

## 複数の通信メディアを利用した階層型データの効率的転送の実装モデル

長谷川 創一<sup>†</sup> 田頭 茂明<sup>†</sup> 佐藤 健哉<sup>†,††</sup>  
最所 圭三<sup>†</sup> 福田 晃<sup>†</sup>

移動計算機が移動先からデータを取得する場合、主に携帯電話やPHSなどの双方向通信媒体を用いる。一方、新たなデータ転送手段として、Sバンド衛星デジタル放送、地上波デジタル放送が数年後に実用化される見通しになっている。本研究においては、これまで、一つの通信媒体を用いて行っていた通信を、放送と双方向通信を併用して行うことを提案する。本稿では、1つのデータを分割して転送する場合に発生する同期問題について議論し、複数の通信メディアを利用できる転送システムの設計を行う。さらに、提案する通信方式の有効性を示すために、ブロードキャストとオンデマンドによるデータ取得の実験を行った。その結果、提案している通信方式の有効性を確認できた。

### Implementation Model of Efficient Layered-Data Delivery System through Multiple Heterogeneous Networks

SOUICHI HASEGAWA,<sup>†</sup> SHIGEAKI TAGASHIRA,<sup>†</sup> KENYA SATO,<sup>†,††</sup>  
KEIZO SAISHO<sup>†</sup> and AKIRA FUKUDA<sup>†</sup>

A current mobile communication method used on mobile hosts to receive data is an on-demand method, such as a cellular phone and PHS. Meanwhile, high performance S-band digital satellite or digital terrestrial broadcasting for mobile hosts will be available in a few years. In this research, we propose a new communication method to make use of data broadcasting and on-demand communication simultaneously, instead of conventional individual techniques. In this paper, we discuss a synchronization issue to transmit broadcast and on-demand data separately, and design an efficient system for multiple heterogeneous communication media. We also implement and evaluate our system to combine data broadcasting and on-demand communication. The evaluation results show that our proposed method works effectively.

#### 1. はじめに

現在の移動計算機環境においては、携帯電話、PHSおよび無線LANなどの無線通信メディアを用いて通信している<sup>1)</sup>。一方、移動計算機への新たなデータ転送手段として、Sバンド衛星デジタル放送<sup>2)</sup>、地上波デジタル放送<sup>3)</sup>が数年後に実用化される見通しとなっている。

前者は、帯域が狭い(9600bps~2Mbps)、ユーザの増加に対してスケーラビリティがない、などの問題を持つ。しかし、双方向の通信を行うことができ、要求を出してからその要求に対する応答が返ってくるまで

の待ち時間は、データ量や通信メディアに依存するものの予測することが可能である。このタイプの通信を本稿では、オンデマンド方式と呼ぶ。

後者は、帯域が広く(200kbps~23Mbps)、同時に多くのユーザにデータを提供できるので、スケーラビリティがあり、一人あたりの通信コストが比較的低くなるという特徴を持っている。しかし、オンデマンド方式と異なり、周期的にデータを一方に放送するため、ユーザは必要なデータが放送されるまで待たなければならない。1放送周期に各データが1回放送されるとすると、放送周期の1/2が平均待ち時間となる。また必要とするユーザが少ないデータを転送する場合、通信効率が低下するという問題を持つ。このタイプの通信を本稿では、ブロードキャスト方式と呼ぶ。

本稿では、ブロードキャスト方式とオンデマンド方式を併用し、各々の欠点を補う効率的な通信方式を提案する。具体的にはデータを階層化し、それぞれの階層をその特質に応じて、ブロードキャスト方式または

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科  
Graduate School of Information Science  
Nara Institute of Science and Technology

<sup>††</sup> 住友電気工業株式会社システムエレクトロニクス研究開発センター  
Systems & Electronics R&D Center, Sumitomo Electric Industries, Ltd.

