

クラスタ型ネットワークにおける通信回線共有方式の提案と評価

峰野博史[†], 青野正宏[†] 太田 賢[†],
井手口 哲夫^{††} 水野 忠 則^{†††}

携帯型計算機を持ち運び、無線通信を利用してネットワークにアクセスするモバイルコンピューティングが注目されている。しかし、有線ネットワークに比べ無線ネットワークは一般的に転送レートが低く品質の変動が激しいという特徴があり、高度な通信サービス要求に応えることが難しい。そこで、いくつかの移動ホストを一時的に接続することによってクラスタ型ネットワークを形成し、それぞれの移動ホストの持つ外部との通信回線を共有し、論理的に1つの太い回線と見なして通信することを可能とする通信回線共有方式を提案する。本方式を実現するためにSHAKEというプロトコルを開発しており、クラスタ型ネットワークの形成と通信の分散協調機能だけでなく、複数の通信回線を効率的に利用するための機能も提供している。これにより、個々の移動ホストでは十分な通信能力がなくても、クラスタを形成し、すべての移動ホストの通信能力を共有することにより、一時的に大きな通信回線を得ることができる。そして、プロトタイプの実装を行い、無線LANとPHSを使用して実験を行った結果、モバイルコンピューティングにおける通信方式としての有効性が認められた。

Shared Multiple Paths Protocol for Cluster Type Network

HIROSHI MINENO,[†] MASAHIRO AONO,[†] KEN OHTA,[†]
TETSUO IDEGUCHI^{††} and TADANORI MIZUNO^{†††}

We can access Internet by carrying a portable computer and using the wireless communication. The wireless network with PHS (Personal Handy phone System) and portable cellular telephone has only rates of tens of Kbps to a few Mbps. Compared with the cable network, the transfer rate cannot generally satisfy a highly developed communication services such as large file transfer and real-time communication. This paper proposes a protocol, SHAKE, for sharing multiple paths for cluster type network that is a kind of Ad-hoc network in which some mobile hosts temporarily connect mutually. As a mobile host has only low transfer capacity in individual to communicate with outside, if whole capacities of other hosts which compose a cluster are shared, we can get larger transfer capacity and satisfy the required communication services. We implemented and evaluated the SHAKE prototype and the effectiveness was shown by some experiments.

1. はじめに

近年の無線通信技術の発達によるワイヤレス通信機器の急速な普及と、計算機技術の発達による携帯型端

末の小型化、高性能化により、携帯型計算機を持ち運び、無線通信を利用してネットワークにアクセスするモバイルコンピューティングが一般的になった。現状では、PHSや携帯電話、屋内における無線LANを使用して数十Kbps～数Mbpsの転送レートを持つ無線ネットワークを利用することができる。しかし、有線ネットワークに比べ無線ネットワークは一般的に転送レートが低く品質の変動が激しいという特徴を持っており、大容量のファイル転送やマルチメディアデータ、遅延時間の保証が必要なリアルタイムデータ通信のような高度な通信サービス要求に応えることが難しい。今後、より高速な無線通信サービスの提供が予想されるものの、それとは別のアプローチとして複数の通信回線を1つの論理的な通信回線にまとめて通信するという方式も考えられる。

[†] 静岡大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

現在、NTT サービスインテグレーション基盤研究所

Presently with NTT Service Integration Laboratories

現在、NTT 移動通信網株式会社マルチメディア研究所

Presently with Multimedia Laboratories, NTT Mobile Communications Network Inc.

^{††} 愛知県立大学情報科学部

Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

^{†††} 静岡大学情報学部

Faculty of Information, Shizuoka University

本論文では、クラスタ型ネットワークという複数の移動端末によって一時的に構築されるネットワークにおいて、各端末の持つ外部との通信路を共有するための方式である通信回線共有方式を提案する。そして、本方式を実現するために SHAKE (SHARED multiple paths protocol for cluster type network Environment) のプロトタイプを開発した。SHAKE は、各通信路の状態を監視する機能、通信路の状態に従ってトラフィックを分散させる機能、アプリケーションから受け取ったデータを専用のヘッダを付けた小さなパケットに分割し、また複数回線から受信したパケットを正しい順序に並べ替えて元のデータを再構築する機能、クラスタ型ネットワークを形成し通信回線を共有する機能という4つの機能によって、複数の通信回線を論理的に1つの回線と見なして通信を行う通信回線共有方式を実現している。

以下、2章で研究の背景、関連研究について述べ、3章で通信回線共有方式、本方式を実現するための SHAKE プロトコルとその機能について述べる。そして、4章で SHAKE のプロトタイプの実装と評価を行い、5章で本論文を締めくくる。

2. 背景

2.1 トラフィック分散

一般に共有されたシステムや通信ネットワークにおいて、リソースを集約することは性能や効率の向上に関係している¹⁾。このリソースの集約方法の1つとしてトラフィックを複数の経路に分散して配送する方法がある。

