

通信回線共有方式のためのクラスタ資源管理に関する検討

小 西 洋 祐[†] 石 原 進^{††} 水 野 忠 則^{†††}

現在移動携帯端末が普及し、またこれらの端末は複数のネットワークインターフェイス（以下 NetIF）を備えていることが多い。これらの NetIF はユーザが求める要求や品質、使用するアプリケーションの特徴などに応じて有効に利用できることが望まれる。筆者らはこれまでに複数の NetIF を備える携帯端末が集合したときに一時的なネットワークを構成し（クラスタ）、クラスタ内において各端末が協調してそれらの資源を共有することで、より快適なモバイル環境を実現するための方式として通信回線共有方式 SHAKE の提案・評価を行っている。

本論文では、各移動端末がクラスタ及び共有する資源情報をプロフィール化し、このプロフィールを自律的に告知・発見を行うことで、動的にクラスタを構成、資源を管理する手法を提案する。またこの手法と協調するアプリケーションとして、これまでに実装・評価した WebSHAKE システムを適用する。さらに複数のユーザにおけるクラスタ内の共有資源の使用による競合、他の端末が保持する資源に対する信頼性の欠如に対するトラフィック分配の課題とポリシーについて議論する。

A Study on Cluster Resources Management for Multiple Wireless Links Sharing System

YOUSUKE KONISHI[†], SUSUMU ISHIHARA^{††} and TADANORI MIZUNO^{†††}

Nowadays mobile computing has become popular. Many people can access to Internet with mobile terminals. Especially, mobile terminals have some network interfaces such as Wireless-LAN, IrDA, Bluetooth, PHS. 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 link each other use multiple wireless links owned by each host simultaneously to communicate with hosts on the Internet.

We assume that cluster network is Ad-Hoc. Therefore the cluster network is dynamic and mobile hosts may join to the cluster and leave at any time. In our current implementation of SHAKE systems, the cluster network is controlled by SHAKE applications. However because the cluster table that SHAKE applications has are not configured dynamically, it cannot handle mobile host that joins to the cluster network in the halfway.

In this paper, we propose the method of cluster resources management for multiple wireless links sharing system. The method is realized by a message exchange between each mobile hosts in the cluster network. This method enables hosts to join and leave the cluster network dynamically. In addition, We introduce the dynamic traffic control for Web SHAKE by using this method.

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も現在では珍しくない。特に近年第 3 世代移動体通信技術、無線 LAN

のホットスポット等のサービスも開始され、より高速にインターネットに接続することが可能となってきた。

またこれらの移動端末は複数のネットワークインターフェイス（有線 LAN、無線 LAN、PHS、携帯電話、Bluetooth、IrDA 等）を備えていることが多く、例えば自宅や Office では有線 LAN や無線 LAN を、移動中や出張先などでは携帯電話や PHS を使用するというように、ユーザはこれら複数のネットワークインターフェイス（以下 NetIF）を場面に応じて使い分けることが可能である。

しかしながら移動に伴う NetIF の切り替えは必然的にその品質（通信帯域、遅延、通信コスト）も切り替わることになり、先の例で言えば、無線 LAN から PHS、携帯電話などに接続を切り替えれば品質は低下し、今まで受けられていたサービス自体も低下、断念せざるをえない。

[†] 静岡大学大学院情報学研究所
Graduate School of Information, Shizuoka University

^{††} 静岡大学工学部システム工学科
Faculty of Engineering, Shizuoka University

^{†††} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

しかしこれらの端末が保持する短距離無線リンク (WirelessLAN, IrDA, Bluetooth 等) を利用してアドホックネットワークを構成し、自身が保持する長距離無線リンクだけではなく、他の端末がインターネットへの接続を持っていれば、これらの端末もゲートウェイとして利用することで、より柔軟で快適なネットワークが構成できると考えられる。

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無線リンクを共有し、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。無線リンクを共有することを目的として構成された一時的なネットワークを我々はクラスタと呼んでいる。

