

オーバーレイネットワークにおけるプロアクティブデータ転送

今井 尚樹[†] 森川 博之[†] 青山 友紀[†]

近年における携帯電話等の普及により、モバイルコンピューティングは日常生活の中で重要な役割を担い始めた。そして、いつでもどこでもネットワークに接続可能な環境が望まれ始めている。将来的には、有線・無線を問わずネットワークは高速化され、それと共に様々な特徴を持つネットワークが出現するであろう。そのような環境においては、各々のネットワークの特徴にあう通信の手法を用いる必要がある。このような観点から、本稿では極小スポット型セルを持つような超高速ネットワークとセルラーネットワークから構成されるオーバーレイネットワークにおける通信の際に、よりネットワーク利用効率を上げるためのプロアクティブデータ転送の手法を示す。

Proactive Data Transfer for Overlay Network

NAOKI IMAI,[†] HIROYUKI MORIKAWA[†] and TOMONORI AOYAMA[†]

Mobile computing is playing an important role in our daily life due to popularization of cellular phones. Users begin to want the environment in which they can connect with networks at any time and anywhere. In future, both wired and wireless networks will be accelerated, and the characteristics of networks will be diversified. The proper methods for communicating should be used in the environment. In this paper, we show proactive data transfer protocol in order to utilize networks more efficiently in the overlay network composed of Hot-spotted Network and Cellular Network.

1. はじめに

近年におけるインターネットの爆発的な発展と、携帯電話・PHS(Personal Handyphone System)等の普及により、モバイルコンピューティングを行なうユーザが増加している。そして、日常生活の中でも、電子メールを始めとするコミュニケーションや、様々なアプリケーションを用いたネットワーキングが重要な役割を担い始めた。

モバイルコンピューティングを支える無線通信インフラの発展という観点では、携帯電話あるいはPHSにおける通信速度の高速化、さらに、第3世代の携帯電話であるIMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)などの出現により着実にデータ通信の高速化は進みつつある。また、それ以外にも構内における無線LANを用いたより高速な通信、Bluetoothによるピコセル内の通信、衛星等を用いた広範囲における通信など、ネットワーキングの手法は多岐にわたる。そのような中で「いつでも、どこ

でも」ネットワークへの接続ができる環境が望まれ始めている。将来的には、我々はさらに高速化・多様化されたネットワークに囲まれた生活を送ることになるであろう。

多種多様なネットワークが存在する環境においては、移動ホストの位置情報や移動予測、ユーザが利用しているサービスやアプリケーション、あるいはネットワークのトラフィックや課金情報などをもとにして、適切なアクセスネットワークの選択が動的に行なわれるべきである。また、各ネットワークの特徴を十分に活用できるような通信プロトコルも必要である。

以上のような観点から、本稿では極小スポット型のセルを持つような超高速ネットワークを含むオーバーレイネットワークにおいて、よりネットワークの利用効率を上げるためのプロアクティブ転送プロトコルを示す。

2. プロアクティブ転送を用いたデータ通信

2.1 オーバーレイネットワーク

現在、モバイルコンピューティングは日常的なものとなりつつあるが、ネットワークへの接続手段は多くはない。家庭ではプロバイダを経由した有線における

[†] 東京大学工学系研究科
School of Engineering, University of Tokyo

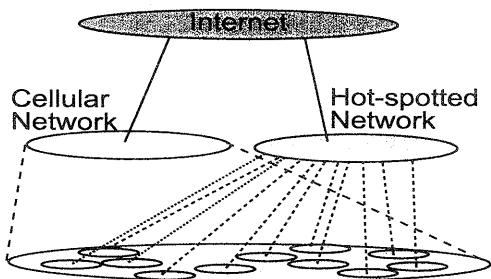


図1 2種類のネットワークからなるオーバレイネットワーク
Fig. 1 Overlay network composed of two networks

通信、外出先では携帯電話やPHSを用いた通信、会社や学校では有線・無線LANにおける通信、というような通信形態が一般的である。

しかしながら、将来的には身の回りの多くのものがネットワークに接続され、同時にその通信形態も様々なものが現れると考えられる。例えば、ITS(Intelligent Transport System)におけるDSRC(Dedicated Short Range Communication)や、M-MAC(Multimedia Mobile Access Communication Systems)による超高速通信、HAVi(Home Audio-Video interoperability)を用いた家庭内ネットワーク、衛星を用いた非常にカバーエリアの広いネットワークから、Bluetoothにおけるピコセルのような小さなネットワークまで、多種多様なネットワーク形態が出現するであろう。本稿で扱うオーバレイネットワーク環境とは、通信速度、エリアのカバー範囲、セルサイズ、課金などの特徴が異なる複数のネットワークがユーザの周囲に存在するような環境である。