Maxemchuk は、パケット交換ネットワークにおける負荷分散や障害対策に対し、ソースからのトラフィックは時間的に分けるよりも空間的に分けた方がいいと述べており^{2)~4)}、1つのメッセージを複数のサブメッセージに分割し、サブメッセージをネットワーク内の異なる経路を使って並列に配送させることにより、ある経路における転送誤りを他の経路のものと独立にし、誤り訂正をうまく行うこともできると述べている。また、トラフィックに冗長性を持たせることによって、すべてのパケットが受信できなくても元のデータを再構築することができる⁵⁾。

IETF では、ISDN、フレーム・リレー、ATM など異なる複数の交換型 WAN サービスを1つの仮想的な論理回線として扱える技術として MP を標準化している^{6),7)}。これは2地点間を接続してデータ通信を行う場合に利用する PPP の機能を強化したもので、交換型 WAN サービスの特徴を利用して、複数の仮想接

続を装置間に設定できる。これにより、ユーザの必要に応じた帯域の割当てが可能になり、複数の物理回線や仮想回線を1つの論理回線として使用することができる。

このように、複数の通信路を集約し各通信路にトラフィックを分散させて性能や効率を向上させるための技術が開発されているが、いずれもルータ間で異種 WAN 回線を集約するのに使用されるのが一般的である。

2.2 アドホックネットワーク

移動ホストを集めてアドホックネットワークを構築しようという考えは、DARPA のパケット無線ネットワークの時代にまでさかのぼる。そして、移動ホストの頻繁な移動によるトポロジの変化、経路情報の更新と維持といった既存のインターネットルーティングアルゴリズムでは解決できないような特徴を持ったアドホックネットワークに対し、多くのルーティングアルゴリズムが提案された。IETF では、Mobile IP を使用せずにアドホックネットワーク内のルーティングを行うことを目的として MANET ワーキンググループを発足させた。

MANET におけるルーティングアルゴリズムには様々なものがあり、すべてのノードがすべてのルーティング情報を持たずオンデマンドで経路を探索し、その結果をパケットヘッダに埋め込んで配送するという DSR⁸⁾ や AODV⁹⁾、さらに、各ノードの物理的な位置情報を利用して経路探索にかかるオーバーヘッドを削減する ZRP¹⁰⁾、CBRP、LAR¹¹⁾ などがある。また、link-reversal アルゴリズムというダウンストリームパスを使った循環グラフによってトポロジの変化が起きたときに目的地までの経路を柔軟に再構築できる TORA¹²⁾ などがある。

一方、東芝は携帯機器を持ち寄るだけで、自律的にネットワークを構築するワイヤレス DAN 技術と、その応用である対面会議支援システムを開発した¹³⁾。この技術は、サーバがなくても通信可能な機器を自動的に認識するもので、機器の持ち運びなど機器構成が変化した場合でも自動的にネットワークの再構築を行う「アドホックネットワーク」を実現している。

NEC も PHS 子機間通信を利用し、複数の端末が互いに通信のできるような近い範囲に集まったときに、一時的にネットワークを構築し、その場に集まった人々の共同作業を支援するためのシステム「なかよし」を開発している¹⁴⁾。これは、その場に集まった人対人のリアルタイム・双方向のコミュニケーションを支援するシステムであり、情報の流れの一方方向性や非リアル

タイム性が少し強まったシステムとして地域情報提供システムを開発している．このシステムは，アドホックネットワークの技術のほかに，サービスを特定するためのサービスコンテンツのアナウンスプロトコルや高信頼性マルチキャストプロトコルについても考慮に入れている．

また，名古屋大学では赤外線通信を利用して自律的に周囲の端末を認識しアドホックネットワークを構築する研究が行われている¹⁵⁾．これは，近年の携帯端末に標準で搭載されている赤外線通信機能を利用することによって，特別な通信機器を別に必要とせずネットワークポロジの動的な変更や通信エラーなど様々なイベントに対応している．そして，モバイルコンピューティング環境下で無理に IP を使用しようとせず専用の階層構造で実現しているのが特徴である．

3. 通信回線共有方式

このように，移動先で一時的にネットワークを構築しグループ内で共同作業を行うことができる一方，グループを形成することによって外部ネットワークとの通信を有効に行えないかという考えもある¹⁶⁾．列車や船舶，航空機などの移動体内では，個々の端末が各自で通信を行うよりも，個々の端末の通信能力よりも大きく安定した通信能力を持った通信機器に代表させて外部ネットワークと通信を行った方が全体としての通信経過時間の減少や通信コストの削減に貢献することができる．それとは別に，個々の通信機器では低い通信能力しか得られないが，複数の機器の通信能力を共有し同時に利用することによって臨時に広帯域の回線を得ることもできる．一般的なアドホックネットワークとの違いを明確にするために，通信を効率的に行うことを目的として構築されるアドホックネットワークをクラスタ型ネットワーク（以降クラスタ）と呼び，上記のような 2 種類の通信形態をクラスタ型モバイル通信と呼んでいる．

