動的に有線網とのブリッジを提供する移動ホストと 音声適応型アプリケーションを用いた評価実験

学生員 冬 爪 成 人 (東京電機大学)

正 員 笠 原 宏 (東京電機大学)

The Mobile Host which Provides the Dynamic Bridge Function to a Wired Network and the Evaluation Experiment for the Voice Adaptive Application

Narito Fuyutsume, Student Member, Hiroshi Kasahara, Member (Tokyo Denki University)

This paper proposes a method where the mobile host itself watches both a wired-LAN and a wireless-LAN interfaces. If it watched that it is connected to a wired-LAN, it activates the internal dynamic-bridge-function between the wired and the wireless-LAN, and transits in an accesspoint(AP) and provides a wireless-LAN service-cell for each station(ST). If it is disconnected from a wired LAN, it suspends the internal bridge, and transits into a ST. If it is composed as an ad-hoc network component, it provides gateway functions to some wired-LAN, and is effective as a flexible mobile environment for the can't-stay-still office environment. Moreover, compensation of the frame at the time of disconnection and delay were measured supposing voice adaptive application.

キーワード：無線 LAN, 動的ブリッジ機能, アクセスポイント, サービスセル, インタフェース切替え

1. ま え が き

近年、ケーブリング問題を解決するために無線 LAN が用いられている。現在の ISM バンド[†]を用いた無線 LAN においては、50mW 程度の出力でフレームが送信され、解放オフィスでは 200m、閉鎖オフィスでは 25m 程度の通信可能範囲を得ることができる。

さらに、有線 LAN の代替/補完だけでなく、オフィス間の移動を行ないながら電子メール、データベースサーバ、ファイルサーバといった資源へのアクセスの要望が増大している。そのためには有線 LAN への接続装置であるアクセスポイント (AP) と、それに接続されるステーション (ST) で構成される固定ネットワークとしての構成が必要となる⁽¹⁾⁽²⁾。

このような移動機能を持った無線 LAN は、オフィス間移動が可能となり有効であるが、ST から有線 LAN への通信は、AP が提供するサービスセルの通信可能範囲によって限定され、利用を想定したサービスエリアに複数の AP を設置する必要がある。通常 AP は設置場所が固定されるので、AP の稼働率は低いものとなり、システム全体のコストの増大を招くことになる。また、有線 LAN は高速、安定であるので、可能であれば ST を有線 LAN に直接接続して用いるべきであるが、このとき無線 LAN インタフェースは

機能しておらず、有効活用が望まれる。さらに ST を、移動状態と有線 LAN への直接接続状態間でシームレスに扱うためには、有線 LAN からの切断を検出して、無線 LAN インタフェースに自動的に変更されなければならない。また、その逆の場合も同様である。

本論文では、移動ホスト (MH) が、有線接続時に他の ST のための AP として利用でき、有線 LAN への接続/切断を検出して、AP-ST 間を自動的に遷移できる方式を提案する。具体的には、ホスト自身が有線 LAN、無線 LAN 両インタフェースを監視し、有線 LAN 接続時には内部の有線-無線間ブリッジを動作させ AP に遷移して無線サービスセルを各 ST に提供し、また、非接続時にはブリッジ機能を停止させ ST に遷移して無線サービスセル間の移動を可能とする方式⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾について述べたものである。

本方式により、ホストを有線-無線間ブリッジとして用いて、無線サービスセルを提供することが可能となり、従来の固定ネットワークの AP がなくとも、単一の仕様のホストだけで固定ネットワークの構成が可能となり、有線 LAN への接続時には、無線サービスセルを提供できる。また、任意の移動場所で AP に遷移できるため、一時的ネットワークとして構成しても有線 LAN へのゲートウェイが提供できるようになり、オフィス間の移動環境として有効である。一般的なホスト及び AP としての併用も可能であり、また

[†]Industrial Scientific Medical Band

スケールメリットが生じるため、STとAPに遷移する単一仕様のホストとしてAPの低コスト化も期待できる。

本方式は、オフィスでの固定環境及び移動環境双方での利用が可能となり、有線LAN接続時にはブリッジ機能を提供するため、他のMHに対し無線を介してサーバへの通信を可能としている。このようなシステムのアプリケーションとして電話の代替及び会議用として用いる音声通信システムが考えられるが、リアルタイムに音声情報を伝送するためには、一定の遅延内での伝送が保証されなければいけない。本方式ではAPを提供したMHの有線LANからの切断を想定し、切断後に新たなAPへの接続を行なうため、その間にフレーム損失が伴う。本論文では、以上のようなアプリケーションを適用した場合における、フレームの伝送遅延を測定し、またフレームを補償するために再送バッファを搭載し、リアルタイム音声伝送を想定した評価実験⁽⁶⁾を行ない、有効性を確認している。

