

プッシュ型とプル型通信の動的統合による応答時間の短縮

青野 正宏^{††} 黒田 正博[†] 市村 洋^{††}
渡辺 尚^{†††} 水野 忠則^{†††}

無線データ放送において、サーバの情報をユーザに伝える方法としてプッシュ型通信とプル型通信がある。プッシュ型通信は情報の要求を行う上り通信を省略し、通信帯域を節約することができる。一方プル型通信はユーザの要求を把握し、これに的確に対応することができる。両者の特徴を活かし、両通信方式を併用する方式もこれまでに提案されているが、本論文はさらにそれを進めてプッシュ型通信とプル型通信を動的に統合するモデルについて提案と評価を行う。

Reducing Response Time by Integrated Push-pull Method

MASAHIRO AONO,^{††} MASAHIRO KURODA,[†] HIROSHI ICHIMURA,^{††}
TAKASHI WATANABE^{†††} and TADANORI MIZUNO^{†††}

There are push-based and pull-based communications in radio data broadcasting systems for users to receive data from their servers. The upstream communication can be omitted and the band can be saved in the push-based communication. On the other hand, the server can grasp requests of users and can correspond to them accurately in the pull-based communication. Some techniques that combine both communication methods for utilizing the characteristic of both are proposed so far. Moreover, we extend these techniques and we propose and evaluate the model that integrates push-based and pull-based communications dynamically in this paper.

1. はじめに

クライアントサーバ型のシステム構成では、サーバに主要データベースを持つが、クライアント端末の携帯化の普及とモバイル通信の進展により、無線を利用して任意の場所からサーバの情報を利用することが可能となってきた。無線通信においては、その覆域内であれば受信周波数を合わせることにより、同時に複数のクライアントが同じサーバからのデータを受信することができる。クライアントの数が増えても必要帯域の大きさは変わらない。複数のクライアントが同じデータを必要としているのであれば、無線を通してデータを放送することにより、帯域を有効に利用することができる。本論文は、無線の覆域内でサーバから

データを直接受信することが可能なクライアントが多く存在するシステムにおいて、どのようなデータの提供方式が帯域の利用効率が高く、敏速にクライアントにデータを提供することが可能かを検討するものである。想定するシステム事例としては、地域内のユーザに経済・交通・気象・その他のニュースを提供するデータ放送システム、空港・商店街など限られた環境で特定情報を提供する個別情報システムなどである。ユーザ(クライアント)は携帯端末を保持して情報を受信する。

クライアントがサーバのデータを利用する形態として次の2つを想定する。1つは、サーバのデータ変化の頻度が小さく、クライアントはサーバから目的のデータを受信して自ファイルに取り込めれば受信を完了する場合である。たとえば天気予報、時刻表などである。もう1つの場合は、サーバに保持されているデータがときどき変化する。クライアントは最新データを把握

[†] 三菱電機

Mitsubishi Electric Corp.

^{††} 東京工業高等専門学校

Tokyo National College of Technology

^{†††} 静岡大学

Shizuoka University

本論文の内容は1999年10月のモバイルコンピューティング研究会にて報告され、同研究会主催により情報処理学会論文誌への掲載が推薦された論文である。

していることが望ましいので、つねにサーバから送られてくるデータを監視する。サーバにおけるデータが更新されたとき、サーバは更新データをクライアントに送信する。クライアントは更新データを受信し、自己のローカルファイルに格納し最新のデータとする。たとえば株価情報などである。これらのモデルにおいて、サーバから一方的にクライアントにデータを送るプッシュ型通信方式、クライアントからの要求に応じデータを送るプル型通信方式、両者を併用する通信方式の評価を行い、さらにプッシュ型通信とプル型通信の応答通信の帯域を統合して利用し、両者の動的な割付けを行う方式を提案・評価する。なお、言及する既存論文^{2),3),9)}では、プッシュ型通信を放送型通信、プル型通信をオンデマンド型通信という用語を用いている場合もあるが、本論文においてはプッシュ型通信/プル型通信という用語に統一して用いている。また、本論文ではプッシュ型通信とプル型通信の「併用」という用語と「動的統合」という用語を使い分けている。「併用」はプッシュ型通信とプル型通信の各々の帯域とその方式による通信データを静的に定めておいて両者を併用することを指すのに対し、「動的統合」は動的にプッシュ型通信とプル型通信の帯域と通信データの種類を決定することを指す。

以下、2章にて検討にあたっての前提条件を、3章にてサーバのデータの内容が固定の場合のモデルを、4章にて出力データが更新される場合のモデルについて記述する。5章に先行研究との関連を述べ、6章にてまとめを示す。

2. 検討の前提条件

以下を仮定する。

- プル型通信において、クライアントからサーバにデータを要求する上り通信の帯域とサーバからクライアントにデータを提供する下り通信の帯域の合計は一定とする。すなわち、上り通信に帯域を必要とする場合は、下り通信の帯域を上り通信に必要な帯域分のみ小さく帯域を割り当てる設計をしなければならないものとする。プッシュ型通信のみの場合は、下り通信のみに帯域を割り当てるものとする。