本研究では，後者のようなクラスタ型モバイル通信に着目し通信回線共有方式と名付け，本方式実現のためのプロトコル SHAKE を開発している^{17),18)}．

3.1 通信回線共有方式の特徴

我々は，本方式を利用することによって以下のような利益を得ることができると考えている．

- エンド間のデータ転送レートを向上させ遅延を削減するだけでなく，パースト的なトラフィックを分散しネットワーク負荷を均一化することができる．
- ある経路において生じた伝送誤りでも，他の経路を使用して誤り訂正を行うことができる．

- 異なる経路に冗長なパケットを流すことにより，遅延とパケットロスの特性を改善し，データ転送の信頼性を向上させることができる．
 - クラスタとインターネットの通信媒体は，クラスタを形成する移動ホストが各々自由に選択することができる．
 - クラスタ外との通信路をつねに持たなくても他の移動ホストの持つ通信路を利用することができる．
- クラスタにおいて外部ネットワークとの通信路を所持する移動ホストはリレーホストと呼ばれ，クラスタと外部ネットワークとの通信を行う口として働く．また，クラスタを構成する各移動ホストを結ぶ論理的なリンクはクラスタリンクと呼ばれ，クラスタリンクを結ぶことにより移動ホストはクラスタの一部となる．

図 1 にシステム構成例を示す．この例では，クラスタはイーサネットのような有線とハブを利用することによって構成されている．そして，外部との通信媒体として携帯電話や PHS などの無線通信機器を使用し，各移動ホストはダイヤルアップによってインターネットに接続している．この例はほんの一例にすぎず，クラスタ内の通信速度が外部ネットワークとの通信速度よりも速いものであれば IrDA や無線 LAN を使用してもクラスタを構成する意味があり，外部との通信媒体も同様に変更可能である．本方式を有効に利用するためのクラスタ内最低必要通信速度は，クラスタを構成する移動ホストの持つ外部通信路の総和から，最も低速な通信路の値を引いたものである．つまり，自分以外の移動ホストの持つ通信容量の和を満たす速度でクラスタ内の通信ができれば，本方式を有効に使用することができる．

現在の IrDA の規格によると IrDA1.0 で 2.4 kbps ~ 115.2 kbps，IrDA1.1 で 1.15 Mbps ~ 4 Mbps，IrDA Contorol で MAX.75 kbps（ただし 1 対多の通信が可能）という伝送速度を持っており，無線 LAN も

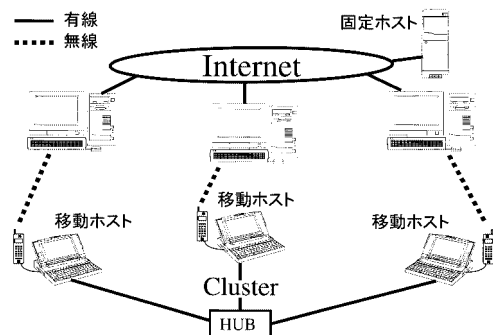


図 1 システム構成例

Fig. 1 An example of the system.

2.4 GHz 帯無線 LAN で 2 Mbps, 19 GHz 帯無線 LAN で 25 Mbps の伝送速度を実現している。また、移動ホストとインターネットの接続は、32 kbps の PHS, 9.6 kbps や 28.8 kbps の携帯電話, 64 kbps の次世代 PHS, 有線の電話回線を利用した K56Flex モデムによるダイヤルアップ接続などが一般的である。外部との通信路にこのような媒体を使用した場合、クラスタをイーサネットケーブルのようなもので構成すれば、通信回線を共有することによって利益を得ることができる。

3.2 通信回線共有プロトコル SHAKE

我々は、通信回線共有方式を実現するためのプロトコルとして、通信回線共有プロトコル SHAKE (SHARED multiple paths protocol for cluster type network Environment) を開発している。

SHAKE は、クラスタを形成し通信回線を共有するすべての移動ホスト上に構築され、実装の容易さを考慮してトランスポート層とアプリケーションの間に組み込まれる。また、対象とするアプリケーションをプロキシ設定の可能なアプリケーションに限定している。つまり、各アプリケーションのプロキシ設定で SHAKE を指定することにより、SHAKE が各アプリケーションの通信部分を代わりに行う。

SHAKE は、本方式の特徴を実現するためにプロキシ通信機能、通信制御機能、データ加工機能、振り分け機能という 4 つの機能から成り立つ。各機能の関係を図 2 に示す。以下、各機能の役割について説明する。

3.2.1 プロキシ通信機能

プロキシ通信機能とは、ブラウザや FTP クライアントなどのアプリケーションがプロキシの設定で SHAKE を利用することができるようにするためのものであり、既存のアプリケーション内部にいっさい手を加えることなく通信部分を代行するための機能である。また、通常のプロキシサーバのようにキャッシュ機能を持たず、クラスタ内の他の移動ホストが同じデー

タを必要とした場合にそのキャッシュから渡され、外部ネットワークとの通信量を減らすことができる。

インターネット上の SHAKE プロキシサーバ（もしくは通信相手となる固定ホスト）は、インターネット上のデータを SHAKE 専用のデータに変換したり、その逆を行う機能を持つ。モバイルコンピューティング環境におけるプロキシの利用に関する様々な研究同様に、メディア変換機能、ユーザ認証機能、キャッシュ機能などを付加すれば、静止画などの品質削減、アクセス制限のあるファイルへのプロキシを介したファイルアクセス、ユーザごとの履歴の管理などのモバイル環境を考慮した制御を行うこともできる。