オンデマンド方式で転送する。データの階層化の手法として、データの内容に基づいて、多くのユーザに共通して必要とされるデータと、ユーザによって要求の異なる個別のデータに分けることができる。例えば動画の場合は、前者が映像、後者が字幕や吹替えにあたる。そこで、共通のデータを高優先度の階層に、個別のデータを低優先度の階層になるようにデータを階層化し、高優先度の階層をブロードキャスト方式で、低優先度の階層をオンデマンド方式で転送することで、各々の通信メディアの問題点を補い、効率的な転送が可能となる。

本稿では、階層化されたデータを異なる通信メディアを用いて転送するためのデータ転送システムをモデル化し、設計する。また、1つのデータを異なる通信媒体で転送する際に生じる同期の問題についても議論している。さらに、ブロードキャスト方式とオンデマンド方式を併用する通信機構の基礎的な評価を行う。

## 2. 情報の階層化

情報を階層化することにより、品質は落ちるが一部の階層によって全体の概要を伝えることが可能となる。例えば、論文では、タイトルおよび章の見出しと本文に階層化できる。自分と関連する論文であれば、タイトルと章の見出しがあれば、その論文の概要を想像することができる。また、階層化することにより、必要な部分だけ取り寄せることも可能となり、元の情報に比べ、より柔軟な情報交換が可能となる。

情報を階層化する方法として、下位の階層が無ければ上位の階層が意味を持たない階層化と、下位の階層が無くてもある程度の情報を伝えることができる階層化が考えられる。前者の例として、前述の論文の例や画像や動画の階層化がある。例えば階層化された静止画フォーマットの一つであるプログレッシブJPEGでは、周波数成分により段階的に符号化されており、低い周波数成分だけで粗い画像を再生することができる。つまり、低い周波数成分を下位の階層、高い周波数成分を上位の階層に分けて通信し、それをクライアント側で合成することにより品質の高い画像が得られる。品質の低い画像で十分な場合、上位の階層を転送しなくすむ。

下位の階層が無くてもある程度の情報を伝えることができる階層化として、地図情報の階層化がある。地図データの場合は図1のように、縮尺や道路の種類などに応じて階層的に表現できる。詳細地図の有効範囲は非常に狭いので、ある地点の詳細地図を同時に必要とするユーザ数は少ない、といった特徴を持つ。

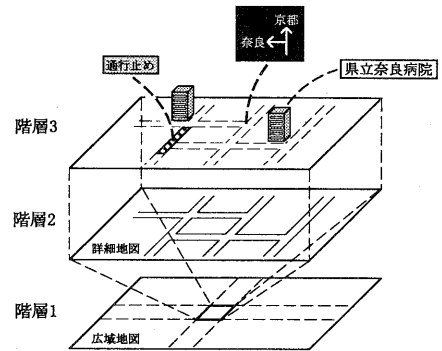


図1 地図データの階層化

Fig. 1 Layered Expression of Map Data

このように階層型データにおいて、下位の階層データはそれだけで上位のデータとして提供でき、それに低優先度の階層を差分または補足として追加することで、より品質の高いデータを構成することが可能である。

そこで本稿では、下位の階層は多くのユーザが必要とし、上位の階層はより高品質または狭域の詳細データを必要とするユーザのみが必要とすると考え、下位の階層をブロードキャスト方式で、上位の階層をオンデマンド方式で転送する方式を提案する。この方式を我々は併用方式と呼ぶ。3章では、併用方式を実現するためのデータ転送システムの設計を行う。

## 3. 階層型データの効率的転送システムの設計

### 3.1 異なるタイプの通信メディアを用いた転送方式

第2章で述べたように、情報は複数の階層に分けて表現することが可能であり、各階層はユーザから見て異なる特性を持つ。また、クライアントである移動計算機にサーバからデータを転送する場合、ブロードキャスト方式とオンデマンド方式があり、転送すべきデータとして、それぞれの特性に合ったデータが存在する。図2に提案する通信方式の概要を示す。ブロードキャストサーバは、多くのクライアントが必要とする基本階層を全クライアントに放送し(図中の濃い網掛けの四角)、各クライアントは必要に応じて上位階層をオンデマンドサーバに要求し、受信して(図中の淡い網掛けおよび白抜きの四角)、放送されたデータと合成する。

例えばカーナビで利用する地図情報の階層化の場合、広域地図はそのエリア内のすべてのクライアントが共通して必要とするので、基本階層にあたり、そのエリア内のより詳細な情報(交通情報や様々な施設に関する情報)はクライアントの位置や状況によって要求が