ただし以下では多種多様なネットワーク形態の内、特に、セルラーネットワークと、極小スポット型のセルを持つような超高速ネットワーク(極小スポット型ネットワークと記す)から構成されるオーバレイネットワークを想定する(図1)。

2.2 極小スポット型ネットワークにおける通信

本節では、図1に示されるオーバレイネットワークを構成する極小スポット型ネットワークを用いた通信に関して述べる。

極小スポット型ネットワークのように、基地局から移動ホストまでのラストワンホップにおける無線通信が高速(数10Mbps、あるいは100Mbps以上を想定)である環境では、図2に示されるように移動ホストと通信先ホスト間におけるネットワークの混雑状況によっては、無線区間の広い帯域を充分には活用できない状況が発生する場合がある。

そこで、移動ホストの通信先や要求するデータが予

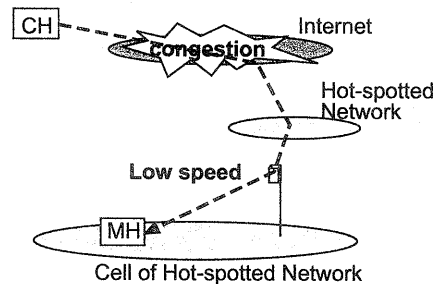


図2 移動ホスト通信先ホスト間における輻輳
Fig. 2 Congestion on networks between Mobile Host and Correspondent Host

め分かっているような場合には、移動ホストが移動する可能性が高いセルにネットワーク的に近いところにデータをプロアクティブ転送することにより、移動ホストと通信先ホスト間のネットワークにおける混雑の状態に影響を受けない通信が可能になる。このプロアクティブ転送を行なうために、極小スポット型ネットワーク内にプリフェッチエージェントを設置する。データはプリフェッチエージェントにプロアクティブ転送される。

プロアクティブデータ転送を用いた極小スポット型ネットワークにおける通信は、ITSにも適用できる。ITSにおいて、極小スポット型ネットワークの基地局は高速道路沿いやサービスエリア、市街地における信号やガソリンスタンド、あるいは駐車場などの様々な場所に分散して設置されることが予想される。

移動ホストとして自動車を想定した場合、極小スポット型ネットワークのセルサイズが数10mのオーダーであるとする、移動ホストの速度によっては通信可能時間が非常に短い場合が生じ得る。そのような状況下で、移動ホストがセル内に進入してから通信先ホストとの通信を開始すると、前述した2つのホスト間におけるネットワーク上の混雑や、通信先ホストにおけるデータ要求の処理、課金等の処理による遅延だけでなく、わずかなデータ通信のみで移動ホストがセルから出てしまう可能性すら生じ得る。しかしながら、プロアクティブ転送を用いることで、このような状況に対応することが可能になる。

2.3 プリフェッチエージェント

プリフェッチエージェントはプロアクティブ転送先のエージェントとして、極小スポット型ネットワークに設置される。また、1つのプリフェッチエージェントは複数の基地局を管理する。プリフェッチエージェントに到達した移動ホスト宛のデータは、エージェント

内にバッファリングされ、一定時間保持される。また、プリフェッチエージェントは、極小スポット型ネットワークのセル内に進入した移動ホストからのバッファリング送信要求を受信すると、当該移動ホストのためにバッファリングされたデータの送信を開始する。

2.4 プリフェッチエージェントの発見

無線ネットワークに限らず、将来的にネットワーク上には非常に多種多様なサービスが存在するようになると考えられる。現在、ネットワーク上のサービスを管理するためのプロトコルとして SLP(Service Location Protocol)⁷⁾ が IETF で検討されており、また、Jini 等のサービス管理手法も注目を浴びている。しかしながら、これらの手法はある限られたローカルネットワークのみでの動作を前提としている。将来的なネットワーク上におけるサービスの増加という観点からは、グローバルなサービス発見手法が必要である。その際には、スケーラビリティをどのように持たせるか、セキュリティをどのように維持するかが重要な点となる。