3.2.2 通信制御機能

通信制御機能とは、クラスタの形成、ルーティング情報管理、通信路の状態監視、切断時自動再接続のことを指している。

SHAKE は、トランスポート層プロトコルとして TCP を利用してデータ転送を行う。そして、通信路の切断検出は受信側から一定間隔ごとに送信される受信レート、RTT 測定用パケット（チェックパケット）の有無によって検出される。クラスタ内のルーティング方式は、すべての移動ホストが経路情報テーブルを持ち、送信時に使用するという方式を採用している。各ホストが経路情報として管理している情報は、コネクション番号、アクティブかどうかを示すフラグ、リレーホスト IP、接続時の使用可能帯域、RTT、受信レートであり、この情報は、通信路の帯域有効利用と遅延を一定範囲内に抑えるための振り分けパラメータとして使用される。

次に RTT の測定方法を説明する。送信側は各データパケットのヘッダに送信時の時間 ST_1 を記述して送信し、受信側は、つねに最新のパケット受信時間 RT_1 とヘッダ内の ST_1 を保存している。そして、一定周期ごとに受信側は保存しておいた最新の ST_1 と RT_1 とともにそのチェックパケットの送信時間 ST_2 も記述して送信する。このチェックパケットを受信した送信側は、受信時間 RT_2 とそのパケット内に記された ST_1 , RT_1 , ST_2 を利用することによって、送受信端末間のクロックのずれにかかわらずある程度正確な RTT を求めることができる（式 (1)）。

$$RTT = (RT_2 - ST_1) - (ST_2 - RT_1) \quad (1)$$

3.2.3 データ加工機能

アプリケーションから受け渡されたデータは、SHAKE によって専用のヘッダが付加され、プロトコルデータ単位に分割され、トランスポート層へ渡される。SHAKE データパケットのヘッダは、そのパ

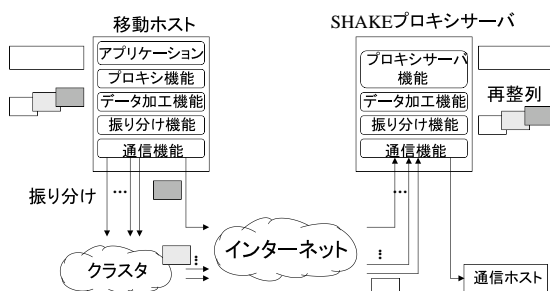


図 2 モジュール構成

Fig. 2 Illustration of SHAKE modules.

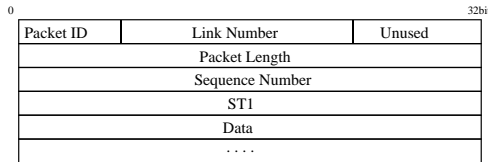


図3 データパケットフォーマット
Fig. 3 SHAKE data packet's format.

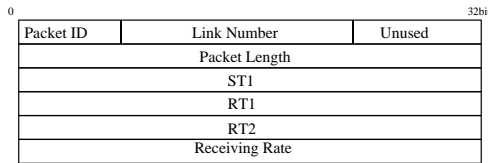


図4 チェックパケットフォーマット
Fig. 4 SHAKE check packet's format.

ケットの種類を示す識別子、パケットの大きさ、データ送信ホスト、最終的なデスティネーションホストのIPアドレス、データ組み立て時に使用するシーケンス番号、アプリケーションからのデータから成り立つ。図3と図4にSHAKEデータパケットとチェックパケットのフォーマットを示す。

各ホストはSHAKEパケットを受信したとき、ヘッダに含まれる識別子によって制御パケットなのかデータパケットなのかを判断し処理を行う。基本的に制御パケット以外のパケットをクラスタから受信したときは、ヘッダに含まれる目的地のIPアドレスを調べ、それが自分であったら組み立ててアプリケーションへ渡し、そうでない場合はSHAKEプロキシサーバへフォワードする。

ここで、複数の通信路を通して配送された順不同のデータパケットをどのように再整理するかについて述べる。経路選択モジュールが、ある程度順番が正しく目的地へ到着するように経路を選択しているが、各通信路で異なる伝送遅延を持っているため順番が乱れて到着しないようにすることはできない。そこで、SHAKEでは順番が乱れてそのままアプリケーションへ渡すことのできないパケットをいったんバッファエリアへ書き込み、次にアプリケーションへパケットを渡すことのできたときに、この中からその次にアプリケーションへ渡せるパケットがあるか探索している。もしあった場合にはその内容をアプリケーションへ渡し、ほかにないか探索する。なければ次のパケットを受信して以上の処理を繰り返す。

その他の機能として、エラー訂正のためのパリティビット付加、冗長なパケット(コピー)の作成による遅延とパケットロス回避できる。

3.2.4 振り分け機能

SHAKEプロキシサーバがクラスタ内のあるホストにデータを分散して配送するとき、あるいはその逆の場合に、複数ある経路にどのようにパケットを分散させるかが問題であり、受信ホストで組立てにかかる時間に大きく影響を及ぼすため非常に重要な部分である。