SHAKE では、すべて無線環境での使用が想定されており、クラスタはいつでもどこでも形成することが可能なアドホックネットワークを想定している。アドホックネットワークは既存のインフラに依存せず柔軟にネットワークを構成できる点において利点があるが、その反面トポロジが常に変化し通信路が頻繁に変化するため、SHAKE を利用する上でどの端末とクラスタを構成するのかを把握する必要がある。またクラスタを構成する各移動端末が有する複数の無線リンクを効率よく利用するためには常に変動、増減するこれらの資源 (端末、共有する複数の無線リンクの稼働状況、帯域、遅延等) をモニタリングしなければならない。さらにこれら共有する資源は各ユーザがそれぞれのタイミングで利用するため、クラスタ内において資源の競合、占有における課題がある。この課題に対処するため、ユーザの求める要求や品質に応じて利用する資源の調整機構が必要となる。

そこで本論文では、クラスタ及び共有する資源情報を管理する手法として各移動端末が自律的に資源情報の告知・発見を行うことで、動的にクラスタを構成する手法を提案する。またこの手法と協調するアプリケーションとして、これまでに実装・評価した WebSHAKE システムを適用したシステム、複数のユーザにおけるクラスタ内の共有資源の利用法とポリシーについて議論する。

以下本章の構成について述べる。二章では通信回線共有方式 SHAKE の概要とその応用例である WebSHAKE について説明し、クラスタ資源管理の必要性について提起する。三章では、動的にクラスタ資源管理を行う手法として SHAKE Cluster Control Manager を提案し、四章では、その応用として WebSHAKE に適用した例を紹介する。五章では、クラスタ内における共有資源の利用法とそのポリシーについて検討し、六章でまとめとする。

2. 通信回線共有方式 SHAKE

2.1 概要

現在外出先や移動中にインターネットに接続する場合、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、これら是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、それ自身が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¹⁾。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。

1. 無線通信環境下での転送レート、品質の向上
2. 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
3. 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
4. 異なる経路に冗長なデータを流すことによる信頼性の向上
5. 共有している各種 NetIF はクラスタを構成する各ユーザの要求に応じて柔軟に利用・変更可能

関連研究として PPP マルチリンク²⁾ や専用装置を使用した複数 PHS の同時利用方式³⁾、複数経路を用いたデータ転送方式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ことでデータ転送レートの高速化を実現する。SHAKE はネットワーク層以上での並列化、個々の端末だけでなく他の端末がもつ NetIF の同時利用、動的なリンクの増減・品質の変動を想定したマルチパスでのデータ転送を行う点でこれらとは異なる。

SHAKE は複数の携帯端末の持つ無線通信路を一時的に共有して通信を行うという概念を示すものであり、その実現には、TCP、IP 層での実現や、複数の TCP コネクションを利用したアプリケーション層での実現などが考えられる。

2.2 応用例: Web SHAKE

SHAKE を実現するアプリケーションの一つとして、これまでに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 の実装・評価を行ってきた⁵⁾。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。

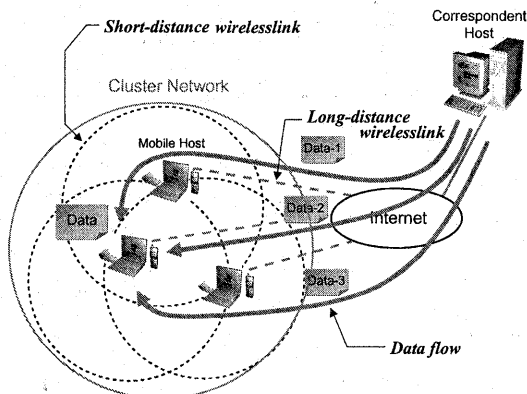


図 1 通信回線共有方式 (SHAKE) を利用した通信例

HTTP⁶⁾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 のデータ転送プロセスを図 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 Proxy (以下 SHP) を動作させる。以下にその動作について説明する。

- 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 要求を発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理・結合し、HTTP クライアントへ送信する。

2.3 クラスタ資源管理の必要性

通信回線共有方式 SHAKE を実現する例の 1 つとして、これまでに SHAKE 試作システム¹⁾、Web SHAKE⁵⁾が

ある。これらは各端末がもつ複数の無線リンクを他の端末がもつそれと同時に使用することで、転送レートの向上、品質の改善を実現しているが、クラスタ内の資源管理に対する十分な機構を備えていないのが現状である。クラスタを構成する各端末の情報、現在どの端末がクラスタに参加しているのか、どの資源を利用できるのか、またそれをどの程度使用できるのかなどといった情報はあらかじめ既知として扱ってきた。クラスタ内の資源情報は、各端末上で動作する SHAKE の機能を有した SHAKE ミドルウェア内 (SHP など) で静的に管理されており、クラスタを動的に管理する機能を備えていないため、通信途中で端末がクラスタから脱退する、回線が切断された時に代替となる回線を使用するようなケースを扱うことはできなかった。

