

移動計算機からマルチメディア情報を効率的に提供する ツールキット WOR の設計と実装

田頭 茂明[†], 最所 圭三[†], 福田 晃[†]

マルチメディアサービスを効率的に提供できる情報発信ツールキット WOR を提案する。従来開発した情報発信 Toolkit では、SMH (System Management Host) と呼ぶ固定ホストを必ず中継する冗長な経路が問題となり、品質の良いマルチメディアサービスを提供できない可能性がある。そこで情報発信ツールキット WOR では、従来の情報発信 Toolkit を拡張し、この問題を解決する情報発信方式を実現する。WOR における情報発信方式は、組織ごとのネットワークに SMH を置くモデルを想定し、経路をできる限り最短にする接続先の SMH を利用する。さらに、接続先の SMH を利用するだけでなく、発信するサービスに応じて移動計算機の所属する SMH と接続先の SMH を併用する。本論文では、WOR の設計を示し、そのプロトタイプシステムの実装について述べる。また、WOR を利用して、WWW を用いた移動計算機からの情報発信システムの構築例について述べ、移動計算機環境に対応したアプリケーションを容易に構築できることを示す。さらに WOR を用いることで情報発信における通信効率向上をすることを実験により示す。

Design and Implementation of Toolkit WOR for Providing Multimedia Information Efficiently from Mobile Computers

SHIGEAKI TAGASHIRA,[†] KEIZO SAISHO[†] and AKIRA FUKUDA[†]

We built and implemented an information announcement toolkit for mobile computers which can adapt a wide variety of network applications to the mobile environment smoothly and easily. The toolkit, however, generates high latency because communication for services from mobile computers is always routed through a stationary host, Home SMH (System Management Host), which administrates them. In the case of providing a multimedia service such as announcing video and sound, the problem makes the service low quality. In this paper, the extended toolkit WOR is proposed for efficient providing multimedia services in order to solve the problem. WOR assumes that SMHs are located at every network domain. A mobile computer can use not only its Home SMH but also a neighboring SMH. By using WOR, a mobile computer can provide services through suitable SMH for a type of services. In this paper, design and implementation of WOR are described. Moreover, we show that an application can be constructed very easily and multimedia information can be provided efficiently.

1. はじめに

現在、携帯できる計算機（移動計算機）を用いて任意の場所で様々な情報を取得、編集することが可能となっている。たとえば、移動計算機を用いて、文章の

作成、デジタルカメラで撮影した写真や映像の取り込み、個人のスケジュール管理や、メモの記録などが移動先で可能である。さらに、大容量記憶装置を持つ移動計算機においては、これらの情報を大量に保持することができる。このように移動計算機は、最新の個人情報を持つ、個人用途の計算機として広く用いられている。

一方、移動計算機を取り巻くネットワーク環境も変化し、様々な通信媒体を用いて移動先でネットワークと接続できるようになっている。移動計算機に関するネットワークの研究は、移動先からのネットワークを利用した情報取得に関するものが多い。しかしながら、情報取得ならびに情報編集の現場である移動先において、最新の個人情報を直接ユーザに提供することが可

[†] 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
現在、広島大学工学部第2類（電気系）
Presently with Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering, Hiroshima University
現在、香川大学工学部信頼性情報システム工学科
Presently with Department of Reliability-based Infor-
mation Systems Engineering, Faculty of Engineering,
Kagawa University

能となっており、移動計算機を含む分散環境において移動先での情報発信も重要な検討課題である。

移動計算機から情報を発信する場合、接続先での移動計算機の位置とネットワークとの接続の状態を管理する必要がある。固定計算機を対象にしたアプリケーションは、これらの管理機構を持たないために、移動計算機環境での情報発信が困難である。

移動計算機環境で情報発信を可能にするために、我々は、移動計算機を考慮していない種々のアプリケーションを、移動計算機情報発信環境へ柔軟かつ容易に適応させる情報発信 Toolkit を構築した¹⁾。本 Toolkit では、以下の機構をアプリケーションに提供する。

- (1) 接続や分断等の様々なネットワークとの接続の状態においてサービスを安定して提供する機構
- (2) ネットワーク帯域に応じて情報発信を制御し、優先度に応じて情報を発信する機構
- (3) 発信する情報や環境に応じた移動計算機環境における柔軟な通信方式を実現する機構

本 Toolkit を用いたシステムでは、移動計算機の通信や状態を管理するために、SMH (System Management Host) と呼ぶ固定ホストへ、移動計算機の通信を必ず中継する。SMH は、移動計算機の所属する組織のネットワークに存在する。このため移動計算機が、所属するネットワークとは通信上離れた場所に存在し、移動計算機の情報取得するクライアントが移動計算機の近隣に存在する場合、情報発信のための通信経路は冗長になる。このように、任意の接続先からの情報発信を考慮していないため、接続先によっては大きな遅延が発生するなどの通信効率が悪くなる可能性がある。画像や音声などの実時間データを扱うマルチメディアサービスを提供するアプリケーションでは、この問題が深刻となる。

この問題を解決するために、情報発信 Toolkit を拡張し、任意の場所から、マルチメディアサービスを効率的に提供できる情報発信ツールキット WOR を提案する。具体的には、組織ごとのネットワークに SMH を置くモデルを考え、移動計算機は接続先の SMH を利用することで、できる限り経路を最適化する。さらに、接続先の SMH だけを利用するのではなく、マルチメディアサービスを考慮し発信するサービスの種類に応じて、移動計算機の所属する SMH を利用する方式と接続先の SMH を利用する方式を併用する。

サービスの種類は、蓄積型と非蓄積型という側面から分類できる。蓄積型の例としては、文章や写真などのデータがある。また非蓄積型の例としては、ライブで通信する音声や動画がある。発信するサービスが蓄