各通信路の種類や長さが等しくスループットや伝送遅延が等しければ、各通信路にラウンドロビンでパケットを配送すれば均一にトラフィックを分散できる。しかし、実際には各通信路は各移動ホストが自由に選択することできるため、スループットや伝送遅延などのネットワーク品質が経路ごとに異なる。そこで、各通信路の状態によってパケットの振り分け比率を変えることにより、通信相手へ届く順番をある程度保証できるようにする。

基本的に制御パケットや小さなデータの通信には、自分の持っている経路情報のアクティブに設定された経路が使用され、それ以上のデータ通信が要求されたときにデータパケットが振り分けられる。振り分けを行う基準として、通信路ごとのRTTや受信側での受信レートなどを利用する。ある通信路*i*に対する重み付けを W_i とすると、振り分け率 P_i を式(2)で表すことができる。

$$P_i = \frac{\frac{1}{W_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{W_i}} \quad (2)$$

4. プロトタイプとその評価

4.1 実装状況

クラスタ型ネットワークは、Windows95が動作しPCMCIAカードスロットを2つ持つ携帯端末(東芝SatellitePro420, CPU: Pentium 100 MHz/16 MB, 三菱Amity SP, CPU: 486DX4-75 MHz/16 MB)を1m弱の10Base-TとLANカードを用い、4ポートHUBに接続することによって構成した。そして、クラスタ内部の通信のために各ネットワークインタフェースにプライベートアドレスを割り振った。クラスタと外部との通信には周波数ホッピング式スペクトラム拡散方式の2.4GHz無線LAN(関西電機ALN-PCM)とPHSカード(三菱TL-DC100)を用い、こちらには研究室で割り振られているIPアドレスを割り振っている。

今回開発したSHAKEプロトタイプの実装のために専用の簡易ファイル転送アプリケーションをVisual C++で製作した。これは指定されたファイルを開き、一定の大きさのパケットにして相手に送信し、受信側

で受け取ったパケットをファイルに順次格納するという単純なものである。SHAKE プロトタイプではプロキシ通信機能は実装しておらず、このアプリケーションの通信部分にライブラリで組み込むことである。このライブラリによってクラスタ構成のための接続コマンドが実行できる SHAKA ウィンドウを表示させており、クラスタの形成要求をユーザが行えるようにしている。

データ加工機能では、パケット送信時に専用のヘッダを付け、SHKAE パケットとして送信している。SHAKE パケットの受信時には、このヘッダ情報により中継処理や組立処理を行っている。組立処理では、通信路を並列化しているため別々のコネクションから到着する順不同な SHAKA パケットの順番を整える再整列処理を行っており、SHAKE ヘッダに含まれたパケット番号から次にアプリケーションへ渡すパケットかどうかを判別している。渡すことのできないパケットはパケット番号をキーとして検索できるようにバッファへ格納しており、新しいパケットが受信されアプリケーションへ渡されたときに、この蓄積されたバッファから次パケットを検索し、アプリケーションへ渡している。

振り分け方式は、各通信路の重み付けを通信前にユーザによって指定して振り分ける方法で実現した。この方式では、通信中に動的に振り分け率を変更することはできないが、通信を開始する前に各通信路のスループットをユーザが予測し設定することによって、その値に適するようにパケット振り分けを行っている。各通信路に同じ値を指定することにより、各通信路に順番に振り分けるラウンドロビン方式での振り分けもできる。

4.2 実験結果

このプロトタイプを利用して、以下のような3つの実験を行った。実験1はクラスタと外部との通信路として無線LANを2つ併用した場合、実験2はPHSのPIAFSを2つ併用した場合、実験3は無線LANとPHS(PIAFS)の2つを併用した場合である。実験1と2では、2台の携帯端末は同じ性能の無線通信機器を使用して外部と通信を行っているため、パケットの振り分け方法はラウンドロビン方式と同じとなる。実験3では、性能の異なる無線通信機器を併用するため、各通信路ごとの重み付けに従って振り分けを行っており、ラウンドロビン方式で振り分けた場合との比較を行っている。

実験1(図5)は、クラスタと外部との通信路として無線LANを使用し、普通に無線LANを使用して

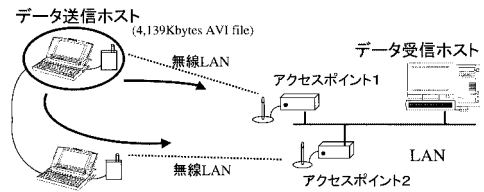


図5 実験1
Fig. 5 Experiment 1.

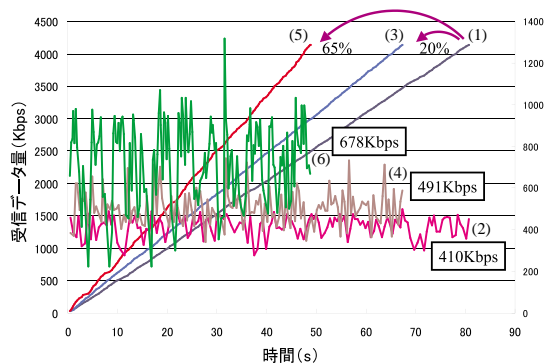


図6 実験1の結果
Fig. 6 Result of Experiment 1.

