

研究会推薦論文

放送型通信とオンデマンド型通信を統合した情報提供システム

箱 守 聰[†] 田 辺 雅 則^{†,☆}
石 川 裕 治[†] 井 上 潮[†]

本論文では、多数のクライアントが無線ネットワークを通してサーバ上のさまざまな情報にアクセスするモバイルコンピューティング環境において、放送型の通信方式とオンデマンド型の通信方式を組み合わせることにより、効率的に情報を提供するシステムを提案する。このシステムは、クライアントからの要求頻度が高いデータを放送型通信で提供し、その他のデータをオンデマンド型通信で提供することにより、クライアントがデータを取得するまでの平均待ち時間を短縮する。各通信路の性質とそれぞれの通信路に割り当てるデータの観点からシステムモデルを分類し、評価を行った。その結果、放送データ数と放送周期を最適化することにより、単位時間あたりのデータ取得要求数が多い場合において本システムが有効であり、各データに対する要求頻度の分布の偏りが大きいほどその効果が大きいことが分かった。

An Information Providing System
by Integrating Broadcast and On-demand ModesSATOSHI HAKOMORI,[†] MASANORI TANABE,^{†,☆} YUJI ISHIKAWA[†]
and USHIO INOUE[†]

In this paper we propose a system which provides data from a server to many clients, by integrating broadcast and on-demand modes in mobile computing environments. The system periodically broadcasts data items which are accessed very frequently by many clients, and provides other data items according to the requests from clients, so that the average waiting time until the clients get data can be shortened. We define two system models. The evaluation of the systems indicates that the average waiting time for clients can be shorter than the system by single broadcast or on-demand mode, when deciding appropriate number of broadcast data and length of broadcast period.

1. はじめに

近年、無線ネットワークの普及や、携帯型端末の小型化・高性能化にともない、屋内や屋外からさまざまな情報にアクセスできるモバイルコンピューティング環境が実現されつつある。現状では、携帯電話、PHS等の公衆回線により屋外で数十 Kbps の伝送速度を持ったネットワークを利用することができる。また、屋内では無線 LAN 等により数 Mbps 程度のネットワークが実現できる。さらに、衛星通信やデジタル放送が一

般に利用可能となれば屋外でも高速なネットワーク環境を構築できる。今後は、端末の小型化がますます進むとともに、より高速な無線ネットワークの整備も進み、さらに高度なサービスが実現できる環境が整っていくものと考えられる。

筆者らは、このようなモバイルコンピューティング環境において多くの利用者にマルチメディア情報を提供するサービスについて検討を行っている^{1)~3)}。たとえば、博物館や遊園地の訪問者に対して展示物や催し物の情報を提供したり、自動車の運転手に対して目的地や道路周辺の情報を提供したりするサービスである。このようなサービスでは、利用者に提供される情報は

[†] 株式会社 NTT データ情報科学研究所
Laboratory for Information Technology, NTT DATA Corporation

[☆] 現在、株式会社 NTT データ COE システム本部
Presently with COE Systems Sector, NTT DATA Corporation

本論文の内容は 1997 年 7 月のマルチメディア、分散、協調とモバイル (DiCoMo) ワークショップにて報告され、モバイルコンピューティング研究会主査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。

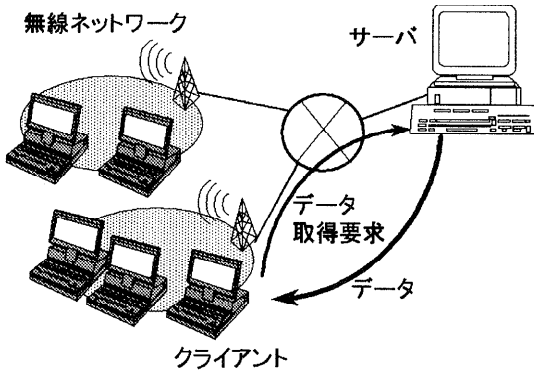


図1 モバイルコンピューティング環境における情報提供システム
Fig. 1 An information providing system in mobile computing environment.

あらかじめネットワーク上のサーバに蓄積されており、利用者が所持するクライアントからの要求に応じ無線ネットワークを介して利用者に提供される(図1)。このとき、情報提供サービスは次の特徴を持つ。

- 情報を提供するサーバやネットワークのアクセスポイントの数に比べて、情報にアクセスするクライアントの数が多い。
- 提供する情報はテキスト、画像、音声等のマルチメディアデータであり、データ量が多い。
- 利用者は自身の興味や状況に合わせてさまざまな情報にアクセスする。

これをネットワークの観点から見れば、クライアントからサーバに向かう上り通信路のデータ取得要求のデータ量は少ないが、サーバからクライアントに向かう下り通信路のデータ量はそれに比べてはるかに大きい。特に無線ネットワークを用いてシステムを実現しようとした場合、無線通信路は有線通信路と比較して伝送速度が低いため、下り通信路は性能上のボトルネックとなりやすい。したがって、いかにデータを効率的に提供するかは重要な課題である。