しかしながら SHAKE におけるクラスタはアドホックネットワークを想定しており、クラスタを構成する端末は常に参加脱退を繰り返す可能性がある。また各端末の資源、例えば各無線リンクの品質 (帯域や遅延、パケットロス率等) はその端末を保持するユーザ自身による通信、通信する接続先、ネットワークの状態、ロケーション、電波状況などにより常に変動するため、SHAKE を利用する上で効率よく資源を共有するためにはこれらの管理が必要である。

さらにユーザの要求やアプリケーションによっては、SHAKE を使う利点は転送レートの向上よりも別に存在する。例えば、あるユーザが重要な会話を Chat により行っていたと仮定する。この場合ユーザが求めるのは転送レートの向上ではなく、接続 (セッション) の維持であると予測される。また Web の閲覧などにおいてもユーザの要求によっては、セキュアな通信路の選択を望む場合もある。

このように SHAKE の利点を生かし、ユーザが求める品質でサービスを提供するためには、ユーザが各アプリケーションに求める要求、そして各アプリケーションごとに異なる性質に応じて SHAKE で利用可能なネットワー

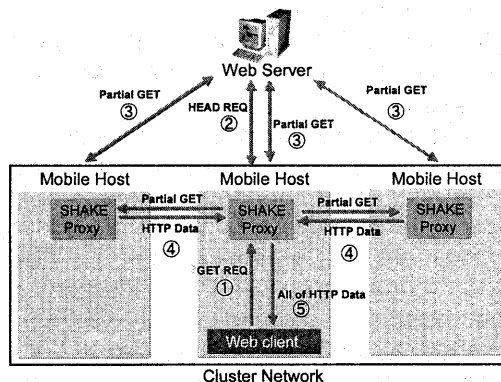


図 2 WebSHAKE におけるデータ転送プロセス

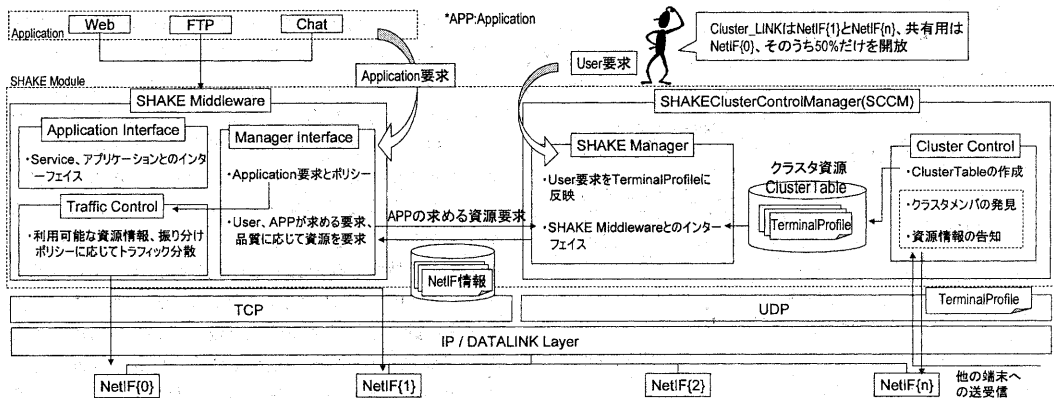


図3 クラスタ資源管理部分を分離したシステム構成図

クを適切に選び出す機構が望まれる。

3. クラスタ資源管理

ユーザやアプリケーションからの様々な要求によって適切な NetIF を選択するためには、SHAKE に利用可能な資源情報を自動的に取得する必要がある。SHAKE に利用可能な資源情報とは、共有可能な CPU、メモリ、ストレージ、NetIF などが考えられる。

その手法として各端末が自律的に SHAKE に利用可能な資源情報を告知、発見することで動的にクラスタを構成する手法を提案する。アプローチとしてこれまで SHAKE ミドルウェア内で、静的に管理されていたクラスタ内の共有可能な資源管理を扱う機能を SHAKE ミドルウェア（以下 SHAKE MID）とは切り離し、独立して機能させる。図3にそのシステム構成図を示す。