積型の場合、発信する情報をキャッシュする方式を選択し、移動計算機との通信量を削減できる。また、非蓄積型においては、キャッシュする意味がないので、遅延を少なくして情報を提供する方式を選択できる。このように、WOR ではサービスに応じた情報発信方式を実現する枠組みを提供する。

本論文では、WOR の設計を示し、そのプロトタイプの実装について述べる。WOR を利用して、WWW を用いた移動計算機からの情報発信システムの構築例について述べ、移動計算機環境に対応したアプリケーションを容易に構築できることを示す。さらに WOR を用いることで移動計算機からの通信効率が向上することを示す。

2. 情報発信 Toolkit の概要と問題

本章では、従来の情報発信 Toolkit の概要を述べ、移動先での情報発信における問題について述べる。

2.1 情報発信 Toolkit の概要

固定計算機を対象としたネットワークアプリケーションは数多く存在する。しかし、これらはネットワーク帯域の狭さや、ネットワークから分断する等の移動計算機特有の問題のために、そのまま移動計算機環境で用いることができない。さらにこれらアプリケーションの中には、バイナリで配布され修正できないものが存在する。このため、既存の固定計算機を対象に作成されたアプリケーションを、そのまま移動計算機環境で利用できる環境が望まれている。

以上のことから、移動計算機を考慮していない種々のアプリケーションを移動計算機環境に適用し、移動計算機上でサーバアプリケーションを稼働させ、情報を発信できるようにするシステムを提供する。具体的には、移動計算機情報発信環境へ柔軟に対応させるための枠組みである情報発信 Toolkit により実現する。情報発信 Toolkit は、既存のネットワークアプリケーションと協調することで、移動計算機からの情報発信システムを実現する。

様々なアプリケーションを移動計算機から情報発信可能にするために、情報発信 Toolkit では、以下の機能をアプリケーションに提供する。詳細は、文献 1) を参照されたい。

- (1) 移動計算機の接続や分断等のネットワークとの接続の状態を管理する機構
- (2) 移動計算機の様々なネットワークとの接続の状態に対処する機構
- (3) 移動計算機の通信帯域を有効利用するために、移動計算機環境に最適な通信方式を実現する機構

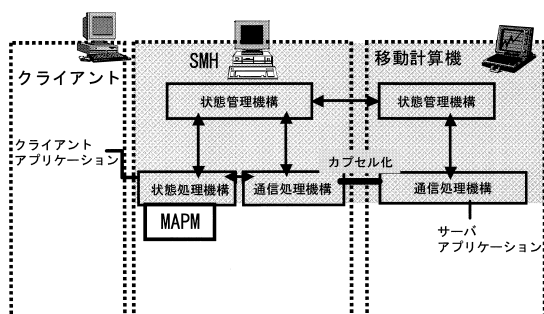


図1 情報発信 Toolkit の構成

Fig. 1 Design of information announcement Toolkit.

(4) 移動計算機からの過度の情報発信を避けるために、複数のアプリケーションからの同時発信を制御する機構

以上の機構をアプリケーションに提供し、移動計算機環境における情報発信を可能にする。

2.2 情報発信 Toolkit の構成

情報発信 Toolkit は、ネットワークの接続の状態を考慮し、2.1 節で述べた機構を実現する枠組みをアプリケーションに提供するシステムソフトウェアである。アプリケーション開発者は、分断状態などの様々なネットワークとの接続の状態に対処する処理を記述した MAPM (Mobile Application Processing Module) を追加するだけで、移動計算機環境の問題をほとんど意識することなく、既存のクライアント・サーバアプリケーションをそのまま利用できる。

我々の情報発信システムでは、既存のネットワークアプリケーションを変更しないで利用するために、現在最も広く普及しているクライアント・サーバモデルに添ったシステムモデルを採用する。情報発信システムの構成を図1に示す。このモデルでは、クライアントとサーバ間に移動計算機を管理する Proxy を置く。この Proxy を本システムでは、SMH (System Management Host) と呼ぶ。

図1の網掛け領域が情報発信 Toolkit である。この情報発信 Toolkit と MAPM を組み合わせることにより情報発信システムを構築できる。

SMH は、2.1 節で示した機構に対応する、(1) を実現する状態管理機構、(2) を実現する状態処理機構、(3) および (4) を実現する通信処理機構を提供する。

状態管理機構は SMH と移動計算機上に存在し互いに協調して、図2で示す管理状態を用いて移動計算機の接続の状態を決定する。

状態処理機構は、移動計算機に接続の状態に応じた処理をする。移動計算機の状態によりどのような処理

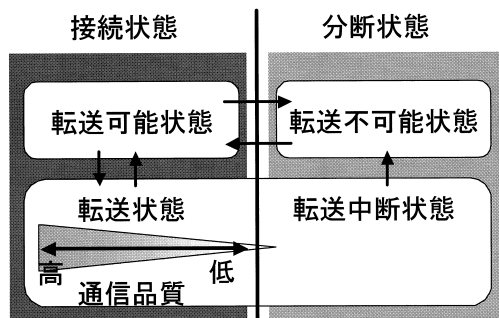


図2 管理状態の概要

Fig. 2 Overview of administrative states.