無線LANの標準化は、IEEE 802.11⁽⁷⁾としてなされている。これについてはAPの規定において、STに自動的に遷移させ利用する形態については言及されていない。本方式との関連研究としては以下のものが挙げられる。Stanford大学のMosquitoNet⁽⁸⁾では有線-無線LAN間でのインタフェースの切替えと通信継続を行なう方式を提案している。California大学のBerkeley校ではVertical Handoff⁽⁹⁾を提案しており、複数の無線デバイスの中で最適なものを採用する手法を提案している。さらに、慶応大学のR3プロジェクト⁽¹⁰⁾ではEthernetのリンクアップ情報を監視させ、切断時は経路表を変更し通信の継続を行なう方法が提案されている。これらのものは、端末のみのインタフェース切替えについて述べたものであり、有線接続時の有効活用法については言及されていない。

本論文では、2章において動的に有線網とのブリッジを提供する移動ホスト(MH)を提案し、3章において、本方式で用いたプロトコルを示し、さらに有線LANの接続/切断の検出をより高速化するために複数のアルゴリズムを併用し、APの台数に応じて切替えを行なう方式を提案する。4章では、本方式をBSD-UNIXにおいて実装を行ない、評価し、また、5章で音声適応型アプリケーションを想定して、フレーム損失の補償実験を行ない、これにより、本方式は実用に耐えるものであることが確認できた。

2. 動的に有線網とのブリッジを提供する移動ホスト

本論文では、94年頃より用いられているISMバンド(2.4GHz帯)を用いた無線LANを利用することを想定している。

本論文では、これらの無線LANを用いた移動ホスト(MH)が、有線接続時に他のSTのためのAPとして利用でき、有線LANへの接続/切断を検出して、AP-ST間を自動的に遷移できる方式を提案する。

図1の(1)において従来の無線LANでは、MHはAP1及びAP2が提供するサービスセル間をハンドオフ(Hand-

図1 ブリッジ機能を提供する移動ホスト(MH)

Fig.1. Mobile host (MH) provided with bridge Function

図2 移動ホストのプロトコルアーキテクチャ

Fig.2. Protocol architecture of MH

off) することにより移動し通信を継続することが可能となっている。これをST状態とする。

さらに図1の(2)において本方式では、MHが有線LANに接続した場合、AP状態に遷移し、移動先において一時的なサービスセルを構築することができる。これにより他のSTに対し有線LANへのゲートウェイを提供する。また、有線LAN切断時はST状態に遷移し他のAPが提供するサービスセルに所属し、(1)の形態で移動することができる。

本方式の実現には、二つのインタフェースを自動判別し切替える技術が重要となる。

3. プロトコルについて

本方式は、従来のホストがサービスセル間の移動を可能とするためのハンドオフプロトコルに、有線LAN上の接続/切断を通知する機能を付加したプロトコルを用いて実現する。

また、本方式の実現には、有線LANへの接続/切断を確認するアルゴリズムが必要となる。本方式では切替え時間を短縮するため、有線LANに接続されたAPの数により、切替えの戦略を変更するアルゴリズムを用いAPが複数個ある場合の切替え時間の高速化を実現する。

本ホストは、プロトコルアーキテクチャを図2のように構成し、最下層には、有線LAN及び無線LANのインタ

フェースを配置し、フレームを交換するブリッジを搭載し、上位に、ハンドオフ (Handoff Controller) を行なうプロトコルと有線 LAN との接続を監視するプロトコル (Link Monitor) を配置し、また、その上位には従来の IP といったネットワーク層プロトコル及び TCP/UDP といったトランスポート層プロトコルを配置する。ブリッジには透過させるフレームを指定するフィルタリングデータベース (Filtering Database) を搭載する。

〈3・1〉 動的に起動/停止することができる有線-無線間ブリッジ MH を AP として利用するために、内部に有線-無線間ブリッジを搭載する。基本的には学習ブリッジとして構成しており、有線 LAN からの入力サービスセルに所属している局に対してのフレームとブロードキャストフレームを転送する。

学習ブリッジは IEEE 802.1d⁽¹¹⁾ で述べられており、無線 LAN への適用に関しては文献 (12) にも述べられているが、本方式ではブリッジの起動/停止を伴うため以下に行なう。

ブリッジは MH が ST である間はフレームの転送を停止し、AP に遷移するとともにブリッジを起動させ、フレームを転送する局のフィルタリングデータベースの作成を開始する。また他の AP から削除の通知が来た場合はテーブルを削除する。

ST は AP に対してリンクの保持の確認を行っており、途絶えた場合は、AP はタイムアウト後、アドレスをデータベースから削除する。また AP から ST に遷移した場合は、データベースを全て消去しブリッジ機能を停止する。

〈3・2〉 遷移時のフレームの交換

フレームフォーマット 本方式では、以下のフォーマットのフレームを想定する。初めに、宛先、発信源、フレームタイプといった Ethernet と互換性のあるフィールドを配置し、その後に AP アドレス (base)、命令 (command) といった拡張フィールドを置く。拡張フィールドはハンドオフ、有線 LAN への接続/切断の制御に用いる。

ハンドオフプロトコルと移動局によるリンク保持の確認のシーケンス 本方式は、各ホストが AP/ST どちらかの形態をとる。ST では、有線 LAN 間の通信を行う場合、AP のセルに所属する必要がある。ここではセルの所属に関する取り扱い (ハンドオフ) について述べる。