ここで、データ提供のための通信方式には2通りが考えられる。1つは、オンデマンド型通信方式であり、クライアントが発行するデータ取得要求に対してサーバが1対1で通信を行い、データを提供す。もう1つは放送型通信方式であり、サーバが一方向的にデータを送信し、複数のクライアントがそのデータを受信する。しかし、いずれの方式もクライアントの数やサーバに蓄積されるデータ量が大きいときには、クライアントがデータ取得要求を発行してから取得するまでの待ち時間が長くなってしまいうため、より効率的にデータを提供するシステムが求められる。

本論文では、モバイルコンピューティング環境にお

いて、従来より用いられているオンデマンド型と放送型の通信方式を統合し、両者の長所を活かして多数のクライアントに効率的にデータを提供するシステムを提案する。2つの通信方式を統合することにより、クライアントがデータ取得要求を発行してからデータを受信するまでの平均的待ち時間を短縮し高性能なシステムを実現することが可能となる。2章では統合システムの概要と関連研究について述べる。3章では、統合システムを実現するシステムモデルとモジュール構成について検討する。4章で各モデルと従来の通信方式によるシステムの性能とを比較し、統合システムの有効性を評価する。最後に5章で全体のまとめを述べる。

2. 放送型/オンデマンド型通信統合システム

2.1 概要

オンデマンド型通信方式と放送型通信方式の特徴を以下に示す。

オンデマンド型通信方式 サーバがクライアントからの個々の要求に対応し1対1でデータを送信する。ネットワークのトラフィックが少ないときにはデータ取得までの待ち時間が少ない。しかし、クライアントからの要求数が増えるにつれて待ち時間は急激に増大する。

放送型通信方式 サーバは不特定多数のクライアントに向けてデータを周期的に送信する。サーバの1回の送信で複数のクライアントが同時にデータを受信することができるため、同一のデータに対する要求が多いときには有効である。しかし、サーバに蓄積されるデータ量が大きくなると放送周期が長くなり、データ取得までの待ち時間が長くなる。

以上のように、サーバ上の大量のデータを多くのクライアントに対して提供するには、いずれの方式にも問題がある。そこで、両者の通信方式を統合することによってそれぞれの長所を活かす情報提供システムを提案する。統合システムの概要は次のとおりである。

- サーバに蓄積されているデータを、クライアントからの要求頻度(以降ではアクセス頻度と呼ぶ)が高いものと低いものとに分類する。
- アクセス頻度が高いデータは、クライアントからの要求にかかわらず、放送型通信により不特定のクライアントに周期的に送信する(放送データ)。
- アクセス頻度が低いデータは、クライアントからの要求に従ってオンデマンド型通信により提供する(オンデマンドデータ)。

統合システムでは、アクセス頻度が高いデータを放

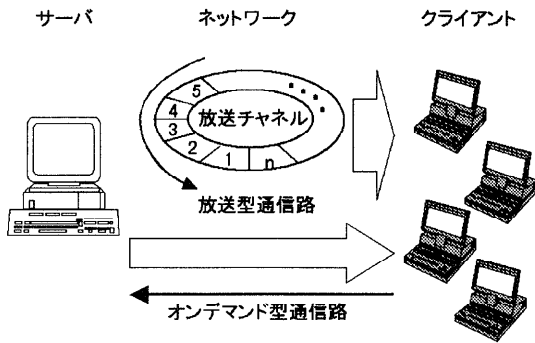


図2 放送型通信とオンデマンド型通信を統合した情報提供システム

Fig.2 System by integrating broadcast and on-demand modes.

送型通信で提供することにより、同一のデータを各クライアントに1対1に送信するよりもデータを送信する頻度を減らすことができる。また、周期的に送信するデータをアクセス頻度が高いもののみとすることにより、放送周期が短くなり、待ち時間を小さくすることができる。すなわち、個々の通信方式のみを用いた場合と比べて、クライアントがデータの取得要求を発行してからそのデータを受信するまでの平均的な待ち時間が短縮される。さらに、放送されていないデータをオンデマンド型通信によって提供するため、サーバ上のデータを余さずクライアントに提供することができる。

統合システム概念図を図2に示す。統合システムは、クライアントとサーバ間のネットワークとして放送型通信の通信路とオンデマンド型通信の通信路を使用する。放送型通信路は、サーバからクライアントに向かう下り通信路のみから構成され、サーバから送信されるデータはすべてのクライアントで受信することが可能である。一方、オンデマンド型通信路は、クライアントからサーバに向かう上り通信路と、サーバからクライアントに向かう下り通信路から構成される。通信は1対1に行われるため、サーバから送信されるデータは1つのクライアントで受信可能である。クライアントが発行するデータ取得要求は、オンデマンド型通信路の上り通信路を経由してサーバに送信される。サーバは、要求されたデータをオンデマンド型通信路や放送型通信路の下り通信路を用いてクライアントに送信する。

2.2 関連研究

モバイルコンピューティング環境においてデータ提供を効率的に行う研究は、利用する通信路により分類でき、オンデマンド型通信を用いる場合と放送型通信

を用いる場合、そして両者を組み合わせて用いる場合とがある。

オンデマンド型通信を用いた研究には、たとえばWebExpress⁴⁾やDynamic Documents⁵⁾がある。これらはモバイルコンピューティング環境においてオンデマンド型通信方式であるWorld Wide Web (WWW)を利用する際に、通信路やクライアント端末の特性に応じてサーバから提供するデータを制御することで通信量を削減する。一方、放送型通信によるデータ提供に関する研究には、Broadcast Disks⁶⁾、Shivakumarら⁷⁾、Hameedら⁸⁾等がある。これらは1つないしは複数の放送型通信路を用いてデータを周期的に放送するシステムを想定しており、文献6)はその際のクライアントのキャッシュ方式を検討している。また、文献7)は複数の放送型通信路にデータとインデックスをそれぞれ割り当てた場合のアクセス方式を、文献8)では各データの放送周期を最適化するアルゴリズムについて検討している。これらはいずれも放送型通信またはオンデマンド型通信の一方のみを対象としているため、両者を組み合わせた場合については検討されていない。