表1 MAPMにおけるエンリポイントの一覧
Table 1 List of entry points.

connect_c2m	転送可能状態における処理が記述される。クライアントから移動計算機に対して通信するとき利用される。
connect_m2c	転送可能状態における処理が記述される。移動計算機からクライアントに対して通信するとき利用される。
suspend	転送中断状態における処理が記述される。
reconnect	転送中断状態から転送状態に遷移するための再要求の処理が記述される。
disconnect	転送不可能状態における処理が記述される。

を行うかはアプリケーションに依存する。このため、アプリケーションに依存する処理はアプリケーション開発者に提供してもらう。この部分を MAPM と呼ぶ。状態処理機構では、状態管理機構から移動計算機の管理状態を取得し、その状態に応じて MAPM に記述された処理を行う。MAPM は、Dynamic Loadable Module の形で本システムに組み込まれる。MAPM は表1に示すエンリポイントの状態処理機構に提供する。状態処理機構はクライアントからの要求を受けると移動計算機の状態に応じた MAPM のエンリを呼び出す。

通信処理機構では、移動計算機と SMH 間の通信を管理する。具体的には、移動計算機環境で最適な通信を実現する FAP (Flexible Application Protocol) と、過度の発信を抑制するコネクション数動的制御機構³⁾を提供する。FAP はアプリケーションで想定されていない状況 (無線環境における短期間の分断など) において、通常のプロトコルをカプセル化し、アプリケーションの意図を考慮した移動計算機環境に最適な通信方式を実現する。

SMH はクライアントから要求を受けると、状態管理機構から移動計算機の状態を取得し、その状態に応じて状態処理機構で MAPM に記述された処理を実行す

る．たとえば，移動計算機が分断中なら，分断時の処理として，接続中に SMH 上に保存した移動計算機上の情報のコピーを提供するなどがある．移動計算機が接続中なら，通信処理機構を通じてクライアントの要求を移動計算機上のサーバアプリケーションに転送し，あらかじめ設定された移動計算機と SMH 間のプロトコルである FAP を用いてデータを効率的に通信する．たとえば FAP として resume 機能を付加し，効率的な発信を可能にする．最後にクライアントはデータを取得する．通信中に通信品質が悪化し通信帯域が狭くなると，通信処理機構は，各アプリケーションの通信を制御し通信帯域に応じて負荷を下げる．アプリケーションが利用する MAPM と FAP の決定は，SMH を利用する移動計算機と，その移動計算機上で稼働するアプリケーションが既知であるため，あらかじめアプリケーション作成者が決定する．

2.3 冗長な通信経路の問題

情報発信 Toolkit では，SMH が移動計算機を管理するために，移動計算機の通信は，移動計算機とクライアントの間に位置する SMH を必ず中継する．しかし，SMH は移動計算機の接続先ではなく，移動計算機が所属するネットワークに存在する．このため，クライアントと移動計算機のネットワーク的な距離が近く，SMH がこれらホストから離れた位置に存在する場合には，非常に効率の悪い通信経路となる．接続先によっては，この冗長な通信経路が問題となり大きな遅延が発生するなどの通信効率が悪化する可能性がある．実時間データを扱うマルチメディアサービスにおいて，品質の良いサービスを提供できなくなり，深刻な問題となる．

以上から，クライアントまでの経路をできる限り最短にし，任意の場所でマルチメディアを扱うサービスを，効率良く発信できるシステムを構築する必要がある．

3. 情報発信ツールキット WOR の設計

本章では，情報発信 Toolkit を，移動先の任意の場所からできる限り最短の経路を利用して，効率的な情報を発信できるシステムに拡張した情報発信ツールキット WOR の設計について述べる．

3.1 WOR の概要

情報発信 Toolkit で利用していた，移動計算機が所属する SMH を HSMH (Home SMH) と呼ぶ．2.3 節で述べた問題を解決するために，この HSMH とは別に，組織ごとのネットワークに SMH を置くモデルを考える．移動計算機において，移動先で接続する HSMH

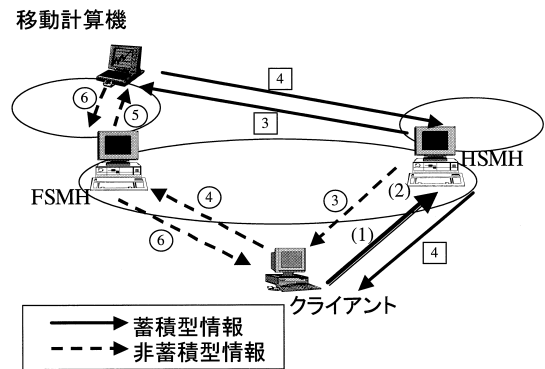


図3 情報発信ツールキット WOR の概要

Fig. 3 Overview of information announcement toolkit WOR.

以外の SMH を FSMH (Foreign SMH) と呼ぶ．また，HSMH と FSMH を含めたものを単に SMH と呼ぶ．移動計算機は移動先では，移動先の近隣にある FSMH を利用し，情報を発信する．これにより，2.3 節の冗長経路の問題を回避することができる．移動計算機は 1 つの HSMH と，複数の FSMH を利用して情報を発信する．

サービスの種類は，蓄積型と非蓄積型という側面から分類できる．蓄積型の例としては，文章や写真などのデータがある．また非蓄積型の例としては，ライブで通信する音声や動画である．蓄積型のサービスの発信は HSMH を利用し，非蓄積型の発信は FSMH を利用することで，効率良く情報を発信できる．このため WOR は HSMH と FSMH を併用する．

サービスの種類で発信方式を分類することで，発信するサービスが蓄積型の場合，HSMH に移動計算機上の情報をキャッシュし，情報の更新がない場合は，クライアントにキャッシュを提供する．これにより，移動計算機との通信量を減らすことができる．また，非蓄積型においては，キャッシュする意味がないので，FSMH を中継して通信する．これにより遅延を抑えてクライアントに情報を提供できる，