通信を行った場合(1),(2),無線LANのアクセスポイント1台で2つの無線LANを使用して通信路を共有させた場合(3),(4),アクセスポイントを2台用意し、それぞれに別チャンネルを設定し、互いの通信に影響を与えないようにして通信路を共有させた場合(5),(6)の3つの状況で行った。使用したファイルは約4Mbyte(4139kbyte)のファイルで、クラスタ上のホストから固定ネットワーク上のホストへと送信される。そして、固定ネットワーク上のホストで最初に受信したデータパケットからすべてのデータパケットを受信し終わるまでの時間と受信データ量の関係をグラフに表した(図6)。

実験2(図7)では、実際のダイヤルアップ接続を想定し、PHSのPIAFSを用いて実験を行った。接続ポイントは、研究室内(浜松)のTAと、あるプロバイダのPIAFSアクセスポイント(名古屋)を利用し、物理的な距離が非常に離れ、伝送遅延が大きく発生する通信路を併用した場合の実験を行っている。そして、名古屋のアクセスポイントを使用してファイルを転送した場合(1),(2),浜松のアクセスポイントを使用してファイルを転送した場合(3),(4),両方の通信路を併用しラウンドロビンで振り分けを行った場合(5),(6)の3つの状況で実験を行った。図8はその結果である。

今までの2つの実験では、使用可能な外部への通信

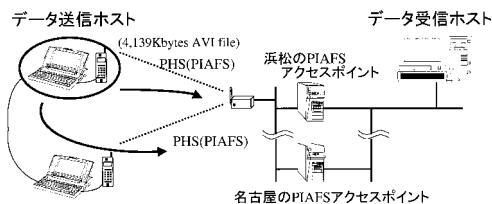


図 7 実験 2

Fig. 7 Experiment 2.

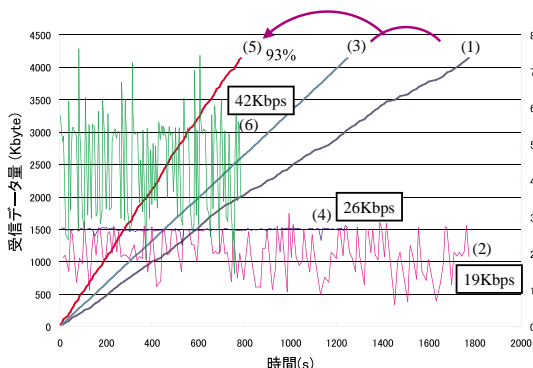


図 8 実験 2 の結果

Fig. 8 Result of Experiment 2.

路を交互に使用するというラウンドロビン方式によって振り分けを行っていたが、実験 3 (図 9) では、通信を始める前にユーザによって各通信路に重み付けが設定され、その値を利用してパケット振り分けを行った。外部との通信路には、無線 LAN と PHS (PIAFS) という性能の異なる機器を併用し、1 つの端末は無線 LAN を使用して研究室内の LAN に、もう 1 つの端末は PHS (PIAFS) を使用して研究室内の TA に接続した。そして、PHS 1 台で普通にファイル転送をした場合 (1) , (2) , 無線 LAN と PHS を併用し通信回線を共有してラウンドロビンでパケット振り分けを行った場合 (3) , (4) , ユーザの設定値によって各通信路に重み付けを行いパケットを振り分けた場合 (5) , (6) の 3 つの状況で実験を行った。この設定は、各通信路に想定される通信速度 (無線 LAN-450 Kbps , PHS-30 Kbps) を入力することによって行った。その結果を図 10 に示す。

4.3 評価

実験 1 の結果 (図 6) を見ると、(1) , (2) では平均スループット 410 Kbps となっているが、今回使用した無線 LAN の仕様では、アクセスポイントが 1 つの場合、複数の無線 LAN で使用可能な通信速度は状況により変化するが平均すると約 400 Kbps であるということから、妥当な結果であることが分かる。また、(3) , (4) から、アクセスポイント 1 つで 2 つの無線 LAN

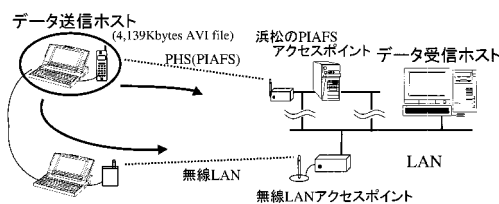


図 9 実験 3

Fig. 9 Experiment 3.