図 3 で示すように、ハンドオフ (handoff) は AP が発するビーコン (beacon) を ST が受信し処理を開始する受動的な手段を採用している。ST は beacon を受信するとリクエストフレーム (request) を送信する。このリクエストフレームを受信した AP は、旧 AP に削除通知フレーム (notify) の送信 (delete) を行ない、またリプライフレーム (reply) を送信する。このフレームを ST が受信した段階でハンドオフが完了する。完了後は AP と接続されたこと見なし AP-ST 間の通信が可能となる。

また、接続された ST は AP に対してリンク保持 (keep-alive) の確認を定期的に行ない、失敗すれば切断したもの

図 3 ハンドオフとリンク保持の確認のシーケンス

Fig. 3. Sequence of handoff and keep-alive

として扱う。

有線網との接続/切断におけるシーケンス ホストが ST から AP に移行する場合、接続していた AP のテーブルを消去する必要がある。また AP から ST に遷移する場合、従属していた ST に AP を変更するよう通知する必要がある。ここでは、テーブルの消去及び切断の通知の取り扱いについて述べる。

図 4 で示すように、ホストが ST から AP に移行する場合、Ethernet に接続後 (connection)、旧 AP に通知フレーム (notify) を送信し、旧 AP は受信後テーブルを消去し、確認フレーム (notify) を送信する。ホストが AP から ST に移行する場合、Ethernet から切断後 (disconnection)、サービスセルに所属していた ST に通知フレーム (ack) を送信する。

〈3・3〉 有線 LAN 接続/切断の検出 有線 LAN からの切断時の所要時間を短縮させるため、AP の設置数に応じ以下に述べる 3 アルゴリズムの内の一つを自動的に選択する。AP の設置数は、各 AP が Ethernet 下に出すビーコンを発信間隔で監視し、その時観測されたアドレスにより設置数を判断することとする。

(1) トラフィックモニタによる検出方式 本方式は MH が、受動的に有線 LAN のフレームの検出を行ない、有線

図4 接続と切断のシーケンス

Fig. 4. Sequence of connection and disconnection

LAN の接続を確認する。この方式では一定時間内において、フレームの検出ができない場合に有線切断と判断する。

この方式は、原始的であるため AP の台数によらず動作が可能であるが、接続の確認はトラフィックの発生タイミングによることになり、十分な確認時間を必要とする。また、トラフィックの発生を前提としているため、タイムアウト後も切断が不確実な場合も考えらる。この場合、タイムアウト後に ICMP[†] Echo 等を用いて確認を行なってやる対策等が考えられる。

本方式では、接続状況を通信可能な状態を green、不明な状態を yellow、切断を red の 3 色で表現することとし、以下の記述においてもこれを用いることとする。具体的には、平時においてトラフィックモニタを行ない、トラフィックが検出できない時間が進むごとに green、yellow と状態を変化させ、フレームの検出が一定時間行なわれない場合、red となり切断とする。

(2) 有線 LAN 下にビーコンを送出、監視して行なう検出方式 (ビーコンモニタ) このアルゴリズムは、各 AP が有線 LAN に一定の周期で送出される制御フレームであるビーコンフレームを用いて有線 LAN の接続/切断を検出する。

図 5 で示すように、ビーコンの送出間隔を基準としてビー

図 5 有線 LAN 下にビーコンを送出, 監視し行なう有線 LAN 接続/切断の検出 (ビーコンモニタ)

Fig. 5. Detection of whether connected/disconnected to the wired LAN by sending and monitoring beacons (Beacon monitor)

コンの監視を行なう。有線 LAN に接続されている AP はビーコン及びトラフィックを監視することにより切断した AP を確認することができ、また、有線切断した AP は受信できなくなるため切断を検出することができる。

このアルゴリズムは比較的高速に動作できるが、3台以上の AP が存在しない場合は、切断時にビーコンの受信ができないため相互確認ができず使用できない。

この方式をビーコンモニタと呼ぶことにする。

(3) 2AP による上記の混合方式 このアルゴリズムは、サービスセルが重複し相互通信が可能な AP が 2 台ある場合に用いる (図 6)。接続確認は有線 LAN 下のビーコンで確認を行なっているが、どちらか 1 台が切断された場合には互いにビーコンの確認ができなくなるため、どちらが切断されたか検出ができない。そのため有線下のビーコン検出ができなくなった段階で、トラフィックモニタに状態の遷移を行ない、一定時間のトラフィック検出が行なわれない場合、切断とする。また、どちらかのホストがトラフィックを検出した場合は一方のホストに切断を通知し、状態は red に遷移させる。

ビーコンの監視をする方式と混合方式ではトラフィックを検出しての接続の検出も可能であるが、混合方式の場合では切断の検出時間が不定であり他 AP の接続も確認するため、green 時ではビーコン検出のみを行なう。