プロアクティブ転送においても、移動ホストは最初にプリフェッチエージェントといういわばネットワーク上のサービスを発見する必要がある。ネットワーク側、あるいは移動ホスト側のどちらが主体となってプリフェッチエージェントの発見を行なうかにより以下の2通りの手法が考えられる。

- ネットワーク側で行なう場合

前述したグローバルなネットワークサービスの発見機構を用いるか、あるいはプリフェッチエージェント検索用のサーバを設置する。移動ホストによって送信された位置、速度、移動予測(目的地等が明確な場合)などの情報をもとにネットワーク側が適切なプリフェッチエージェントを選択し、その情報を移動ホストに送信する。

- 移動ホスト側で行なう場合

移動ホスト上のカーナビゲーションや地図ソフト等のアプリケーションに、予めプリフェッチエージェントと極小スポット型ネットワークの地理的情報を取得しておき、移動ホスト側で位置、速度、目的地等の情報をもとに適切なプリフェッチエージェントを選択する。

次に、適切なプリフェッチエージェントの選択に必要なとされる予測精度に関して検討する。想定されたネットワークモデルでは、1つのプリフェッチエージェントは複数のセルを管理する。プリフェッチエージェントは位置情報等をもとにして選択されるため、移動ホストの周辺にある極小スポット型ネットワークのセ

ルに移動ホストが進入すれば、要求データがバッファリングされている可能性は高い。しかしながら、移動ホストが当該セルに進入する確率は、極小スポット型ネットワークのセル密度や分布に依存して大きく変化する。そのような場合にも対応するためには、隣接するプリフェッチエージェント同士でのバッファリングされたデータの共有や、カーナビゲーションなどのアプリケーションを用いて移動ホストを意識的に当該セルへ誘導するというような手法が必要になる。

2.5 アプリケーションによる複数のネットワークの使い分け

移動ホストの移動に伴って、利用可能なネットワーク選択に関しては多少の制約が生じる。これと、ネットワークの通信容量や課金情報により、接続するネットワークの選択ポリシーを設定することは可能である²⁾³⁾。しかしながら、静的な制約以外にも、ネットワークの混雑状態、移動ホストが利用するアプリケーションやサービスも考慮されるべきである⁴⁾⁶⁾。現在における回線交換のネットワークでは通信料金はネットワークへの接続時間に依存するが、パケット交換のネットワークでは、通信料金は送受信したパケットに依存すると考えられる。そのように送受信したデータ量において課金されるようなネットワークや定額制のネットワークでは、アプリケーション毎、あるいはフロー毎により適したネットワークを使用することが望ましい。従って、アプリケーション、あるいはユーザのポリシーに応じて動的にネットワークインタフェースを選択できるようなミドルウェアが必要である。

図1に示されるオーバレイネットワークにおいて、それを構成するセルラーネットワークの特徴としては、移動ホストの地理的な位置によらず常に接続が可能であるが、通信速度が低速であるということが挙げられる。一方で、極小スポット型ネットワークは地理的に限られたエリアのみで通信が可能であるが、その通信速度が超高速であるという点が特徴である。極小スポット型ネットワーク内に移動ホストが存在する場合は、このネットワークを用いた通信を行えばよいが、移動ホストが極小スポット型ネットワークのエリア外に存在する場合には、図3に示すように、即座に要求するデータに関してはセルラーネットワーク経由で通信を行ない、即時性を持たない通信や大容量のファイル転送に関してはプロアクティブ転送を行なうことで、極小スポット型ネットワークに移動後、データを受信する。セルラーネットワークを用いる例としては、電子メールの送受信やペーজャーなどのアプリケーションが挙げられ、極小スポット型ネットワークを用いた