WOR における，クライアントが情報を移動計算機から取得するまでの流れを図 3 に示す．またその説明を以下に示す．

- (1) クライアントが移動計算機の情報を取得するために，その移動計算機の HSMH に要求を出す．
- (2) HSMH は，要求されたサービスの種類に応じて処理をする．

蓄積型情報の場合：

- 3 HSMH の MAPM が移動計算機に要求を出す．
- 4 移動計算機は，HSMH の MAPM を通じてク

クライアントに情報を提供する。

非蓄積型情報の場合：

- 3 HSMH の MAPM が要求を FSMH に転送する通知をクライアントに返答する。
- 4 クライアントは FSMH に要求を出す。
- 5 FSMH の MAPM は、移動計算機に要求を出す。
- 6 移動計算機は、FSMH の MAPM を通じてクライアントに情報を提供する。

以上で述べた情報発信方式以外に、移動先で FSMH だけを利用して情報発信する方式が考えられる。HSMH と FSMH を併用する方式は、FSMH だけを利用する方式に比べて以下の利点・欠点を有する。

利点

- サービスの特長に応じた情報発信方式を選択できる。
- 分断時のために保存したデータの管理が容易である。たとえば、分断中において留守番サービスでクライアントからのデータを記憶するような MAPM の処理がある場合、HSMH だけで、記憶データを集中管理できるので、管理が容易である。FSMH に記憶データを保持する場合、データの管理が分散され、非常に複雑になる。

欠点

- HSMH と FSMH を併用する機構を実現するために、システムの構成が複雑になる。
- クライアントにおける移動計算機の要求は、非蓄積型の情報でも最初に HSMH を必ず通過する。このためのオーバーヘッドが発生する。

3.2 WOR の構成

3.1 節で述べたシステムを実現し WOR を構築する。WOR の構成を図 4 に示す。各機構の詳細について説明する。

MAPM と FAP の動的な選択機構 情報発信 Toolkit においては、SMH は同一の組織に所属する移動計算機をすべて管理し、移動計算機が利用するサービスごとに MAPM と FAP を静的に設定している。しかし、WOR では FSMH を導入したため、FSMH においては任意の移動計算機が接続される可能性があり、静的に移動計算機を管理することができない。このために、移動計算機がサービスを開始するとき、MAPM と FAP を動的に決定する接続切断プロトコルが必要となる。移動計算機は、提供するサービスなどの情報発信に必要な情報として、起動サービステーブルを持つ。また、SMH は移動計算機の提供するサービスを管理するために移動計算機管理情報を持つ。接

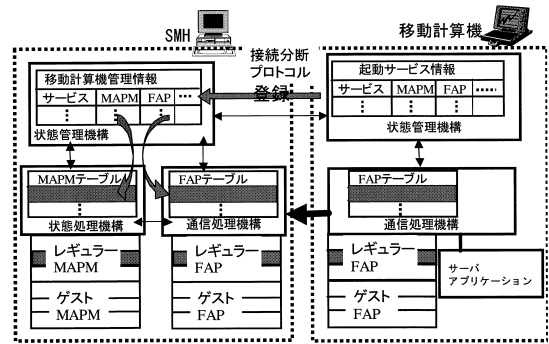


図 4 情報発信ツールキット WOR の構成

Fig. 4 Design of information announcement toolkit WOR.

続切断プロトコルは、起動サービス情報を SMH に伝え、移動計算機管理情報を作成するために用いられる。また、移動計算機に FSMH を探索する機構を提供する。

MAPM と FAP の利用制限 HSMH においては、アプリケーション作成者によってオリジナルの MAPM と FAP が提供される。しかし、任意の移動計算機が、SMH が提供する MAPM と FAP を、すべて利用できることは、セキュリティの観点から好ましくない。SMH において MAPM と FAP を利用できる移動計算機の制限をする必要がある。このために、MAPM と FAP をレギュラーとゲストに分離し、利用制限を設ける。

転送機構 HSMH において、クライアントからの要求を FSMH に転送する機構が必要である。HSMH における MAPM に、クライアントの要求の転送を実行する新しいエンリポイントを拡張する。これは、クライアントからの要求が到着したときに、FSMH を利用する移動計算機に要求を転送するために用いる。転送に利用する手段は様々なものが考えられるが、この機構の実現方法は様々なものがあり、アプリケーションによって異なる。その作成はアプリケーションに委ね、アプリケーションが利用するサービスごとにどのように転送するかを決定する。

移動計算機は、接続切断プロトコルを用いて FSMH を探索する。次に移動計算機は、起動サービス情報から、発信するサービス、利用する MAPM 識別子、FAP 識別子などの情報を取得し、接続切断プロトコルを用いて SMH に登録する。SMH は、その情報を移動計算機管理情報として保持する。クライアントからの要求が来たとき、移動計算機管理情報から要求されるサービスに対応する MAPM 識別子と FAP 識別

子を取得する．状態処理機構が持つ MAPM テーブルと FAP テーブルから識別子を用いて MAPM と FAP を決定し，これらを用いて情報発信を行う．

クライアントからの要求を FSMH へ転送するかどうかを決定するために，移動計算機上の起動サービステーブルにサービスごとのフラグを保持する．SMH は，このフラグにより，FSMH への転送を決定する．転送する場合は，MAPM の転送のエントリを利用して，要求を転送する．

3.3 MAPM

移動計算機が利用できる MAPM を制限するために，MAPM をレギュラー MAPM とゲスト MAPM に分離する．移動計算機が HSMH を利用する場合は，レギュラー MAPM およびゲスト MAPM を利用できる．FSMH を利用する場合，ゲスト MAPM だけの利用を許可する．レギュラー MAPM は，アプリケーション開発者が提供するオリジナルの MAPM であり，自由に作成できる．また，ゲスト MAPM は，よく利用されるアプリケーションや，TCP や UDP を利用した通信において移動計算機環境で一般的に用いられる処理を救うもので，すべての SMH と移動計算機で周知 (Well Known) しているものとする．