- サーバから出力される下り通信のデータはすべてのクライアントで同時に受信することができる。

- 上り通信と下り通信とではデータの大きさは異なる(上り通信 \leq 下り通信)が、下り通信の各データの大きさは同じとし、その1単位をページと呼ぶこととする。

- 下り通信で帯域を占有したと仮定したときに、1

ページのデータを出力する単位時間をタイムスロット(以下、 ts で示す)と呼ぶこととする。以下、検討は抽象的な単位で行うが、具体例をあげれば1ページが100Kバイト、実効転送量を8Mbpsとすれば、 $ts = 0.1$ 秒となる。

- 各ページに対するクライアントの要求頻度の比率は、頻度が大きいページは少なく、頻度が小さいページが多い現実の受信頻度の傾向によく合うモデルで、先行文献^{4), 5), 7)~11)}でも多く使用されているZipf分布¹⁾(式(1)に示す)に従うものとする。

$$p_i = \frac{m \cdot \rho}{i^\theta \cdot \sum_{j=1}^m (1/j)^\theta} \quad (1)$$

ρ は平均要求頻度、 m はページ数、 θ は分布の偏在係数である。本論文では $\theta = 1$ 、 $m = 1000$ を例として用いる。この分布は、事前に判明しており、動的に変化しないものとする。 p_i はページ i の1 ts における要求頻度とする。また同様に q_i を定義し、ある時点においてページ i を継続して受信しているクライアント数とする。この継続受信者数の分布は本論文では p_i に比例するものとする。クライアントのデータ要求の発生は一定の確率でランダムであるとする。したがって、その要求発生の確率分布はポアソン分布に従う。

- プル型通信において、出力待ち時間を除くサーバの処理時間と要求の上り通信に要する時間は1 ts であるとする。

- サーバから出力するデータは、サーバの主メモリに存在する。またはディスクから主メモリへの読み出しシーク時間は無視できる。

3. 出力データ固定モデル

3.1 出力データのスケジューリング方法

本章では、放送されるデータの内容が変わらない場合について検討する。クライアントは必要とするページを1回受信すればそのページの受信は終了してよい。このモデルにおいては、クライアントがデータ(ページ)を欲してから受信するまでの待ち時間を短くすることが、設計の評価指標となる。この要件におけるデータの提供システムを設計するため、プッシュ型通信とプル型通信をどのように利用すべきか検討する。

- プッシュ型通信: ある種類のデータを得るため、クライアントが受信を開始すると、サーバから出力された当該データを受信して目的を達することになる。受信開始のタイミングがランダムであるとするれば、クライアントの平均待ち時間はサーバの当該データ出力周期の半分である。当該ページを要求するクライアン

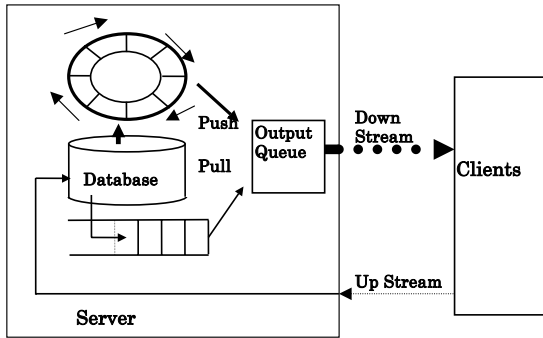


図 1 プッシュ型通信とプル型通信

Fig. 1 Push-based and pull-based communication.

ト数が多くても，上り通信のために帯域を割り当てる必要がない．

- プル型通信：クライアントはサーバへ目的ページを要求し，サーバはそのページを出力する．ページ要求頻度が小さい場合はクライアントの平均待ち時間が小さいが，ページ要求頻度が大きい場合は目的ページの出力に待ち行列ができ，平均待ち時間が大きくなる．また，クライアントが要求をサーバに伝えるための上り通信の帯域が必要である．

プッシュ型とプル型の通信方式を図 1 に示す．

Wong はプッシュ型通信およびプル型通信として以下の手法をあげている²⁾．

- サーバはプッシュ型通信で各ページを平等に順次出力する（プッシュ型 FLAT 法）．

- サーバはプッシュ型通信でデータを出力する．各ページの出力配分の比率は各ページの要求頻度の平方根に比例させるものとする．この方法は，Wong らにより待ち時間を最も小さくするプッシュ型スケジューリング手法として証明されている^{2),5),6)}（プッシュ型 SQ [Square root] 法）．

- サーバはプル型通信でデータを提供する．クライアントからページの要求があったとき，サーバは先着順に要求ページを処理する．ただし，すでにそのページが出力待ちであれば要求を無視する．クライアントは要求の有無にかかわらず，目的とするページのデータを受信すれば待ちを完了する（プル型先着順法：FCFS [First Come First Serve] 法）．