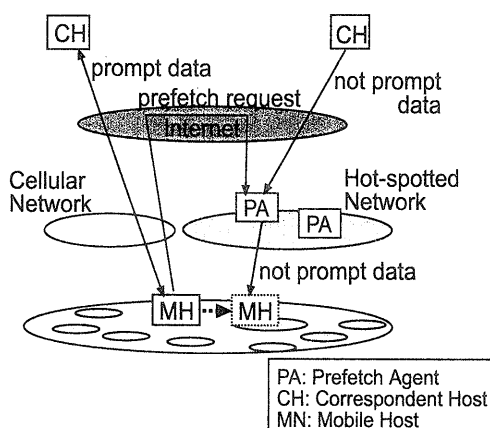


図3 即時性のある通信とプロアクティブ転送
Fig. 3 Prompt data communication and proactive transfer

プロアクティブ転送による通信の例としては、移動時における定期的な電子メールの確認や、音楽等の大容量ファイルのダウンロードなどが挙げられる。

2.6 データのフォワーディング

プロアクティブ転送を用いて通信する移動ホストが、極小スポット型ネットワークのセル内でプリフェッチエージェントからデータを受信中にセル外へ出た場合、プリフェッチエージェントには移動ホストへ送信すべきデータが残ることになる。このような場合に移動ホストが残りのデータを受信する方法は、

- 極小スポット型ネットワークのセルに次に進入したときに受信する方法
- セルラーネットワーク経由で受信する方法

の2通りがある。方法の選択に関しては、課金情報や残りのデータに即時性があるかどうかが問題となる。前者の手法の場合は次に進入したセルを管理するプリフェッチエージェントが、バッファリングされたデータを持つプリフェッチエージェント(すなわち、移動前のセルを管理しているプリフェッチエージェント)と同一とは限らない。異なる場合には、移動ホスト進入したセルを管理するプリフェッチエージェントは、データを所有している前のプリフェッチエージェントにデータの転送を要求する必要がある。また、後者の手法の場合には、移動ホストはセルラーネットワーク経由で、プリフェッチエージェントに対してバッファリングされたデータのフォワーディング要求を送信する。

2.7 中断された通信のサポート

プロアクティブ転送を用いた通信においては、プリフェッチエージェント内にバッファリングされたデータが、ユーザに送信されないままタイムアウトになる

という状況も充分想定できる。従って全ての、あるいは一部のデータが移動ホストに届けられなかった場合のサポートが必要になる。データの転送を完了させるという観点からは、プリフェッチエージェント内にバッファリングされたデータのタイムアウトが近づいた時点で、セルラーネットワーク経由で移動ホストにその状態を告知するという手法が考えられる。移動ホストは、データフォワーディング要求を行なうことにより、バッファリングされたデータをセルラーネットワーク経由で受信できる。

また、データの転送やアプリケーションが途中で切断されるという点に関しては、アプリケーションやミドルウェアで切断と再開に対して柔軟に対応できるような機構が要求される。無線通信を行なう場合には、チャネル状態の悪化等によりネットワークへの接続が断たれることがあるので、通信の途中で切断されるという問題は、プロアクティブ転送を用いたデータ通信時のみの問題ではなく、無線通信の際の一般的な問題でもある。

2.8 移動ホスト-プリフェッチエージェント間の通信

極小スポット型ネットワーク内におけるプリフェッチエージェントと移動ホスト間の通信プロトコルには、特に制限はない。しかしながら、例えばTCPを使用した場合、通信開始時にスロースタートを行なうため、極小スポット型ネットワークの無線区間における広帯域のネットワークを十分に活用しきれない可能性がある。また、大容量データ転送を行なうためのコネクション型のトランスポート層プロトコルとしてNETBLT: A Bulk Data Transfer⁹⁾がある。しかしながら、このプロトコルでは無線通信を考慮していないため、チャネル状態の悪化等によるスループットの低下が発生する可能性がある。また、極小スポット型ネットワークでは、移動ホストがセル外へ移動する際にネットワーク側に予め知らせることはできないので、NETBLTのようなプロトコルを用いたバッファ単位の転送では、移動局がセル外に出たあとも、無駄な送信を行なう可能性がある。このような点を考慮しながら、無線区間における高速通信のためのプロトコルを開発する必要がある。

