

通信回線共有方式を利用した高速 Web アクセス方式の実装と性能評価

小西 洋祐[†] 石原 進[‡] 水野忠則[‡]

静岡大学大学院情報学研究科[†] 静岡大学情報学部[‡]

現在いつでもどこでもだれでもインターネットに接続することができるモバイルコンピューティング環境が急速に普及し、より身近なものとなってきた。しかしながら無線通信環境は有線のそれに比べると通信の品質が低く、通信速度が遅いという問題がある。そこで筆者らは数台の移動ホストにより一時的に短距離のネットワークを構築し、これらの各端末が持つ長距離無線リンクを束ねることで論理的な帯域幅を広くし、より品質の高い通信環境を実現するための方法として、通信回線共有方式 SHAKE を提案している。筆者らはこれまでに SHAKE を実現する例の一つとして利用するサービスを WWW に特化することによりインターネット上の任意のホストと SHAKE の利用を可能とする実現法 Web SHAKE を提案している。Web SHAKE に関してはこれまでに基礎評価を行い、その有効性を示してきたが、小さなサイズのデータを振り分けることによるオーバーヘッド問題などがあり、実験環境としてすべて無線ネットワークを使用した性能評価を行っていない。本稿ではオーバーヘッド部分の改善法を提案・実装し、旧方式との性能を比較する。またすべてを無線環境で実験を行い実際の想定環境に近い状態において Web SHAKE の性能を評価する。

Implementation and performance evaluation of Web SHAKE system

Yousuke Konishi[†], Susumu Ishihara[†] and Tadanori Mizuno[‡]

Nowadays mobile computing has become popular. Many people can access to Internet with mobile terminals. However wireless links used by mobile hosts have some problems such as narrow bandwidth and low reliability. To offer high speed communication on wireless links, we have proposed SHAKE (SHaring multiple paths procedure for cluster network Environment). In SHAKE, mobile hosts which are connected with fast local links each other use multiple wireless links owned by each host simultaneously to communicate with hosts on the Internet. We have already proposed a fast WWW access method with SHAKE (Web SHAKE) to realize an example of SHAKE. The feature of Web SHAKE is that it does not require any special software on web servers on the internet to use SHAKE. This system is realized by an use of HTTP Proxy Server which works on each mobile host. Web SHAKE system has already been implemented and evaluated. However this system had problems that the throughput is small on the contrary when mobile hosts receive small size data use of Web SHAKE. In this paper, we propose a new architecture to solve this problem. We present the result of performance evaluation of new Web SHAKE system in detail.

1 はじめに

パソコンの普及、通信環境の発展によりインターネットに接続するユーザーが爆発的に増加している。またノートパソコン、PDA などの小型携帯端末、PHS や携帯電話の普及によりモバイル環境も発展しており、モバイル環境からインターネットに接続するユーザーも現在では珍しくない。

そのような中でインターネット接続者の増加にともないインターネットに求められるニーズも多様化し、より高品質なサービスが求められている。WWW(World

Wide Web) を例にとると、多様なニーズに応えるため画像や音声、動画などのマルチメディアデータを使ったホームページは現在では珍しくなく、コンテンツの大容量化が進んでいる。このようにデータが肥大化する一方、無線通信は有線通信に比べると帯域幅が狭く、マルチメディアデータなどの大容量のデータ転送には今だ十分とは言えない。また無線環境ではハンドオフやビットエラーに伴う TCP の性能の悪化などにより、さらにデータのダウンロードに時間が増すことになる。

筆者らはこれまでに無線通信環境下でも高速、高品質のデータ通信を実現するための方式として通信回線共有方式 SHAKE (SHaring multiple paths procedure for cluster network Environment) を提案している [1]。これは移動端末それぞれが持つ外部への長距離無線リン