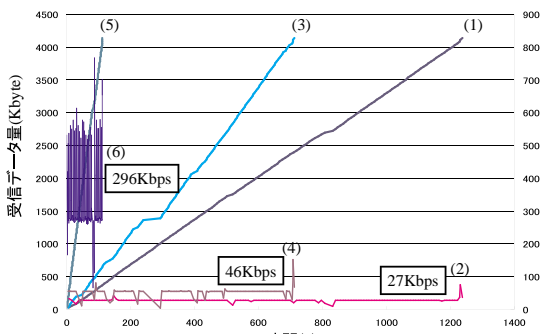


図 10 実験 3 の結果

Fig. 10 Result of Experiment 3.

を併用した場合、平均スループット 491 Kbps となり、最大で約 500 Kbps のスループットしか出ていないことが分かる。つまり、同じチャンネルを共有してしまうようなものを使用したのでは、本方式を有効に使用できないことが分かる。次に、アクセスポイントを 2 台用意し、それぞれに別チャンネルを設定して互いの通信に影響を与えないようにした場合には、(5) , (6) から平均スループットは 678 Kbps となり、普通に通信を行った場合に比べ約 65% のスループット向上を実現していることが分かる。

実験 2 の結果 (図 8) を見ると、(1) , (2) では平均スループットが 19 Kbps しか出ておらず変動も非常に激しいことが分かる。これは、PIAFS 対応のアクセスポイントまでは ISDN 網を使用しているため理論上 29.2 Kbps で接続可能だが、それ以降の名古屋のアクセスポイントから研究室のマシンまでインターネットを経由するために、他のトラフィックの影響を直接受けている結果であると予想できる。それに対し、(3) , (4) の研究室の TA に接続した場合の平均スループットは 26 Kbps と理論値に近い値が出ており、変動も少なく、インターネット上のトラフィックの影響をあまり受けていないことが分かる。そして、(5) , (6) から、両方の通信路を併用した場合の平均スループットは 42 Kbps と (1) , (3) のスループット平均の和に比べ約 93% のスループット向上を実現している。つまり、クラスタと外部ネットワークとを結ぶ通信路が非

常に狭いものであれば、クラスタ内で発生するオーバヘッドの割合は全体の通信時間に対し小さいものであり、通信回線を共有することによってスループットを向上させることができることが分かる。また、(6)のグラフから平均スループットに大きな変動が読みとれるが、これは振り分けをラウンドロビンで行ったために、片方の通信遅延の影響を受け再生列処理による待ちが受信側で頻繁に発生しているからである。実際、ping コマンドを使って各通信路の RTT を測定したところ、研究室の TA 経由の場合平均 225 ms (10 回測定)、名古屋経由の場合平均 383 ms (10 回測定) となり、両者の間に片道約 80 ms の遅延が発生していることが分かった。

実験 3 の結果 (図 10) を見ると、(1)、(2) から PHS 1 台で普通にファイル転送をした場合、平均スループット 27 Kbps と理論値に近い値で研究室内のホストと通信していることが分かる。また、実行通信速度約 400 Kbps の無線 LAN と PIAFS を併用しラウンドロビンでパケット振り分けを行った場合では、(3)、(4) から、わずか 47 Kbps のスループットしか出ていないことが分かる。実験 1、2 のように、同じ性能を持つ通信機器を使用した場合、RTT や通信速度に大きな違いがないため、ラウンドロビンでパケットを振り分けることによってそれぞれの通信路をある程度有効に使用することができた。しかし、約 400 Kbps の通信速度を持つ無線 LAN と約 30 Kbps でしか通信できない PHS とを併用した場合、ラウンドロビンでパケット振り分けをしていたのでは非効率であるのは明白であり、このような結果となった。

次に、各通信路に設定した重み付けを用いてパケット振り分けを行った場合、(5)、(6) から、296 Kbps のスループットが出ていることが分かる。つまり、あるパラメータを基にして各通信路に重み付けを設定し振り分けることによって、異なる通信速度や RTT を持った通信路を併用した場合でも、本方式を有効に使用することができる。

本プロトタイプでは、ユーザの設定によって各通信路に重み付けを設定していたが、動的に変化しているパラメータや振り分け制御にかかるオーバヘッドなどを振り分け制御にフィードバックさせれば、より良い結果を得ることができると考えている。そして、これらの実験結果から、本方式がモバイルコンピューティングにおける通信方式として有効であることが認められた。

5. おわりに

いくつかの移動ホストが一時的に互いに接続するようなクラスタ型ネットワークにおいて、他の移動ホストの帯域も共有し、1 つの広い帯域と見なして通信するという通信回線共有方式を提案した。そして、本方式を実現する SHAKE のプロトタイプを開発し、無線 LAN と PHS を用いた実験によって本方式の有効性を示した。

