

ホームネットワークに適した

マルチチャネルアドホックネットワークの提案

Proposal of multi-channel ad hoc network suitable for home network

西山 和志†
Nishiyama Kazuyuki

池田 克夫‡
IKEDA katsuo

1. まえがき

本論文では、IEEE802.11 無線 LAN (以下、無線 LAN) を用いたアドホックネットワークでホームネットワークの構築を想定し、チャネルの競合を回避するためのマルチチャネル MAC プロトコルについての検討を行う。

アドホックネットワークは、配線や機器の設置などにかかるユーザの負担を大きく軽減できることから、ホームネットワークの通信基盤に適している。従来の無線 LAN を用いたアドホックネットワークの MAC プロトコルは、シングルチャネルであり、物理的なキャリアセンスに CSMA/CA、仮想的なキャリアセンスに RTS/CTS を用いる。これによって、通信が衝突することは防止できるが、複数の通信が発生した場合は競合を起し、各通信のスループットが低下する。IEEE802.11a/g の現実的な最大スループットは約 30Mbps 程度[1]であり、デジタルハイビジョン画質の動画データを転送するには約 24Mbps のスループットが必要である。そのため、複数のユーザが同時に通信を行った場合、物理的にスループットが不足する。動画などは長時間連続で利用されることが多く、競合しやすい。この場合には、通信ごとにチャネルを使い分けるマルチチャネル方式により、チャネルの競合を回避でき、各通信のスループットの低下を防止できる。

マルチチャネル MAC プロトコルでは、他のチャネルの状態をどのようにして知るかが問題となる。本論文では、手軽に高い確率でチャネルの競合を回避するマルチチャネル MAC プロトコルを実現することを目的として、チャネルの状態を付加したチャネル情報を扱う方式を提案する。チャネル情報の交換に制御チャネル、高スループットの通信に通信チャネルを用いる。これにより、通信時にチャネルが競合する確率が低くなり、別のキャリアへの切替える必要がなくなることで、通信開始までの遅延時間を短くできる。

2. 無線 LAN によるマルチチャネル MAC プロトコル

通常、無線 LAN では、異なるチャネルを同時にキャリアセンスできず、RTS/CTS が正常に働かないことがある。このため、隠れ端末による衝突を回避できずスループットが低下することがある。また、チャネルを切替えるためには 224 μ 秒以上が必要[3]であり、チャネルの切替えは少ない方がよい。マルチチャネル MAC プロトコルでは、

† 大阪工業大学大学院情報科学研究科, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology.

‡ 大阪工業大学情報科学部, Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

これらの問題を解決するために、チャネル情報をどのように管理するか、チャネルを有効利用するためにチャネル割当ての基準をどのようにするかを解決する必要がある。

劉文姫らによる提案手法[2]では、全端末で同期をとりながら、チャネルホッピングによりキャリアセンスを行う。これによって、チャネルの使用状況を把握し、動的にチャネルを割当てることができる。しかし、ホームネットワークでは、隣接する別の家庭との干渉もあり、この方式ではマンション全体で同期をとる必要がある。しかし、広範囲において同期を維持するのは困難である。

3. ホームネットワークの環境

3.1 ホームネットワークの特徴

ホームネットワークの特徴を、機器、必要なスループット、ネットワークグループの構成に区分して述べる。

家庭内で利用される機器の中で動画や音声などのマルチメディアデータを扱う機器は、大容量通信が可能である。直接それらのデータとは関係の無い機器であっても、大容量通信が可能であれば、中継端末として利用できる。また、ホームネットワークでは、マルチメディアデータを一括して管理するデータサーバが用いられることもある。これは複数のユーザが別々のデータを要求することがあるため、NIC を複数搭載しているなど複数のチャネルを同時に扱える必要がある。アドホックネットワークでは、機器の移動にも対応できるが、動画を見ながら移動することは危険であることから、ここでは完全に固定されたものとして扱う。

マルチメディアデータの中で、最大のスループットが必要なのは、デジタルハイビジョン画質の動画で、約 24Mbps のスループットが必要である。また、動画データなどは長時間連続して使われることが多い。

一つの家庭で一つのグループ (IBBS : Independent Basic Service Set) を構成する。無線 LAN では、IBBS が異なっても、隣り合う家庭の通信と干渉する。マンションなど密集した環境では、より顕著になる。

3.2 通信規格

3.1 に挙げた特徴に対して最適な無線 LAN の仕様は、IEEE802.11a (以下、11a) をベースにした IEEE802.11n (以下、11n) である。11a は、5.2GHz 帯を利用するために、壁などで減衰することから、隣接するグループとの干渉を軽減できる。また、同時に利用できるチャネル数も IEEE802.11g (以下、11g) よりも多い。11a/g の上位互換である 11n は、通信方式は 11a/g と同じで、スループットは MIMO (Multiple Input Multiple Output) により、現状では 11a/g の約 2 倍になる。ただし、11n の MIMO は同時

に同一チャネルを利用するため、NIC 単体ではシングルチャネルで動作するものと同等である。

4. マルチチャネル MAC プロトコルの設計

4.1 マルチチャネル MAC プロトコルの設計方針

ホームネットワークに適したマルチチャネル MAC プロトコルを実現するためには、24Mbps 程度のスループットの維持や、隣接する別のグループの通信との干渉を回避する仕組みが必要である。また、マルチチャネル MAC プロトコルの一般的な問題であるチャネル情報の管理や、チャネルの割当ても解決する必要がある。

