

複数 NIC とスイッチングハブを用いた広帯域通信のための 拡張 ARP プロトコル*

6J-05

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科[†]
中山 佳子 林 達馬 梅島 慎吾 松垣 博章[‡] §

1 背景と目的

近年、コンピュータネットワーク技術の発達によって、ネットワークに接続されたコンピュータ間で大量のデータを短時間で伝送することが必要となるアプリケーションへの要求が高まっている。特に、テキスト、音声、静止画像、動画像を含むマルチメディアデータを配送するアプリケーションとして、LAN をベースとした CSCW や、コラボレーションシステム [2, 3] が研究開発されている。LAN の構築においては、イーサネット技術が広く利用されている。LAN には複数のコンピュータが接続されているため、CSMA/CD における競合と衝突の発生により、実効帯域幅はアプリケーションに対して必ずしも十分とは言えない。広帯域通信を実現するひとつの方法として、複数の通信路を束ねて利用するものがある。リピータハブを用いたイーサネットでは、各コンピュータに複数の NIC を装着しても、これらから送出されたパケットの伝送が競合、衝突してしまう。しかし、スイッチングハブを用いたイーサネットでは、各 NIC から送出されたパケットが独立に配送されることから競合や衝突が発生せず、広帯域な通信を実現することができる [4]。本論文では、これを実現するために必要となる ARP (Address Resolution Protocol) [1] の拡張方法について述べる。

2 複数 NIC による広帯域通信

複数の NIC を装着したコンピュータをスイッチングハブに図 1 に示すように接続することにより、これらのコンピュータ間での広帯域通信を実現するとき、以下の要求条件を満たすものとしなければならない。

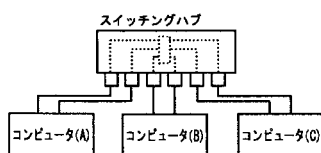


図 1: 複数枚 NIC を用いた広帯域通信機構

[要求条件]

- (1) 提案する機構を導入しても、既存のアプリケーションへの変更を行なうことなくそのまま利用できる。これを実現するために、同一のコンピュータに装着され、同一のネットワークに接続する複数の NIC (これらの MAC アドレスは異なる) には、同一の IP アドレスを与える。
- (2) ネットワークに接続されているすべてのコンピュータに提案する機構が導入されていることを前提としない。提案機構が導入されているコンピュータと導入されていないコンピュータとが混在してい

* Extended ARP for High Performance LAN Communication.

[†] Tokyo Denki University

[‡] Yoshiko Nakayama, Tatsuma Hayashi, Shingo Umeshima and Hiroaki Higaki

§ {ane, tatum, shin5, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

も、TCP/IP による通信が正しく行なわれるものとする。

3 拡張 ARP プロトコル

3.1 ARP

アドレス解決プロトコルは、与えられた IP アドレスを持つ NIC の MAC アドレスを得るためのプロトコルである [1]。フレームを送信するときに送信先 NIC の MAC アドレスが不明である場合、まず送信元 NIC の MAC アドレス、IP アドレス、送信先 NIC の IP アドレスの 3 つを格納した ARP リクエストを LAN 内にブロードキャストする。ARP リクエストに格納された送信先 IP アドレスを持つ NIC は、自身の MAC アドレスを格納した ARP リプライを返送する。送信元 NIC がこの ARP リプライを受信することで送信先の MAC アドレスを得る。

3.2 拡張 ARP の設計

ここでは、提案手法の要求条件 (1) のうち、同一コンピュータに装着され、同一のネットワークに接続する複数の NIC に対して同一の IP アドレスを与えることを実現する。そのために、送信先の IP アドレスを与えられた複数の NIC が持つ MAC アドレスを送信元が得ることを可能としなければならない。バックボーンルータ間の接続のように通信相手が固定であるならば問題はない。論文 [4] で作成されたプロトタイプは、通信相手が固定であるとし、変更したデバイスドライバにその MAC アドレスをハードコーディングしていた。しかし、通信相手が可変である LAN 環境においては、一つの IP アドレスから複数の MAC アドレスへの対応関係を動的に獲得可能となる機構が必要である。前節で述べたように、動的なアドレス解決には ARP プロトコルが利用されるが、IP アドレスと MAC アドレスの対応関係は 1 対 1 であることが前提となっている。そこで、本節では、この問題を解決する拡張 ARP について述べる。拡張の方法として以下の 2 つが考えられる。

- (1) 従来のメッセージフォーマットをそのまま用いる。
- (2) 複数の MAC アドレスを含む新しいメッセージフォーマットを定義する。

(1) の方法では、送信元からブロードキャストされた ARP リクエストは、問い合わせ対象の IP アドレスを与えられた複数の NIC によって受信され、そのそれぞれから各々の MAC アドレスが格納された ARP リプライが返信される。これら複数の ARP リプライが従来の ARP によって受信された場合、Linux (カーネルバージョン 2.2.17-0vl10)、FreeBSD (バージョン 4.2-Release および 4.4-Release)、Windows98SE では、いずれも最初の ARP リプライのみを受信し、それ以外は破棄するので問題はない。しかし、拡張 ARP が複数のリプライを受信し、通信相手に複数の NIC が存在することを認識し、それらの MAC アドレスを用いて通信を行なうためには、すべての ARP リプライを受け取れるだけ十分なタイムアウトを設定する必要がある。同時に、このタイムアウトが経過するまで待ち続けなければならない

