

モバイルクラスタネットワークにおける資源管理手法の一方式

橋本 豊大[†] 石原 進[‡] 水野 忠則[†]

筆者らは移動携帯端末を所持するものがある空間内に集合したとき、各端末が協調して資源を共有し、より快適なモバイルコンピューティング環境を実現するための研究を行っている。その研究の一部として、複数の移動携帯端末を相互接続し、それぞれの端末が持つ外部通信路を共有することで、無線通信環境の品質向上を図り、より信頼性の高い通信を実現を目的とした通信回線共有方式 SHAKE を提案している。本稿では、SHAKE において一時的に構築されるネットワークを動的に制御するために SHAKE 制御メッセージプロトコル (SCMP: SHAKE Control Message Protocol) を提案する。本プロトコルは移動携帯端末がネットワークへのスムーズな参加/離脱と、動的なメンバ制御を実現する。また、クラスタエントリテーブルと連携させることで、自律的クラスタ資源管理の実現を図る。

A method of managing resources for Mobile Cluster Networks

Toyohiro HASHIMOTO[†] Susumu ISHIHARA[‡] Tadanori MIZUNO[†]

Mobile computing has been paid much attention in recent years. However, it has some problems such as narrow bandwidth, low reliability. To solve these problems, we have proposed "Sharing multiple paths procedure for cluster type network: SHAKE". In SHAKE, some mobile hosts are connected each other and form a local network, which we call a *cluster network*. Each mobile host has a channel connected with other mobile hosts and a channel connected with outside network such as Internet or LAN. When a mobile host sends data to a destination in the outside network, data transmission speed becomes higher even in the wireless communication environments by using multiple paths at the same time and sharing it with some mobile hosts. In this paper, we propose a protocol SCMP (SHAKE Control Message Protocol) for establishment of cluster network connection for SHAKE. This method enables hosts to enter and leave the cluster network smoothly.

1 はじめに

近年、電子機器の小型化と高性能化により、ノートパソコンや PDA (Personal Digital Assistant) などの携帯可能な情報機器の利用が一般的になってきた。電子機器の技術の進歩はまた、携帯電話や PHS などの無線通信機器の発展をも促し、急激に普及させる要因ともなった。それに伴い、無線通信機器を通信手段として用い、携帯型計算機を情報端末としてネットワークに接続し、さまざまな協調作業を行うモバイルコンピューティングの概念が認知されつつある。しかしながら有線と比較すると、無線通信環境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リアルタイム性の強いマルチメディア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。

そこで筆者らは、携帯電話などによる外部への通信路を持ち合わせた移動携帯端末を複数組み合わせ、それぞれの端末が持つ外部通信路を共有することで、広い帯域幅や高い信頼性を生みだし、高品質な通信を実現するための方式として、通信回線共有方式 [1] を提案している。これにより個々の通信能力は低速で安定性の低いものであっても、複数の端末の通信路を共有することで、一時的に大容量の回線を得ることができる。本方式の使用により、移動携帯端末と無線通信環境という組み合わせでは難しかったリアルタイムマルチメディアデータ通信が容易になる。

動的なネットワーク構成の変化に対応するためのプロトコルの例としては DHCP が挙げられるが、本研究は管理されるホストが持つ外部通信路などの資源まで管理対象となる点で異なる。

[†]静岡大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering,
Shizuoka University

[‡]静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

2 通信回線共有方式 SHAKE

2.1 概要

通信回線共有方式(図1)は、インターネットなどの外部ネットワークへの通信路を持った携帯端末が複数台集まったとき、それらを相互接続しそれぞれの外部通信路を共有し合うことで、論理的に回線を太くしたり、また、回線数やデータに冗長性を持たせることで、障害に強い通信を実現するものである。