[†]Faculty of Information, Shizuoka University

[‡]Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

クを共有し、一時的にネットワークを構成してそれらを論理的に束ねることにより、高速・高品質なデータ通信を実現する方式である。

筆者らはこれまでに SHAKE を実現する例の一つとして、Web SHAKE を提案し、実装・性能評価を行っている [2]。Web SHAKE は利用するサービスを WWW に特化することによりインターネット上の任意のホストと SHAKE の利用を可能とする実現手法である。Web SHAKE では、各移動端末上で動作する HTTP Proxy サーバを利用することにより、通信回線を共有する移動端末へのプログラム追加のみで、特別なソフトウェアを備えないインターネット上の任意のホストへの高速 Web アクセスを実現する。

これまでに Web SHAKE システムは実装・評価されてきたが、小さいサイズのファイルを振り分けると返ってオーバーヘッドになり、性能が悪化するという問題点があった。また実験環境として移動端末の構成には有線 LAN を使用した性能評価しか行っていないが、SHAKE はすべて無線通信を用いたアドホックネットワーク環境を想定している。

本稿ではオーバーヘッド部分の改善法を提案・実装し、旧方式との性能を比較する。またすべてを無線環境で実験を行い実際の想定環境に近い状態において Web SHAKE の性能を評価する。

2 Web SHAKE

2.1 通信回線共有方式 SHAKE

現在外出先や移動中にインターネットに接続してホームページ閲覧を楽しむなどという時には PHS、携帯電話を使用したデータ通信サービスが利用されるが、これらは有線通信に比べると通信速度も遅く、品質も悪い。そこでそれぞれ外部への無線リンクをもつ複数の移動端末が一時的にネットワークを作り（このネットワークをクラスタと呼ぶ）、ある端末がクラスタ外のホストと通信するときは、それ自身をもつ無線リンク以外にクラスタ内の他の移動端末の持つ無線リンクも利用すれば、単体では低速・低品質な無線リンクしか持たない端末でも高速・高品質な通信が可能である。この方式を我々は通信回線共有方式 (SHAKE) と呼んでいる。SHAKE による通信の例を図1に示す。SHAKE には以下のような利点がある。

- 無線通信環境下での転送レートの向上
- 自身が外部へのリンクを持たない時、または利用不可能な時でも他の端末のリンクを利用可能

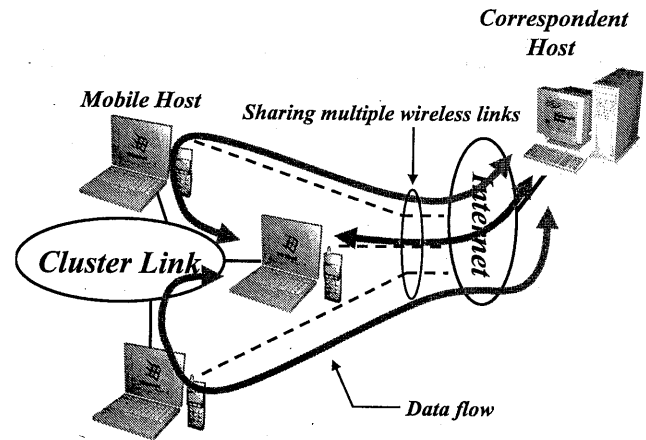


図1 通信回線共有方式 (SHAKE) による通信例

- クラスタは動的に形成することができ、物理的な場所に依存しない

関連研究として PPP マルチリンク [3] や専用装置を使用した複数 PHS の同時利用方式 [4] などがある。これらはいずれも個々のホストが持つ複数のネットワークインターフェイスを同時に利用してデータリンク層で並列化を行うものであり SHAKE とは異なる。

2.2 Web SHAKE システム

2.2.1 概要

SHAKE を実現するアプリケーションの一つとして SHAKE 試作システムが実装・評価されてきたが [1]、試作システムで用いた実現方法では、クラスタと通信するクラスタ外部のホストは、SHAKE 用のソフトウェアを組み込んだものに限定されていた。しかしながら SHAKE を利用する上では、任意のホストと通信ができる方が望ましい。そこで筆者らは利用するプロトコルを HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) に限定することで、インターネット上の任意のホストと SHAKE による通信が可能な高速 Web アクセス方式 WebSHAKE を提案している。Web SHAKE では HTTP Proxy サーバを利用することによりクラスタを構成する各移動端末のみに SHAKE を実現するモジュールを組み込むだけで、任意の Web サーバと通信することが可能である。

