

ユビキタスコンピューティング環境における キャッシュを考慮したデータ出力端末選択方式

上向 俊晃[†] 原 隆浩[‡] 西尾 章治郎[‡]

[†] 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

[‡] 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻

E-mail: [†]uemukai@ise.eng.osaka-u.ac.jp [‡]{hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

筆者らはこれまでに、ユビキタスコンピューティング環境内に設置されたデータ出力端末を利用して、モバイルユーザに情報提供する場合、モバイルユーザの要求に応じたデータおよびそれを出力する端末を選択する方式を提案している。しかし、これまでの方式では、各データ出力端末が保持するキャッシュを利用するにあたって、詳細な動作を定義していなかった。そこで、本稿では、より多くのユーザが要求に応じたデータを視聴できることを目的として、各データ出力端末が保持するキャッシュを考慮した選択方式を提案する。さらに、本稿では、シミュレーション評価により提案方式の有効性を示す。

A Terminal Selection Method Considering Cache in a Ubiquitous Computing Environment

Toshiaki UEMUKAI[†]

Takahiro HARA[‡]

Shojiro NISHIO[‡]

[†]Dept. of Information Systems Eng., Graduate School of Eng., Osaka University

[‡]Dept. of Multimedia Eng., Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Assuming a ubiquitous computing environment in which mobile users get information from output terminals, we have proposed a method for selecting an appropriate data and its output terminal based on requests from mobile users. However, in this method, the behavior of cache in each output terminal is not defined. In this paper, we extend our previous method to consider caches in output terminals so that a larger number of mobile users can listen or watch the requesting data. Moreover, we show the effectiveness of our extended method by simulation experiments.

1 はじめに

近年のコンピュータ技術、および、ネットワーク技術の発展により、ユビキタスコンピューティング環境に対する注目が高まっている [1, 4]。ユビキタスコンピューティング環境では、生活空間のいたるところにコンピュータ（ユビキタス端末）が存在し、だれでも自由にそのコンピュータを利用することができる。また、近年のコンピュータ技術の発展により、携帯電話は高機能化が進み、手のひらサイズのコンピュータとして認められつつある。ユビキタスコンピューティング環境では、携帯電話をはじめとするモバイル端末を持つユーザは、BluetoothやIrDAなどの無線通信技術を利用することにより、あらゆるユビキタス端末と通信することができる。

しかし、一般的に携帯電話は小型であることが要求されるため、その機能やディスプレイの大きさには限度がある。つまり、ユーザが携帯電話を利用して得られる情報には限度がある。そこで、ユビキタスコンピューティング環境では、ユーザが携帯電話を用いて、趣味や嗜好に応じて情報を要求すると、携帯電話よりも高性能なユビキタス端末を用いて、その情報を提供することが有益である [2]。例えば、

ショッピングセンターにおいて、店頭を設置した大型ディスプレイを利用して、店の広告や商品情報など、ユーザにとって有益な情報を映像として提供するサービスが考えられる。

ここで、ユビキタスコンピューティング環境に集まるユーザの要求はさまざまであるため、一つのユビキタス端末から提供される情報に満足できるユーザもいれば、満足できないユーザもいる。また、各ユビキタス端末の性能もさまざまであるため、一つのユビキタス端末が提供できる情報も限定される。したがって、ユーザの要求に基づいて情報提供を行う場合、ユビキタス端末から出力する情報（データ）を適切に選択することが必要である。

これまでに筆者らは、このような環境において、ユーザの要求するデータとそれに対する興味度、および、環境内の全データ出力端末の性能やデータの出力状況を考慮することにより、ユーザに対して提供するデータとその出力端末を動的に選択する方式を提案している [3]。しかし、この方式では、各ユビキタス端末が保持するキャッシュを利用するにあたって、詳細な動作を定義していなかった。

そこで、本稿では、全データ出力端末が保持する

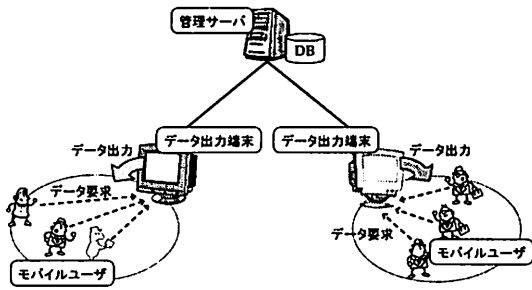


図 1: 想定環境

キャッシュを考慮し、ユーザからのデータ要求に応じて、各データ出力端末から出力するデータおよびその出力端末を選択する方式を提案する。

以下では、2章で、本稿で想定するユビキタスコンピューティング環境について述べ、3章で、これまでに筆者らが提案した選択方式について述べる。4章では提案方式について述べ、5章ではシミュレーション評価の結果を示す。最後に6章で、本稿のまとめを行う。