Wong⁹⁾は、1つの放送型通信路で放送データとオンデマンドデータを送信するモデルについて検討している。このモデルは我々が3章で提案するモデルと次の点が異なる。まず、Wongのモデルではオンデマンドデータを1つのクライアントしか受信できないのに対して、我々が提案するモデルはそのデータを要求したすべてのクライアントが受信できる。このため、アクセス頻度分布の偏りが小さく、同一のオンデマンドデータに対する要求が同時に複数存在するような場合には、我々のモデルの方が有利である。次に、Wongのモデルでは一定数の放送データを送信するごとにオンデマンドデータを1つ送信する手順となっている。したがって、1周期中のオンデマンドデータ数は放送データ数を超えず、また1周期中でとりうる各々のデータ数の組合せが限られるため、クライアントの待ち時間を最小とする最適なパラメータの組合せを求めることができない。また、評価が解析的評価であり、計算機シミュレーションは行われていない。

Imielinskiら¹⁰⁾は、複数のオンデマンド型通信路と放送型通信路からなる環境におけるデータ提供方式を検討している。この方式では、Wongと同様に各データのアクセス頻度に基づいて放送データとオンデマンドデータを分類しているが、検討の主眼は放送型通信におけるデータストリームの効率的なインデックス方法に置かれている。このため、3章で提案する1つの放

表 1 システムモデル
Table 1 System models.

モデル名	伝送速度		転送データ	
	放送型通信路	オンデマンド型通信路	放送型通信路	オンデマンド型通信路
BC/OD 独立	1 ~ 10 Mbps	1 ~ 10 Mbps	放送データ	オンデマンドデータ
BC/OD 共有	1 ~ 10 Mbps	数十 Kbps	放送データ オンデマンドデータ	—

送型通信路によるシステムモデルや、4章で示すデータ取得要求の発生頻度等のシステムの利用状況と、放送データとオンデマンドデータの分類の関係についての検討は行っていない。

3. システム構成

3.1 システムモデル

統合システムでは、各通信路にどのような通信媒体を用い、放送データとオンデマンドデータをそれらにどのように割り当てるかによってシステムの振舞いが異なる。このため、統合システムを実現するにはまずこれらの組合せによるシステムモデルを構築する必要がある。ここで、通信媒体には以下のものを考える。

オンデマンド型通信路 この通信路の代表は、たとえば携帯電話やPHS等の公衆無線回線である。これらの伝送速度は数十Kbps程度であり、上り通信路としては十分であるが下り通信路としては低速であり不十分である。一方、将来に向けた高速な移動通信路としてIMT-2000¹¹⁾等の取組みがなされており、これらが利用可能となれば下り通信路として放送型通信路と同等な伝送速度が実現できる。これらの通信媒体はオンデマンド型通信のみ可能であり、放送型通信路としては利用できない。また、無線LAN等の小電力無線システムもオンデマンド型通信路として利用することが可能である。

放送型通信路 この通信路には、衛星によるBSデジタル放送やCSデジタル放送、あるいは地上波によるデジタル放送チャンネルが利用可能である¹²⁾。また、たとえばオンデマンド型通信路に用いられる無線LANは一般にブロードキャストやマルチキャストをサポートしており、これらの機能を利用すれば放送型通信路として利用することも可能である。以上で述べた伝送媒体においてチャンネルごとの伝送速度は1~10Mbps程度であり、マルチメディアデータの伝送に適しているといえる。

それぞれの通信路の伝送速度を考慮すると、(1)放送型通信路とオンデマンド型通信路の伝送速度が等しい場合、(2)放送型通信路に比べてオンデマンド型通信路の伝送速度が小さい(1/100程度)場合、の2通

りの組合せができる。さて、これらに対する放送データとオンデマンドデータの割当てを考えると次のことがいえる。まず、(1)の場合は放送型通信路に放送データ、オンデマンド型通信路にオンデマンドデータを割り当てるのが妥当である。次に、(2)の場合はオンデマンド型通信路の伝送速度が低いためこの通信路は上りのみを使用し、放送型通信路で放送データとオンデマンドデータの両方を割り当てるのが現実的である。以上より、統合システムでは利用する通信媒体によって表1にあげる2通りのシステムモデルが考えられる。

放送/オンデマンド独立モデル (BC/OD独立モデル)

このモデルでは、放送型通信路は放送データを周期的に送信し、オンデマンド型通信路はオンデマンドデータをクライアントからの要求に従って送信する。サーバはクライアントからのオンデマンドデータの要求を先入れ先出し制御の待ちキューで管理する。モデルと通信路中のデータ配置の一例を図3に示す。図3では、サーバが10個のデータを持ち、そのうち1~3番目までが放送データ、残りをオンデマンドデータとした例を示している。