本方式においては、外部通信路の共有を目的として形成されるアドホックネットワークのことを、クラスタ(ネットワーク)と呼び、クラスタを形成するそれぞれの端末をクラスタメンバと呼んでいる。各クラスタメンバは、クラスタと外部ネットワークへの接続を行うために、複数のネットワークインターフェイスを持つ必要がある。例として、モデムカード、LANカード、Bluetoothなどの併用などが考えられる。クラスタ内の端末はクラスタ用のアドレス(以下クラスタアドレス)と外部ネットワークにおけるIPアドレス(以下グローバルアドレス)の複数のアドレスを持つ。本方式の採用によって、具体的には次のような利益を得ることができる。

- エンドツーエンド間のデータ転送レートの向上と遅延の削減
- 異なる経路に冗長なパケットを流すことによる遅延とパケットロスの低減、およびデータ転送の信頼性の向上
- クラスタを構成する各移動ホストは可動性に優れているため、どこでも動的にクラスタを形成可能
- クラスタとインターネットの接続経路はクラスタを形成する移動ホストがおのおのの自由を選択可能

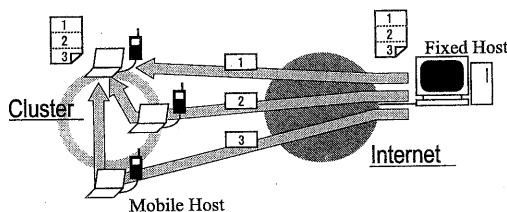


図1 通信回線共有方式

- 自ホストが外部通信路を持っていない場合でも、他のクラスタメンバの外部通信路を利用して、外部との通信を行うことが可能

これまで、通信回線共有方式を利用したものとしてSHAKE試作システム[1]、WebSHAKE[2]がある。SHAKE試作システムは複数のTCPコネクションを同時に利用する簡易ファイル転送プログラムである。本システムはSHAKEを利用する全てのメンバ(各クラスタメンバとその通信先ホスト)上で動作させる必要がある。WebSHAKEはHTTP専用型のシステムである。クラスタメンバのみで専用プログラム(HTTPプロキシサーバ)を動作させることにより、SHAKEに基づく通信を可能にする。

両者ともにクラスタメンバの情報、およびクラスタと外部ネットワーク内の経路に関する情報は、各クラスタメンバに静的に与えておく必要がある。

2.2 通信回線共有方式におけるクラスタ資源管理

複数の移動端末間で通信回線共有方式を利用するには、あらかじめそれらの端末を1つのグループとして集約し、切断等が起きた場合に素早く対処するための機構を用意する必要がある。これまでに実装されたシステムではクラスタは静的なものとして扱われていた。また各アプリケーションでは、クラスタメンバの数や他のメンバが持つ外部通信路の有無、クラスタ内外におけるIPアドレス等を把握し、あらかじめ手作業でそれらを設定しておかなければならなかった。またその後クラスタメンバの途中参加や離脱を行うことはできなかった。

そこで筆者らは、クラスタの動的な構成の変更や各クラスタメンバの持つ外部通信路の実効帯域の変化等に対処すべく、SHAKE制御メッセージプロトコル(以下SCMP)[3]を提案している。SCMPの詳細については次項で述べる。

3 SCMP

(SHAKE Control Message Protocol)

3.1 概要

SCMPは通信回線共有方式SHAKEを利用する際、自律的にクラスタメンバ間で通信を行い、各メンバごとに蓄積されている外部ネットワークへの経路情報などのクラスタ資源の情報を交換する

ことで、資源の有効利用を支援するためのプロトコルである。通信回線共有方式を効率よく利用するためには、クラスタ内を常に監視し、トポロジの変化（クラスタメンバ数の変化、外部通信路の稼働状況など）を把握して、適切に経路制御を行う必要がある。

そこで本研究ではクラスタ管理用メッセージプロトコル SCMP (SHAKE Control Message Protocol) を提案し、クラスタ内の情報を管理するクラスタエントリテーブルと併用することで、自律的なクラスタ資源管理の実現を目指している [3]。