- サーバはプル型通信でデータを提供する．クライアントからページの要求があったとき，当該ページに関し，各クライアントからの要求の総待ち時間を計算する．総待ち時間累計値が最も大きいページを選択して出力する．クライアントは目的とするページのデータを受信すれば待ちを完了する（プル型総待ち時間累計法：LWF [Longest Wait First] 法）．

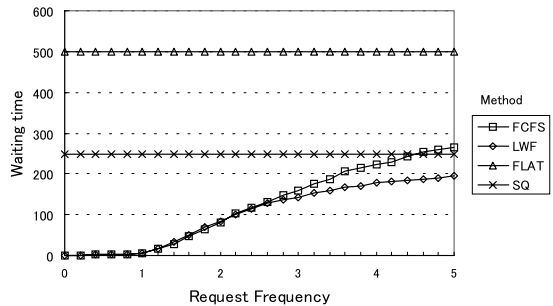


図 2 各方式による平均待ち時間 ($\theta = 1.0$)

Fig. 2 Mean waiting time with each method ($\theta = 1.0$).

3.2 各スケジューリング法比較

まず，プル型通信における上り通信の帯域を無視する場合を評価する．各方法におけるクライアントが目的ページを得るまでの平均待ち時間を，シミュレーションにより求める． $\rho = 0.2 \sim 5.0$ まで変化させた結果を図 2 に示す．プッシュ型の FLAT 法は平均ページ要求頻度にかかわらず平均待ち時間は一定である．プッシュ型 SQ 法は各ページの要求頻度に応じて出力比率を定めるため，FLAT 法より平均待ち時間が下がる．FCFS 法は，ページ要求頻度が増大すればすべてのページの順次出力に近づき，FLAT 法の待ち時間と近似していく．LWF 法は，Wong によりプル型通信の他の手法より待ち時間が小さいことが紹介されている²⁾．図 2 においても FCFS 法よりも良い結果を示している．この結果から，LWF 法が平均ページ要求頻度にかかわらず各手法のなかで最も待ち時間が小さい手法であることを示している．あるタイミングにおいて，ページ i における前回の出力からの時間を T_i とすると，LWF 法における平均の総待ち時間累計は， $p_i \cdot T_i^2$ に比例する．平均要求頻度が大きくなると出力配分は p_i の平方根比例に近似することになり，プッシュ型通信における SQ 法に収束する．小さい要求頻度の条件では，FLAT 法より FCFS 法，SQ 法より LWF 法のプル型通信が優れている．

ところで，サーバからの毎出力タイミングにおけるページ選択の演算負荷を考慮すると，プッシュ型通信のスケジューリング法において，FLAT 法は順次出力ページを選択すればよいが，SQ 法の場合は候補ページ選択のための計算が必要である．しかし，出力配分比率が動的に変化しないので，効率をあまり落とさずに簡易的に選択計算を行うことができる^{5),11)}．プル型通信においては，FCFS 法は単に先着順に処理すればよいのでページ選択が容易であるが，LWF 法の場合は毎出力タイミングごとに累計の待ち時間が動的に変化するので，待ち時間累計最大のページを選択するための

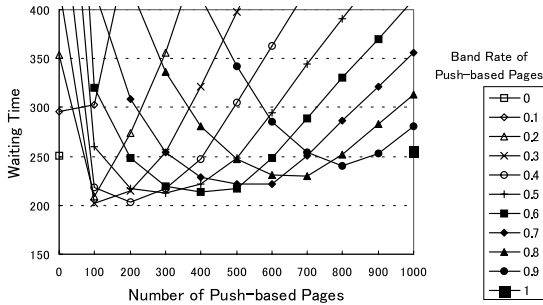


図3 プッシュ型通信 (SQ 法) とプル型通信 (FCFS 法) との併用法による待ち時間

Fig. 3 Waiting time with combined use of SQ method and FCFS method.

計算が複雑である．対象となるページが多くページ選択のための処理可能時間が短ければ，大きな負担となる．Aksoy らによる簡易計算法も提案されている¹⁰⁾が，計算負荷や性能面で十分に軽減されているとはいえない．このため，プッシュ型通信では SQ 法が，プル型通信では FCFS 法が待ち時間減少スケジュール法の現実的な候補となる．