放送/オンデマンド共有モデル (BC/OD共有モデル)

このモデルでは、放送データは放送型通信路より周期的に送信されている。オンデマンドデータはクライアントからの要求に従って同じく放送型通信路より送信される。モデルと通信路中のデータ配置の一例を図4に示す。ここで、オンデマンドデータを放送型通信路で送信しているため、そのデータはすべてのクライアントで取得できることに注意する。たとえばクライアントAとBが同一データの取得要求を発行し、サーバがAの要求に対応してそのデータを送信したとき、AとBともにそのデータを受信することができる。このとき、サーバではデータ要求の待ちキューを検索し、キューの先頭にある取得要求と同一のデータに対する要求は送信済みとしてキューから削除する。

3.2 機能モジュール構成

統合システムを実現するためにクライアントとサーバに必要となる機能モジュール構成を、図5に示す。

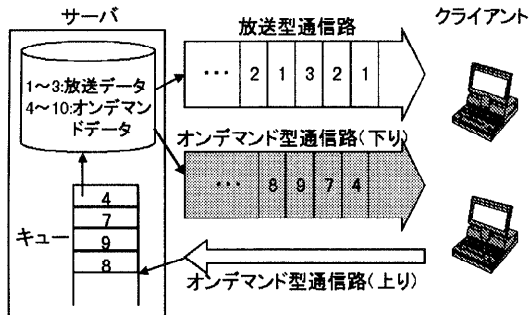


図3 BC/OD 独立モデル
Fig. 3 BC/OD separation model.

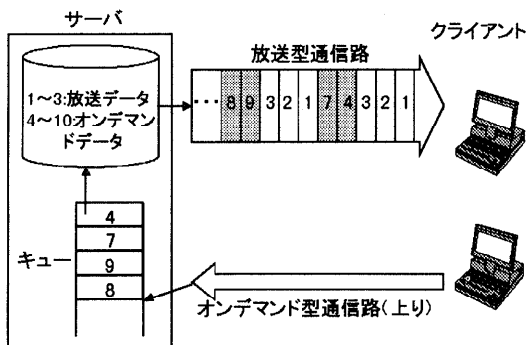


図4 BC/OD 共有モデル
Fig. 4 BC/OD shared model.

3.2.1 サーバ

サーバは、クライアントに提供するデータを格納するデータベースとネットワーク通信部に加えて、データを放送型とオンデマンド型のどちらで提供するかを決定するデータ提供方式決定部と、下り通信路のデータ配置を決定するストリーム作成部を持つ。

データ提供方式決定部 放送型通信によってデータを提供するとネットワークトラフィックを低減できるが、一方で放送データを多くすると放送周期が長くなり、平均的な待ち時間が増加する。したがって、クライアントの平均的なデータ取得待ち時間が最小となるように放送データとオンデマンドデータの分類を決定する必要がある。動的に変化するパラメータはデータのアクセス頻度分布やネットワークのトラフィックである。これらの変化に対して、放送データの集合とそれぞれの放送頻度を決定する。また、BC/OD 共有モデルの場合は下り通信路のストリーム中の放送データとオンデマンドデータの割合も決定する必要がある。

アクセス頻度分布を取得するにはクライアントからの要求を一定時間ごとに監視すればよいが、後述

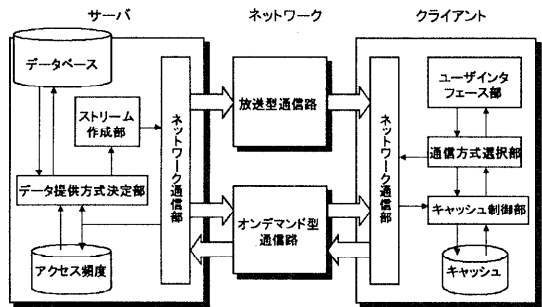


図5 統合システムの機能モジュール構成
Fig. 5 Function module structure.

するように放送データに対してはクライアントが要求を発行しないことが考えられる。この場合はアクセス頻度を把握するために何らかの制御が必要となる。たとえば、ある時間よりも長く放送型通信で提供しているデータをいったんオンデマンドデータに変更し、クライアントからのアクセス頻度がまだ高いかどうかを確認するといった方法が考えられる。

ストリーム作成部 データ提供方式決定部で決まった分類や放送頻度等をもとに、下り通信路にそれらのデータを割り当て、ストリームを構成する。たとえば、複数の放送型通信路が利用可能な場合はそれぞれの通信路にどのようにデータを割り当てるかによってクライアントの平均待ち時間が異なるため、最適な配置を行う必要がある。

3.2.2 クライアント

クライアントは利用者の要求を受け付け、要求されたデータを放送型通信またはオンデマンド型通信のいずれかにより取得して利用者に提供する。このため、ユーザインタフェース部とネットワーク通信部のほかに、要求されたデータを取得するために適切な通信方式を選択する通信方式選択部とキャッシュ制御部がある。

通信方式選択部 要求するデータがオンデマンドデータであるときは、クライアントはサーバへデータ取得要求を発行する。一方、放送型通信によって提供されている場合は、サーバへ要求を発行する必要はなく、データが送信されるまで待機する。

キャッシュ部 クライアントがキャッシュを備えていると、待ち時間の短縮やネットワークトラフィックの低減に効果がある。特に、放送型通信に対してはキャッシュの活用は有効である。クライアントが携帯型端末の場合は一般に使用できるメモリ量がデスクトップ型よりも限られており、効率的なキャッシュ制御が求められる。

表2 統合システムの評価パラメータ
Table 2 Parameters for system evaluation.