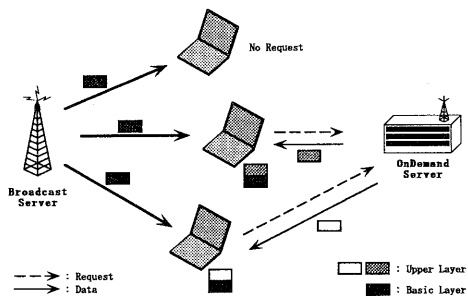


図2 データ転送の概要

Fig. 2 Overview of Hybrid Data Transmission System

異なるので、上位階層にあたる。またスポーツ中継では、動画を基本階層としてブロードキャスト方式で転送し、選手の記録などのより詳細な情報を、オンデマンド方式でクライアントが好みに応じて取得するという利用法が可能である。

### 3.2 同期

3.1節で述べた転送方式を実現するためには、ブロードキャスト方式で受信した階層とオンデマンド方式で受信した階層を、クライアントで再構成する必要がある。

ビデオ放送のようなアプリケーションでは、階層間で時間的同期の制約が厳しい。また、非ストリームデータを扱うアプリケーション、たとえばカーナビにおける地図情報などの場合、時間的同期に対する要求は厳しくないが、空間的同期、つまり同じ場所のデータを同期の基準とする。また、移動時は、進行方向のデータを使用する確率が高いので、そのデータの上位階層をオンデマンド方式で優先的に要求するなど、現在位置に加えて経路情報なども考慮しなければならない<sup>5)</sup>。

### 3.3 キャッシュ

同期を行なうために、受信したデータを蓄えるキャッシュシステムが必要である。

**ブロードキャスト方式におけるキャッシュ** ブロードキャスト方式においては、放送の待ち時間の影響を軽減するためのキャッシュが必要である。

**オンデマンド方式におけるキャッシュ** オンデマンド方式の場合、通信帯域が狭くて通信遅延が大きくなったり、多くのユーザがアクセスして通信できない場合が発生する。このため、要求が発生しても、これら通信遅延などにより、ブロードキャストされるデータと同期がとれない場合がある。この遅延を吸収するためにキャッシュが必要である。

### 3.4 システムの設計

図3にシステムモデルを示す。クライアントは大きく

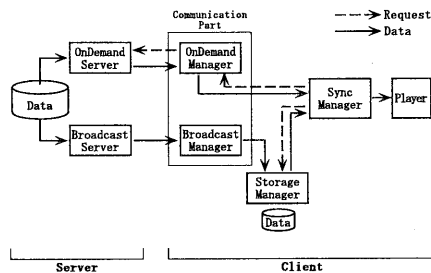


図3 システムモデル

Fig. 3 System Model

分けて、ブロードキャストとオンデマンドの両通信方式でデータを取得する通信部 (Communication Part)、得られたデータをローカルメディアに保存するストレージ管理部 (Storage Manager)、ブロードキャスト方式で送られる階層とオンデマンド方式で取得する階層の同期をとって合成する同期管理部 (Sync Manager) から構成される。以下、各部分を説明する。

#### 3.4.1 通信部

ブロードキャストおよびオンデマンドの通信メディアを利用して、実際にデータを受信する部分である。ブロードキャスト管理部 (Broadcast Manager) は、ブロードキャストサーバから受信したデータをストレージ管理部に渡す。

オンデマンド管理部 (OnDemand Manager) は、同期管理部からのデータの要求を受けとり、オンデマンドサーバにデータを要求し、受けとったデータを同期管理部に渡す。

#### 3.4.2 ストレージ管理部

ブロードキャスト管理部から渡されるデータから必要なデータを取り出し、ローカルメディアにキャッシュする。また、同期管理部からの要求によって、キャッシュしたデータを取り出して同期管理部に渡す。

ブロードキャストデータのキャッシュ管理と、オンデマンドデータのキャッシュ管理との大きな相違点は、ミスヒット時のペナルティである。オンデマンドデータを対象としたキャッシュシステムにおいては、キャッシュにないデータを得るためのコストは一定である。しかし、ブロードキャストデータは、キャッシュにない場合、次にそのデータが放送されるまで待たなければならないので、その待ち時間は一定ではない。この待ち時間を考慮したキャッシュアルゴリズムが必要となる。

#### 3.4.3 同期管理部

階層型データは1つのデータが複数の階層から構成されるので、各データについてブロードキャスト方式

表1 放送プログラム構成ファイルの例  
Table 1 Example of Broadcast Program

データ名	バケット数
A	100
B	200
C	100

とオンデマンド方式で転送されてきた階層をクライアントで合成する。対応する階層間の同期の方法はアプリケーション毎に異なる。このため、本システムにおいては、同期管理部はアプリケーションに応じて記述するようにする。