ため、通信相手に NIC がひとつだけ装着されている場合には、不要な待ち状態となってしまいます。そこで、本論文では、(2)の方法による解決について述べる。

ARP リクエストおよび ARP リプライは、イーサネットフレームのデータ部に格納されて配送される。イーサネットフレームのデータ部の大きさは 46 バイト以上 1500 バイト以下と定められている。ARP リクエストと ARP リプライのメッセージフォーマットは同一であるが、その大きさは 28 バイトであり、18 バイト不足している。この不足分は、PAD と呼ばれる不定値によって補われる (図 2)。

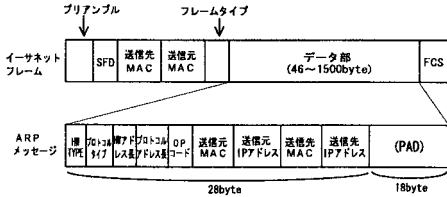


図 2: イーサネットフレームと ARP メッセージ

この PAD の部分は、受信時には無視される。従来の ARP メッセージフォーマットに続けて拡張部分を配置することで拡張 ARP のメッセージフォーマットとする。そのため、18 バイトを超える拡張部分が存在しても従来の ARP が正しい処理を行なうことができるか確認した。その結果、Linux、FreeBSD、Windows98SE、Solaris8 のいずれにおいてもすべての拡張部分が無視され、正しく処理されることが明らかとなった。

3.3 拡張 ARP 部分のフォーマット

前節で述べたように、拡張 ARP メッセージのフォーマットを設計するにあたっては、18 バイト以上の拡張部を設けても、従来の ARP は正しく動作する。一方、受信した ARP メッセージが従来の ARP メッセージフォーマットであるか、すなわち 29 バイト目以降は PAD であるか、あるいは拡張 ARP メッセージフォーマットであるか、すなわち 29 バイト目以降に MAC アドレスが含まれているのかを区別できなければならない。そこで、ARP リクエスト、ARP リプライの拡張部のフォーマットとして図 3 が考えられる。



図 3: 拡張 ARP の拡張部フォーマット (1)

ARP リクエスト、ARP リプライともに、最初の 2 バイトには送信元と送信先の NIC の数を格納する。この後に、送信元と送信先の MAC アドレスが格納されるフィールドが続く。このフィールドは、NIC の数に応じて変化する可変長のフィールドとするが、送信元 MAC アドレスフィールドは NIC の数が 4 未満である場合でも 4 つの MAC アドレスを格納するフィールドを含むこととする。イーサネットの MAC アドレスの大きさは 6 バイトであることから、拡張部の大きさは常に 20 バイト以上となる。したがって、拡張 ARP の受信した

ARP メッセージが (PAD を含めて) 46 バイトであるならば従来の ARP メッセージフォーマット、46 バイトを超えるならば拡張 ARP メッセージフォーマットであると区別することができる。この方法は、Linux および Windows98SE では正しく動作する。しかし、FreeBSD では正しく動作しない。ARP リクエストの送信元が拡張 ARP (オペレーティングシステムはいずれでもよい)、問い合わせ対象コンピュータが従来の ARP であり、このコンピュータのオペレーティングシステムが FreeBSD である場合、(1) 受信した ARP リクエストメッセージをコピーし、(2) オペレーションフィールドをリクエストからリプライに変更し、(3) 自身の MAC アドレスを格納して ARP リプライメッセージを作成、返信している。したがって、従来の ARP にもかかわらず、拡張 ARP メッセージでフォーマットされた ARP リプライが返されるという問題点がある。すなわち、受信した ARP リプライパケットの 29 バイト目以降が拡張 ARP によるものであるのか、ARP リクエストのコピーによるものであるかを区別しなければならない。この問題点を解決するために、図 4 のように ARP リクエストメッセージおよび ARP リプライメッセージに送信元 IP アドレスを格納するフィールドを設ける。もし、拡張 ARP によるものであれば、ARP リプライのこのフィールドには問い合わせ対象の NIC の IP アドレスが含まれており、自身の IP アドレスとは異なる。また、ARP リクエストのコピーによるものであれば、受信した ARP リプライのこのフィールドには自身の IP アドレスが含まれている。

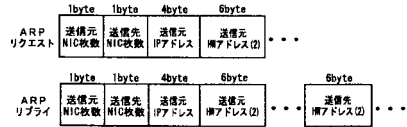


図 4: 拡張 ARP の拡張部フォーマット (2)

4 まとめ

本論文では、アプリケーションを変更することなく、複数 NIC を用いた広帯域通信を実現するための拡張 ARP プロトコルを設計した。提案手法は、拡張 ARP 機能を持つコンピュータと持たないコンピュータが混在してもアドレス解決することが可能である。論文 [5] では、Linux カーネルへの実装を行ない、その有効性を確認している。

参考文献

- [1] Plummer, D.C., "An Ethernet Address Resolution Protocol," RFC 826 (1982).
- [2] 木原, 藤井, 中村, 安斎, "ネットワーク共有空間での人間の動きによる描画と演奏," 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 9, pp. 3501-3509 (1999).
- [3] 木原, 安斎, 安田, "絵ごと通信システムの基本構想," 情報研報, Vol. 98, No. 31, pp. 18-24 (1998).
- [4] 出口, 松垣, "複数 NIC とスイッチングハブを用いた広帯域通信機構の構築と評価," 情報処理学会第 62 回全国大会, No. 1, pp. 25-26 (2001).
- [5] 林, 梅島, 松垣, "複数 NIC とスイッチングハブを用いた広帯域通信機構の Linux への実装," 情報処理学会第 64 回全国大会, 6J-06 (2002).