SCMP はクラスタエントリテーブル (3.2 節)、SCMP デーモン (3.3 節)、SCMP メッセージ (3.4 節)、SCMP インターフェイス (3.5 節) の 4 つの要素から構成される。SCMP は SHAKE を用いる通信プログラムとは独立に動作するため、後述する SCMP メッセージ解析モジュールを組み込めば、従来のネットワークアプリケーションによる利用が可能である。

3.2 クラスタエントリテーブル

通信回線共有方式では、複数経路の管理や他のクラスタメンバの情報をクラスタエントリテーブルに蓄積する。クラスタエントリテーブルには、クラスタメンバ情報やクラスタ資源情報が保持されている。クラスタメンバ情報とは他のクラスタメンバのクラスタ内 IP アドレスのことであり、クラスタの存在を確認するために必要である。クラスタ資源情報とはクラスタメンバが持つ外部通信路の有無やその外部ネットワーク用 IP アドレスと帯域幅、特定のアプリケーションの所有状況などの情報であり、クラスタ内で資源を共有するために必要である。各クラスタメンバ間に主従関係は無く、クラスタエントリテーブルは各クラスタメンバごとに独立に管理される。

クラスタメンバ情報は後述する SCMP デーモン間での SCMP メッセージの交換により更新される。クラスタ資源情報のうち、他ホストの資源情報に関してはメンバ情報と同様に SCMP メッセージの交換により更新され、自身の持つ資源情報に関しては SCMP デーモンに組み込まれる資源検索プログラムが、SCMP 対応アプリケーションからの通知により更新される。

3.3 SCMP デーモン

各クラスタメンバ上では SCMP を利用するために SCMP デーモンプログラムが常駐し、クラスタへの参加、通信路の切断、帯域幅の変化などの各

表 1 クラスタエントリテーブルの例

| クラスタ内 IP | クラスタ外 IP | 帯域幅 (bps) |
|---------------|----------------|-----------|
| 192.168.1.2 | 133.70.170.69 | 64000 |
| 192.168.1.103 | 209.75.196.106 | 32000 |
| 192.168.1.96 | × | 0 |
| 192.168.1.27 | 210.128.21.56 | 64000 |

種イベントの監視や、通信回線共有方式を利用するアプリケーションとの連携を行う。SCMP では、各クラスタメンバ固有の情報（各インターフェイスに割り当てられた IP、外部通信路の帯域幅など）は各クラスタメンバ上で起動している SCMP デーモンが別々に管理する。他の SCMP デーモンが持つ情報の参照を行いたい場合には、SCMP デーモン間で SCMP メッセージ (3.4 節) を交換することで参照することができる。

SCMP のプロトコルスタックを図 2 に示す。図 2 の右側の SCMP は SCMP デーモンである。SCMP デーモンでは UDP パケット送受信と ICMP パケットの受信を行う。図 2 の左側の SCMP はアプリケーションが SCMP を利用する際、SCMP デーモンとの連携を行う SCMP メッセージ解析モジュール (3.5 節) である。