記号	意味	評価で用いた値
N	サーバが蓄積する全データ数	1000
n	放送データの数	1 ~ 1000
S	データ長	1 (すべてのデータで同じ大きさ)
V	通信路の伝送速度	100 データ/sec (両通信路とも同じ)
R	単位時間あたりに発行されるデータ要求数	50 ~ 400 回/sec (ポアソン分布に従う)
P_i	i 番目のデータのアクセス頻度	Zipf 分布に従う
θ	アクセス頻度分布を表す Zipf 分布の偏度	0 (一様分布), 0.5, 1
T	放送型通信路の放送周期	1 ~ 1000 (1 周期に送信するデータ数)
F_i	i 番目のデータの放送頻度	どのデータも 1 とする

4. 評価

統合システムでは、放送型通信で提供するデータ数とそれらのデータの放送周期によってクライアントの平均待ち時間が決定される。すなわち、放送データ数が多くなり放送周期が長くなれば放送型通信による待ち時間は長くなるが、オンデマンド型通信では処理する要求数が少なくなるため負荷が減り、待ち時間は短くなる。したがって、平均待ち時間を最小とするには、システムの利用状況、すなわちデータ取得要求の発生頻度や各データへのアクセス頻度に対してこれらの値を適切に決定する必要がある。

統合システムにおけるこれらのパラメータ間の関係を明らかにするとともに、各通信方式を単独で用いた場合との比較を行うため、3章で提案した各モデルにおいて放送データ数や放送周期、クライアントからのデータ取得要求数に対するクライアントの平均待ち時間を机上計算および計算機シミュレーションにより求め評価した。

4.1 評価に用いるパラメータと前提

統合システムの評価に関連するパラメータを表2に示す。評価に際して、以下を前提とした。

サーバ サーバ上のデータ長 S はすべて等しく、これを1とする。また、各データのアクセス頻度 P_i は事前に知ることができ、データはアクセス頻度が高い順にソートされている。各データの1周期ごとの放送頻度は、すべて1とする。

クライアント 単位時間あたりにクライアントが発行するデータ取得要求頻度はポアソン分布に従い、その単位時間あたりのデータ取得要求数の平均値を R とする。アクセス頻度 P_i は Zipf 分布¹³⁾☆に従う

☆ Zipf 分布によれば、偏度が θ のときの i 番目のデータのアクセス頻度 P_i は $P_i = \frac{C}{i^\theta}$ 、ただし $C = \frac{1}{H_N^\theta}$ (H_N^θ はオーダー θ の調和数) である。

ものとし、分布の偏り(偏度)を θ で表す。

本論文では、放送データ数と放送周期、データ取得要求数との関係を評価することが目的であり、このためクライアント上のキャッシュは評価の対象外とする。

ネットワーク 放送型通信路の伝送速度、および BC/OD 独立モデルにおけるオンデマンド型通信路の下り通信路の伝送速度 V を 100 データ/sec とする。これは、10 Mbps の伝送速度を持った通信路を利用して、約 10 Kbyte のサイズの固定長データを提供することを想定している。オンデマンド型通信路の上り通信路はクライアントからサーバへのデータ取得要求の送信に使用されるが、データ量は十分に小さいため、これらの衝突による影響は考慮しない。また、いずれの通信路も伝送誤りは発生せず、プロトコルオーバーヘッドもないものとする。

4.2 平均待ち時間の算出

ここでは、評価に用いた各モデルの平均待ち時間の算出方法について述べる。BC/OD 独立モデルについては、机上計算により平均待ち時間を算出した。BC/OD 共有モデルは解析的手法が困難なため、計算機上にシミュレーションモデルを構築して平均待ち時間を求めた。

4.2.1 BC/OD 独立モデルの待ち時間の算出

まず、放送型通信で提供されているデータを取得するまでの待ち時間の期待値 W_{bc} は、以下の式で求められる。

$$W_{bc} = \frac{n}{2} \cdot \frac{S}{V} \quad (1)$$

一方、オンデマンド型通信で提供されているデータを取得するまでの待ち時間の期待値 W_{od} は、以下の式で求められる。

$$W_{od} = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{S}{V} \cdot \frac{1}{2} \quad (2)$$

ただし、 ρ は以下の式で求められるチャネルの使用率

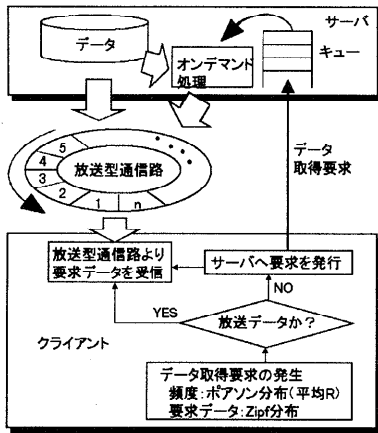


図6 BC/OD共有モデルのシミュレーションモデル
Fig. 6 Simulation model of BC/OD shared model.