3. オーバレイネットワークにおけるプロアクティブ転送プロトコル

2章で述べたように、極小スポット型ネットワークのような特徴を持つネットワークを用いて通信を行なう場合には、データをプロアクティブ転送することに

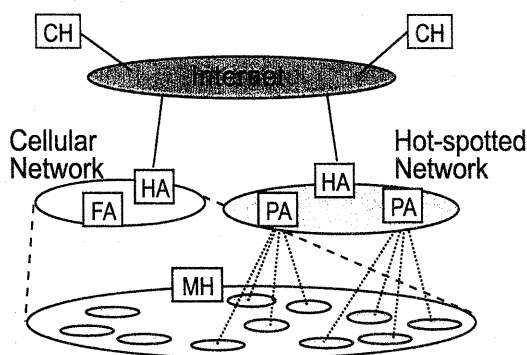


図4 ネットワーク構成
Fig. 4 Network composition

より、より効率的なネットワークの帯域利用が可能になる。本章では、プロアクティブ転送のための通信プロトコルを示す。

プロアクティブ転送を実現するための方針は複数存在すると考えられるが、本稿では Mobile IP をベースとした手法について述べる。図4にネットワークの構成を示す。本稿では、セルラーネットワーク側に Mobile IP が導入されているものとするが、必ずしも Mobile IP である必要はなく、何らかの位置管理システムが存在すればよい。極小スポット型ネットワークには、Mobile IP の機能を変更して設計されたプロアクティブ転送プロトコルを導入する。プリフェッチエージェントは Mobile IP における外部エージェントの動作も行なう。また、極小スポット型ネットワーク内に設置されたプロアクティブ転送プロトコルのホームエージェントは Mobile IP のものと同一である。移動ホストは、セルラーネットワークと極小スポット型ネットワークの両方にホームネットワークを持つ。

ただし、以下でホームエージェントと記したときは特に断りがない限り極小スポット型ネットワークのホームエージェントを指すものとする。

3.1 プロトコルの概要

極小スポット型ネットワークを用いた通信を希望する移動ホストが、最初は極小スポット型ネットワークのエリア外に存在しているものとする。移動ホストは、セルラーネットワーク経由でプリフェッチエージェントに対してデータのバッファリングを要求するパケットを送信する。この要求は Mobile IP における登録要求パケットを用いて行なわれる。バッファリング要求を受信したプリフェッチエージェントは、ホームエージェントから転送される当該移動ホスト宛のパケットのバッファリングを開始する。

登録要求の完了後、移動ホストは通信先ホストに対してサービスデータを要求する。この時の通信はセルラーネットワーク経由で行なうが、サービスデータ要求パケットの送信元アドレスは、極小スポット型ネットワークのホームアドレスを用いる。通信先ホストは移動ホストの極小スポット型ネットワークにおけるホームアドレス宛に、要求されたデータを送信する。ホームエージェントはこのデータを受信してカプセル化し、プリフェッチエージェントに送信する。プリフェッチエージェントは受信したデータをバッファリングする前にバッファの状態を調べて、バッファリングを正常に開始できたかどうかを知らせるメッセージを移動ホスト宛に送信する。

移動ホストは極小スポット型ネットワークのセル内に移動後、プリフェッチエージェントに対してバッファリングデータ送信要求を送信する。その要求を受信したプリフェッチエージェントは、バッファされたデータを移動ホストに送信する。プロアクティブ転送されたデータを持つプリフェッチエージェントとは異なるプリフェッチエージェントが管理するセル内に移動ホストが進入した場合、プリフェッチエージェント間でデータ転送を行ない、移動ホストに送信する。

3.2 移動ホストの動作

3.2.1 プロアクティブ転送プロトコルにおける移動ホストの状態

Mobile IP において通信を行なっている移動ホストは、ホームネットワークに存在する状態 (Home State と記す)、外部ネットワークに存在している状態 (Foreign State と記す)、co-located CoA (care of address) を用いて通信を行なっている状態 (Colocated State と記す) のいずれかの状態になっている。

プロアクティブ転送プロトコルでは、上記の状態に Prefetch State という状態を追加する。図5にプロアクティブ転送プロトコルにおける移動ホストの状態遷移図を示す。本手法では、ホームエージェントはゲートウェイ付近に設置されており、基地局からネットワーク的に離れていると想定しているため、移動ホストの状態が Home State に遷移することはない。