アルゴリズムの選択 1 台及び 2 台の AP が存在している場合は基本的にはトラフィックをモニタするアルゴリズムを用い、3 台以上の AP が存在している場合は、有線下のビーコンをモニタするアルゴリズムを採用する。また、AP が 2 台存在しセルの重なりがある場合、トラフィックモニタと有線下のビーコンをモニタするアルゴリズムを併用する。このアルゴリズムは AP 間で相互通信が可能である必要があるため、同じ室内で 2 台接続されているような場合に選択する。

[†]Internet Control Message Protocol

図6 トラフィックモニタ及びビーコンモニタ併用時の切断手順

Fig. 6. The method of disconnection process using traffic monitor and beacon monitor

図7 各種アルゴリズムによる切替時間の比較

Fig. 7. The comparison of switching time for various algorithms

タイムアウト値の決定 図7は、上で述べた3方式の時間経過について示している。

トラフィックモニタの場合は、有線下のフレーム検出においてタイムアウト値を決定し、green, yellowで二段階のタイマーを設定する。状態は無線サービスセル下にビーコンで広告し、MHは状態の良い方に接続するよう規定する。この方式では、green/yellow両状態において秒オーダーのタイムアウト値が必要になると考えられる。

有線LAN下のビーコンモニタ方式では、監視にビーコンインターバルに対し一定のマージン(2倍程度)を付加した値で監視する。このアルゴリズムではgreenから、yellowを経由せずredに遷移させる。

トラフィックモニタと有線下ビーコンの監視による混合方式では、始めは有線下ビーコンの監視はgreenと規定し、タイムアウト後、トラフィックモニタ時はyellowと規定する。トラフィックモニタ時にタイムアウトした後、redに遷移させる。タイムアウト値に関しては、ビーコンの監視は上と同じ要領で決定し、トラフィックモニタ時のタイムアウト値に関しても同様に上と同じ要領でトラフィックモニタ方式のyellow時の値を用いる。

図8 コントローラの実装

Fig. 8. The implementation of controller

4. 実装及び評価実験

〈4・1〉コントローラの実装 本プロトコルを実装するにあたり、ユーザプロセス上で動作するコントローラを製作した。デバイスとして有線LANにEthernet、無線LANに日本NCR社製のWaveLANを用いてBSD-UNIX上に実装を行なった。コントローラは、実装を容易にするため、従来のTCP/IPのプロトコルスタックには変更は加えず、入出力をファイルとして扱うことが可能な特殊なネットワークインタフェースであるトンネルデバイス(TUN)とBPF^{†(13)(14)}を用いて実装している。(図8(a))。

コントローラには、各インタフェースにおけるフレームを受信する処理、インタフェースを選択しフレームを送信する処理、ハンドオフを始めとする各種プロトコルの制御、また、インタフェース間でフレームを転送するブリッジの機能を実装している。両インタフェースのARP^{††}もコントローラで行なわれる。

アプリケーションからのデータの送信は、TCP/IPを経由してTUNにパケットが渡され、コントローラがそれを読み込む。そしてコントローラが有線、無線のどちらのネットワークインタフェースを用いるか判断して、BPFを用いてネットワークインタフェースに渡し、実際に送信が行われる。フレームの受信時には受信したネットワークインタフェースよりBPFを用いてコントローラにそのフレームを読み込む。そして、それをTUNに渡しTCP/IPを経由してアプリケーションがデータを受信する。また、このホストが有線LANに接続している時は有線-無線間ブリッジを動作させる。この場合には一方のネットワークインタフェースで受信したフレームをBPFでコントローラに読み込み、再びBPFを用いてもう一方のネットワークインタフェースに渡し、送信を行なう。

これを等価的に表すと図8(b)のように考えることができ、EthernetとWaveLANの両インタフェースを一つの仮想インタフェースとして扱える。

〈4・2〉実験環境 実装を行なったMHを用いて図9のようなネットワーク構成で以下に述べる実験を行なった。Ethernetを用いた有線ネットワークにHost Aとともに

^{††}Address Resolution Protocol

図 9 実験ネットワーク
Fig.9. Network for experiment

MH A, MH B, MH C が接続されているとする。MH A は Ethernet HUB を用いて Ethernet に接続されており、MH B に対してブリッジを提供している。計算機の構成は、以下の通りである。

[MH A]

- デスクトップ PC CPU Pentium 166MHz
- NE2000 互換 Ethernet NIC
- NCR 製 WaveLAN 無線 LAN NIC

[MH B]

- ノートブック PC CPU Pentium 133MHz
- 3COM 製 EtherLink III Ethernet NIC
- NCR 製 WaveLAN PCMCIA 無線 LAN NIC

[MH C]

- デスクトップ PC CPU iDX4 100MHz
- NE2000 互換 Ethernet NIC
- NCR 製 WaveLAN 無線 LAN NIC

[Host A]

- デスクトップ PC CPU i486 66MHz
- NE2000 互換 Ethernet NIC

〈4・3〉 ラウンドトリップタイムの計測 MH A を Ethernet に接続し、有線-無線間ブリッジとして動作させて、MH A のサービスセルに所属する MH B から有線上の Host A にアクセスした場合のラウンドトリップタイムの計測を行なった (表 1)。