SHAKE Cluster Control Manager（以下 SCCM）は SHAKE を利用する各端末上のローカルで動作し、クラスタを構成する端末及び資源情報の発見、SHAKE に利用可能な資源情報の告知、及び SHAKE MID とユーザの要求との協調を行う。SCCM は Cluster Control と SHAKE Manager の二つの機能から構成される。

3.1 Cluster Control

Cluster Control は SHAKE に利用可能な資源情報の告知（Advertisement）、クラスタを構成する端末の発見（Discovery）、および資源情報の管理を行う。

SHAKE では、Internet に接続されている外部への無線リンク、そしてクラスタを構成するための内部への無線リンク（以下クラスタリンク）の二つ特性を持った NetIF を有する。外部への接続は各ユーザが DHCP などを利用し動的に IP および経路を取得し接続することが可能である。しかし内部経路、すなわちクラスタ内の経路においては頻繁にトポロジが変化するアドホックネットワークであるため、DHCP のように Internet 上にサーバーを設置し集中的に管理することは適切ではない。したがって各端末自身が自律的にクラスタに参加可能な Peer を

発見する必要がある。

3.1.1 クラスタ間で共有する資源情報

クラスタを構成する各端末は、共有する資源情報を TerminalProfile に記述し、他の端末へこれを送信する。TerminalProfile を受け取った端末は、TerminalProfile を各端末ごとに管理した ClusterTable を作成し、SHAKE を利用する際にこの情報を参照する。TerminalProfile とは自身が持つ資源（CPU、メモリ、NetIF など）を他の端末へ告知するための情報である。図4に TerminalProfile の内容を示す。

ID はクラスタを構成する各端末同士をそれぞれを識別するために必要であり、クラスタ内で唯一の値を持つよう作成する。ComputerType、OS、CPU、Memory などは SHAKE を使用する端末選びの時の情報として参考になりえる情報である。処理速度が遅い CPU よりもより高速の CPU を持った端末に処理させたほうが良い時のほうが多い。Service はどの SHAKE アプリケーションを使用することができるかを判断できる。各端末がどの SHAKE 実装がなされているかをここで記述する（例：Web SHAKE）。Cluster_Link はクラスタ内通信に利用される NetIF 資源であり、IP アドレスや帯域、遅延、パケットロス率、電波状況などが記述される。External_Link は SHAKE を利用する上で他の端末と共有される NetIF の情報であり、現在の稼動状況の有無、共有する帯域の割合などが記述される。Battery_Level はその携帯端末のバッテリー残量などの情報を含める。

3.1.2 クラスタの参加・脱退、資源管理

クラスタの参加は、TerminalProfile を UDP を利用してブロードキャストを行い他の端末へ告知することで実現する。クラスタを構成する各端末は自身で作成した TerminalProfile をクラスタリンクを用いて定期的にブロードキャストを行い告知する。他の端末からの TerminalProfile を受信した場合、その端末がクラスタに参加したのとして自身が保持する ClusterTable にその TerminalProfile の情報を追加する。ClusterTable とは

項目	説明
ID	他の端末を識別するための固有識別子
Computer_Type	コンピュータのタイプ。NOTEPC、PDA、携帯電話など
OS、CPU、Memory	その端末の処理能力
Service	使用可能なサービスを表す。(EX:Web SHAKE)
Cluster_Link	クラスタリンクの情報。帯域、遅延、パケットロス率など
External_Link	Sharingする外部リンクの情報。(稼動状況や品質)
Battery_Level	端末のバッテリー残量などの情報

図 4 TerminalProfile の内容

TerminalProfile の ID ごとに管理された TerminalProfile の集合体であり、クラスタを構成する各端末はそれぞれの ClusterTable を用いて自端末以外の端末情報を管理している。

クラスタの脱退に際して、各端末は脱退を意味するメッセージを告知する必要はない。各端末はそれぞれ独自の間隔で定期的に TerminalProfile をブロードキャストしている。この間隔をそれぞれの端末ごとに保持しておく。この平均時間の三倍の時間をその Profile の有効期限とさだめ、その期限を超えた場合はその端末に関する TerminalProfile を ClusterTable から削除しクラスタから脱退したものとみなす。