移動計算機が FSMH に接続している場合でも，クライアントからの要求は，まず HSMH に届くために，移動計算機が分断中は，レギュラー MAPM が処理する．このために，ゲスト MAPM の主な処理は，通信中にネットワークとの接続の状態が変化する状態の処理となる．具体的には，接続の状態を示す管理ステートにおいて，転送中断状態と転送中断状態から転送不可能状態に遷移する場合である．

WOR が提供するゲスト MAPM の例を以下に示す．

- 転送中断状態における MAPM の処理として，移動計算機との TCP コネクションが切断されても，クライアントとの TCP コネクションを保持する．移動計算機の通信が回復したとき，移動計算機との TCP コネクションを回復し，データ転送を再開する．TCP を利用した通信において一般に有効となる MAPM である．
- 通信中に転送不可能状態に遷移した場合，アプリケーションに依存する処理を提供する．これは，レギュラー MAPM に用意されるが，ゲスト MAPM では提供できない．このため，ゲスト MAPM は，レギュラー MAPM の処理を，FSMH から HSMH に要求を出し取得する．そしてクライアントへその取得した情報を転送する．

また，転送に利用する手段として以下の方法を実現

する．

アプリケーションプロトコルを利用 アプリケーションプロトコルで転送コマンドが実装されている場合，そのプロトコルを利用し，クライアントの要求を HSMH から FSMH に転送する．たとえば，HTTP では Location : ヘッダを用意し要求を転送する機構を備えている．

手動転送を利用 クライアントの利用者が手動で転送する方法で，転送する機構をアプリケーションが備えていない場合に用いる．システムは転送に必要な現在の移動計算機の接続先の情報などを提示する．たとえば，インターネット携帯電話なら，音声で現在の接続先の位置をクライアントへ提示する．

3.4 FAP

移動計算機が利用できる FAP を制限するために，MAPM と同様に FAP をレギュラー FAP とゲスト FAP に分離する．移動計算機が HSMH を利用する場合，レギュラー FAP とゲスト FAP を利用できる．FSMH を利用する場合，ゲスト FAP だけの利用を許可する．また，ゲスト FAP は，すべての SMH と移動計算機で Well Known であるため，FSMH において，移動計算機は事前に利用する FAP を決定することができる．ゲスト FAP としては，移動計算機環境において有効なプロトコルスタックを実現する．

本システムが想定しているゲスト FAP の例を以下に示す．

- 移動計算機の通信が切断し，短時間で通信が回復する場合において，情報の転送を切断する前の地点から再開できるようにする．移動計算機が TCP を利用してデータを転送する場合は，クライアントとのコネクションを継続し，通信を再開する．
- 通信環境に応じて TCP と UDP を選択でき，環境に適したプロトコルを実現する．

3.5 接続分断プロトコル

移動計算機が任意の SMH に接続，分断するときに，HSMH および FSMH に起動サービス情報を通知する必要がある．通知を受けた HSMH と FSMH は移動計算機管理情報を更新する．クライアントから，対象とする移動計算機上の情報の取得要求が到着した場合，移動計算機管理情報に対応する情報発信動作を行う．

以下に，接続動作と，切断動作について説明する．
接続動作 接続動作は，移動計算機における FSMH の探索と，HSMH と FSMH への登録の 2 つ手順から構成される．

分断動作 分断動作は HSMH，FSMH に対して，分

断要求を送信するだけである．HSMH と FSMH は、資源を解放し移動計算機の転送可能状態を転送不可能状態に変更する．

4. 情報発信ツールキット WOR の実装

HSMH と FSMH は同一の実装であり、移動計算機からは論理的に区別する．

移動計算機の位置透過性に関しては、SMH における IP Alias 機能を利用している．1 つのネットワークインタフェースに、SMH 自身の IP アドレスと、移動計算機のための IP アドレス (IIP: Immutable IP アドレス) を割り当てる．クライアントは、IIP アドレスを利用することで、つねに固定の IP アドレスで移動計算機から情報を取得できる．クライアントからの要求は、HSMH の IIP アドレスに届く．HSMH に届いたパケットの IIP アドレスを見て対応する移動計算機を識別し、移動計算機の現在の IP アドレス (CIP: Current IP アドレス) を用いて HSMH は通信する．FSMH においては、自身のネットワークインタフェースに Alias したゲスト IP アドレス (GIP: Guest IP アドレス) を用意し、移動計算機が接続したときに割り当てる．FSMH に接続した場合、HSMH は IIP と GIP を対応づけ、FSMH は GIP と CIP を対応づける．

移動計算機が持つ起動サービス情報を表 2 (a) に示す．自身が所属する HSMH 名と、提供するサービス情報を保持する．サービスで利用する Port No. と Protocol (TCP or UDP) でサービスの種類を示し、HSMH MAPM No.、HSMH FAP No. で、そのサービスが HSMH で利用する MAPM と FAP を指定する．FSMH MAPM No.、FSMH FAP No. で FSMH における MAPM と FAP を指定する．転送 flag は、移動計算機が FSMH に接続中において、クライアントからの要求の転送決定を示す．

SMH が持つ移動計算機管理情報を表 2 (b) に示す．移動計算機の位置情報として、IIP、GIP、CIP を持ち、移動計算機における現在接続している SMH 名とネットワークの接続の状態を保持する．また、移動計算機が提供しているサービスごとの情報を持つ．サービスの情報としては、Port No.、Protocol (TCP or UDP)、および、このサービスで利用する MAPM No.、FAP No.、転送 flag を保持する．