提案方式では、チャネル情報や高スループットを必要としない通信などを利用する制御チャネルと、マルチメディアデータなど高スループットの通信を長時間利用する通信チャネルを用いる。制御チャネルは、全ての IBBS で同一のチャネルを利用する。このことで、隣接する IBBS に対しても、チャネル情報を交換でき、競合を回避できる。通信チャネルは、それ以外のチャネルを随時選択して利用する。スループットに余裕があればチャネルの共有も可能だが、提案方式では一つの通信に一つのチャネルを割当てることとする。

通信中の機器は別チャネルを利用しているため、チャネル情報を交換できないことからチャネルの状態に矛盾が生じる。また、全チャネルをその都度キャリアセンスするには時間がかかることや、通信中のチャネルへの割込みは通信を不安定にさせることから、チャネルの状態を付加したチャネル情報を用いて、これらを解決する。

4.2 チャネルの状態

チャネル情報には、各チャネルの状態として、busy, reserved, reserve, free, use, unknown を利用する。busy はチャネルが使用中である、reserved はチャネルが予約されている、reserve はチャネルを予約している、free はチャネルが未使用である、use はチャネルを使っている、unknown はどの状態か不明であることを示す。

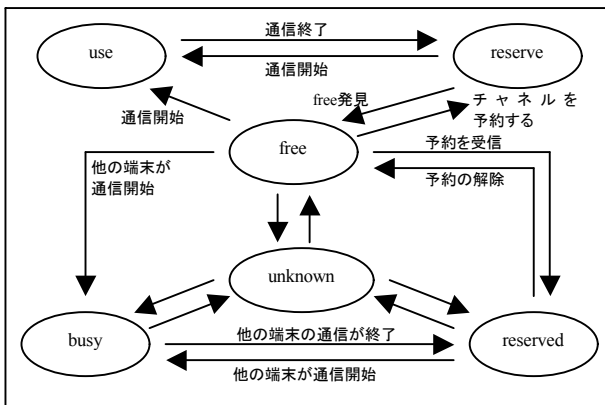


図1. チャネル状態の状態遷移図

基本的な状態遷移は、図1の通りである。通信中はチャネル情報の交換ができないため、通信終了時に利用したチャネルを reserve に、それ以外のチャネルを unknown にする。unknown のチャネルをキャリアセンスした結果、free と判明したら、reserve を free に変更し、周囲の端末は reserved を free に変更する。unknown のチャネルに対するキャリアセンスは、キャリアセンス中に別のチャネル情報を聞き漏らすことを防ぐために、連続して行わない。

4.3 キャリアセンス

キャリアセンスは、隠れ端末問題に対応するため、RTS/CTS を受け取るのに必要な時間までセンスし続けなければならない。その時間は「1 フレームの送信時間」+「SIFS (Short InterFrame Space) の2倍」+「CTS 送信時間」以上となる。ビットレートを 54Mbps, フレームサイズを 1536oct に設定した場合、キャリアセンスにかかる時間は 389.5 μ 秒以上[1]必要である。

キャリアセンス中は制御チャネルでのメッセージを受信できないため、制御チャネルを利用するメッセージを2度送信することにし、その送信間隔を「キャリアセンスの時間」+「チャネル変更の時間の2倍」よりも大きくする。また、キャリアセンスを待機をする間隔は、さらに長い時間間隔にする。

メッセージを二重にすることにより、メッセージが正しく受信される確率は増すが、衝突の可能性は残り、チャネル情報が完全に正しいことを保証できない。この時、busy であるはずのチャネルを free と誤認識して、そのチャネルに切替えた場合にチャネルが競合するため、キャリアセンスによって競合を発見し、チャネルを切替える必要がある。しかし、実際に競合する可能性は低いため、チャネルを再選択し再度キャリアセンスを行うことで発生する通信開始までの平均遅延時間を短くできる。

5. 評価

チャネル情報が正しければ、競合は起きない。競合が起きなければ、チャネル切替えによる遅延を減少できる。

競合する確率は、チャネル情報の信頼性 R に関係する。見かけの free の数を fl, 正しい free の数を fr, 誤った free の数を fm とする。また、競合する回数を n とすると、実際に競合する確率 Pc は次の式で表現できる。

$$P_c = (1-R)^n \times \frac{fmP_n}{nP_n} \times \frac{fr}{fl-n}$$

チャネル情報を交換しないとして、ランダムでチャネルを決定する場合、全チャネル数を a, busy 状態のチャネル数を b, 競合した回数を n とすると、競合する確率 Pp は次の式で表現できる

$$P_p = \frac{bP_n}{aP_n} \times \frac{a-b}{a-n}$$

これらの式から、チャネル情報の信頼性が高ければ、競合する確率は Pc の方が低いことが分かる。チャネル情報の信頼性は、メッセージの受信ミスや、電波状態などに左右されるが、大きく低下することはない。

6. まとめ

マルチチャネル MAC プロトコルにおいてチャネル情報を交換することで、チャネルが競合する確率を減らすことができた。今後は、チャネル情報の信頼性を高めることや、空きチャネルが無い時の対応が必要である。

参考文献

- [1]日経 NETWORK, "IEEE802.11 無線 LAN", 日経 BP 社, 2004.
- [2]劉文姫, 萬代雅希, 渡辺尚, "マルチチャネルアドホックネットワークにおける MAC プロトコルの性能評価", 電子情報通信学会, CS 研究会, Vol. 105, No. 410 pp. 85-89, 2005. 11.
- [3]福田淳平, "マルチホップ無線 LAN における動的なトラフィック制御", 九州工業大学大学院情報工学研究科, 修士学位論文, 2006. 2. 14.