3.3 プッシュ型通信とプル型通信の併用方式

要求頻度により，適切なスケジュール方法が異なるのであれば，ページの要求頻度に応じたスケジュール手法を併用することが考えられる．平均要求頻度が大きい順に各ページを並べ，平均要求頻度が大きいページをプッシュ型通信 (SQ 法) で，小さいページをプル型通信 (FCFS 法) で送信する．下り通信の帯域をプッシュ型通信のタイムスロットとプル型通信のタイムスロットに分ける．図 3 は，平均ページ要求頻度が 4.5 の場合に，プッシュ型出力ページ数を 100 ページ単位に 0 ~ 1000 (プル型出力ページ数は 1000 ~ 0) に変化させ，プッシュ型通信とプル型通信の出力配分比を 0.1 単位に 0 ~ 1 に変化させた場合の平均待ち時間を示したものである．プッシュ型通信のページ数を 100 ページ (プル型通信は 900 ページ) とし，プッシュ型通信とプル型通信の出力帯域の配分を 3 対 7 とした場合に待ち時間が試験ケースのなかでは最も小さいことを示している．

3.4 プル型通信における上り通信の負荷の影響

3.2 節の検討ではプル型通信における上り通信の負荷については無視した．しかし，現実には上り通信の通信負荷を無視できない場合がある．そのため，上り通信の負担を帯域負荷という形で表し，プル型通信における上り通信の負荷の影響について検討する．単位時間あたりの要求メッセージ数から上り通信に必要な帯域を確保し，残りの帯域を下り通信に配分するもの

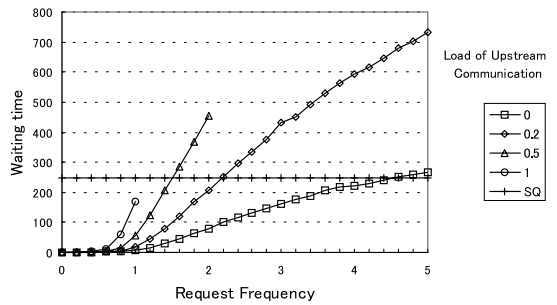


図4 上り通信の負荷の負荷を考慮した場合の待ち時間 (FCFS 法/SQ 法)

Fig. 4 Waiting time with upstream communication load (FCFS and SQ methods).

とする．クライアントがプル型通信で要求を発生するとき，上り通信の時間帯を確保してサーバに要求を上げる．厳密には同時に複数のクライアントからの要求の衝突が発生する事象など上り通信についても解析が必要であるが，本論文の検討範囲を絞るため，簡略的に衝突による上り通信帯域の損失も含めて平均的に 1 つの要求メッセージを送信するのに必要な時間を一定と仮定し，その時間を 1 サブタイムスロットと呼ぶこととし， $subts$ で示す．上り通信に必要な帯域を $pullband$ とすると，

$$pullband = \sum_{i=xpush}^m p_i \cdot subts < ts \quad (2)$$

でなければ，プル型通信を行うことはできない．また，このとき，1 ページの出力可能時間あたりの要求頻度は $pullband/subts$ となる．さらに，プッシュ型のページ i が $period_i$ ページごとに出力されるとすると，出力周期は $ts \cdot period_i / (ts - pullband)$ となる．図 4 は ts に対する $subts$ の比が 0, 0.2, 0.5, 1.0 の各々についてプル型の FCFS 法とプッシュ型の SQ 法でデータ提供を行った場合の待ち時間をシミュレーションにより算出した結果を示したものである． ts と $subts$ との比を除き，実験条件は図 2 の場合と同じである． ts に対する $subts$ の比が小さいことは，ページ要求の上り通信メッセージ長に対して下り通信のページ長が大きいことを示し， ts に対する $subts$ の比が大きいことはその逆を示す．図 4 より， $subts$ が無視できない場合はプル型通信でスケジュール可能な平均要求頻度には限界があることが分かる．また， ts に対する $subts$ の比が大きくなるにつれて，プッシュ型通信 (SQ 法) とプル型通信 (FCFS 法) のいずれが有利であるかの分界点が，要求頻度の小さい方向に向かっている．

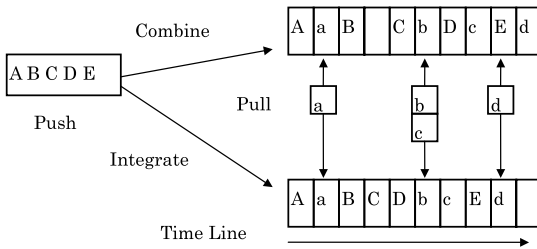


図 5 プッシュ型通信とプル型通信の併用法と動的統合手法

Fig. 5 Combined use and integrated use in push-pull communication.

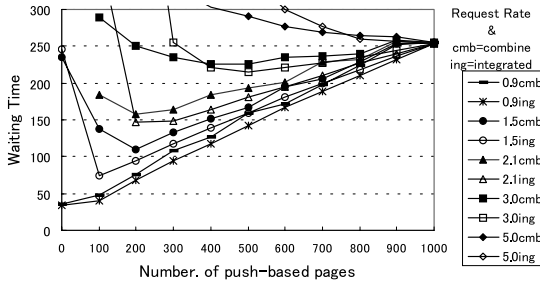


図 6 プッシュ型通信とプル型通信の併用法と動的統合手法の比較

Fig. 6 Comparison of combined use with integrated use in push-pull communication.