プリフェッチエージェントは、Mobile IP における外部エージェントと全く同様にエージェント広告を送信している。移動ホストが極小スポット型ネットワークのエリア内に進入した場合、すなわちプリフェッチエージェント広告を聞いた場合には、移動ホストは Mobile IP における手法と同様にして、Foreign State の登録を行なう。極小スポット型ネットワークにおける通信を希望していながら、プリフェッチエージェン

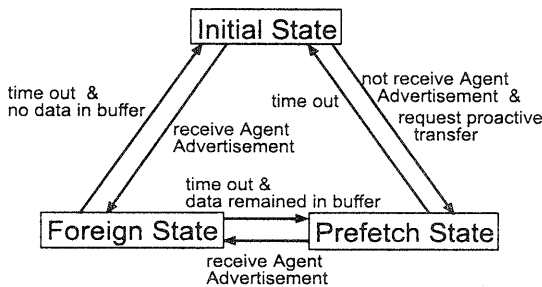


図5 プロアクティブ転送プロトコルにおける移動ホストの状態遷移図

Fig. 5 State transition diagram of Mobile Host in proactive transfer protocol

ト広告が聞けない場合には、移動ホストはプリフェッチエージェント発見サービスにより適切なプリフェッチエージェントの情報を得て、セルラーネットワーク経由で Prefetch State の登録を行なう。この登録において使用される要求のフォーマットは Mobile IP の登録要求と同一のものである。Foreign State の状態からエージェント広告が聞けなくなった場合に、要求データが全て受信済みの時は初期状態（登録されていない状態）に戻り、未受信の要求データが存在する場合には Prefetch State に遷移する。この時に、ユーザの希望により未受信データをセルラーネットワーク経由で移動ホストへフォワードするか、あるいは、Prefetch Agent 内のバッファにそのまま残しておくか選択可能である。

本手法においては、プロアクティブ転送を希望している間は、セルラーネットワークのインタフェースを用いての極小スポット型ネットワークへの Colocated State の登録は行なわない。これは、Mobile IP のホームエージェントはフローの識別ができないため、ホームエージェントでフロー毎に宛先を変更するということができないためである。また、図5では極小スポット型ネットワークのインタフェースを用いた Colocated State への遷移は略してある。これは、全てのセルがいずれかのプリフェッチエージェントによってカバーされているという前提によるものである。しかしながら、万が一の故障などによりプリフェッチエージェントを発見できないセルに進入したときは、Colocated State に遷移する。

3.2.2 極小スポット型ネットワークのセル内への進入

移動ホストが極小スポット型ネットワークのセル内

への進入を感知する手段は複数考えられる。基地局からの定期的なビーコンあるいは、プリフェッチエージェントのエージェント広告を用いて進入を感知する場合には、その送信周期を短くするとセル内への進入を感知するまでの時間は短くなるが、ネットワークへの負荷は多少大きくなる。また、逆にビーコンの周期を長くすると、ネットワークへの負荷は小さくなるが、セル内への進入を感知するまでに必要な時間が長くなる。しかしながら、ネットワークが超高速になれば、エージェント広告等によるネットワーク負荷への影響は相対的に減少すると考えられるので、ネットワーク環境に応じて周期を変更する必要がある。

一方で、移動ホストが定期的にビーコンパケットを送信するという手法もある。電源が制限される移動ホストでは常にビーコンパケットを送信することは非効率的であるが、ナビゲーションソフトや GPS(Global Positioning System) 等と組み合わせることで、例えば、移動ホストが地理的に当該セルに近づいた時点でビーコンを送信し始めるというような手法により、電源への負担を減少させることもできる。

3.2.3 バッファリングデータ送信要求

移動ホストは極小スポット型ネットワークのセル内に進入すると、プリフェッチエージェント広告を聞くことができる。移動ホストは、その広告を用いてプリフェッチエージェントに対して登録を行ない Foreign State になる。それと同時に、プリフェッチエージェントに対してバッファリングデータ送信要求を送信する。この要求にはプロアクティブ転送先のプリフェッチエージェントの IP アドレスと送信要求ファイル名が含まれる。プロアクティブ転送先のプリフェッチエージェントの IP アドレスを含むのは、移動ホストが進入したセルを管理するプリフェッチエージェントがプロアクティブ転送先のプリフェッチエージェントと異なる場合に備えてである。バッファリング送信要求を受信した時のプリフェッチエージェントの動作に関しては 3.3.2 で述べる。