2.2.2 Web SHAKE アーキテクチャ

HTTP [5] にはファイルを受信するリクエストメッセージである GET 要求以外に POST 要求など種々の

メッセージがある。WebSHAKE では受信するファイルのサイズ情報、更新情報などを含んだ HEAD 情報のみを受信する HEAD 要求と HTTP1.1 から取り入れられた受信するファイルの範囲を指定できる領域指定要求 (Partial GET) を利用する。HEAD 要求は受信するファイルのサイズ情報を取得するために、Partial GET はファイルを分割して受信するために使用する。

WebSHAKE のアーキテクチャを図2に示す。クラスタ内の各移動端末で SHAKE の機能を組み込んだ SHAKE HTTP Proxy(以下 SHP) を動作させる。SHP がローカルで動作する HTTP クライアントから HTTP 要求を受信し、他の移動端末上で動作する SHP へ HTTP 要求を分散させる。ローカルホスト以外から要求を受信した場合、SHP は通常の HTTP Proxy として振舞う。すなわちクラスタ内の他の端末から分散された要求を受信した SHP は、受信した HTTP 要求をそのまま Web サーバへ代理要求することになる。

以下 WebSHAKE における Web サーバからクライアントへのデータ転送プロセスを説明する。

1. SHP はローカルホストで動作する Web ブラウザなどの HTTP クライアントから GET 要求を受信する。
2. SHP は受信するファイルのサイズ情報を取得するために、Web サーバへ HEAD 要求を送信してファイルサイズを取得する。
3. SHP は、取得したファイルサイズをもとに、各無線リンクに割り当てる転送ファイルサイズを決定し、Partial GET 要求をクラスタ内の各移動端末上の SHP に送信する。各 SHP は並列に動作し、Web サーバからのファイル取得を Partial GET 要求により行う。
4. SHP は HTTP Proxy サーバとして振舞うので、受信した分割ファイルはそのまま GET 要求を發したクライアントが動作する移動端末の SHP へ送信される。
5. クライアントから GET 要求を受けた SHP は、分割して受信したファイルのデータを再整列・結合し、HTTP クライアントへ送信する。この時分割して受信したファイルには不要なヘッダが付加されているのでこのヘッダを取り除き、2 で取得したオリジナルヘッダを付加してから結合する。

上記のデータ転送プロセスを以下 F-H 方式 (First-Head Request Procedure) と呼ぶ。HEAD 要求や PartialGET 要求、各クラスタの管理、およびファイルの再整列・結合処理はすべて SHP が行う。WebSHAKE では SHP が Partial GET 要求を利用することで、ク

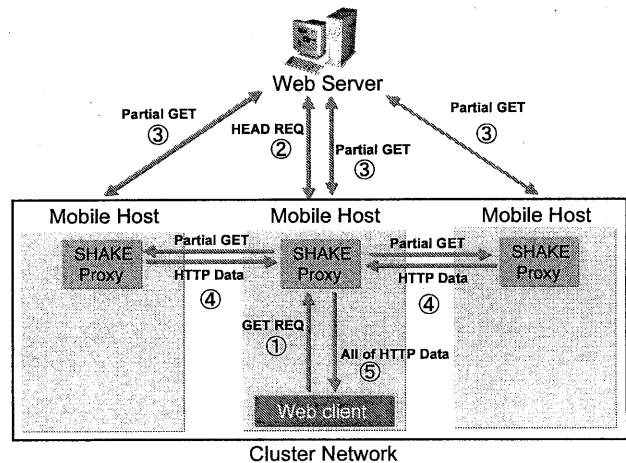


図 2 WebSHAKE Architecture

ラスタ側で Web サーバからのデータ受信経路を振り分けることができるため、Web サーバがクラスタ内の移動端末を管理したり、複数経路へのデータ分配を行う必要はない。また SHP が HTTP Proxy サーバとして振舞うので、クラスタ内の移動端末でも SHAKE 用の特別な HTTP クライアント等を用意する必要がない。