ラウンドトリップタイムは、ブリッジ (AP) を介した場合 8.4 ms となった。

〈4・4〉 ハンドオフ処理時間の計測 ハンドオフの処理に要する時間を測定した (図 10 (a))。ハンドオフの処理時間の定義はビーコンフレームの待ち受け時間と、ST がビーコンフレームを受信してからのプロトコル処理時間の和と考える。この場合、待ち受け時間はビーコンの発信間隔時間内となり、ビーコンフレームを受信してからリブライフフレームを受信するまでをプロトコル処理時間とする。測定

表 1: ラウンドトリップタイム
Table 1, Round Trip Time

区間	RTT (ms)
MH B-Host A (AP 経由)	8.4
MH A-Host A (有線間)	3.4
MH A-MH B (無線間)	6.5

図 10 ビーコン間隔に対するフレーム中継レート、スループット及びハンドオフ処理時間

Fig. 10. Frame relay rate, throughput and handoff processing time vs. beacon period

はビーコンの送出間隔を変更し、20 回試行し平均値/最大値/最小値を算出した。

〈4・5〉 フレーム中継レートとスループットの測定 まず、ブリッジとしての転送性能を測定するため、Host A - MH B 間のフレーム中継レートを計測する (図 10 (b))。AP として用いている MH A と ST として用いている MH B は、システム関係のデーモンとコントローラ以外立ち上げないこととする。測定は UDP パケットを用いて行ない、データは添付せずに送出しビーコンの送出間隔を変更して行なった。また、データの送受信を上下方向各々において測定した。

同様に、最大スループットの測定も行なった (図 10 (c))。最大スループットにおいては UDP パケットにデータを付加し測定した。データサイズは 1400 byte を採用した。

〈4・6〉 切断の検出について 上述の実験で飽和値が得られるビーコン送出間隔値である 200ms を用いて切断の検出を評価した。

AP が 3 台以上存在する場合には安定した切替えが実現できることが容易に確認できる。これにより 0.2s から 0.4s の時間内で切断の検出が可能である。

本方式を利用するにあたり問題となるのはレアケースとなる AP が 2 台及び 1 台の場合である。AP が 2 台及び 1 台の場合はトラフィックモニタを行なうが、トラフィックの発生タイミングは不確実であり、安定した切替え時間を得ることは難しいことが推測できる。当研究室内のトラフィック

を基準に測定を行なった場合、10s 近くトラフィックが発生しない状態もあることが確認されている。研究室のデータからは、AP が 2 台の場合、3.2s で 90%、7.6s で 99%、14s で 99.9%、16s で 100% の割合で検出できることが確認された。

〈4・7〉 実験による性能評価について 本方式は移動型計算機での利用を想定しており、今回の実装は BPF を用いた特殊なものであるが、一般の利用を想定すると OS にブリッジ機構を内蔵させることは困難であると考えられる。よって今回の実装のようにアプリケーションで行なわれる方式が妥当だと考えられる。しかし、ユーザー層レベルのアプリケーションの実装による場合、それに伴うオーバーヘッドが問題となってくる。

フレーム中継レートの測定値においては、上下方向において特性が異なる。測定結果からは、下方向より上方向のほうが良い結果が得られたが、これについては次のような原因が考えられる。下方向では、有線 LAN から無線 LAN に転送されるが、有線 LAN 上のホストは無線 LAN の帯域を考慮せずに送出した場合、ブリッジとして機能しているホストはフレームの損失が大きくなる。逆に上方向では、無線 LAN から有線 LAN に転送されるため転送がスムーズに行なわれる。これらにより上下方向においてフレーム中継レートの特性が異なるものと考えられる。

フィルタリングレートは文献 (14) に BPF のフィルタリング性能について述べられている。本実装は BPF の性能によりフィルタリングレートは左右されるが、これによれば 175400 Packet/s (Sun Sparc Station 2 使用時) と十分な性能を持っている。BPF を利用しての実装はユーザーレベルによる動作となるため、若干の性能低下や遅延増加が見られるが、実用に対しての大きな欠点とならないことは実験結果からも確認できる。

また、計算機の転送能力は実際に並行して起動している他のアプリケーションの CPU 使用率にも関わってくる。AP の適度な負荷分散を行なえばこれを下げる効果があると考えられ、これを行なうプロトコルの実装も検討している。

5. 再送バッファの設計と音声適応型アプリケーションの想定実験

〈5・1〉 有線 LAN 切断時のフレームの補償 有線 LAN からの切断時において、AP として動作していたホストは有線 LAN から切断を検出して他の新たな AP に接続するまでは通信を行なうことができないため、その間にそのホストに対して送られてくるフレームは全て失われてしまうことになる。

そこで、有線 LAN 接続時に AP として動作しているホストにあらかじめ無線リンクで通信できる他の AP を決めておき、その AP が被補償ホスト宛のフレームをバッファリングして、そのホストの有線 LAN 切断時にフレームの再送を行なうことで有線 LAN 切断時のフレーム損失の補償を行なう。