MAPM の実装：SMH における状態処理機構は、提供できる MAPM の一覧として表 2 (c) で示す MAPM テーブルを持つ．MAPM の識別子である MAPM No. と、その MAPM を示す MAPM 名で構成する．レギュ

表 2 情報管理テーブルの一覧
Table 2 List of administrative tables.
(a) 起動サービス情報

自分が所属する HSMH 名			
Port No.	Protocol	HSMH MAPM No.	HSMH FAP No.
転送 flag		FSMH MAPM No.	FSMH FAP No.
:		:	:

(b) 移動計算機管理情報

IIP アドレス or GIP アドレス				
CIP アドレス				
接続している SMH 名		ネットワークとの接続の状態		
Port No.	Protocol	MAPM No.	FAP No.	転送 flag
:	:	:	:	:

(c) MAPM テーブル

1	MAPM 名
:	:
512	:
:	:

(d) FAP テーブル

1	FAP 名
:	:
512	:
:	:

ラー MAPM とゲスト MAPM の識別は、MAPM No. で行う．511 以下をレギュラー MAPM とし、512 以上をゲスト MAPM に割り当てている．移動計算機が指定する MAPM No. から、利用する MAPM を決定し、接続の状態に応じた処理を行う．また、要求を FSMH への転送を実現する forward エントリポイントを表 1 の MAPM のエントリポイントに追加し、転送機構を実現する．

FAP の実装：移動計算機において、アプリケーションからの通信を通信処理機構に渡すために、移動計算機側に Socket Wrapper を導入する．Socket Wrapper はアプリケーションに対し通常のソケット API⁴⁾ と同一の API を提供する．Socket Wrapper から受け取った通信を、移動計算機が FAP テーブルから利用する FAP を決定し、移動計算機の通信を実現する．FAP テーブルを、表 2 (d) に示す．FAP テーブルは、SMH における通信処理機構が保持し、MAPM と同様に 511 以下をレギュラーとし、512 以上を持つ FAP をゲストとしている．

4.1 接続分断プロトコル

移動計算機は、ネットワークとの接続分断時に、HSMH と FSMH に起動サービス情報を登録する．

接続動作は、FSMH の探索と、HSMH と FSMH の

登録の2つがある．その手順を以下に示す．

- (1) DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) を用いて FSMH の情報を得る．DHCP がなければ，FSMH を探索するために，探索メッセージをブロードキャストする．ブロードキャストは同一セグメントに存在するホストしか探索できないが，中継ホスト (relay host) などを使用することで，他のセグメントに対しても探索が行える．FSMH はこのメッセージに対して，自ホスト名を返答する．これにより移動計算機は返答のメッセージから FSMH を取得することができる．
- (2) もし，返答メッセージの FSMH 名と，移動計算機に登録してある HSMH 名が一致するなら，移動計算機は HSMH と FSMH を同一であると認識する．
- (3) FSMH が存在するなら，FSMH に GIP アドレス，CIP アドレス，および開始するサービスの情報 (Port No. , Protocol , FSMH MAPM No. , FSMH FAP No. 転送 flag) を登録する．
- (4) HSMH に CIP アドレス (FSMH が存在するなら GIP アドレス) ，開始するサービスの情報 (Port No. , Protocol , FSMH MAPM No. , FSMH FAP No. 転送 flag) ，および接続している SMH 名を登録する．

分断動作においては，資源を解放するために HSMH と FSMH に分断するメッセージを送信する．

4.2 動作例

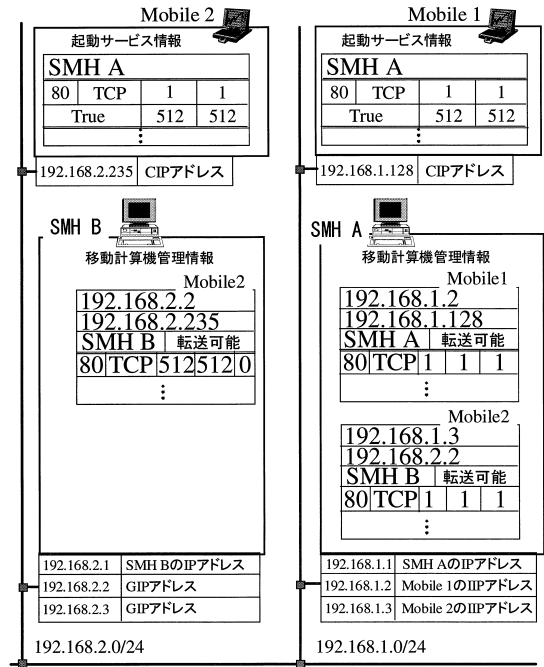
図5に情報発信ツールキット WOR の動作例を示す．

図5は，SMH が持つ移動計算機管理情報と，移動計算機が持つ起動サービス情報，および接続分断プロトコルを用いて SMH に移動計算機の情報を登録した後の状態を示している．この例では，192.168.1.0/24 のセグメントに Mobile 1 と SMH A が存在し，192.168.2.0/24 のセグメントに Mobile 2 と SMH B が存在する．また，この環境における，MAPM テーブルを図5(a)に，FAP テーブルを図5(b)にあたる．

Mobile 1 は，SMH A を HSMH として利用し，FSMH は存在しない．Mobile 2 は，SMH A を HSMH として利用し，SMH B を FSMH として利用している．この例において，クライアントが各移動計算機に要求した場合の流れを以下に示す．

Mobile 1 への要求

- (1) クライアントからの TCP を利用したポート番号 80 の要求が 192.168.1.2 に到着する．
- (2) 要求された移動計算機とサービスを解析する．



(a) MAPM テーブル

1	MapmHttp.so
2	MapmTvtel.so
512	MapmTcp.so
513	MapmUdp.so

(b) FAP テーブル

1	FapHttp.so
2	FapTvtel.so
512	FapTcp.so
513	FapUdp.so

図5 管理テーブルの具体例

Fig. 5 Example of administrative tables.