3.2.4 移動時におけるフォワーディング要求

移動ホストが極小スポット型ネットワークのセル外へ出た時点で、データ通信がまだ完全に終了していない時、2.6 で述べた通りユーザは残りのデータの処理手法について 2 通りの選択が可能である。

ユーザが何もしなければ、残りのデータは Prefetch Agent のバッファ内に残ったままになる。また、この場合、移動ホストの状態は Prefetch State に遷移する。この登録は、プリフェッチエージェント自体によって自動的に行なわれる。そして、次に移動ホストが極

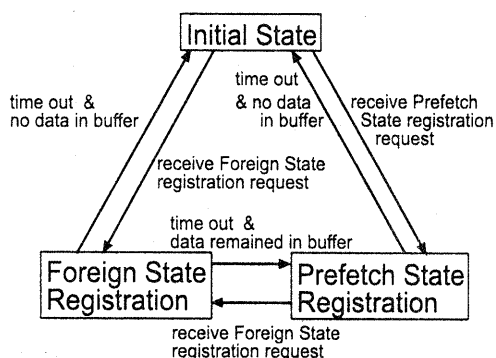


図6 Prefetch Agentにおける状態遷移図
Fig. 6 State transition diagram of Prefetch Agent

小スポット型ネットワークのセルに進入した時点で、残りのデータの転送を開始する。

ユーザが残りのデータをセルラーネットワーク経由で受信するという場合には、プリフェッチエージェントに対してデータフォワーディング要求をセルラーネットワーク経由で送信する。この要求には、ファイル名と極小スポット型ネットワークのホームアドレスが含まれている。フォワーディング要求を受信した際のプリフェッチエージェントの動作に関しては3.3.2で述べる。

3.3 プリフェッチエージェントの構成

プリフェッチエージェントは移動ホストの登録を管理するRegistration Managerと、バッファ内のデータ管理やデータの送受信を行なうBuffer Managerから構成される。Registration ManagerはMobile IPにおける外部エージェントに、移動ホストのPrefetch Stateの登録処理に関する機能が追加されたものである。

また、Foreign State、あるいはPrefetch Stateとして登録されている移動ホストと、その移動ホストのためにバッファリングされているデータを照会するためのテーブルをプリフェッチエージェント内に作成しておく。このテーブルには、移動ホストのホームアドレス、移動ホストの登録状態、受信したデータファイル名、タイムアウトになる時刻の欄を用意する。

3.3.1 Registration Managerの動作

プリフェッチエージェントにおける移動ホストの登録状態の遷移図を図6に示す。プリフェッチエージェントが移動ホストからForeign State登録要求を受信することで、Foreign State登録へ状態は遷移する。移動ホストからPrefetch State登録要求を受信するか、Foreign State登録においてタイムアウトが生じ、かつ未送信のデータがバッファ内に残っている場合、

Prefetch State登録への状態遷移が生じる。

また、Registration Managerは、照会用テーブル中の移動ホストのホームアドレス欄と登録状態欄に情報を書き込む。

3.3.2 Buffer Managerの動作

移動ホストがPrefetch Stateとして登録されている間、当該移動ホスト宛のパケットはプリフェッチエージェント内にバッファリングされる。通信先ホスト(要求データの送信元)からのデータを受信した時点で、Buffer Managerはバッファの状態を調べて、バッファリングに関するメッセージを送信する。

- 正常にプロアクティブ転送が行なえる場合
 - ー 通信先ホストから受信するデータがバッファ内に存在しない場合
 - 移動ホストに「プロアクティブ転送開始」メッセージを送信する
 - ー 通信先ホストから受信するデータが既にバッファ内に存在する場合
 - 移動ホストに「プロアクティブ転送開始」メッセージを送信し、通信先ホストに「データ受信済」メッセージを送信する
- プロアクティブ転送が行なえない場合
 - ー プリフェッチエージェントのバッファに空き容量がない場合
 - 移動ホストに「プロアクティブ転送不可」メッセージを送信し、通信先ホストに「データ送信中止」メッセージを送信する
 - ー 通信先ホスト側の理由でデータを受信できない場合
 - 移動ホストに「データ受信不可」メッセージを送信する