3.2 SHAKE Manager

SHAKE Manager は SHAKE MID との Interface、及びユーザからの要求を TerminalProfile に反映させる機能を担う。クラスタを構成する各端末下では、SCCM と SHAKE MID が動作している。SHAKE MID はクラスタ内における SHAKE に利用可能な資源情報を保持しないため、SCCM にこの情報を問い合わせる。SHAKE Manager はこのインターフェイスを SHAKE MID に提供する。提供する情報は SHAKE MID からの要求に応じてクラスタ資源情報である ClusterTable から参照して応答する。SHAKE MID からの要求には現在共有可能な NetIF 資源の一部またはすべての提供、最もセキュアな NetIF 資源の提供などが考えられる。

また SHAKE Manager はユーザからの要求を自身の TerminalProfile に反映させる。ユーザからの要求とは、例えばユーザが使用する携帯端末が WirelessLAN と PHS カードの二つの NetIF を備えている場合、共有 NetIF として PHS カードを選択し、その帯域の 30 % を共有、WirelessLAN はクラスタリンク用として提供するような情報が考えられる。SHAKE Manager はこのようなユーザからの要求を TerminalProfile に反映させ、ClusterControl によって他の端末へ告知する機能を備える。

4. SCCM の適用 : WebSHAKE

クラスタの動的な参加・脱退、および SHAKE に利用可能な資源を管理する手法として SCCM を提案した。SCCM は他の SHAKE MID とは独立に動作するよう設

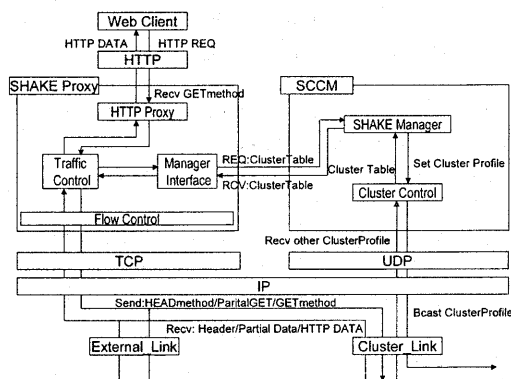


図 5 WebSHAKE に SCCM を適用したシステム構成図

計されているため、SHAKE MID はこれらに関する機能を実装する必要がなく、SHAKE MID にとって必要な情報を必要な時に SCCM に問い合わせればよい。本章では SCCM の実装例として、これまでに実装・評価を行った Web SHAKE システムに適用した場合のシステム構成を紹介する。

WebSHAKE はクラスタ資源管理を SHP 内に静的に保持していたため、動的なクラスタの参加・脱退に対応することができないという課題があった。そこで 3 章で提案した SCCM を適用することにより、動的なクラスタの参加・脱退に対応させる。図 5 にそのシステム構成図を示す。これまで SHP 内において静的に管理されていたクラスタ資源管理は SCCM が行い、SHP は Manager Interface を用いて SCCM の SHAKE Manager に SHAKE に利用可能な NetIF 資源情報を要求することで、利用可能な NetIF 資源情報を取得することが可能となる。SHP からの資源要求リクエストを受信した SHAKE Manager は、そのリクエストに応じた情報を ClusterTable から参照し、SHP へ応答を返す。利用可能な NetIF 資源情報を受け取った SHP はこの情報を基に 2.2 節で解説したデータ転送プロセスに従って SHP 内の TrafficControl がトラフィック分散を行う。

このように SCCM と協調することで、SHP は下位層の状況を把握することが可能となり、動的なクラスタの参加・脱退に対応することが可能となる。

5. クラスタ内における共有資源の利用方法とポリシー

これまでクラスタ内における共有資源の利用は、クラスタを構成する 1 端末を使用する 1 ユーザのみを想定し検討を行ってきた。この想定では、1 つの共有資源に対して複数のユーザが同時に利用することで発生する資源競合は発生しない。しかしながらクラスタを構成する各ユーザは任意にこれら共有資源を利用することが可能なため、資源競合について検討する必要がある。