2.3 データ転送プロセスの最適化

2.2.2 節で示したアーキテクチャでは、受信するファイルサイズが数 KB の時にかえって性能が悪化することがすでに確認されている [2]。これは 1 本の無線リンクで受信したほうが早い小さなデータを、更に細かく分割して受信してしまうために、オーバーヘッドが相対的に大きくなったのが原因である。

この問題を解決する方法として図 2 の②における SHP による最初の HEAD 要求を Partial GET とする方法がある。Partial GET では、ファイルの一部分のデータだけでなく Partial Content というヘッダからファイル全体のサイズを知ることができる。このため、HEAD 要求の代わりに Partial GET を用い、ファイルの先頭のデータを一部受信するにすれば、サイズの小さなファイルは一度の SHP-Web サーバ間のメッセージ交換でファイル全体を受信できる。サイズの大きなファイルの場合は、最初の Partial GET で受信できなかった残りのデータを分割して複数のリンクを同時に利用して受信すればよい。以下のこのデータ転送プロセスを F-P 方式 (First PartialGET Request Procedure) と呼び、F-H 方式とは区別する。

3 性能評価

3.1 実装

WebSHAKE を実現するものとして SHP を実装した。開発言語には C を使用しており、FreeBSD、Linux などの UNIX 系 OS 上で動作する。SHP は他のホストからは一般の HTTP Proxy サーバとして振るまうように見えるので、一般の Web ブラウザからプロキシとして選択して利用することが可能である。SHP にはクラスタの数、クラスタを構成する各ホストの IP アドレス、ポート番号、そして振り分けの比率を与える。現在の実装状況では各リンクの状態に応じて動的に振り分けの比率を変更させることはできない。

3.2 実験

3.2.1 実験環境

実験には PIAFS 通信用と無線 LAN 通信用の PCMCIA カードを装着したノート PC 3 台を使用した。ノート PC には Panasonic の CF-B5V (CPU: Celeron 500Mhz, Memory: 128 Mbytes) 2 台と TOSHIBA の SS3010 (CPU: MMX Pentium 233Mhz, Memory: 64Mbytes) を使用し、OS にはすべて Linux Vine2.1.5 を使用した。PHS 通信用の PCMCIA カードには SII の MC-P210 を 1 枚と NTTDoCoMo の Pin Comp@ct2 枚を使用した。クラスタネットワークの構成には 100BASE-T のイーサネットと IEEE802.11b 準拠のメルコ 11M 無線 LAN WLI-PCM-L11 で構成した。

3.2.2 実験

以上のような環境で以下の 3 つの実験を行った。

実験 1 : 各リンクにばらつきがない場合の検証

無線リンクのスループットには、ばらつきが無く、ほぼ同じスループットが得られる環境で性能を測定した。実験 1 では、無線リンクが 1 本の時と、2 本を共有した時の性能比較と、その時のクラスタ構成の媒体を変えたときの影響の 2 点において検証した。

実験 1 の実験環境の構成図を図 3 に示す。この環境で無線リンクを 1 本使用した時と、2 本共有した時で、Web サーバから 1Kbytes~1Mbytes までの様々なサイズのファイルを受信した時のスループットを測定した。ここでスループットとは HTTP クライアントからの GET 要求送信から、結合したファイル全体の受信までに要した平均スループットである。図 3 の通り、AP (Access Point) と Web サーバには静岡大学の LAN 上

