AirRAID: Modelling and Scheduling Periodic Wireless Data Broadcast (Extended Abstract), DIMACS Tech. Report 95-11, Rutgers University (1995)
- [11] Lin, L. and Kingming, Z.: Heuristic MultiDisk Scheduling for Data Broadcasting, Proc. Int'l Workshop on Satellite-Based Information Services (WOSBIS'97), pp. 1-5 (1997)
- [12] Vaidya, Nitin H. and Hameed, S.: Improved Algorithms for Scheduling Data Broadcast, Tech. Report 96-029, Comp. Sc. Dept., Texas A&M University (1997)