そこで本章では、複数のユーザが同時に共有資源を利用する場合のクラスタ資源の利用法とポリシーについて検討する。

SHAKE の特徴である他の端末が保持する NetIF 資源の利用には以下二つの課題がある。

- (1) NetIF 資源競合によって生じるユーザ間の公平性の欠如
- (2) 他の端末が保持する NetIF 資源の品質、信頼性の欠如

この課題に対処するアプローチとして、(1) は帯域制御、(2) はトラフィック分配に焦点をあて、次節それぞれについて解説する。

5.1 ユーザ間の NetIF 資源競合と帯域制御

ユーザ間の NetIF 資源競合とは、あるユーザがデータ通信を行う際、そのユーザの端末が保持する NetIF 資源だけではなく、他のユーザの端末が保持する NetIF 資源も同時に利用することにより生じる。クラスタ内で共有されている NetIF 資源は各ユーザによって任意のタイミングで利用される。従って資源競合が発生した場合、SHAKE を利用される側 (NetIF 資源を他の端末に供給する側) からの観点から見ると、自分が保持する端末の NetIF 資源の品質すべてを使用することができないという課題がある。

例えば従来の WebSHAKE においても、他の端末の NetIF 資源を利用している時に、その NetIF 資源を所有する端末自身がデータ通信を行うようなシナリオが発生する。従って他の端末に自身が保持する NetIF 資源を利用されている時でもその NetIF 資源を優先的に利用できる仕組みが望まれる。この課題に対処する手法として次の二つが考えられる。

- 他の端末に NetIF 資源を利用される場合の最大回線利用率を TerminalProfile 内で管理する手法
- トラフィックの流量制御 (FlowControl) を各端末内で動的に行う手法

以下それぞれについて説明する。

5.1.1 回線利用率を TerminalProfile 内で管理する手法

これはユーザが共有する NetIF 資源における他の端末の使用率をあらかじめ決定し、TerminalProfile 内にその情報を記述して告知する手法である。例えば共有する NetIF の帯域が論理的に最大 64Kbps であると仮定した場合、64Kbps 中 50 % の 32Kbps を共有すると TerminalProfile 内に記述して告知する。この手法は SHAKE を利用する (他人の資源を利用する) 側がトラフィック分配を行う時にその分配率を決定しやすく、自分以外の NetIF 資源がその告知された帯域を上限として保証される。一方利用される側においても、他のユーザが最大でも共有用に告知した割合しか占有しないことが保証される。

しかしながら、利用する側は相手先のトラフィック量が 0 の場合でも最大 32Kbps しか使用できず、利用され

る側も他の端末が自身の保持する NetIF 資源を占有している間は、64Kbps の回線を所有しているにもかかわらず 32Kbps しか使用できないため有効なリンクの使い方とはいえない。

5.1.2 トラフィックの流量制御を各端末内で動的に行う手法

この手法は、各端末内でトラフィックの優先度を考慮する手法であり、共有している NetIF 資源を使用していない時にはその資源の品質すべてを他の端末に供給し、自身が使用する場合には例え他の端末がデータ通信を行っている間でもその帯域を制御し、自分のデータ通信を優先的に行う手法である。TerminalProfile には共有する NetIF 資源の最大帯域幅が記述され、各端末が流量制御を動的におこなう。

この手法の利点は、共有する NetIF 資源において競合・占有が発生していなければリンクの有効利用ができ、自身のデータ通信を行う際には自身が保持する NetIF 資源を優先的に利用することができる。

ただし、この手法では自身以外の NetIF 資源に対する品質の保証がされず、共有している NetIF 資源の品質はその資源を保持しているユーザによって左右されるためトラフィック分配が複雑になるという欠点も存在する。

5.2 トラフィック分配とポリシー

本節では、他の端末の保持する NetIF 資源の品質、信頼性は保証されないことを前提としたトラフィック分配とそのポリシーについて検討する。SHAKE において自身が保持する NetIF 資源以外の NetIF 資源には品質の保証がされない。SHAKE を利用するユーザは自由にクラスタの参加・脱退が可能であるが、それは同時に共有する資源もいつ利用可能・不可能になるかは各ユーザ次第で決定されることを意味する。

SCCM を適用することで、他の端末へリクエストを分配する際に SCCM に利用可能な NetIF 資源を問い合わせるため、この時点での端末の動的な参加・脱退はサポートされる。しかしながらデータを送受信中に利用可能な NetIF 資源が変更になった場合に、トラフィック分散を行うことによる転送レートの低下、データの消失などの課題が生じる。図 6 に従来の振り分けポリシーを示す。T_{base} は、MobileHost1(MH1) がクラスタを構成せず、自身が保持する NetIF のみを利用して、データサイズ D のファイルを受信した時のレスポンスタイムを示している。シナリオ 1、2 では、三台の端末 (MH1, MH2, MH3) がそれぞれクラスタを構成し、受信ファイルを分割して並列に受信した時の様子をそれぞれ示している。