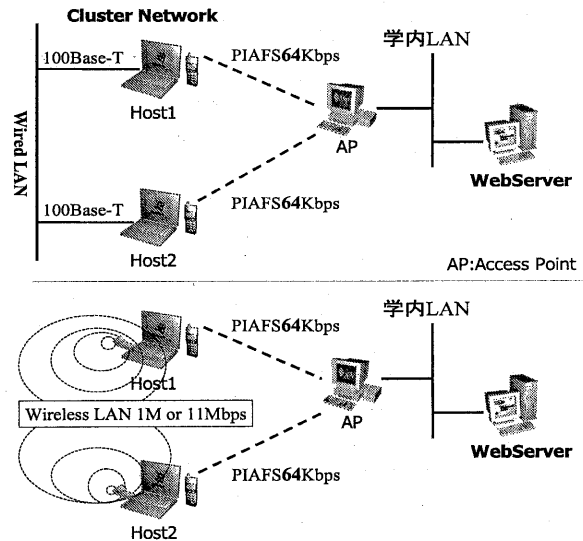


図 3 実験 1 の環境

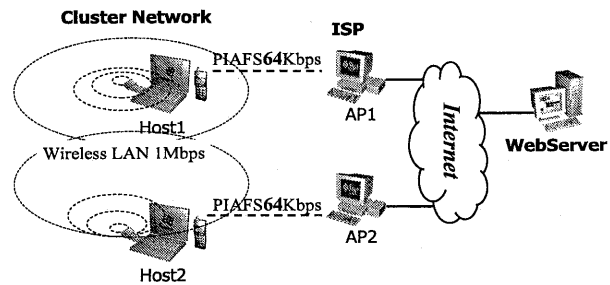


図 4 実験 2 の環境

のものを使用し、インターネットを経由していない。各無線リンクの通信速度は 64Kbps である。クラスタネットワークの構成には有線 LAN(100Mbps) と無線 LAN(11Mbps と 1 Mbps) の 3 つのケースでそれぞれ測定を行っている。また各無線リンクに対してトラフィックは各経路に等分配し、F-H 方式で振り分け処理を行った。

実験 2 : F-H 方式と F-P 方式の性能比較

実験 2 の実験環境の構成図を図 4 に示す。実験 2 では F-H 方式と F-P 方式を比較し、小さなサイズのファイルに対する性能の違いを検証した。実験環境はほぼ実験 1 の環境と同じであり、異なる点は、大学内の AP をせず、商用の ISP の AP を利用し、インターネットを経由させることでより小さいサイズのファイルの転送に対してオーバーヘッドの影響が出やすいようにしていることである。測定は実験 1 と同様に Web サーバからファイルを受信してそのスループットを測定している。ただし実験 2 ではファイルサイズの小さい

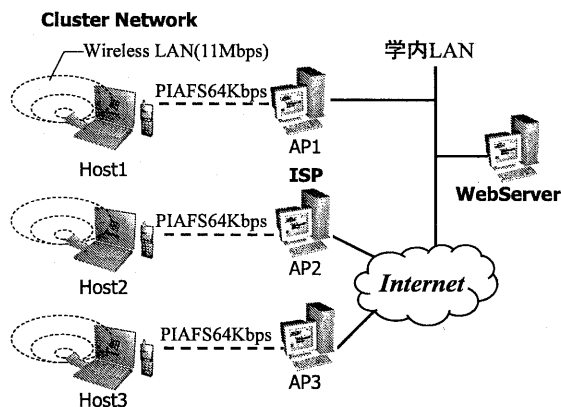


図 5 実験 3 の環境

部分に着目しているため、1KB~128KB までのファイルサイズで測定している。F-P 方式で、最初の Partial GET 要求で受信するファイルサイズ (以下閾値と呼ぶ) を、10KB、20KB、30KB に変化させたとき、F-H 方式で受信した場合で性能を比較した。

実験 3: 各リンクにばらつきがある場合の検証

AP には商用の ISP を利用しインターネットを経由させ、使用する無線リンクの遅延にばらつきがある環境において、F-H 方式と F-P 方式 (閾値は 20KB) でスループットを測定した。

実験 3 の実験環境の構成図を図 5 に示す。実験 3 では 64Kbps の帯域幅を持つ無線リンクを 1~3 本共有した時の Web SHAKE の性能を測定した。測定方法は実験 1 と同様、様々なファイルを受信した時のスループットを測定している。

各無線リンクに対してトラフィックは各経路に等分配した。共有するリンクが 2 本のときに使用した無線リンクは PIAFS64K+AP2 と PIAFS64K+AP3 の 2 種類である。1 本のときの測定に使用した無線リンクは PIAFS64K+AP1 のリンクである。接続先は学内の Web サーバであり、図 5 の Host2 がデータの受信者である。