- (3) MAPM No.1 と FAP No.1 を取得し，MAPM テーブルと FAP テーブルが利用するライブラリ名を取得する．
 - (4) 移動計算機の，転送可能状態なので，MAPM を用いて移動計算機の現在のアドレス 192.168.1.128 に要求を出す．
- Mobile 2 への要求**
- (1) クライアントからの TCP を利用したポート番号 80 の要求が 192.168.1.3 に到着する．
 - (2) 要求された移動計算機とサービスを解析する．
 - (3) 現在，FSMH として SMH B に移動計算機が接続し転送 flag が立っているので，MAPM No.1 の MapmHttp.so の forward を利用して，192.168.2.2 に要求を転送する．
 - (4) クライアントからの TCP を利用したポート番号 80 の要求が 192.168.2.2 に到着する．

- (5) 要求された移動計算機とサービスを解析する．
- (6) MAPM No.512 と FAP No.512 を取得し，MAPM テーブルと FAP テーブルから利用するライブラリ名を取得する．
- (7) 移動計算機の，転送可能状態なので，MAPM を用いて移動計算機の現在のアドレス 192.168.2.235 に要求を出す．

5. 情報発信ツールキット WOR の評価

WOR のプロトタイプを作成し，実際にアプリケーションを構築することにより評価する．移動計算機とクライアントは Windows98/NT 上で実装し，SMH は FreeBSD 上で実装した．本章では，WOR をコード量と通信性能の側面から評価する．

5.1 コード量の評価

文献 2) において経路を最適にして情報を発信を可能にする WWW 情報発信システム(旧システム)と同等の機能を持つシステム(新システム)を WOR を用いて作成し，コード量について評価する．

作成したシステムは，個人用途向けの WWW サーバを移動計算機上で利用し，クライアントには通常の WWW ブラウザを使用する．移動計算機から移動先で取得したテキストや写真，および現在撮影している動画をクライアントに発信できる．テキストや写真等は，HTTP を利用してクライアントへ提供する．このサービスは，蓄積型情報とし，HSMH を利用する．これにより，HSMH に移動計算機の情報が蓄積され，接続中にはその情報のキャッシュとして機能し，移動計算機との通信を削減できる．また，分断中は，最新の情報ではないが，そのキャッシュをクライアントへ提供し，サービスを継続する．動画においては，クライアントにおける外部アプリケーションを利用し，HTTP とは異なる UDP ベースのプロトコルを利用して実現している．このサービスは，非蓄積型情報とし，FSMH を介してクライアントに提供する．これにより，HSMH を必ず通る経路を避けることができ，遅延の少ない通信を実現する．

旧システムは既存の WWW システムに機能を追加する形で実装している．追加されたコード量は，固定ホスト側で 4051 行，モバイル側で 4655 行である．新システムでは，情報発信ツールキット WOR を用いて作成した MAPM のコード量は 631 行であった．プログラムの容易さを単純にプログラムの行数で比較はできないが，追加したコード量は，旧システムに比べて約 7% になっている．移動計算機環境のアプリケーションを容易に構築できることを示している．

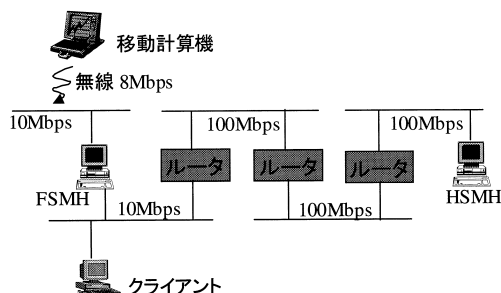


図 6 実験環境

Fig. 6 Experimental environment.

表 3 動画の転送結果

Table 3 Result of transmitting video.

情報発信 Toolkit	211 フレーム
情報発信ツールキット WOR	216 フレーム

5.2 通信効率の評価

5.1 節で示したシステムを，情報発信 Toolkit と情報発信ツールキット WOR で作成し，これら 2 つのシステムにおいて，移動計算機から動画を発信し，通信効率を評価する．

移動計算機から，動画(サイズ: 160 × 120, カラー: 24 bit) をクライアントへ転送する．実験環境を図 6 に示す．実験では，動画を 1 分間転送し，転送したフレーム数を計測した．実験環境のネットワークにおいては，動画データだけでなく，他のデータも流れている．結果を表 3 に示す．結果は，3 回の実験により得られた平均フレーム数を示している．情報発信ツールキット WOR で作成したシステムは，情報発信 Toolkit で作成したシステムよりも，多くのフレームを転送できることが確認できる．これは，情報発信ツールキット WOR で作成したシステムは，クライアント，FSMH および移動計算機の経路で動画を転送できるためである．情報発信 Toolkit では，HSMH を必ず通るために，HSMH までのルータの遅延，パケットの損失のために通信の効率が悪くなる．また，クライアント，HSMH および移動計算機の間インターネットを中継する場合，さらに効率は悪化すると考えられる．

6. 関連研究

移動計算機の移動の問題に対して，IETF において MobileIP が提案されている^{5),6)}．これは移動計算機がアクセスポイントをどこに移動しても，IP アドレスが変化しないように見せかけることにより，移動後の移動計算機との通信を可能にする．つまり，移動計算機の移動に対して透過な通信を可能にする．MobileIP