「データ送信中止」「データ受信済」メッセージを受信した通信先ホストはデータの送信を停止する。

バッファリングされたデータには、Buffer Managerによりタイムアウトが設定される。タイムアウトを過ぎたデータは、破棄可能なデータとなる。Buffer Managerがバッファの空き容量を調べるときには、この破棄可能データを処理することで生じる空き容量を調べる。また、Buffer Managerは照会用のテーブルに、受信したデータファイル名とタイムアウトの時刻を書き込む。

移動ホストからのバッファリングデータ送信要求を受信すると、Buffer Managerはまず始めに、要求に含まれるプリフェッチエージェントのIPアドレスと自身のIPアドレスを比較する。等しい場合はその後、照会用のテーブルを調べ、当該移動ホストがForeign

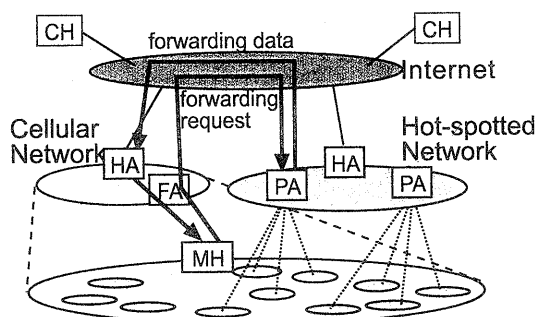


図7 データのフォワーディング

Fig. 7 Data forwarding

Stateである場合には、データを移動ホストに対して送信する。IPアドレスが異なる場合には、要求に含まれるプリフェッチエージェントのIPアドレスに対してバッファリングデータ転送要求を送信する。この要求を受信したプリフェッチエージェントは要求されたデータを要求送信元のプリフェッチエージェントへ転送する。その後、データは移動ホストに送信される。

プリフェッチエージェントが移動ホストからデータフォワーディング要求を受信した場合、Buffer Managerは要求パケットに含まれる極小スポット型ネットワークのホームアドレスとファイル名をもとに照会用のテーブルを検索し、当該ファイルを移動ホストにフォワードする。このフォワーディング先はセルラーネットワークのホームアドレスになるので、セルラーネットワークのホームエージェントと外部エージェントを経由した後、移動ホストに送信される。この様子を図7に示す。

4. おわりに

本稿では、セルラーネットワークのような広範囲・低速のネットワークと、極小スポット型のセルを持つような超高速なネットワークからなるオーバレイネットワーク環境において、無線通信部分の広帯域なネットワークを有効に利用するための手法として、プロアクティブデータ転送プロトコルを示した。

現在、実験用のネットワークを構築し、プロアクティブデータ転送の実装を行なっている。

参考文献

- 1) C. Perkins, IP Mobility Support. *IETF RFC 2002*, 1996.
- 2) M. Stemm and R. Katz, Vertical Handoffs in Wireless Overlay Networks. *ACM Mobile Networking (MONET)*, 1998.
- 3) P. Kemp, Design of MASE V2.0. OnTheMove Project, 1997.
- 4) X. Zhao, C. Castelluccia, and M. Baker, Flexible Network Support for Mobility. In *Proc. of MobiCom'98*, 1998.
- 5) D. Maltz and P. Bhagwat, MSOCKS: An Architecture for Transport Layer Mobility. In *Proc. of INFOCOM '98*, 1998.
- 6) H. Wang, R. Katz, and J. Giese, Policy-Enabled Handoffs Across Heterogeneous Wireless Networks. *Workshops on Mobile Computing and Applications (WMCSA '99)*, 1999.
- 7) J. Veizades, E. Guttman, C. Perkins, and S. Kaplan, Service Location Protocol. *IETF RFC 2165*, 1997.
- 8) T. Hodes and R. Katz, Composable Ad hoc Location-based Services for Heterogeneous Mobile Clients. *Wireless Networks Journal*, 1998.
- 9) D. Clark, M. Lambert, and L. Zhang, NET-BLT: A Bulk Data Transfer Protocol. *IETF RFC 998*, 1987.