SCMP デーモンは主に以下の機能を有する。

1. クラスタへの参加、離脱処理の自動化
2. 通信路自動切断検知機能
3. クラスタ内資源共有のためのマネジメント

クラスタへの参加、離脱処理の自動化

SHAKE を利用する場合、ある端末が新たにクラスタへ参加する場合は、まず自らのメンバ情報（クラスタ内 IP アドレス）と資源情報（外部通信

SCMPメッセージ解析モジュール

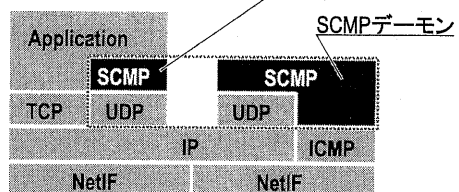


図 2 プロトコルスタック

表 2 SCMP メッセージのタイプ

| メッセージのタイプ | 説明 | 転送方法 |
|-------------------------------------|------------|-----------|
| Hello(ClusterIP, IP, Bandwidth) | クラスタへの参加 | Broadcast |
| Welcome(ClusterIP, IP, Bandwidth) | クラスタへの参加許可 | Unicast |
| Ack(ClusterIP) | 肯定応答 | Unicast |
| Goodbye(ClusterIP) | クラスタからの離脱 | Broadcast |
| Res_Please(ClusterIP) | 返信要求 | Unicast |
| Set_Bandwidth(ClusterIP, Bandwidth) | 帯域幅設定 | Broadcast |
| Info(ClusterIP, Type) | ホスト情報要求 | Unicast |

路に関する情報) をクラスタ内のメンバ全員に通知する必要がある。同時に他のクラスタメンバの持つホスト情報を取得し、利用可能な外部リンクを把握しなければならない。

またクラスタからの離脱時には、離脱の旨をクラスタ内のメンバ全員に通知し、各クラスタメンバ上のクラスタエントリテーブルから離脱ホストに関するエントリを削除してもらう必要がある。

これらの処理は、クラスタへの参加、離脱が行われる度に必要であり、そのつど手動で設定しているのは面倒である。SCMP デーモンはこれらの処理を SCMP メッセージの交換により自動的に行う。

通信路自動切断検知機能

SHAKE ではクラスタ内の通信路として無線 LAN や bluetooth などの無線リンクによりクラスタを構築する場合、端末の移動や障害物による通信不能などで不慮の通信路の切断が発生する。

SCMP は定期的に他のクラスタメンバやクラスタ外のホストとメッセージをやりとりすることで接続状況を確認し、不慮の通信路の状態変更に対応する。

クラスタ内資源共有のためのマネジメント

各クラスタメンバ上で起動している SCMP デーモンは、メンバごとに別々のクラスタエントリテーブルを持っており、その中にはクラスタメンバ情報やクラスタ資源情報が保持されている。他ホストの持つ資源の情報更新については、SCMP メッセージの受信により行われるが、自ホストの持つ資源の情報更新については SCMP デーモンが調査用の他プロセスを呼び出すなどの方法によって定期的に行われる。

3.4 SCMP メッセージ

SCMP ではクラスタメンバ間やローカルのアプリケーションなどとの情報交換のために SCMP メッセージを使用する。また SCMP メッセージは UDP を利用して転送される。SCMP メッセージを、表 2 に示す。

SCMP メッセージは帯域幅変更などのイベントの発生とともに生成され、SCMP デーモンによって送出される。参加、帯域幅変更、離脱に関する情報は全ての端末に伝えるべき情報なのでブロードキャストされ、接続状態確認など 2 端末間同士のみ必要な情報の交換を行う場合はユニキャストされる。

クラスタへの新規参加時には、まず参加ホストが自ホストのクラスタ内 IP アドレスと外部リンクの IP アドレス、帯域幅の情報を含んだ Hello メッセージをクラスタ内にブロードキャストする。それを受け取った既存のクラスタメンバは、同様に自らのホスト情報を含んだ Welcome メッセージを返信する。さらにそれを受け取った新規参加ホストは Ack メッセージを返信する。

クラスタからの離脱時には、まず離脱ホストが自ホストのクラスタ内 IP アドレスの情報を含んだ Goodbye メッセージをクラスタ内にブロードキャストした後離脱する。そのメッセージを受け取った既存のクラスタメンバは、離脱ホストに関する情報をクラスタエントリテーブルから削除する。

不慮の切断等を監視するため、各クラスタメンバは相手ホストとの最終通信時刻から CL.TIMEOUT 秒経過したときに Res_Please メッセージを送信して相手の存在を確認している。SESSION.TIMEOUT 秒以内に返信が無ければ、そのホストは離脱したものとみなされ、クラスタエントリテーブルから削除される。正式に Goodbye メッセージを利用した離脱手続きが行われなかった場合、この処理により離脱したとみなされる。同様に外部リンクの切断の検知も、EX.TIMEOUT 秒ごとにクラスタ