である。

$$\rho = \frac{S}{V} \cdot \left(R \cdot \sum_{i=n+1}^N P_i \right) \quad (3)$$

クライアントがデータを取得するときの待ち時間の期待値 W_t は以下の式により求められる。

$$W_t = W_{bc} \cdot \sum_{i=1}^n P_i + W_{od} \cdot \sum_{i=n+1}^N P_i \quad (4)$$

4.2.2 BC/OD共有モデルの待ち時間の算出

BC/OD共有モデルのシミュレーションモデルを図6に示す。シミュレーションにおいてクライアントは1つであり、単位時間あたり平均 R のポアソン分布に従った頻度でデータ取得要求を発生する。そのうちオンデマンドデータに対する要求はサーバに送信されサーバ上のキューに格納される。サーバでは、 n 個の放送データを送信した後、放送周期 T になるまでキューの先頭から要求を取り出し、要求されるオンデマンドデータを送信する。以上の処理において、データ取得要求が発生してからそのデータがサーバより送信されるまでの時間を測定する。ここで、シミュレーションは実行を開始してから定常状態になるまでモデル内の時間で10秒間待ち、それから100秒間測定を行い、得られた待ち時間の平均を求めた。

4.3 評価結果

4.3.1 放送データ数と放送周期に対する待ち時間の評価

放送型通信とオンデマンド型通信の統合の度合いによるクライアントの平均待ち時間の変化を明らかにするため、各モデルにおいて、放送型通信で提供する放送データ数と放送周期に対する平均待ち時間を求めた。

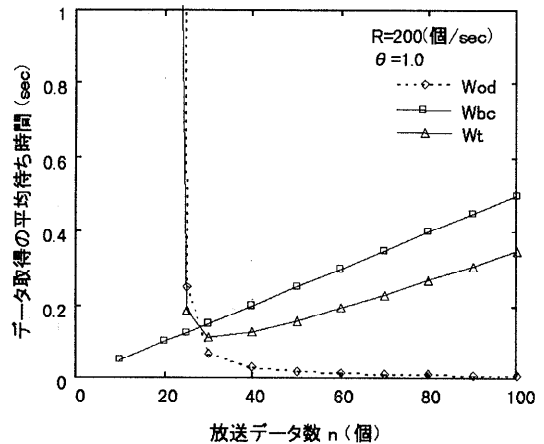


図7 放送データ数に対する平均待ち時間 (BC/OD独立モデル)
Fig. 7 Average waiting time vs. broadcast data number (BC/OD separation model).

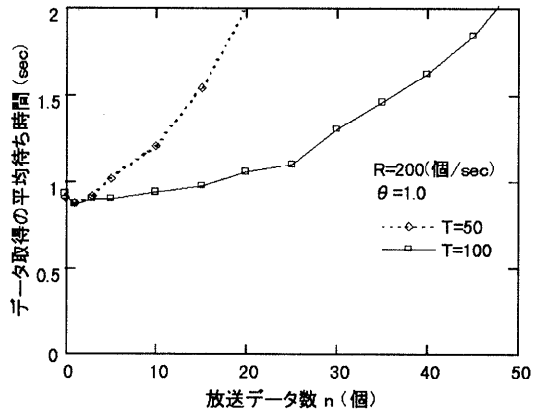


図8 放送データ数に対する平均待ち時間 (BC/OD共有モデル)
Fig. 8 Average waiting time vs. broadcast data number (BC/OD shared model).

ここでは、単位時間あたりのクライアントからのデータ取得要求数 $R = 200$ (個/sec) と、アクセス頻度分布の偏度 $\theta = 1.0$ として平均待ち時間をそれぞれ求めた。

BC/OD独立モデルにおける放送データ数 n と平均待ち時間 W_t の関係を図7に示す。図7より、 n が増加するにつれて放送型通信による待ち時間 W_{bc} が増加するのに対し、オンデマンド型通信による待ち時間 W_{od} が減少しているのが分かる。すなわち、放送データ数が増えるにともないオンデマンドデータが減るため、オンデマンド通信路の負荷が減少するのに対して、放送型通信においては T が長くなる。その結果、ある n に対して W_t は最小となり、図7の条件では最小となる $n = 31$ である。

BC/OD共有モデルにおける n と W_t の関係を図8

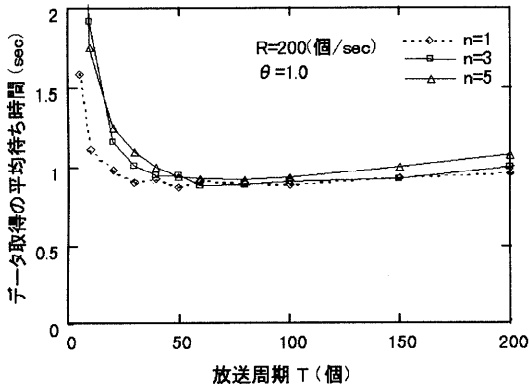


図9 放送周期に対する平均待ち時間 (BC/OD 共有モデル)
Fig. 9 Average waiting time vs. broadcast cycle (BC/OD shared model).