シナリオ 1 では、全ての端末において分割したファイルのレスポンスタイムが T₁, T₂, T₃ < T_{base} となり性能が向上していることを示している。しかしながらシナリオ 2 では、MH1, MH2 においては T₁, T₂ < T_{base} であるが、T₃ > T_{base} であるため、SHAKE を使ったことによる MH1 のレスポンスタイムは T₃ となり、性能が悪

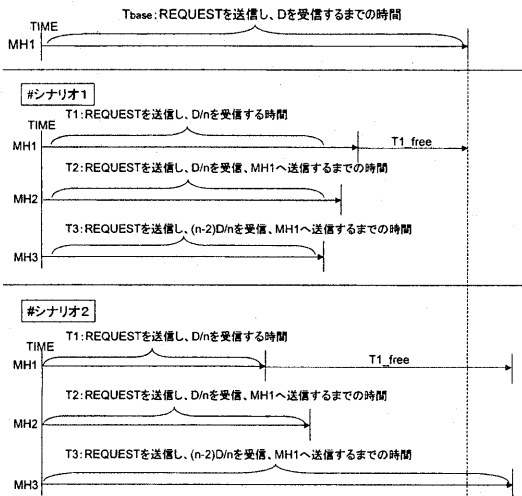


図 6 従来の振り分けポリシーによるレスポンスタイム

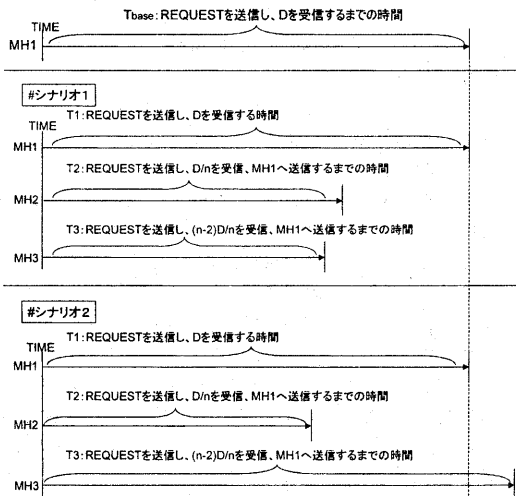


図 7 新しい振り分けポリシーによるレスポンスタイム

化する。

従来のトラフィック分配のポリシーは、自身が保持する NetIF 資源だけではなく、他の端末がもつ NetIF 資源の品質が保証される（バックグラウンドトラフィック、データ転送中におけるリンクの切断は発生しない）と仮定し、適切な振り分け比率を算出してきた。このポリシーは、他の端末が保持する NetIF 資源の品質が保証できるという仮定であれば有効に機能する。しかしシナリオ 2 のように、他の端末がもつ NetIF 資源に変動があった場合（バックグラウンドトラフィックや切断）においては有効ではない。

従ってトラフィック分配を行う際、リクエストを送信する時点では適切な振り分け分配であったとしても、データ送受信中の NetIF 資源の変動などにより性能が逆に悪化するようなケースも考えられる。また振り分けたデータを送受信している端末が、クラスタからの脱退、外部リンクの切断がおこった場合、その端末に依頼したデータを再度利用可能なリンクからリクエストを再送する必要がある。

以上からデータ送受信中において、クラスタ内資源の競合・占有から生じる NetIF 資源の変動に対応できるトラフィック分配とポリシーが必要である。

5.2.1 自身が保持する NetIF 資源のみを信頼するポリシーと振り分け制御

品質が保証されるのは自身が保持する NetIF 資源だけであり、他の端末が保持する NetIF 資源は、たとえそれが高品質なリンクの場合であっても、その品質はそのリンクを保持しているユーザだけが保証され、SHAKE を利用する側の端末からみればそのリンクをその品質で利用できるという保証はない。従って他の端末が保持するリンクは各ユーザによる任意のタイミングでバックグラ

ウンドトラフィック、切断が発生することを想定した場合、従来のポリシーでは有効に機能しない、そこで自身が保持する NetIF 資源のみを信頼するポリシーとしたベストエフォート型を提案する。