今後、本プロトコルの実装をすすめ、クラスタの大きさの変化、通信要求ホストの増加などの影響について調べ、本方式の評価を行う。

参考文献

- 1) Gustafsson, E. and Karlsson, G.: A Literature Survey on Traffic Dispersion, *IEEE Network*, Vol.11, No.2, pp.28-36 (1997).
- 2) Maxemchuk, N.F.: Dispersity Routing, *ICC '75*, pp.41-10-41-12 (1975).
- 3) Maxemchuk, N.F.: Dispersity Routing in High-Speed Networks, *Computer Networks and ISDN Systems*, Vol.25, No.6, pp.645-661 (1993).
- 4) Maxemchuk, N.F.: Dispersity Routing in ATM Network, *IEEE INFOCOM '93*, pp.347-357 (1993).
- 5) Lee, T.T. and Liew, S.C.: Parallel Communications for ATM Network Control and Management, *IEEE GLOBECOM '93*, Vol.1, pp.442-446 (1993).
- 6) Sklower, K., Lloyd, B., McGregor, G. and Carr, D.: The PPP Multilink Protocol (MP), RFC1717 (1994).
- 7) Sklower, K., Lloyd, B., McGregor, G., Carr, D. and Jacobson, V.: The PPP Multilink Protocol (MP), RFC1990 (1996).
- 8) Johnson, D.B. and Maltz, D.A.: *Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks*, chapter 5, pp.153-181, Kluwer Academic Publishers (1996).
- 9) Perkins, C.E. and Royer, E.M.: Ad-hoc On Demand Distance Vector Routing, *2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications* (1999).
- 10) Haas, Z.J. and Pearlman, M.R.: The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol, *Proc. ACM SIGCOMM '98*, pp.167-177 (1998).
- 11) Ko, Y.-B. and Vaidya, N.H.: Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks, *MOBICOM '98* (1998).
- 12) Park, V.D. and Corson, M.S.: A Performance

Comparison of the Temporally-Ordered Routing Algorithm and Ideal Link-State Routing, *Proc. IEEE Symposium on Computers and Communication '98* (1998).

- 13) 多鹿陽介, 岩村和昭, 池上史彦, 中村 誠: 携帯情報機器の通信に適した自律無線ネットワーク Wireless DAN の提案, 信学技報 IN, Vol.94, No.161, pp.19-24 (1995).
- 14) 倉島顕尚, 田頭 繁, 市村重博, 坂田一拓, 前野和俊: PHS アドホックネットワークを用いた地域情報提供システムの提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO '98) シンポジウム, Vol.98, No.2, pp.611-618 (1998).
- 15) 片桐秀樹, 河口信夫, 外山勝彦, 稲垣康善: 赤外線を用いた頑健なモバイルアドホックネットワーク構築手法, 情報処理学会研究報告, Vol.98, No.55, pp.63-70 (1998).
- 16) 青野正宏, 渡辺 尚, 水野忠則: クラスタ型モバイル通信の提案, 情報処理学会研究報告, Vol.97, No.54, pp.49-54 (1997).
- 17) Mineno, H., Ohta, K., Aono, M., Ideguchi, T. and Mizuno, T.: A Proposal of a Protocol for Sharing Multiple Paths in Cluster Type Network, *Proc. 5th Intl. Workshop on Mobile Multimedia Communications MoMuC '98*, pp.237-243 (1998).
- 18) Mineno, H., Junshu, L., Ohta, K., Aono, M., Ideguchi, T. and Mizuno, T.: Multiple Paths Protocol for a Cluster Type Network, *18th IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC '99)*, pp.150-156 (1999).

(平成 11 年 4 月 28 日受付)

(平成 12 年 12 月 2 日採録)



峰野 博史 (正会員)

昭和 49 年生。平成 9 年静岡大学工学部情報知識工学科卒業。平成 11 年同大学大学院理工学研究科計算機工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。現在, NTT サービスインテグレーション基盤研究所勤務。企業通信ネットワーク診断, 網運用技術に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



青野 正宏 (正会員)

昭和 21 年生。昭和 44 年名古屋工業大学工学部経営工学科卒業。同年三菱電機入社。航空管制システム・通信システム等のシステム開発に従事し現在三菱電機官公 CCV 推進事業本部勤務。平成 9 年静岡大学大学院理工学研究科博士後期課程に社会人学生として入学, 在学中。技術士(情報工学部門)。電子情報通信学会会員。



太田 賢 (学生会員)

昭和 46 年生。平成 6 年静岡大学工学部情報知識工学科卒業。平成 8 年同大学大学院修士課程修了。平成 10 年同大学院博士課程修了。博士(工学)。平成 11 年 NTT 移動通信網(株)入社。平成 9 年度日本学術振興会特別研究員。モバイルコンピューティング, マルチメディア通信, グループウェアに関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



井手口哲夫 (正会員)

昭和 24 年生。昭和 47 年電気通信大学工学部通信工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。平成 10 年愛知県立大学情報科学部地域情報科学科教授。工学博士。ネットワークアーキテクチャ, LAN, 通信プロトコル設計方式, モバイルコンピューティング, 等の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



水野 忠則 (正会員)

昭和 20 年生。昭和 43 年名古屋工業大学工学部経営工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。平成 5 年静岡大学工学部教授, 平成 7 年より同大学情報学部教授。工学博士。分散システム, コンピュータネットワーク, モバイルコンピューティングに関する研究・開発に従事。著書としては「分散システムコンセプトとデザイン」(電気書院, 訳)「コンピュータネットワーク」(オーム社)「インターネットとコンピュータネットワーク」(ブレンティスホール出版)等多数。情報処理学会標準化委員会委員, 研究会幹事, 理事等を歴任。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。