外部のホストに対し SCMP メッセージを送信することで行われる。

3.5 SCMP インターフェイス

SCMP インターフェイスは、アプリケーションと SCMP デーモンとのメッセージ交換を行うためのインターフェイスライブラリである。SCMP デーモンから送信される SCMP メッセージをアプリケーション側で認識したり、アプリケーションから SCMP デーモンに対して SCMP メッセージの送信を行う場合のインタフェースをライブラリとして提供する。

4 実装

これまでで述べた仕様を基に SCMP を実装した。開発言語には C 言語を用いており、FreeBSD または Linux 上で動作する。

4.1 複数回線データ転送プログラム SHAKE ftp

SCMP の有効性を評価するためには、SCMP と連携して動作するプログラムが必要となる。2.2 節で挙げたアプリケーションはいずれもクラスタメンバの増減に対して、動的なトラフィック分配制御が実現されていなかった。そこで SCMP を利用可能なデータ転送プログラム SHAKE ftp を実装し、これを用いて SCMP の動作確認を行った。

本プログラムは以下の機能を有する。

- 転送中における経路数の増減
- 転送の一時停止、再開機能
- 複数回線を用いたデータ転送
- パケットレベルでのデータ振り分け

クラスタメンバとサーバ間の通信はそれぞれ TCP によって行われる。トラフィックの分配は各接続のソケットに対して可能な限り連続して write を行うことにより行った。SCMP により新たに利用可能な経路が発見された場合、SHAKE ftp は新たに接続を作成し、新しい経路に対しトラフィックを分配する。また SCMP により経路が利用不可能となったことを通知された場合は、直ちにその経路へのデータ転送を中断する。

4.2 実験

SHAKE ftp によって 1Mbytes (=1,000,000bytes) のファイル転送中においてクラスタメンバの参加・離脱を行った場合のスループットを測定し、SCMP の有効性について検証した。今回の実験では経路数の増減に注目し、外部通信路の帯域幅はあらかじめ与えられた値から変動しないものとしている。

4.2.1 実験環境

実験環境には PIAFS 対応の PHS カードを装着したノート PC3 台を用いた。実験環境を図 3 に示す。各クラスタメンバは以下のように構成されている。

- クライアント
Panasonic CF-M2
AP: 浜松市内の商用 ISP
- リレーホスト 1
Panasonic CF-B5
AP: 静岡大学内
- リレーホスト 2
SHARP PJ2-X3
AP: 名古屋市内の商用 ISP

サーバとリレーホスト 1 のアクセスポイントは、それぞれ静岡大学内 LAN (100 Mbps) に設置されているものを利用した。

4.2.2 実験のシナリオ

(各ホストにおけるプログラムの稼動状況)

- サーバ、クライアント、リレーホスト上では SHAKE ftp サーバが起動
- クライアント、リレーホスト上では SCMP デーモンが起動

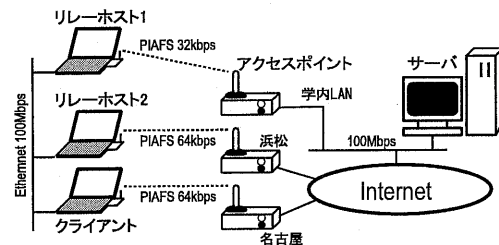


図 3 実験環境

(各通信路の状態)

- クライアントが持つ外部通信路の通信速度は 64kbps (PIAFS)
- リレーホスト 1 が持つ外部通信路の通信速度は 32kbps (PIAFS)
- リレーホスト 2 が持つ外部通信路の通信速度は 64kbps (PIAFS)
- クラスタ内の速度は 100Mbps (Ethernet)