2 想定環境

本稿で想定するユビキタスコンピューティング環境の概念図を図1に示す。このユビキタスコンピューティング環境では、さまざまな性能をもつデータ出力端末がいたるところに設置されており、管理サーバが全データ出力端末の動作を統括する。また、管理サーバが管理するデータベースに蓄積されている各データは、一意なキーワードが付与され、音声や動画などの種類に応じて分類される。管理サーバは、各データ出力端末に対して、要求されたデータをデータベースから配送する。ここで、各データ出力端末もデータと同様に分類される。例えば、スピーカーなどのデータ出力端末は音声のみを含むデータを、テレビなどのデータ出力端末は音声と映像を含むデータを出力する。各データ出力端末がデータを出力できるのは、その種類が一致し、他のデータを出力中でも受信中でもないときのみとする。

移動体 (モバイルユーザ) は、データに対応するキーワードと、そのデータへの興味度を含む要求メッセージを定期的送信することにより、データを要求する。

各データ出力端末は、無線通信圏内に存在する移動体が送信する要求メッセージを受信することにより、その時点で要求されているデータに関する情報を把握し、それに基づいて管理サーバに対してデータの配送を要求する。管理サーバからデータを受信したデータ出力端末は、移動体に対してデータを出力すると同時に、そのデータに関する情報である出

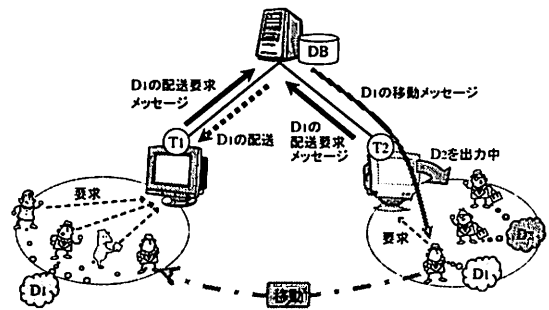


図 2: 動的選択方式の概要図

カメッセージを放送する。

移動体は、データ出力端末から放送される出力メッセージを受信することにより、その時点で出力されているデータに関する情報を把握できる。

ここで、データには、サイズが大きいマルチメディアデータも含まれること、管理サーバと各データ出力端末間の通信は、有線だけでなく無線でも行われることを想定すると、データベースから各データ出力端末にデータを配送する際にかかる時間は非常に大きくなる場合がある。そこで、各データ出力端末は、管理サーバから配送されるデータを一旦蓄積するために、データ量1つ分のバッファを保持しているものとする。データの配送が完了した時点で、データ出力端末は、バッファからデータの出力を開始する。また、データ出力端末の中には、キャッシュをもつものが存在するとする。管理サーバと各データ出力端末間、移動体とデータ出力端末間で送受信される各種メッセージについては、送受信にかかる時間は無視できるものとする。

3 データ出力端末動的選択方式

本章では、これまでに筆者らが提案した動的選択方式 (DSM: Dynamic Selection Method) について説明する。図2にその概要図を示す。DSMは、各データ出力端末のキャッシュは考慮していない。

3.1 出力データの選択

各データ出力端末は、無線通信圏内に存在する移動体が送信する要求メッセージから、要求されているデータと、それに対する興味度の和を求め、さらに、各データ出力端末は、管理サーバに対して、その興味度の大きいデータから順番に配送要求メッセージを送信し、データの配送を要求する。

次に、全データ出力端末から配送要求メッセージを受信した管理サーバは、その中から興味度が最大のデータを選択する。本稿では、配送するデータを要求していたデータ出力端末を要求元端末と呼ぶ。