3.3 結果と評価

3.3.1 実験 1 の結果と評価

実験 1 の結果を図 6 に示す。この図より、受信するファイルのサイズが大きいくらいスループットが向上しており、1Mbytes のファイルを 2 本の無線リンクで受信した時は、1 本で受信した時と比べて約 1.9 倍の性能向上が確かめられた。実験 1 では学内の AP を使用しインターネットを経由していないので、小さいファイ

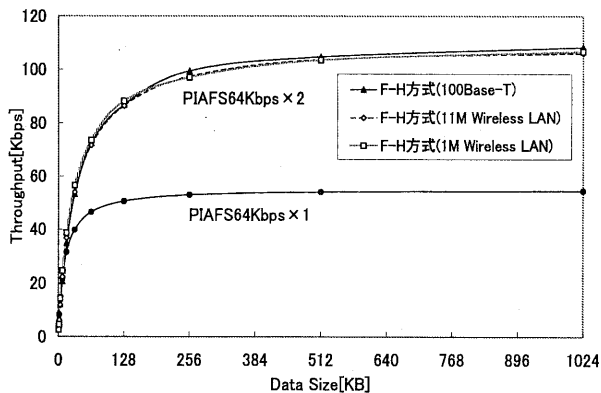


図 6 実験 1 の結果

ルに対するオーバーヘッドもそれほど見られなかった。

またクラスタの構成として、100Mbps の有線 LAN で構成した場合、11M と 1 Mbps の無線 LAN で構成した場合の 3 つのケースにおいて同じ測定を行ったが、図 6 で示される通り、これらの違いによる差異はほとんどない。

SHAKE では複数の移動端末が一時的に短距離ネットワークを構成し、それぞれが持つ低速な長距離無線リンクを論理的に束ねることで高速アクセスを実現しているが、それにはクラスタネットワークが束ねる長距離無線リンクに比べて十分に早いことが前提となる。実験 1 では束ねた長距離無線リンクの帯域幅が約 100Kbps であり、それに比べてクラスタネットワークは十分高速 (最も速度の遅い場合で 1Mbps) なので同じような結果が得られた。

3.3.2 実験 2 の結果と評価

実験 2 の結果を図 7 に示す。図 7 は 64Kbps の無線リンク 1 本で受信したときのスループットを 1 とした時の性能比を表している。図から F-H 方式では、64KB までのデータサイズに関して振り分けることによって、かえって性能が悪化し、性能比が 1 を下回っていることがわかる。

一方 F-P 方式では、あらかじめデータの先頭部分を Partial GET 要求により受信するため、性能悪化の原因となる小さなファイルは一度の SHP-Web サーバ間のメッセージ交換でファイル全体を受信できるためそのようなオーバーヘッドが大幅に軽減していることがわかる。