3.5 プッシュ型通信とプル型通信の動的統合方式

3.3 節および 3.4 節で評価した併用方式は、プッシュ型通信とプル型通信の帯域をあらかじめ固定的に割り付け、各々の通信はその帯域内で出力スケジュールを定めた。それに対し本節では、プル型通信に割り付けられたページの出力要求が存在する場合はプル型通信のページを出力し、プル型通信の出力ページがなくなればプッシュ型通信のページを出力する方式を提案する。これを動的統合方式と呼ぶこととする。両者の出力方式の差異を図 5 の例に示す。なお、評価は併用方式と同様に SQ 法と FCFS 法とを組み合わせで行う。

図 6 は ts と $subts$ の比が 1:0.5 で、1 ts あたりの要求頻度を 0.9, 1.5, 2.1, 3.0, 5.0 とした条件下におけるプッシュ型通信とプル型通信の併用方式と動的統合方式の待ち時間を比較したものである。図 3 の場合と同様に、プッシュ型出力ページ数を 100 ページ単位に 0~1000 (プル型出力ページ数は 1000~0) に変化させ、プッシュ型通信とプル型通信の出力配分比を 0.1 単位に 0~1 に変化させた場合を試算している。併用方式の場合は、プッシュ型通信とプル型通信の帯域比を 0.1 単位で変化させ、そのなかの最適値を選んでいる。要求頻度が小さい場合は全面的にプル型通信方式とする場合の待ち時間が少なく、要求頻度が大きい場合は全面的にプッシュ型通信方式とする場合の待ち時間が少ない。その中間では両者を組み合わせた方

式の待ち時間が少ないが、最小待ち時間は動的統合方式が併用方式よりも効率が良いことを示している。この理由は、併用方式の場合は、与えられたプル型出力の帯域を利用してプル型通信の出力を行うのに対し、動的統合方式の場合は同じ要求頻度であっても、全帯域を利用してプル型通信の出力を行うため、待ち行列の平均的長さが短くなるためである。

一方プッシュ型通信の帯域はプル型通信に必要な帯域の残りであり、併用方式と同様の帯域確保が期待できるため、待ち時間の長さはほとんど変わらない。ただし、この評価はプル型通信のページの要求数が想定した Zipf 分布の値 (発生確率はポアソン分布) どおり発生した場合である。ページをプッシュ型とプル型に分けたときの想定値よりもプル型通信出力の頻度が大きいとプッシュ型出力の帯域に影響し、動的統合方式は併用方式より、平均待ち時間が大きくなる危険がある。この対策としては、ページ要求残数の監視などが考えられるが、想定要求率分布と実際の要求率分布が異なる場合の対策の検討と評価は、課題として残されている。

4. 出力データ可変モデル

4.1 モデルの概要

サーバからクライアントに提供するデータが更新される場合を検討する。サーバはデータの中継局の役割を果たす。サーバは外部の情報源からオンラインないしはオフラインで最新データを入手し、そのデータを域内のクライアントに放送する。更新されるデータを受信するクライアントの対応には以下の 3 種類があり、それが混在することが考えられる。

- (1) クライアントがデータを得ることを欲したときから、クライアントは受信を開始し、利用者は当該のデータを得るまで受信を待ち受ける。目的データを得ればクライアントは受信を打ち切る。この場合、個々のクライアントの待ち時間は、3 章で述べた出力データ固定モデルの場合と変わらない。
- (2) 最初の受信開始のとき、クライアントは、当該のデータを得るまで受信を続けて、待ち受ける。目的データを得れば、クライアントは待ち受けを中断する。しかしクライアントはその後も、そのページに関する最新データを入手するため、継続して受信を行い、自己のローカルファイルに受信したデータを格納しておく。クライアントは、データを利用するときにローカルファイルから読み出して参照する。

- (3) クライアントは常時受信状態にしておいて受信した最新データの更新登録を行う。クライアントは随時登録データの参照を行う。

このモデルにおいて、クライアントに望ましい評価要素として2つある。1つは、3章で論じたのと同様に待ち受け開始から目的データ受信までの待ち時間である。上り通信の帯域に余裕があれば、プル型通信により、クライアントの意向を正確に反映させて出力データを選択するのが望ましい。もう1つは、クライアントが自己のローカルファイルを参照したとき、最新データが記録されているか否かである。サーバが最新データを得ていても、それが出力されておらずクライアントのローカルファイルに古いデータが記録されたままの状態のときに、クライアントがローカルファイルの参照を行えば、クライアントは古い情報しか得られないことになる。更新されたデータは速やかに出力されることが望ましく、全体の利益を考えれば、参照頻度の大きいデータは早く出力することが望ましい。また、クライアントからのデータ要求にかかわらず、データ更新を契機としてデータをクライアントに伝送するのであるから、サーバはプッシュ型通信でデータを伝えればよい。