3.2 データ出力端末の選択

管理サーバは、前節において選択したデータを配送する。本稿では、データを配送するデータ出力端末を配送先端末と呼ぶ。

ここで、2章で述べたように、管理サーバから配送先端末へデータを配送するには非常に時間がかかると考えられる。また、要求元端末が配送先端末であり、要求元端末がすでに他のデータを出力もしくは配送している場合、すでに出力もしくは配送しているデータの出力が終了し、現在要求されているデータの配送が終了するまで、出力を開始できない。つまり、移動体は、現在要求しているデータを視聴するまでに非常に時間がかかる。例えば、図2では、すでにデータ D_2 を出力しているデータ出力端末 T_2 において、データ D_1 を要求する移動体は、データ D_2 の出力が終了し、データ D_1 の出力が開始されるまで、データ D_1 を視聴できない。

そこで、DSMでは、以下の条件を満たす配送先端末を全データ出力端末の中から選択する。

1. データの種類と、配送先端末が出力可能なデータの種類が一致する。
2. データを受信中ではない。
3. データを出力中ではない。
4. データを配送している間に、データを要求していた移動体が、移動メッセージに従って配送先端末まで移動し、データの出力が開始されるよりも早く移動を完了できる。

このようにして配送先端末を選択できた管理サーバは、要求元端末を介して、配送するデータを要求していた移動体に対して、配送先端末とそのデータに関する情報を含む移動メッセージを放送する。

ただし、複数のデータ出力端末が条件を満たす場合は、条件4で、データの配送時間と移動体の移動時間の差が最も小さいものを選択する。また、ある要求元端末に対する配送先端末が検索できなかった場合、その要求元端末に対して、次に大きい興味度を示すデータに関する情報を再送させる。このような選択処理を、全データ出力端末からのデータの配送要求がなくなるまで繰り返す。

3.3 データの配送

管理サーバは、前節で選択された配送先端末に対して、データを配送すると同時に、そのデータに関する情報を含む配送メッセージを送信する。

3.4 データの出力

配送先端末は、管理サーバから配送されるデータを一旦バッファに蓄積し、データの配送が完了する

と同時に、データの出力を開始する。さらに、移動体に対して、データの出力が終了するまで出力メッセージを放送する。

3.5 移動体の動作

移動体は、要求するデータに対応する移動メッセージを受信した場合、それに含まれる配送先端末に向かって移動する。また、要求するデータに対応する出力メッセージを受信した移動体は、要求するデータが出力されていることを認識する。

このように、DSMでは、移動体の要求に対して、移動メッセージを放送することで、データの配送先端末を通知し、移動体が要求するデータを確実に視聴できるように誘導する。これにより、一つのデータ出力端末が出力するデータを視聴できる移動体は多くなる。ショッピングセンターやテーマパーク内のユビキタスコンピューティング環境では、離れた場所に設置されたデータ出力端末まで移動させられたとしても、貴重なイベント情報などを取得することの方が重要性が高い場合も多いため、このようなアプローチの有効性は高いものと考えられる。

4 キャッシュを考慮した選択方式

本稿では、DSMを拡張し、各データ出力端末のキャッシュを考慮した選択方式 (DSM-C: DSM with cache) を提案する。DSM-Cで定義する各メッセージの詳細を表1に示す。表中のIDは識別子を表し、KEYはキーワードを表す。

2節で述べた想定環境に加えて、DSM-Cでは、各データ出力端末は、キャッシュと出力キューを保持するものとする。キャッシュは、出力が終了したデータを一時的に保存しておくためのものであり、出力キューは、これから出力するデータのリストを保持しておくためのものである。また、管理サーバは、各データ出力端末が保持するキャッシュ内のデータ、および、出力キュー内のデータについては常に把握できているものとする。

各データ出力端末は、データを出力中でも受信中でもない場合、出力キューの先頭にあるデータから順番に出力する。このとき、自身のキャッシュにそのデータを保持している場合は、管理サーバから配送してもらうことなく、即座に出力を開始する。保持していない場合は、管理サーバからデータを配送してもらい、データの配送が完了した時点で、データの出力を開始する。

4.1 出力データの選択

DSMと同様に、各データ出力端末は、移動体から受信した要求メッセージを集計し、要求されてい

表 1: 各メッセージの要素

要求メッセージ	KEY, 興味度
配送要求メッセージ	データ出力端末 ID, KEY, 興味度
再選択メッセージ	データ出力端末 ID, KEY
配送メッセージ	配送先端末 ID, KEY, 興味度, タイムスタンプ
移動メッセージ	要求元端末 ID, KEY, 配送先端末 ID, タイムスタンプ
出力メッセージ	データ出力端末 ID, KEY, データの全出力時間, 残り出力時間, タイムスタンプ
キュー更新メッセージ	配送先端末 ID, KEY, 興味度