図 7 にその概要を示す。従来との違いは SHAKE を利用する MH1 が、自身が保持する NetIF 資源を利用して受信するデータ D すべてをリクエストする点にある。シナリオ 1 のように他のデータに振り分けたデータが $T2, T3 < T_{base}$ で MH1 に渡された場合、MH1 のレスポンスタイムは $T2 (< T_{base})$ となり性能比は向上する。またシナリオ 2 のように振り分け比率が適切であったとしてもクラスタを構成する端末の脱退、ユーザによるバックグラウンドトラフィックの発生などによって共有している NetIF 資源に変動があった場合、MH1 は D すべてを受信するためのリクエストを送信しているため、 $T3 > T_{base}$ であったとしてもレスポンスタイムは $T1$ となり、性能が悪化することはない。

この振り分けポリシーは、他の端末が保持する外部リンクにおいてバックグラウンドトラフィック及び切断などのイベントが発生しない場合、理想的なスループットが得られると考えられる。またそのようなイベントが発生した時でも、REQUEST を行う端末は D 全てを受信する REQUEST を送信するため、最低でも T_{base} の時間で受信を終えることができる。振り分けを行ったリンクが切断された場合でもそのデータに対する再送を行う必要もない。

6. ま と め

SHAKE を利用するにあたって必要となる動的なクラスタ資源管理の手法として SCCM を提案した。SCCM

は、クラスタ間で共有する資源情報を Profile 化し (TerminalProfile), TerminalProfile を各端末が自律的に告知、発見することで動的なクラスタ構成、資源管理を実現する。各端末上で動作する SHAKE アプリケーションはこの SCCM に必要な情報を問い合わせることでクラスタ資源を利用することが可能となる。

また SCCM の応用例としてこれまでに実装した WebSHAKE システムを適用することで、動的なクラスタの参加・脱退に対応できる機構、クラスタを構成するユーザ間で不公平となる問題、データ通信中の資源の変動によるトラフィック制御の問題点を提起し、その解決手法についても検討した。

今回 HTTP に特化した WebSHAKE システムを SCCM の適用例として挙げ、ユーザが求める要求を SHAKE の特徴の 1 つである「データ転送の向上」と限定し検討した。しかしながらユーザの求める品質や要求によっては接続持続性の向上、よりコストの廉価なリンクの選択、Secure な通信パスの選択などが考えられる。またアプリケーションの属性や特徴が異なれば利用する NetIF の選択も異なってくると考えられる。従ってユーザ、各アプリケーションが求める要求や品質に応じた NetIF 資源の提供を行うための評価式を検討する必要がある。更に TerminalProfile 内の各項目についても詳細に定義する必要がある。

今後の課題として、ユーザ、各アプリケーションからの要求をポリシーとして定義し、そのポリシーに適切な資源情報を ClusterTable から抽出する機構、評価式について検討する。また今回提案した SCCM および WebSHAKE のトラフィック制御の実装を行い実利実験によって評価を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は NTT ドコモ (株) の委託研究である。また、御協力いただいた NTT ドコモ (株) マルチメディア研究所の太田賢様に謹んで感謝の意を表する。

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) K. Sklower, B. Liyod, G. McGregor, D. Carr "The PPP Multilink Protocol (MP)," RFC1990, August 1996
- 3) Y. Kamio, F. kojima, M. fujise, "Implementation and Performance Evaluation of 384kbps-PHS Experimental system," IEICE, Vol. E83-B, No. 8, pp. 1844 - 1853 July 2000
- 4) 林考典, 山崎真一郎, 森田直人, 相田仁, 武市正人, 土居範久, "インターネットを用いた複数経路データ伝送方式の性能評価," 電子情報通信学会論文誌 (B) Vol.J84-B, No.3, pp.523-533 (2001)
- 5) 小西洋祐, 石原進, 水野忠則, "通信回線共有方式を用いた高速 Web アクセスの実現," 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 6, pp. 1968-1976 (2002-6)
- 6) R. Fielding, et. al., "Hypertext Transfer Protocol - HTTP1.1," RFC2616, June 1999.
- 7) Y. Konishi, S. Ishihara and T. Mizuno: "Web SHAKE: A fast WWW access method for mobile computers on temporary cluster networks," in proc. of ICC2002, K18-3 (2002-5 U.S.A.)