図 11 フレームの補償方法

Fig. 11. The frame compensation method

補償先の AP は無線リンクで通信できる必要があるため、有線 LAN 接続時にあらかじめ無線リンクで他の AP から送信されているビーコンフレームを監視し、ビーコンフレームを受信できた AP を補償先の AP とする。まず、被補償ホストが補償先 AP に対して登録の要求フレームを送信し、補償先 AP への登録を行なう。それを受信した補償先 AP では有線 LAN 上のフレームをバッファリングをするホストのデータベースにそのホストのアドレスを追加し、応答フレームを送信する。そしてそれを受信したホストではその AP を補償先の AP として登録し、そのアドレスを記録する。

その後、補償先 AP では有線 LAN 上に流れている被補償ホスト宛のフレームのバッファリングを行なう。また、被補償ホストは有線 LAN との切断を検出すると通常は AP のビーコンフレームを受信するのを待ち、それからハンドオフと同様なシーケンスで接続を行なうが、あらかじめ補償先 AP のアドレスを記録してあるため、図 11 のように切断を検出してすぐに補償先 AP に対して接続の要求を送ることができる。そして接続が完了すると補償先 AP からフレームの再送が行なわれ、有線 LAN 切断時におけるフレーム損失を補償することができる。

〈5・2〉 連続的なトラフィック下の有線切断検出法の評価

実験環境及び測定 TCP を用いた通信の場合には再送などの影響により有線 LAN 切断時のフレームの損失数の計測や補償の効果を評価しにくい。ここでは UDP を用いたリアルタイムアプリケーションの使用を想定する。具体的には有線上のホストから、IP マルチキャストのための実験ネットワークである Mbone[†]で初期から提供されている音声会議システムのアプリケーションである VAT^{††}(15)と同様な形式で 20ms 間隔で 200Byte のパケットを連続して MH に対して送信する。そしてその間に MH を有線 LAN より切断し、MH は AP が 2 台の場合、3 台以上の場合のいずれかの方法により切断を検出して隣接している

[†]Multicast Backbone

^{††}Visual Audio Tool

図 12 パケットの遅延時間及び損失したフレーム数 (2AP 時)

Fig. 12. The packet delay and the number of lost frames (for 2AP)

AP にフレーム補償時と同様なシーケンスで接続する。はじめに隣接 AP は MH が接続後にフレームの再送を行わずに、有線 LAN 切断時のパケットの遅延時間、消失したフレーム数の計測を行なった。ここでのパケットの遅延時間は有線 LAN 切断前に最後のパケットを受信してから切断後、無線リンクで最初にパケットを受信するまでの時間である。そして、その結果より切断検出法や再送バッファサイズなどの検討を行ない、フレーム補償について評価実験を行なった。

AP が 2 台の場合 Ethernet 切断時におけるパケットの遅延時間及び有線切断時に消失したフレーム数の計測を行なった。ここで AP が定期的に送信している有線、無線リンクのビーコンフレームの間隔は各タイムアウト時間の 1/2 の値を用いている。

Ethernet 切断時のパケットの遅延時間の測定結果を図 12 (a)、その際に消失したフレーム数の測定結果を図 12 (b) に示す。測定は各タイムアウト時間につき 10 回行ない、その平均値、最大値、最小値を示した。

この方法での切断の検出に要する時間 t はビーコンフレームの送出間隔を T とすると理論的には $T \leq t \leq 2T$ となるが図 12 (a) のパケットの遅延時間はそれを若干、上方にシフトしたような結果が得られている。これは切断の検出に有線 LAN 上のトラフィックの監視に要する時間やフレームの伝搬遅延時間、計算機内部での処理に要する時間などが実際にはかかり、さらに切断を検出してからデータフレームが送られてくるまで待つ必要があるため、パケットの遅延時間はこれらが加算された値となるためである。また多少、最大値に大きな値が見られるが、これは使用しているタイマーの誤差やフレームを送受信するホストや中継するホストの負荷の状態などにより計算機の OS 内部やコントローラでのフレームの処理時間が変動し、処理が遅延されるためであると思われる。

一方、図 12 (b) の切断時に欠如したフレーム数はパケットの遅延時間に対応した結果が得られた。

図 13 パケットの遅延時間及び損失したフレーム数 (3AP 時)

Fig. 13. The packet delay and the number of lost frames (for 3AP)

AP が 3 台以上の場合 ここで AP が定期的に送信している有線、無線リンクのビーコンフレームの間隔は各タイムアウト時間の 1/2 の値を用いている。

有線 LAN 切断時のパケットの遅延時間の測定結果を図 13 (a)、その際に消失したフレーム数の測定結果を図 13 (b) に示す。

この方法での切断の検出に要する時間 t は連続したトラフィックがあるため、有線 LAN の切断前に最後のフレームを受信してから切断後に次のフレームを受信するまでに少なくとも $2T$ はかかることになる。そのため図 13 (a) のパケットの遅延時間の最小値はほぼ $2T$ 程度の値が得られている。