るデータと、それに対する興味度の和を求める。さらに、各データ出力端末は、管理サーバに対して、その興味度の大きいものから順番に、配送要求メッセージを送信し、データの配送を要求する。

次に、全データ出力端末から配送要求メッセージを受信した管理サーバは、その中から興味度が最大のデータを選択する。

4.2 データ出力端末の選択

管理サーバは、前節において、要求元端末から配送要求されたデータ（配送要求データ）の配送先端末を全データ出力端末の中から選択する。

ここで、管理サーバは、各データ出力端末がすでに出力したデータを含むキャッシュ、および、これから出力するデータを含む出力キューを常に把握していることから、以下の条件を満たす配送先端末を全データ出力端末の中から選択する。

1. データの種類と、配送先端末が出力可能なデータの種類が一致する。
2. 出力キューに追加可能である。ただし、配送要求データが出力キュー内に存在する場合は、新たに追加する必要はない。
3. データを要求していた移動体が、移動メッセージに従って配送先端末まで移動し、データの出力が開始されるよりも早く移動が完了できる。

図 3 に例を示す。管理サーバは、データ D_6 の配送先端末を検索している。また、データ出力端末 T は、データ D_3 を出力中であり、その後出力されるデータのリストである出力キューにはデータ D_1 と D_2 が挿入されている。さらに、端末 T のキャッシュには、データ D_7 が保存されている。このとき、データ D_6 を出力可能な端末 T の出力キューには空きがあるので、条件 1 および 2 を満たす。さらに、条件 3 について、データ D_6 が端末 T から出力開始されるまでの時間 t_0 は、「出力中のデータ D_3 の出力が終了するまでの時間」, 「出力キューにすでに存在するデータ D_1, D_2 の配送時間と出力時間の和」, および、「データ D_6 の配送時間」の総和で

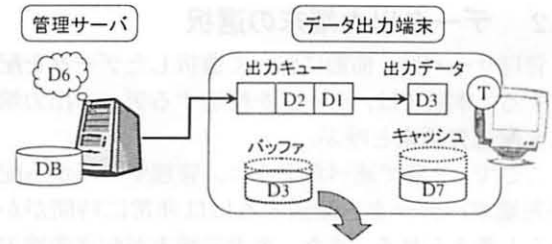


図 3: 提案方式の概要

求められる。もしデータ D_6 および出力キュー内のデータが端末 T のキャッシュに存在する場合は、その配送時間は 0 となる。

このようにして配送先端末を選択した管理サーバは、配送先端末に対して、出力キューに追加するデータに関する情報を含むキュー更新メッセージを送信する。これを受信した配送先端末は、そのデータを出力キューに追加する。また、管理サーバは、要求元端末を介して、配送するデータを要求していた移動体に対して、移動メッセージを放送する。

ただし、複数のデータ出力端末が条件を満たす場合は、条件 3 で、データが出力されるまでの時間と移動体の移動時間の差が最も小さいものを選択する。また、ある要求元端末に対する配送先端末が検索できなかった場合、その要求元端末に対して、次に大きい興味度を示すデータに関する情報を再送させる。このような選択処理を、全データ出力端末からのデータの配送要求がなくなるまで繰り返す。

4.3 データの配送

4.1 節で述べたように、管理サーバは、各データ出力端末がデータを出力中でも受信中でもない場合、かつ、出力キューの先頭にあるデータが自身のキャッシュに存在しない場合、データを配送すると同時に、配送メッセージを送信する。

4.4 データの出力

データ出力端末は、データを出力中でも受信中でもない場合、出力キューの先頭にあるデータから順番に出力する。このとき、自身のキャッシュにそのデータを保持している場合は、即座に出力を開始する。しかし、保持していない場合は、管理サーバから配送されるデータを一旦バッファに蓄積し、配送が完了すると同時に、出力を開始する。さらに、無線通信圏内に存在する移動体に対して、データの出力が終了するまで出力メッセージを放送する。