#### 4. 評価

本章では、提案している通信方式の評価を行なう。

##### 4.1 評価方法の検討

クライアントの移動、ブロードキャスト方式とオンデマンド方式の併用、階層型データを考慮すると、提案している通信方式の評価基準として、受信したデータの品質、データを取得するまでの待ち時間、スループット、などが挙げられる。データの品質に関してはアプリケーションにより評価が異なり、スループットはシステム管理者にとっては重要なファクターではあるが利用者によってはそれほど重要でないので、今回の実験では待ち時間のみ評価する。ここでの待ち時間は、データを必要とした時、そのデータが実際に得られるまでの時間で、ブロードキャストされるデータを取得するまでの待ち時間とオンデマンド通信での待ち時間の大きい方になる。

##### 4.2 実験環境

以下の環境で実験を行なった。

**ブロードキャストサーバ** 放送プログラムの構成を記述したファイル(表1)を読み込み、そのファイルで記述されている大きさのデータを順にブロードキャストする。これを無限に繰り返す。

**オンデマンドサーバ** クライアントから要求されたデータを転送する。複数の要求を同時に受けるようにする。

**クライアント** クライアントが必要とするデータは表2に示すように表の形で与える。クライアントにおける処理は、主にブロードキャストにより送られるデータを受信する部分と、オンデマンドで要求する部分に分かれる。各ユーザの要求を適当な生起間隔で発生させ、ユーザが要求する全てのデータを受け取るまでの時間を計測する。

ブロードキャストサーバとオンデマンドサーバは異なるイーサネットセグメントに接続され、クライアン

表2 クライアントの要求データ表  
Table 2 Clients' Request Table

	A	B	C	D	...
user_1	1	1	0	0	...
user_2	1	0	0	1	...
user_3	1	1	1	1	...
user_4	1	1	0	0	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表3 実験で用いたパラメータ  
Table 3 Parameters for Experiment

通信帯域	ブロードキャスト	10Mbps
	オンデマンド	10Mbps
	1つのデータの大きさ	70Kバイト
	総データ数	10, 20, 30
	生起間隔	約3秒
	1ユーザの平均データ要求数	6
	併用方式のブロードキャスト平均データ要求数	3

トは両方のセグメントに接続する。

##### 4.3 実験の条件

実験で用いたパラメータを表3に示す。要求データ表を作成するにあたり、全データをブロードキャストデータとオンデマンドデータに分離し、ブロードキャストデータが総データの20%になるようにした。各ユーザはそれぞれのデータ集合に対し、等確率で平均6個のデータにアクセスするようにした。総データ数が10個の場合は実際にブロードキャストされるデータは2個であるのに対して、ブロードキャストデータへの平均アクセス数が3個であるのであふれてしまう。このため、あふれたデータはオンデマンドで転送した。これはブロードキャストできるデータ数に制限のある場合に対応する。各ユーザは一連の要求(表2の1つの行にあたる)を、平均約3秒の生起間隔で10回繰り返す。実験では総データ数が10個、20個、30個についてユーザ数を変化させ、作成した要求データ表を用いて、ブロードキャストのみ、オンデマンドのみ、および併用方式で通信した場合の待ち時間を測定した。

##### 4.4 実験結果

実験結果を図4、図5、図6に示す。ブロードキャストのみで送信した結果では、平均待ち時間がユーザ数に依存しないので、ほぼ一定であることがわかる。待ち時間は総データ数に比例して長くなっており、これはデータ数の増加による放送周期の増加によるものである。

オンデマンドのみで送信した場合は、待ち時間がユーザ数の増加の影響を大きく受けていることがわかる。特にユーザ数が10人以上では増加が著しいが、これは使用帯域(ユーザ数が10人の場合、6×70KByte×

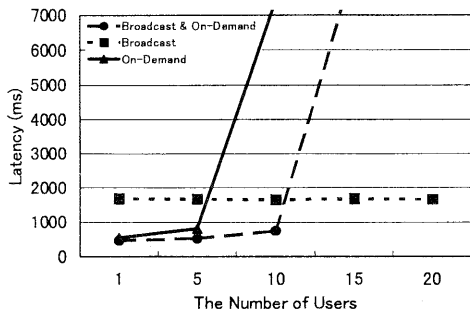


図4 総データ数10個の場合の待ち時間  
Fig. 4 The Number of Users vs. Latency Time with 10 Data Items