に示す。図8を見ると、 n が増加するにつれて待ち時間はいったん減少するもののすぐに増加している。この評価では T の値を固定しているため、 n を増やしても放送型通信による待ち時間は変化しない一方で、オンデマンド型通信では負荷が減少するもの利用できる帯域も減少していくため、全体の平均待ち時間はこのようにある n に対して最小となり、ここでは $T = 50, 100$ のいずれの場合も $n = 1$ である。次に、 n を一定にして T を変化させたときの待ち時間の変化を図9に示す。この評価では図8と異なり、 T が増加するにつれて放送型通信による待ち時間は増加する一方で、オンデマンド型通信では通信に利用できる帯域が増えていくために待ち時間が減少していく。図9では $n = 1, 3, 5$ のいずれの場合も $T = 60$ 付近で待ち時間は最小となる。以上から分かるように、クライアントの平均待ち時間を最小とするために BC/OD 独立モデルでは適切な n の値を求めればよいのに対し、BC/OD 共有モデルでは適切な n と T の値を求める必要がある。ただし、いずれのモデルも n や T が最適値より増加しても待ち時間の変化はゆるやかであり、若干大きい値をとってもあまり性能に影響はないといえる。

4.3.2 クライアント要求数に対する待ち時間の評価

システムの利用状況に対してクライアントの平均待ち時間がどのように変化するかを明らかにするため、クライアントが単位時間あたりに発行するデータ取得要求数 R およびデータへのアクセス確率分布の偏度 θ に対する平均待ち時間の変化を評価した。各モデルについて R および θ の値に対して n および T を変化させ、平均待ち時間の最小値を求めた。BC/OD 独立モデルの結果を図10に、BC/OD 共有モデルの結果を図11に示す。

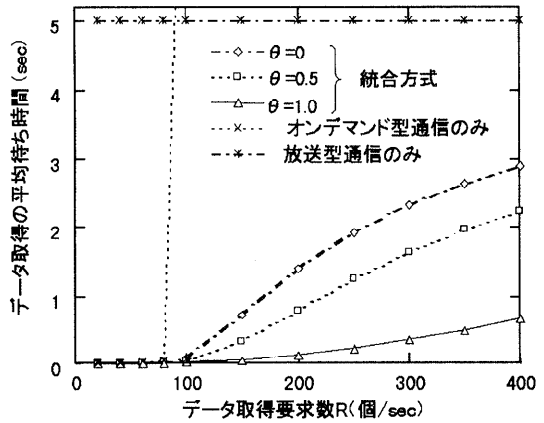


図10 データ取得要求数に対する平均待ち時間 (BC/OD 独立モデル)
Fig. 10 Average waiting time vs. data requests rate (BC/OD separation model).

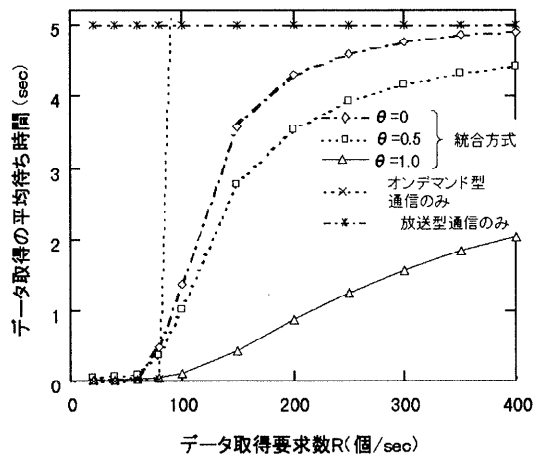


図11 データ取得要求数に対する平均待ち時間 (BC/OD 共有モデル)
Fig. 11 Average waiting time vs. data requests rate (BC/OD shared model).

果を図11に示す。どちらの図にも、比較のために放送型通信とオンデマンド型通信をそれぞれ単独で用いた場合の待ち時間を示している。ここで、 $\theta = 0$ のときはすべてのデータが同じアクセス確率を持つ一様分布となる。

図10において θ の違いによる待ち時間を比較すると、 $\theta = 0$ のときよりも θ が大きくアクセス頻度分布に偏りがある方が待ち時間が小さい。したがって、統合システムはアクセス頻度分布の偏りが大きいほど待ち時間を低減する効果が大いことが分かる。次に、放送型通信およびオンデマンド型通信をそれぞれ単独で用いた場合と統合システムを比べると、次のことがいえる。すなわち、統合システムにおいて θ が

0.5 ~ 1 の場合には、 $R = 400$ の高負荷の場合でも放送型通信のみと比べて 1/5 ~ 2/5 程度の平均待ち時間ですみ、各通信路を単独で用いた場合よりも単に伝送容量が 2 倍になった以上の効果を上げている。また、オンデマンド型通信のみの場合と比べても高負荷の状況では統合システムが明らかに有利である。同様の傾向は図 11 の BC/OD 共有モデルでも見ることができ、 θ が大きくアクセス頻度分布の偏りが大きい場合は統合システムを利用する効果が大きいことが分かる。なお、図 10 と図 11 を比較すると、BC/OD 独立モデルは放送型通信路とオンデマンド型通信路の 2 つの下り通信路を利用しており BC/OD 共有モデルよりも下りの伝送容量が大きいことから、待ち時間が小さい。