4.5 キャッシュの動作

データ出力端末は、出力が終了したデータを自身のキャッシュに順次挿入する。しかし、キャッシュサイズを超える場合は、挿入するデータとキャッシュ

内の全データに対する興味度を比較し、より値の小さい方を破棄する。ただし、キャッシュ内のデータが出力キュー内に存在する場合、それを破棄しない。

4.6 移動体の動作

移動体は、要求するデータに対応する移動メッセージを受信した場合、それに含まれる配送先端末に向かって移動する。また、要求するデータに対応する出力メッセージを受信した移動体は、要求するデータが出力されていることを認識する。

このように、DSM-Cでは、DSMと同様に、移動メッセージを放送することで、データの配送先端末を通知し、移動体が要求するデータを確実に視聴できるように誘導する。さらに、各データ出力端末が保持する出力キューとキャッシュ内のデータを考慮して移動メッセージを放送することにより、より多くの移動体を誘導することができる。

5 評価

本章では、本稿で提案したデータ出力端末選択方式DSM-Cの有効性を評価するために行ったシミュレーション実験について説明する。

5.1 シミュレーション環境

50 [m]×50 [m]の二次元平面上に、20台のデータ出力端末を格子状に配置する。管理サーバは、4つの種類（音声A、音声B、動画C、動画D）のいずれかに属する200個のデータを含むデータベースを管理する。シミュレーション実験では、各種類に属するデータを50個ずつ用意し、簡単化のため、各種類に対してそれぞれのサイズを1, 10, 10, 20 [MB]とし、全データの出力時間を等しく60 [秒]とした。また、管理サーバ上のデータベースから各データ出力端末にデータを配送する際の帯域幅は、音声データを出力できるデータ出力端末については1.0 [Mbps]、動画データを出力できるデータ出力端末については10.0 [Mbps]とした。さらに、データ出力端末と移動体の無線通信範囲はともに7 [m]とし、各データ出力端末は50 [秒]ごとに移動体の要求メッセージを集計する。なお、各データ出力端末のキャッシュと出力キューには、ともに10個分のデータを挿入できるものとする。

移動体数を50台とし、各移動体は領域内をランダムウェイポイントに基づいて移動する。ただし、移動速度の最大値は1.0[m/秒]、移動目標はデータ出力端末とする。この移動目標は、要求するデータの種類と同じデータ出力端末の中からランダムに決定する。ただし、要求するデータに対応する移動メッセージを受信したときには、即座に移動目標を

移動メッセージ内の配送先端末に設定し直し、それに向かって移動する。

また、各移動体は、全データに対する興味度を、最大値を1としてランダムに設定しており、その興味度に基づいて要求データを選択し、要求メッセージを送信する。この送信間隔は、5 [秒]とした。さらに、要求メッセージに対応するデータに関する出力メッセージを受信した移動体は、そのデータを全出力時間の80%以上の時間だけ視聴できるかどうか判断する。視聴できると判断した移動体は、データの出力（視聴）が終了するまでその場に停止する。その後、要求メッセージと移動目標を新たに設定し、移動を再開する。

ここで、移動体は、移動目標に到着しても、要求するデータに関する出力メッセージを受信できない場合、その場に停止し、データが出力されるのを待つ。しかし、最大待ち時間だけ停止しても、データが出力されない場合は、要求メッセージと移動目標を新たに設定し、移動を再開する。ただし、移動メッセージを受信している移動体については、最大待ち時間に関係なくデータが出力されるまで待つ。

以上のシミュレーション環境において、シミュレーションの実行時間を5,000,000 [秒]とし、最大待ち時間を変化させたときのデータ要求成功率とトラフィック量の影響について調べた。

データ要求成功率：移動体がデータを要求した総数に対する、その要求が成功した回数を表す。ここで、「要求が成功した」とは、移動体が、要求するデータの全出力時間の80%以上の時間、そのデータを視聴できたことを示す。ショッピングセンターやテーマパークなどのユビキタス環境の例では、イベント情報の80%程度視聴できれば、ほぼ全体の内容を把握できる場合が多いため、このような定義は妥当と考える。

トラフィック量：管理サーバとデータ出力端末間で送受信されるデータ以外の各メッセージの数に、それぞれの要素数をかけた値の総和を表す。

5.2 比較対象

提案方式の比較対象として、従来のDSM方式以外にも、以下の2つの方式について同様のシミュレーション実験を行った。両方式において、移動体の動作は、移動メッセージによる動作がない以外、提案方式と同様である。データ出力端末と管理サーバの動作を以下に示す。

周期的選択方式 (CSM: Cyclic Selection Method)