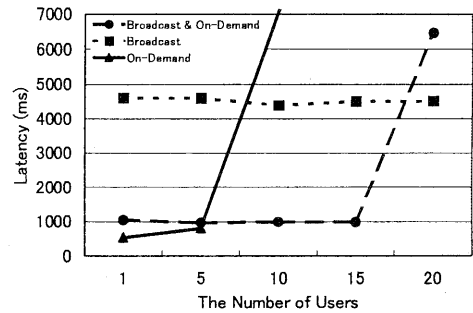


図6 総データ数30個の場合の待ち時間  
Fig. 6 The Number of Users vs. Latency Time with 30 Data Items

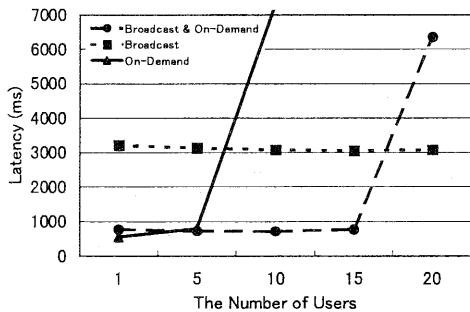


図5 総データ数20個の場合の待ち時間  
Fig. 5 The Number of Users vs. Latency Time with 20 Data Items

10 ÷ 3sec ≈ 10.9Mbps)が通信帯域を越えたのが原因である。また当然のことではあるが、今回の実験では各ユーザが取得するデータ数を総データ数に関係なく一定にしたので、オンデマンド方式では、総データ数の変化に影響されないことも確認できる。

併用方式では、オンデマンド方式に比べてユーザ数の増加の影響を受けにくいことがわかる。図6を例にとると、ユーザ数が5人まではオンデマンド方式の方が待ち時間が小さいが、ユーザ数がそれ以上になると併用方式の方が待ち時間が短くなっている。併用方式では、オンデマンド方式に比べオンデマンドで受け取るデータ数が少なくなり、この部分での待ち時間はオンデマンド方式より短くなる。これは、総データ数が10(図4)のユーザ数が5の場合に現れている。さらに、全てのグラフで現れているように、収容できるユーザ数もオンデマンド方式に比べ多くなっている。しかし、総データ数が20(図5)および(図6)においてユーザ数が少ない場合は、オンデマンド方式の待ち時間が短

くなっている。併用方式においては、ユーザ数が少ない場合、ブロードキャストされるデータの待ち時間が支配的になるためである。しかし、ブロードキャスト方式と比較すると、ブロードキャストするデータ数が格段に少ないので(今回の実験では、総データの20%)、この時間も格段に小さくなっている(図5, 図6)の平坦な部分)。しかし、ユーザ数が増加し、使用帯域がオンデマンドの通信帯域を越えるとオンデマンドでの待ち時間が急増し、こちらが支配的になる。また、総データ数が10個の場合においてネットワークが飽和する時のユーザ数が、総データ数が20個や30個の時に比べて少ないが、これは4.3節で述べたように、データの一部をブロードキャストできずにオンデマンドにより転送したため、オンデマンドデータが増加したことによるものである。これは、併用方式においては、ブロードキャストとオンデマンドで送信するデータの振り分けが重要であることを表す。ユーザ数が少ない場合の応答性を取るなら、オンデマンドで送信する部分を増やし、収容できるユーザ数を増やしたいのなら、ブロードキャストで送信する部分を増やすことになる。以上の結果から、併用方式はオンデマンド方式よりもスケーラビリティがあり、オンデマンド通信の帯域が飽和しない範囲では、ブロードキャスト方式よりも短い待ち時間が期待できることがわかる。

## 5. 関連研究

移動計算機にデータを提供する手段として、ブロードキャストを利用する様々な研究が行なわれている。Acharyaらはアイテム毎に放送周期を設定し、クライアントの平均待ち時間を短縮するモデルを提案しており<sup>6)</sup>、そのためのローカルキャッシュ管理ポリシーについて実装評価している。しかし、彼らが提案して