この2つの評価要素は同列に論じられない。待ち時間を短くするか遅延時間を短くするかいずれを重視するかは、利用者の価値判断により異なる。常時受信状態のクライアント数と最初の1回めのデータ受信を行おうとしているクライアント数の比によっても異なる。しかし、ここではあえていくつかの評価係数を設定して、両者のバランスをとるプッシュ型通信とプル型通信の動的統合方式を検討する。

プッシュ型通信ページのデータ更新の形態として、更新がランダムに発生する場合と定期的に発生する場合とが考えられる。このうちデータ更新発生がランダムの場合には、データ更新発生によるページ要求をある評価係数で換算したクライアント数からのページ要求と見なせば、ランダムなタイミングでプル型通信によるページ要求に対して、最適ページ出力のスケジュールを設定する課題に帰着する。この課題は、3.2節で述べたように計算負荷を無視すればLWF法が優れていることが判明している。データ更新が定期的に発生する場合で、最も遅延が少なく効率的なのは、データ更新とプッシュ型通信が同期する場合である。たとえば、親局から送られてくるデータを子放送局(サーバ)が中継し、その領域に放送するようなケースである。しかし、場合により更新データが間欠的に発生するケースがある。サーバの複数のページが同時に更新される。

サーバが親局から定期的に、放送よりも広い帯域やオフライン媒体でデータを受信したり、サーバが個別に収集したデータを単位時間ごとに編集して、新しい情報としてクライアントに出力したりする場合である。たとえば、証券取引所から株価情報を高速回線でバッチ処理として定期的にサーバに送付してくる。サーバは低速の無線放送で域内のクライアントに株価データを放送するといったケースである。

本論文では典型例として、定期的に全ページが一斉に更新される場合を想定する。更新データのみを考えた場合、当該ページを受信しているクライアントの数が多きページから出力すれば、クライアントが最新データを参照する確率が最も高くなる。定期的に各ページの更新データが外部システムよりサーバに送られてくる間隔を $cycle$ とする。クライアントが自己のローカルファイルを参照したときに最新データが得られる確率を $newrate$ とすると以下の式(3)で得られる。

$$newrate = 1 - \frac{\sum_{k=1}^m k \cdot q_k}{cycle \cdot \sum_{k=1}^m q_k} \quad (3)$$

出力帯域は、広いほどクライアントは最新データを得られる確率が高くなる。

4.2 モデルの評価

クライアントは最初に求めるページを受信するために、そのページの出力要求をサーバに対して行い、サーバは要求に対応してページ出力をプル型通信で行う。サーバは、データ更新されたページを出力する場合はプッシュ型通信で行う。要求されたページを出力する場合はプル型通信で行う。このような出力データが可変であるモデルについて検討する。

全ページ数を1000ページとし、各ページの一斉更新間隔を2000tsとする。一斉更新のデータを受け取ったサーバは、プッシュ型通信の出力時間帯に受信者数の多いページから順次出力を行う。プル型出力の各ページの平均要求頻度は0.2/tsとし、 $\theta = 1$ のZipf分布に従うものとする。また、各ページの更新データを受信するクライアントの比率はプル型出力の各ページの平均要求頻度に比例するものとする。まず、出力帯域をプッシュ型通信とプル型通信に固定的に分離し、各々の帯域で対応する通信方式を利用する併用型を試算する。プッシュ型の帯域の比率を0.50から0.95、プル型の比率を0.05から0.50に変化させる。この条件でシミュレーションを行い、プッシュ型通信の遅延時間とプル型通信の待ち時間を求める。サーバのデータの一斉更新後、あるページについてプル型通信で出力された時刻がプッシュ型通信で出力される時刻よりも前で

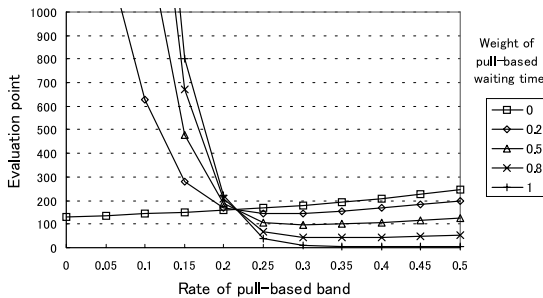


図 7 プッシュ型通信とプル型通信の併用方式による時間評価点
Fig. 7 Evaluation points by combined use of push and pull based communication.

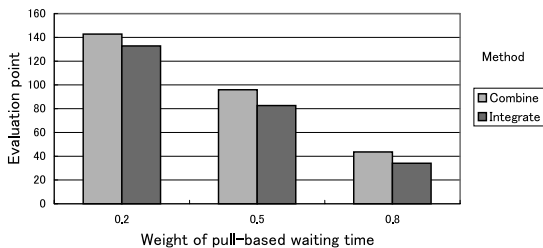


図 8 各方式による時間評価点 ($\rho = 0.2$)
Fig. 8 Evaluation points by each methods ($\rho = 0.2$).