CSMでは、各データ出力端末は、移動体からの要求メッセージに関係なく、自身が出力可能

な 50 個のデータを周期的かつ連続的に出力する。したがって、各データ出力端末と管理サーバとの間での各メッセージの送受信は行われない。

逐次的選択方式 (SSM-C: Successive Selection Method with Cache)

SSM-Cは、要求元端末から配送要求されたデータの配送先端末が、常に要求元端末となる点を除いて、提案方式と同様である。

5.3 評価結果

実験結果を図 4, 5 に示す。各図において、横軸は最大待ち時間、縦軸はそれぞれの評価項目を表す。

図 4 の結果から、常に、提案方式が最も高い成功率を示している。これは、移動メッセージに従って移動することで、確実に要求するデータを視聴できるためである。また、提案方式は、各データ出力端末のキャッシュおよび出力キュー内の情報を利用することで、DSM と比較してより多くの移動メッセージを放送することができるため、成功率をより向上させている。さらに、最大待ち時間が大きくなると、すべての方式において、成功率が高くなる。これは、移動体が移動目標に到達し、データが出力されるのを待っているだけでも、要求するデータを視聴できる可能性が高くなるためである。

図 5 の結果から、提案方式は、DSM や SSM-C と比較して、トラフィック量が減少している。これは、提案方式では、配送先端末を決定する際、各データ出力端末の出力キュー内の情報を利用することで、再選択メッセージおよび再送される配送要求メッセージの数が大幅に減少しているためである。

6 まとめ

本稿では、データ出力端末を利用して移動体に情報提供するユビキタスコンピューティング環境を想定し、データ出力端末のキャッシュを考慮したデータ出力端末選択方式を提案した。提案方式により、性能の異なるデータ出力端末が存在するユビキタスコンピューティング環境において、より多くの移動体にとって適切なデータを出力できる。さらに、本稿では、シミュレーション評価により、提案方式の有効性を確認した。

今後は、移動体に対して放送する移動メッセージを作成する際に、移動体のデータへのアクセス特性や移動履歴などを考慮する予定である。

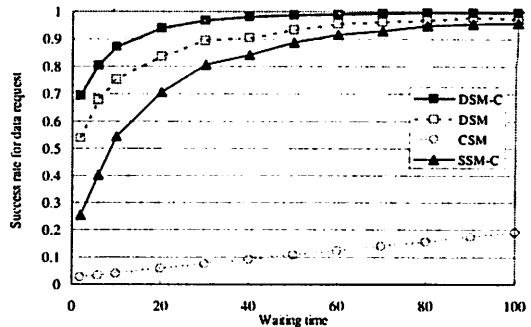


図 4: 最大待ち時間とデータ要求成功率

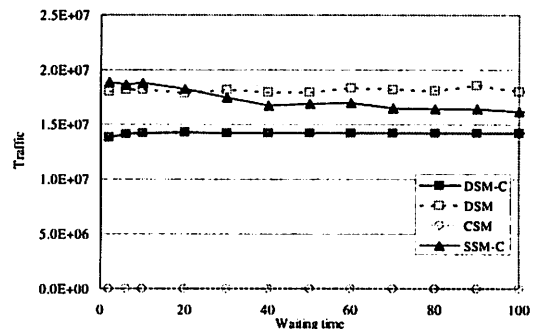


図 5: 最大待ち時間とトラフィック量

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学技術振興調整費「モバイル環境向 P2P 型情報共有基盤の確立」、文部科学省 21 世紀 COE プログラム（研究拠点形成費補助金）、および日本学術振興会特定領域研究 (15017262) の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] C. Lee and C.C. Chen: "A data delivery strategy in ubiquitous computing systems," *Proc. International Conference On Database Systems For Advanced Applications (DASFFA)*, pp. 210-217 (Apr. 2001).
- [2] T.L. Pham, G. Schneider, and S. Goose: "A situated computing framework for mobile and ubiquitous multimedia access using small screen and composite devices," *Proc. ACM International Conference on Multimedia*, pp. 323-331 (Oct. 2000).
- [3] 上向俊晃, 原 隆浩, 西尾章治郎: "ユビキタスコンピューティング環境におけるデータ配送のためのデータ出力端末選択方式," 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 135-140 (Oct. 2002).
- [4] M. Weiser: "The computer for the twenty-first century," *Scientific American*, Vol. 265, No. 3, pp. 94-104 (Sep. 1991).