は、ネットワーク層で移動に対する変化を隠蔽しているので、ネットワーク層以上では移動計算機の移動を考えなくてもよいという利点が存在する。

MobileIPにおいても、クライアントから移動計算機へのパケットはすべて冗長な三角経路を経て届くため、冗長な経路の問題が存在する。このため、Route Optimized MobileIP⁷⁾では、MobileIPの問題である三角経路の問題を解決する機構の提案をしている。具体的には、クライアントは移動計算機のCOA (Care of Address) をキャッシュし、クライアントから移動計算機のパケットは、キャッシュされたCOAを利用し、直接移動計算機に届くことになる。しかし、ネットワーク層からのアプローチでは、以下の項目を考慮できず効率的な機構を実現できない。

- キャッシュのような通信量を削減する機構を利用する経路を選択できない。
- 分断状態などネットワークとの接続の状態を管理し、その状態に対処することは困難である。

また、文献2)において、移動計算機からのWWW情報発信システムを構築し、移動計算機からの情報における経路の問題を解決している。しかし、WWWシステムに特化したアプローチで構築しているために、種々のアプリケーションで利用するのは困難である。

7. おわりに

マルチメディアサービスを考慮した移動計算機からの情報発信ツールキットWORを提案した。従来の情報発信Toolkitを用いた場合には、冗長な通信経路の問題を持つ、このため、実時間をデータを扱うマルチメディアサービスでは、遅延など問題のために、品質の良いサービスを提供できない。このため提案システムでは、従来の情報発信Toolkitを拡張し、任意の場所でマルチメディアを扱うサービスを効率的に提供できる。具体的には、組織ごとのネットワークにSMHを置くモデルを考え、移動計算機は接続先のSMHを利用する。さらに、すべての情報発信を接続先のSMHを利用するのではなく、発信する情報の種類を考慮し、移動計算機の所属するSMHと接続先のSMHを併用し、マルチメディアを扱うサービスに対処する。

本論文では、WORの設計を示し、そのプロトタイプの実装した。また、WORを利用して、WWWを用いた移動計算機からの情報発信システムを構築例について述べ、そのシステムを作成するためのコード量を評価し、移動計算機環境のアプリケーションを容易に構築できることを確認した。また、WORを用いることにより、通信経路を最短にでき、情報発信Toolkit

より通信効率が向上することを実験により確認した。今後の課題を以下に示す。

アドホックネットワークへの拡張 WORを用いてアドホックネットワークにおける移動計算機からの情報発信環境の実現を検討する。

移動計算機の資源の考慮 状態管理機構において、ネットワークの資源の状態を考慮するだけでなく、バッテリー等のその他の移動計算機の資源を考慮できる機構に拡張する。またそれに応じてFAPによる通信方式や状態処理機構を適応させる。

様々なアプリケーションの適用 WOR上に様々なアプリケーションの実装および運用する。

参考文献

- 1) 田頭, 安田, 最所, 福田: 移動計算機情報発信環境のためのToolkitの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.6, pp.1640-1650 (2000).
- 2) Tagashira, S., Nagatomo, K., Saisho, K. and Fukuda, A.: An Information Announcement System Based on WWW for Mobile Computers, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E81-A, No.7, pp.1387-1395 (1998).
- 3) 田頭, 稲田, 最所, 福田: 移動計算機のための帯域の狭いネットワーク環境を考慮した情報発信機構, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.2, pp.344-353 (2000).
- 4) Stevens, R.W.: UNIX Network Programming, 2nd Edition, Vol.1, Prentice Hall PTR (1998). 篠田陽一(訳): UNIX ネットワークプログラミング, 第2版, トッパン (1999).
- 5) Perkins, C.: IP Mobility Support, RFC2002 (1996).
- 6) 寺岡文男, 移動透過な通信を実現するプロトコル, 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.4, pp.344-349 (1997).
- 7) Johnson, D. and Perkins, C.: Route Optimization in Mobile IP, Internet Draft, draft-ietf-mobileip-optim-09.txt (2000).

(平成12年5月19日受付)

(平成12年10月6日採録)



田頭 茂明 (正会員)

1973 年生。1996 年龍谷大学理工学部卒業。1998 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年

広島大学工学部第 2 類 (電気系) 助手。現在に至る。博士 (工学)。モバイルコンピューティング, システムソフトウェア, マルチメディアシステムの研究に従事。1999 年第 14 回電気通信普及財団賞テレコムシステム技術学生賞入賞。



最所 圭三 (正会員)

1959 年生。1982 年九州大学工学部情報工学科卒業。1984 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年同大学工学部助手。1991 年同大学工学部講師。1993 年同大学大型計算機セ

ンター助教授。1994 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授, 2000 年香川大学工学部信頼性情報システム工学科教授, 現在に至る。工学博士。高信頼性システム, 並列/分散処理, モバイルシステム, 並行処理等の研究に従事。1998 年情報処理学会全国大会大会優秀賞受賞。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



福田 晃 (正会員)

1954 年生。1977 年九州大学工学部情報工学科卒業。1979 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年 NTT 研究所入所。1983 年九州大学大学院総合理工学研究科助手。1989 年同大

学助教授。1994 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授, 工学博士。オペレーティング・システム, 並列化コンパイラ, 計算機アーキテクチャ, 並列/分散処理, 性能評価等の研究に従事。本学会平成 2 年度研究賞, 平成 5 年度 Best Author 賞受賞。著書「並列オペレーティングシステム」(コロナ社), 訳書「オペレーティングシステムの概念」(共訳, 培風館)。ACM, IEEE Computer Society, 電子情報通信学会, 日本 OR 学会各会員。