あれば、そのページの遅延時間はデータ更新時からプル型通信のページ出力までの時間と見なす。プッシュ型通信で出力されたページについても、そのページを初期受信のため待ち受けているクライアントにとっては、初期受信が完了したことになる。

このプッシュ型通信/プル型通信の遅延時間/待ち時間の結果について、それぞれ重みを与えて加えた時間を評価係数として算出する。重みの与え方により最適配分比率は異なる。図 7 は、プル型の待ち時間の重みが 0.2, 0.5, 0.8 の場合はプッシュ型の遅延時間の重みを 0.8, 0.5, 0.2 とし、両者の合計時間を評価係数として表したものである。出力データ可変モデルにおいても、動的帯域統合方式の適用を考える。動的帯域統合方式では、プッシュ型通信とプル型通信の帯域を分けず、いずれの型であっても出力待ちとなっているページがあれば出力し、両方の型の出力が競合すれば、プル型通信を優先する。図 8 は図 7 における最も良いプッシュ型通信とプル型通信の帯域比の場合と動的統合方式を適用した場合を比較したものである。いずれの場合も動的統合方式が併用方式より評価時間が短く、優れていることを示している。

5. 関連研究

Wong は、プッシュ型通信の最適スケジュール法と

して、各ページをクライアントの要求頻度の平方根に比例させて出力配分することが望ましいこと、プル型通信のスケジュール法として LWF 法が待ち時間を短くすることを示している。さらに両者を組み合わせたハイブリッド法にも言及している²⁾。ハイブリッド法はディスクからのシーク時間を重視してプッシュ型中心の手法となっている。Wong の論文発表時からのメモリ価格の低下を考えれば、現時点では出力頻度の高い情報はメモリ上に置き、ディスクのシーク時間を無視できる場合も存在すると考えられる。Imielinski らもモバイル通信に関する論文³⁾のなかでプッシュ型通信とプル型通信の組合せについて言及しているが、定量的な分析や本論文に示した動的統合方法については述べられていない。箱守らはプッシュ型通信とプル型通信を組み合わせたデータの提供方法と最適組合せ方法について併用法で検討している⁹⁾が、FLAT 法と FCFS 法の組合せで論じているため、組合せ法の効果がほとんど見られない。Acharya らは、プッシュ型通信とプル型通信の組合せ出力についての研究⁷⁾やデータの更新に関する研究⁸⁾があるが、いずれもキャッシュに関連する研究である。本論文では、クライアントのデータ利用時間と利用データ量から比較してサーバから得るデータを保持するメモリ容量は十分であると想定した場合を検討しており、Acharya らとは検討の視点が異なる。

6. まとめ

サーバからクライアントにデータを提供する方法としてプッシュ型通信とプル型通信がある。無線を用いてサーバから無線覆域内のクライアントにデータを提供するとき、プッシュ型通信およびプル型の下り通信のいずれも放送として全クライアントに同じデータを同時に提供できる。サーバから提供データの内容が変化しない場合において、上り通信の負荷を考慮しないときは、理論的にプル型通信はプッシュ型通信よりも待ち時間が小さいスケジュールを組むことが可能である。しかし、プル型通信における最適スケジュールを計算するための演算負荷、上り通信の帯域の必要性や上り通信の負荷を無視できないときは、プッシュ型通信が有効となる場合もある。両者の通信方式を最適な割合で組み合わせる併用方式を採用すれば、それぞれ単独の通信方式を採用するよりも全体としての待ち時間の効率上がる。さらに、クライアントからのペー

同論文の図 10 で効果があるように見えるのは、プル型通信法で同じページの要求があっても順次処理する方法と比較しているためである。

ジ要求頻度がある範囲に入る場合に限られるが、動的にプッシュ型通信とプル型通信を統合する方式が併用方式よりもさらに効果を上げる。また、サーバのデータがまとめて更新される場合、評価要素としてサーバにおける更新から出力までの遅延時間とクライアントにおける待ち受け開始から受信までの待ち時間の両方があり、両者のいずれを重視するかにより結果は一律でないが、一般的に動的統合方式が優れていることを示した。

現状の情報提供の形態としては、まだ放送と通信との融合という状況までは進んでおらず、プッシュ型の放送、プル型のウェブ閲覧などそれぞれの形態による情報提供/収集が一般的である。しかし、TV放送のデジタル化によるインタラクティブTVなどの機能が普及すれば、本論文で述べた両者の特徴を生かし、視聴者に対し大容量の情報を小さい待ち時間で提供する方式が実用化できることが期待される。