〈5・3〉 会話音声の許容遅延によるタイムアウト時間、再送バッファサイズの決定 遠隔会議ツール VAT などの UDP を用いた音声のリアルタイムアプリケーションの通信品質の劣化要因としては伝送路におけるパケットの紛失や到着順序の交替、到着間隔のゆらぎ (ジッタ) などが考えられる。また、VAT では内部にバッファを搭載し、到着したパケットをある程度バッファ内に蓄えてから音声の再生を行なっている。これにより、ある程度のパケットの到着順序の交替やジッタの影響を抑制することができる。この機構を持ったリアルタイムアプリケーションは適応型アプリケーションと呼ばれている⁽¹⁵⁾。しかし、本方式では有線 LAN 切断時にフレームの損失が起きてしまい、VAT のような適応型アプリケーションでも通信品質の劣化は避けられない。そのため、通信品質の劣化を抑えるためには会話音声に許容できる遅延時間以内に切断の検出を行ない、その間に損失してしまったフレームを補償する必要がある。

一方、ITU-T[†] は高品質の音声を送るためのネットワーク設計指針を表した勧告シリーズ G.114 を発行し、パケットの一方遅延時間は 400ms まで許容できることを示している⁽¹⁶⁾。そこで今回はパケットの遅延時間を 400ms までに抑えることができるように有線 LAN 切断検出に関するタイムアウト時間、再送バッファサイズを決定した。

[†]International Telecommunications Union - Telecommunication

APが2台の場合の有線切断検出法では3台以上の場合よりパケットの遅延時間が小さいため、フレーム補償の評価にはAPが3台以上の場合の有線切断検出法を用いることにする。そしてタイムアウト時間が短くなれば切断を検出するまでの時間も短くなるが、ビーコンフレームの送出間隔をその1/2に設定する必要があるため、それによりブリッジの中継レートが低下するため、あまりタイムアウト時間を短く設定できない。そこで図13(a)よりパケットの遅延を400ms以内に抑えるため、タイムアウト時間を200msとする。また、図13(b)によるとタイムアウト時間が200msの時のフレームの消失数は平均で13フレーム程度なので、ここでは再送バッファサイズに多少余裕を持たせて15フレームとする。

〈5・4〉フレーム補償の評価 APが2台の場合の有線切断検出法を用いた方が3台以上の場合よりも有線LAN切断時のパケットの遅延時間が小さい。そのため、APが3台以上ある場合の有線切断検出法を用いて、前節のように有線LANからの切断に関するタイムアウト時間を200ms、再送バッファサイズを15フレームとし、実験を行なった。

図14(a)は有線LANから切断した際の様子をパケットのシーケンスナンバーの時間推移で示したものである。始めは有線LANを用いてパケットを受信しており約1.2s後に有線LANから切断されその後、しばらくはパケットが受信できていない。そしてそれから約300ms後に有線LANから切断されたことを検出し、ネットワークインタフェースを無線LANに切替えて隣接するAPとの接続を行なう。その後、接続先のAPよりフレームの再送がなされ、連続してパケットの受信を行なっている。それが終わると有線LANを使っていた時と同様に今度は無線LANを使ってパケットの受信が行なわれている。

次に図14(b)は図14(a)の結果をパケットの到着間隔として表したものである。これを見ると最初は有線LANで約20ms間隔でパケットを受信している。そして55番目のパケットが到着してから次のパケットが到着するまでに約350msを要している。この間に有線LANより切断され、それを検出してインタフェースを有線LANより無線LANに切替えて隣接APへの接続を行っている。そしてその後、APよりフレームの再送がなされて、ほとんど間隔を空けずに連続してパケットを受信している。そして若干の時間経過の後、約20msの到着間隔に戻っている。

ここで有線LANからの切断に伴うパケットの最大遅延時間は約350msであり、その後その間に損失したフレームが再送により補償されており、前節で述べた音声通信の許容範囲である400msより十分小さな遅延時間が得られた。これによりUDPを用いた音声通信のリアルタイムアプリケーションの利用を想定した場合、その通信品質の劣化を抑えることができ、有線LAN切断検出とフレームの再送によるフレームの補償は十分有効であると考えられる。

図14 シーケンスナンバーの時間推移及びパケットの到着間隔

Fig. 14. The packet sequence number vs. packet receive time, and the packet inter-arrival time vs. packet sequence number

6. 結 び

本論文はMH自身を有線LAN接続時に自動的に有線-無線間ブリッジとして動作させる方式を提案し、BSD-UNIXによる実装を行ない、これらの実験結果を示し、その有効性を明らかにした。

本方式の特徴は単一な仕様の計算機構成でネットワークを構成でき、Ethernetで利用している計算機を切断させ、新たなAPに所属させ継続使用させる動作や、APとSTを入れ換えるといった動作を可能にしている。本実装ではFTP[†]やtelnetを用いたアプリケーションの動作確認に成功している。また、Netscape Navigatorを用いたWWW^{††}のコンテンツの閲覧も可能であった。本方式の実装を用いた評価実験、性能評価及び音声適応型アプリケーションを想定した動作の確認により、本方式の有効性が確認できた。