いる方式で利用しているアクセス確率は一般に不明であるため、実装は難しい。

ブロードキャスト方式とオンデマンド方式の組み合わせに関する研究として、Huらは、クライアントがデータにアクセスする時間を短縮するために、アクセス頻度の高いデータから順にローカルキャッシュ、ブロードキャストチャネル、プルベースサーバという3つの異なるメディアにストアするモデルを提案している<sup>7)</sup>。この方式は、1つのデータについては1つのメディアを通じて転送される点で本研究と異なる。

データを品質に応じて階層化し、メディアの転送能力に応じて最適な転送を行なう研究として、増田らは選択的マルチメディア通信方式SMAPを提案している<sup>4)</sup>。この方式では、データを優先度をもとに階層的に分割し、クライアント側において高優先度データをプリフェッチすることで、ネットワークの利用可能帯域が低下した場合や、バーストエラーの発生の際でも、プリフェッチしたデータを用いてデータの再生を可能としている。1つのネットワークのみ使用する点が本研究と異なる。

## 6. おわりに

以上、複数の通信メディアを利用した階層型データの効率的な転送システムの設計および複数の通信メディアを用いた通信方式の評価を行った。さらに、1つのデータを複数の通信メディアを用いて転送するときに問題になる同期に関しての議論を行った。また、2つの通信メディアを用いたデータの転送実験により、提案している通信方式の有効性が確認できた。

しかし、転送システムの基本的な構成の設計が済んだだけで、アプリケーションと転送システムとの役割分担や具体的な同期機構などは設計していない。今後の課題として以下が挙げられる。

- 転送システムの詳細設計
- 現実の通信環境を反映できる実験環境の構築  
今回の実験では、異なるイーサネットセグメントを用い、各通信方式に対して10Mbpsの帯域を与えた実験になっている。特にオンデマンドでは、ブロードキャストと同じく全体で10Mbpsを与えている。これは、データ放送に比べて利用可能帯域の狭い携帯電話やPHSを用いた通信をシミュレートできない。このため、サーバ側で単位時間あたりのデータの転送量を制限したり、同時にアクセスできるユーザ数を制限するなどの機能を持ったシミュレーション環境が必要である。
- 現実の通信を考慮した実験

今回の実験では、階層間の同期などは扱っていない。アプリケーションによっては、同期のコストがボトルネックになる可能性がある。また、時間切れになったデータ転送の中断、バッファリングやキャッシュを考慮したデータ転送実験などを行う必要がある。

### ● アクセスモデルの検討

単純に両通信方式の帯域を考慮してデータの転送を分けるのではなく、データの共有性に着眼して、それぞれの通信方式に見合ったデータを転送することが、本研究の主たる目的である。そのため、実際のアプリケーションを考慮した様々なアクセスモデルを用意し、本システムがどういったモデルで有用であるか、また有用でないモデルは何かを、今後の評価に反映していきたい。

## 参考文献

- 1) INTAP: 携帯電話, PHSを使用したデータ通信, <http://www.intap.or.jp/INTAP/information/seminar/mobile1/index.htm>
- 2) 郵政省: 2.6GHz帯の電波を使用する衛星デジタル音声放送システムの技術的条件, 郵政省報道発表資料, <http://www.mpt.go.jp/pressrelease/japanese/housou/990721j701.html> (1999).
- 3) 郵政省: 地上デジタル放送懇談会 報告書, 郵政省報道発表資料, <http://www.mpt.go.jp/pressrelease/japanese/housou/981026d701.html> (1998).
- 4) 増田彰久, 太田賢, 水野忠則: 選択的マルチメディア通信方式 SMAP ネットワークサービスの実装, 情報処理学会モバイル研究会研究報告, Vol.98, No.53, pp.55-62 (1998).
- 5) Sato, K., Saisho, K., and Fukuda, A.: A Cache System of Location Dependent Data for a Mobile Computer with Mobility Specification, Proc. 1999 Int'l Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications(PDP'99), Vol.2, pp.977-983 (1999).
- 6) Acharya, S., Alonso, R., Franklin, M., and Zdonik, S.: Broadcast Disks: Data Management for Asymmetric Communication Environments, Proc. ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data, Vol.24, No.2, pp.199-210 (1995).
- 7) Hu, Q., Lee, D. L., and Lee, W.-C.: Performance Evaluation of a Wireless Hierarchical Data Dissemination System, Proc. 5th Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking(MobiCom'99), pp.163-173 (1999).