参 考 文 献

- 1) Knuth, D.E.: The Art of Computer Programming Vol.3, Sorting and Searching Second Edition, Addison Wesley (1998).
- 2) Wong, J.H.: Broadcast Delivery, *Proc. IEEE*, Vol.76, No.12, pp.1566-1577 (1988).
- 3) Imielinski, T. and Viswanathan, S.: Adaptive wireless information system, *Proc. SIGDBS (Special Interest Group in DataBase Systems) Conference*, Tokyo, Japan, pp.19-41 (Oct. 1994).
- 4) Franklin, M. and Zdonik, S.: Dissemination-based information systems, *IEEE Data Engineering Bulletin*, Vol.19, No.3 (1996).
- 5) Vaidya, N.H. and Hameed, S.: Scheduling data broadcast in asymmetric communication, *Proc. Workshop on Satellite-based Information Services (WOSBIS)*, New York (Nov. 1996).
- 6) Chi-Jiun and Tassiulas, L.: Broadcast Scheduling for information distribution, *IEEE INFOCOM*, Kobe, Japan (1997).
- 7) Acharya, S., Franklin, M. and Zdonik, S.: Balancing Push and Pull for Data Broadcast, *Proc. ACM SIGMOD Conference*, Tuscon, Arizona (May 1997).
- 8) Acharya, S., Franklin, M. and Zdonik, S.: Disseminating Updates on Broadcast Disks, *22nd International Conference on Very Large Data Bases (VLDB96)*, Bombay, India (1996).
- 9) 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, *情報処理学会論文誌*, Vol.40, No.10, pp.3772-3781 (1999).
- 10) Aksoy, D. and Franklin, M.: Scheduling for Large-Scale On-Demand Data Broadcasting, Source: *Proc. IEEE INFOCOM Conf.*, San Francisco CA (Mar. 1998).
- 11) 青野正宏, 田窪昭夫, 渡辺 尚, 水野忠則: データ放送におけるスケジュール決定法「二重循環法」の提案と評価, *情報処理学会論文誌* (Mar. 1999).

(平成 12 年 3 月 29 日受付)

(平成 13 年 3 月 9 日採録)

推 薦 文

本論文では、同報を行うことで帯域を有効活用できるプッシュ型通信と、ユーザの要求に的確に対応できるプル型通信を動的に統合し、両者の特徴を考慮しつつ、クライアント/サーバ間の応答時間の短縮を図ったデータ転送モデルを提案している。提案方式は、無線環境でのデータ放送などにおいて有力な技術であると考えられる。また、データ送出のスケジューリング方法を詳細にモデル化し、数値的には比較評価を行っている点も評価できる。

(MBL 研究会 主査 高橋 修)



青野 正宏 (正会員)

昭和 44 年名古屋工業大学工学部経営工学科卒業。同年三菱電機入社。航空管制システム・通信システム等のシステム開発に従事。平成 12 年静岡大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。平成 13 年東京工業高等専門学校情報工学科教授。博士 (工学)。技術士 (情報工学部門)。電子情報通信学会会員。



黒田 正博 (正会員)

昭和 50 年東京工業大学大学院総合理工学研究科システム科学科修士課程修了。同年三菱電機 (株) 入社。平成元年カリフォルニア大学サンタバーバラ校計算機科学科修士課程修了。平成 12 年静岡大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。現在、モバイルコンピューティングの研究開発に従事。



市村 洋 (正会員)

昭和 43 年金沢大学理学部物理学
科卒業。昭和 45 年東北大学大学院
修士課程修了。同年三菱電機(株)
入社。昭和 60 年仙台電波高等専門
学校情報通信学科助教授。平成 2 年

東京工業高等専門学校情報工学科教授。現在に至る。
手書き文字認識, 代数幾何符号, マルチメディア活用
工学教育に関する研究に従事。静岡大学大学院理工学
研究科博士後期課程(設計科学専攻)に在学中。電子
情報通信学会, 情報理論とその応用学会, 日本工学教
育協会, 日本ディスタンスラーニング学会各会員。



水野 忠則 (正会員)

昭和 43 年名古屋工業大学工学部
経営工学科卒業。同年三菱電機(株)
入社。平成 5 年静岡大学工学部情報
知識工学科教授。現在, 情報学部情
報科学科教授。工学博士。情報ネッ

トワーク, プロトコル工学, モバイルコンピューティ
ングに関する研究に従事。著書としては「プロトコル
言語」(カットシステム)「コンピュータネットワーク
概論」(ピアソン・エデュケーション)等がある。電子
情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。当会フェロー。



渡辺 尚 (正会員)

昭和 57 年大阪大学工学部通信学
科卒業。昭和 59 年同大学大学院博
士前期課程修了。昭和 62 年同大学
院博士後期課程修了。工学博士。同
年徳島大学工学部情報工学科助手。

平成 2 年静岡大学工学部情報知識学科助教授。現在同
大学情報学部情報科学科教授。平成 7 年文部省在外研
究員(カリフォルニア大学アーバイン校)。計算機ネッ
トワーク, 分散システム, マルチエージェントシステ
ムに関する研究等に従事。訳書「計算機設計技法」等。
電子情報通信学会, IEEE 各会員。