3.3.3 実験 3 の結果と評価

実験 3 の結果を図 8 に示す。図 8 から F-H 方式での測定結果を見ると、各無線リンクの遅延にばらつき

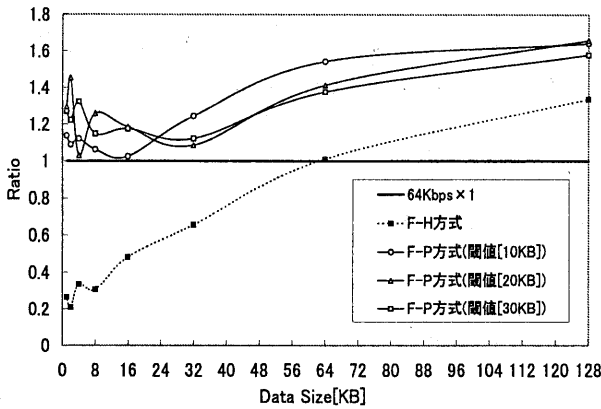


図 7 F-P 方式による閾値の変化

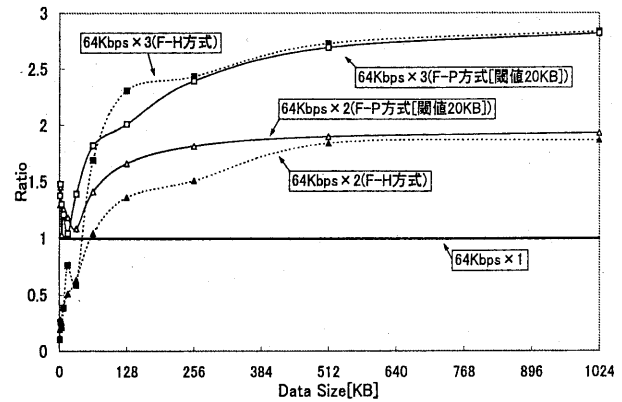


図 9 実験 3 の結果 (性能比)

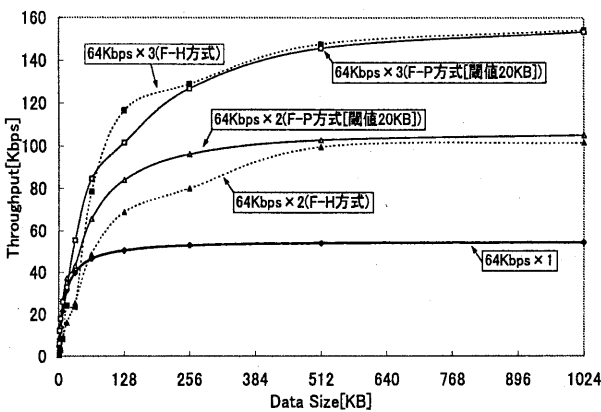


図 8 実験 3 の結果 (スループット)

がある場合でも、実験 1、2 の結果と同様に大きなサイズでは平均スループットが向上していることがわかる。1Mbyte のファイルを受信した場合、2 本の無線リンクで受信したときは約 1.9 倍、3 本の回線で受信したときは約 2.8 倍の性能が得られた。

しかし実験 2 のときと同様、F-H 方式ではサイズの小さいデータに対しては逆に性能が悪化し、無線リンク 1 本のときよりも性能が低くなっている。

図 9 は無線リンク 1 本で受信したときのスループットを 1 としたときの、F-H 方式、F-P 方式の性能比を示している。図 9 から F-H 方式では小さなファイルに対して性能比が 1 を下回っていることが確認できる。しかし閾値を 20KB としたときの F-P 方式での測定結果を見ると、F-P 方式では F-H 方式とは違い、小さなファイル転送における性能の悪化は少なく、スループットが無線リンク 1 本のみを使用した場合よりも下回ることはない。F-P 方式を適用することによって、小さなファイルに対しても Web SHAKE が有効であ

ることがわかる。

4 おわりに

通信回線共有方式を用いた高速 Web アクセス方式 WebSHAKE を提案し、それを実現するものとして SHP を実装した。またこれを用いた実験により本方式で Web からのファイル転送速度の向上が計れることを確認した。

SHAKE で想定するクラスタは一時的に回線を共有するもの同士のグループであり、常に参加、脱退を繰り返すアドホックネットワークである。今後の課題としてクラスタを動的に管理し、複数の無線リンクを有効活用するための動的な振り分け制御について検討する予定である。

参考文献

- [1] H. Mineno, et. al., "Multiple paths protocol for a cluster type network," Int. J. Commun. Syst, Vol. 12, pp. 391 - 403, December 1999
- [2] 小西洋祐, 石原進, 水野忠則, "通信回線共有方式を利用した高速 Web アクセスの実現" 情処研報, Vol. 2001, No. 13, pp. 17 - 24, 2001-MBL-16, 2001
- [3] K. Sklower, B. Liloyd, G. McGregor, D. Carr "The PPP Multilink Protocol (MP)," RFC1990, August 1996
- [4] 神尾享秀, 児島史秀, 藤瀬雅行, "384kbps-PHS 実験装置の概要と性能評価," 情処研報, Vol. 99, No. 80, pp. 33 - 40, 99-MBL-10, 1999.
- [5] R. Fielding, et. al., "Hypertext Transfer Protocol - HTTP1.1," RFC2616, June 1999.