今後の課題としては以下に述べる点が挙げられる。

本方式では、AP遷移時はフレームを転送し、また、他のMHになりすまして、通信内容の横取りが可能になっている。この問題に対し、ホストの全てが単一仕様になっているため、これらの認証を行なうために認証サーバを専用のホストに置き集中管理させてやる方法が考えられる。認証を利用する場合は、ヘッダを拡張し認証情報を載せて送信し、これによりある程度の不正利用は防止できると考えられる。

また、現段階ではLAN上での動作を確認したが、今後はインターネットといったサブネットワーク間の移動の提供も必要となると考えられMobile IP⁽¹⁷⁾の搭載、それに対応したプロトコルの拡張を検討している。従来のMobile IPの利用想定では、同一の媒体間の移動が主に考えられているが、本方式のインタフェースの選択機能により、有線LAN及び無線LANどちらにも接続でき、従来より柔軟な移動環境が構築できる⁽¹⁸⁾。

[†]File Transfer Protocol

^{††}World Wide Web

さらに、文献 (19) で述べられているオフライン下での利用を想定したアプリケーションへの応用や、無線端末間での中継を可能とするプロトコルを実装し、より柔軟なネットワーク構成ができる方式の検討を行なうつもりである。

謝辞

本研究を推めるにあたり、多大な協力をしてくれた東京電機大学 大学院 工学研究科 米村 修君に感謝する。

(平成 11 年 2 月 25 日受付)

文 献

- (1) 松下温, 中川正雄 編著: “ワイヤレス LAN アーキテクチャ”, 共立出版, 1996.
- (2) 松下温, 重野寛: “無線 LAN 技術講座”, ソフトリサーチセンター, 1994.
- (3) 冬瓜成人, 米村修, 笠原宏: “動的に有線網とのブリッジを提供する移動ホストの提案及び評価”, 信学技報, SSE97-94, pp.111-116, Sept. 1997.
- (4) 米村修, 冬瓜成人, 笠原宏: “動的に有線網とのブリッジを提供する無線端末”, 東北連大, 2H1, pp.262, Oct. 1997.
- (5) 冬瓜成人, 米村修, 笠原宏: “動的に有線網とのブリッジを提供する移動ホストの評価”, 信学総大, 文冊 通信 2, no.B7-56, pp.175, March 1998.
- (6) 米村修, 冬瓜成人, 秋山裕之, 笠原宏: “動的に有線網とのブリッジを提供する移動ホストの接続/切断動作の評価実験”, 電気関係学会関西支部連合大会, no.G13-19, pp.G295, Nov. 1998.
- (7) IEEE 802.11, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications”, IEEE Std. Nov. 1997.
- (8) Xinhua Zhao, Claude Caselluccia, Mary Baker: “Flexible Network Support for Mobility”, Proceedings of ACM/IEEE MobiCom'98, pp.145-156, Jan. 1998.
- (9) Mark Stemm and Randy H. Katz: “Vertical Handoffs in Wireless Overlay Networks”, ACM Mobile Networking (MONET), Special Issue on Mobile Networking in the Internet, Summer 1998.
- (10) 湧川 隆次, 植原 啓介, 田村 陽介, 徳田 英幸: “R3 システム: ネットワークエンティティの状態変化に対応する管理機構の設計と実装”, 情報処理学会全国大会, 講演論文集 (1), 3Q-8, pp.1-66, Oct. 1998.
- (11) IEEE 802.1D, “Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local area networks - Media access control(MAC) bridges”, IEEE Std., July 1993.
- (12) 石井 健一, 大澤 智喜: “無線 LAN システムにおける総合的端末移動”, 信学総大, 文冊 通信 2, no.B7-237, pp.366, March 1997.
- (13) G.Wright, W.Stevens: “TCP/IP Illustrated Volume 2”, Addison Wesley, 1995.
- (14) S. McCanne: “The BSD Packet Filter”, USENIX conference, January 1993.
- (15) Craig Partridge: “Gigabit Networking”, Addison-Wesley, 1994.
- (16) ITU-T Recommendation G.114, “One-way Transmission Time”, March 1993.
- (17) C. Perkins: “IP Mobility Support”, RFC2002, Oct. 1996.
- (18) 米村修, 冬瓜成人, 笠原宏: “動的に有線網とのブリッジを提供する移動ホストのサブネット間移動に関する検討”, 信学総大, 文冊 通信 2, no.B7-57, pp.176, March 1998.
- (19) 重野寛, 清松和明, 岡田謙一, 松下温: “モバイル・コンピューティングをサポートする MC2 Platform”, 信学論 (B1), Vol.J81 No.3 pp.49-57, March 1998.

冬 爪 成 人 (学生員) 平7東京電機大・工・電気卒。平9同大大学院修士課程了。現在, 同大大学院博士課程在学中。コンピュータネットワークの研究に従事。電子情報通信学会会員。平10年関西支部大会奨励賞受賞。

笠 原 宏 (正員) 昭45東京電機大・大学院・博士課程満期退学。同大学助手, 講師, 助教授を経て現在, 同大・工・電気教授。工学博士。計算機システム, 制御用分散処理ネットワーク, オブジェクト指向システム, オブジェクト指向システム設計法, インタラクティブにとらえた脈診情報処理方式の研究に従事。情報処理学会, 電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。