クライアント上で SHAKE ftp クライアントを起動し、学内 LAN 上のサーバ上のファイルを受信させた。その後リレーホストの参加にともない、サーバ側ではクライアントへ転送中のファイルをクライアントの持つ外部リンクだけでなく、クライアントに許可を得てサーバに接続してきた外部リンクにも振り分けてクライアントに転送する。全てのデータが転送されるまでの間に、リレーホスト 1 は 32.9, 162.8 秒の 2 度離脱し、それぞれ 82.1, 224.0 秒に再参加した。またリレーホスト 2 は 164.3 秒に 1 度離脱し、289.0 秒に再参加した。

4.3 結果と考察

4.2.2 節のシナリオにおけるクライアントのスループットを図 4 に示す。図中のクライアントとは、クライアントがサーバから直接受信したデータ量を示し、リレーホスト 1, 2 はそれぞれサーバからリレーホスト 1, 2 を経由してクライアントが受信したデータ量を示している。この図を見ると、4.2.2 節で示した離脱・再参加時刻に合わせてリレーホスト 1 は 2 回 (36.2~85.5 秒, 165.3~227.1 秒)、リレーホスト 2 は 1 回 (167.8~292.2 秒) ずつ転送データレートが停滞しているため、SCMP と SHAKE ftp の連携がうまく動作していることが分かる。さらに再参加後は離脱する前と同様にサーバによってパケットが振り分けられていることが読みとれる。

このようにデータ転送中に参加・離脱を繰り返した場合でも、各メンバ上で非同期に動作している SCMP デーモンによりアプリケーションに通知されることで、外部リンクが有効に利用されていることが読みとれる。

5 おわりに

本稿では通信回線共有方式 SHAKE において十分に考慮されていなかった動的クラスタ制御に対して、提案していた SCMP の実装を行った。また

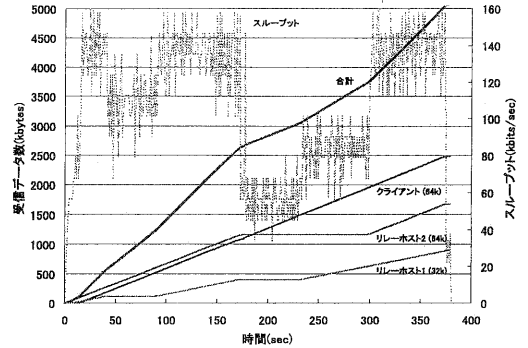


図 4 実験結果

評価用プログラム SHAKE ftp を用いて SCMP と連携した実験を行った。クラスタメンバの参加、離脱時のデータ転送レートを測定することで、クラスタ内資源の有効利用を確認した。

今後の課題として、セキュリティ問題が挙げられる。SCMP では SCMP メッセージの改竄や、なりすましによるクラスタへの参加などの問題を解決しなければならないが、それらへの対応は今後の課題である。また WebSHAKE を含む SCMP 対応アプリケーションを充実させ、それぞれのアプリケーションにおける通信制御 (利用プロトコル, 平均転送データサイズ, 平均データ数など) の特徴に応じた連携を行う予定である。

参考文献

- [1] H. Mineno, S. Ishihara, K. Ohta, M. Aono, T. Ideguchi and T. Mizuno, "Multiple paths protocol for a cluster type network," INTERNATIONAL JOURNAL OF COMMUNICATION SYSTEMS, Vol. 12, pp.391-403, Dec 1999.
- [2] 小西洋祐, 橋本豊大, 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-MBL-16, No. 13, pp.17-24, Feb 2001.
- [3] 橋本豊大, 飯田峰彦, 石原進, 水野忠則, "通信回線共有方式におけるコネクション確立方式," The Proceedings of the 6th Mobile Multimedia Communication Workshop Japan (MoMuC-J6), pp.9-16, Mar 2000.