5. おわりに

本論文では、多数のクライアントが無線ネットワークを通してサーバ上のさまざまな情報にアクセスするモバイルコンピューティング環境において、放送型の通信方式とオンデマンド型の通信方式を組み合わせることにより、効率的に情報を提供するシステムを提案した。このシステムでは、多くのクライアントが要求するデータを放送型通信で提供し、それ以外のデータをオンデマンド型通信で提供することにより、クライアントがデータを取得するまでの平均待ち時間を短縮することができる。統合システムの実現に向けて、各通信路の性質とそれぞれの通信路に割り当てるデータの観点から 2 つのシステムモデルを明らかにした。これらのモデルに対して評価を行い、単位時間あたりのデータ取得要求数が多い場合において統合システムが有効であり、各データに対するアクセス頻度の分布の偏りが大きいほどその効果が大きいことを示した。

統合システムを実現するには、単位時間あたりのデータ取得要求数やアクセス頻度分布を把握するための仕組みが必要である。また、それらの値を用いて最適な放送データ数や放送周期の組合せを求めることが必要であり、そのための実用的なアルゴリズムの検討が課題である。

本論文の評価では各放送データの放送頻度をすべて等しいとしたが、各データごとに放送頻度を設定することによってさらに平均待ち時間を短縮できる可能性がある。さらに、クライアントにおけるキャッシュ制御も有効である。

参考文献

- 1) Tanabe, M., Ishikawa, Y., Hakomori, S. and Inoue, U.: Information Providing Mechanism Combining Broadcast and On-demand Modes in Mobile Computing Environments, *Proc. 6th WINLAB Workshop*, pp.47-58 (Mar. 1997).
- 2) 箱守 聰, 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, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DiCoMo) ワークショップ予稿集, pp.55-60 (1997).
- 3) 田辺雅則, 箱守 聰, 石川裕治, 井上 潮: 放送/オンデマンド統合型情報提供システム MobileCaster におけるデータ提供方法の決定方式, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DiCoMo '98) ワークショップ予稿集, pp.499-506 (1998).
- 4) Housel, B.C. and Lindquist, D.B.: WebExpress: A System for Optimizing Web Browsing in a Wireless Environment, *Proc. 2nd Annual Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM '96)*, pp.108-116 (1996).
- 5) Kaashoek, M.F., Pinckney, T. and Tauber, J.A.: Dynamic Documents: Mobile Wireless Access to the WWW, *Proc. 1st Workshop on Mobile Computing System and Application* (1994).
- 6) Acharya, S., Franklin, M. and Zdonik, S.: Dissemination-based Data Delivery Using Broadcast Disks, *IEEE Personal Communications*, Vol.2, No.6 (Dec. 1995).
- 7) Shivakumar, N. and Venkatasubramanian, S.: Energy-Efficient Indexing for Information Dissemination in Wireless Systems, *ACM Journal of Mobile Networks and Nomadic Applications* (Dec. 1996).
- 8) Hameed, S. and Vaidya, N.H.: Log-time Algorithms for Scheduling Single and Multiple Channel Data Broadcast, *Proc. 3rd Annual Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MOBICOM '97)*, pp.90-99, ACM (1997).
- 9) Wong, J.W.: Broadcast Delivery, *Proc. IEEE*, Vol.76, No.12, pp.1566-1577 (Dec. 1988).
- 10) Imielinski, T. and Viswanathan, S.: Adaptive Wireless Information Systems, *Proc. IPSJ SIGDBS Workshop*, pp.19-41 (1994).
- 11) 西園敏弘 (編): 次世代の移動通信, 電子情報通信学会誌, Vol.82, No.2, pp.101-160 (Feb. 1999).
- 12) 河村正行: デジタル放送の幕開け, 電波新聞社 (1997).
- 13) Knuth, D.E.: Sorting and Searching, *The Art of Computer Programming*, 1st edition, Vol.3, Addison-Wesley (1973).

(平成 10 年 9 月 21 日受付)

(平成 11 年 9 月 2 日採録)

推薦文

モバイル環境においていかにトラフィックを軽減できるかは重要な論点の1つである。本研究では、ユーザに共通のトラフィックと固有のトラフィックを分離し、放送とオンデマンドを組み合わせる方式を提案している。また、提案方式のマルコフ過程を用いた仮想的環境での評価も行っており、高く評価できる。(モバイルコンピューティング研究会主査 水野忠則)



箱守 聰 (正会員)

昭和 61 年名古屋大学工学部電気工学科卒業。昭和 63 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年 (株) NTT データ入社。現在、情報科学研究所勤務。分散処理 OS の研究開発、分散協調処理、モバイルコンピューティングの研究開発に従事。ACM, IEEE 各会員。



田辺 雅則

平成 4 年京都工芸繊維大学修士課程修了。同年 (株) NTT データ入社。現在、COE システム本部勤務。分散処理、エージェント技術、モバイルコンピューティングの研究開発に従事。



石川 裕治 (正会員)

平成 8 年東京工業大学大学院理工学研究科システム科学専攻修士課程修了。同年 (株) NTT データ入社。現在、情報科学研究所勤務。モバイルコンピューティングの研究開発に従事。



井上 潮 (正会員)

昭和 50 年名古屋大学工学部電気工学科卒業。同年日本電信電話公社入社。平成 7 年 (株) NTT データ情報科学研究所、現在に至る。工学博士。オンライン情報検索システム、データベース管理システム、データベースマシン、マルチメディアデータベース、モバイルコンピューティングの研究開発に従事。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。