

送信影響範囲を基準とした MAC プロトコルの効率化とその評価

重安 哲也 † 松野 浩嗣 ‡ 森永 規彦 †

† 広島国際大学 情報通信学科 ‡ 山口大学大学院 理工学研究科

様々な制御機構を組み込んだ MAC プロトコルが開発され、計算機シミュレーションなどにより、その性能が評価されている。多くの場合、MAC プロトコルは、スループット、遅延時間またはその揺らぎ(ジッタ)などで性能が評価されることが多い。しかしながら、これらの基準は、開発したプロトコルを評価する際には有益な評価基準となりえるが、プロトコルの開発や改良の際の基準として用いるには不十分な場合がある。それは、これらから得られた結果はネットワークのトポロジやトラフィック発生条件に大きく影響を受けてしまうため、値そのものには高い一般性を期待できないからである。本論文では、ネットワークトポロジやトラフィック発生条件等に依存せず、MAC プロトコルを一般的かつ定量的に評価するための基準として、送信の影響範囲を元に消費通信資源を定義する。次に、代表的な無線 LAN 規格である IEEE802.11 に規定される MAC プロトコルを消費通信資源を基準に効率化を図り、計算機シミュレーションにより評価した結果を報告する。

Efficiency Evaluation of MAC Protocols Based on the Range of Influenced Transmission

Tetsuya Shigeyasu † Hiroshi Matsuno ‡ Norihiko Morinaga †

† Department of Information Technology, Hiroshima International University

‡ Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

Many MAC Protocols which employ various control sequences have been proposed. These protocols were evaluated using computer simulations on the basis of throughput performance, or transmission delay or delay jitter. These evaluation criteria could be useful for evaluation of developed protocols, but, it could not always be available for a new development and/or further improvement. This is because these evaluation criteria depend on the network topology and traffic assumption. In this paper, based on the range of transmissions which influence to other terminals, we define "consumption communication resource" as a new evaluation criterion which can estimate property of MAC protocols generally and quantitatively. Then, upon the basis of proposed criterion, we modify IEEE802.11DCF which is most widely used wireless LAN protocol, and clarify the performance of modified IEEE802.11DCF.

1 はじめに

近年、情報通信技術 (ICT : Information Communication Technology) が広く一般に普及するに伴い、オフィスや家庭におけるパーソナルコンピュータをはじめ、移動環境下における PDA (Personal Digital Assistance) やスマートフォンなどの通信機能を有する様々な電子デバイスがコンピュータネットワークに接続されるようになってきている。ネットワークに接続されたこれらの通信端末は、衝突によるパケット損失を防ぐため MAC (Media Access Control) プロトコルと呼ばれる送信規約に従ってパケットの送信が制御される。

MAC プロトコルは、ネットワークの構成目的や実装される通信システムの性質などに対応するために様々なものが開発されており、中でも特に、基地局を介さずて端末個々が独自に通信を制御する自律分散型の MAC プロトコルが数多く提案されている。

自律分散型の MAC プロトコルにおいて、代表的なものは CSMA (Carrier Sense Multiple Access)[1] である。CSMA は隣接する端末の送信状況を調査し、どの端末も送信を行っていないことを確認した後にパケットを送信するキャリアセンス型の MAC プロトコルである。CSMA は、簡単な制御で高スループットを獲得できるため、現在でも広く使用されている。しかしながら、通信範囲外の送信状況はキャリアセンスによって把握することはできない。そのため、隠れ端末が存在するネットワークでは、頻繁にパケットが衝突しスループットが低下してしまう。そこで、隠れ端末の影響を受けにくい自律分散型の MAC プロトコルとして MACA (Multiple Access with Collision Avoidance)[3] が提案されている。MACA は DATA パケットの送信前に RTS (Request To Send), CTS (Clear To Send) と呼ばれる短い制御パケットを送受信端末間でやり取りす

るパケットセンス型の MAC プロトコルである。同型のプロトコルとして、MACAW (MACA for Wireless)[4], MACA-BI (MACA By Invitation)[5] などといった多くのプロトコルが提案されている。また、キャリアセンス型とパケットセンス型それぞれの利点を取り入れたハイブリッド型のプロトコルも提案されており、これには FAMA (Floor Acquisition Multiple Access)[6] や、現在広く普及している無線 LAN 規格のプロトコルである IEEE802.11DCF[7] などが該当する。

ところで、これらの MAC プロトコルの多くの性能評価は計算機シミュレーションを用いて行われることが一般的であり、その際の評価基準には、スループット、伝送遅延、さらには伝送遅延のゆらぎ(ジッタ)などがよく用いられる。これらの評価基準は、実際のネットワークの運用を考慮し、細かく状況を設定して評価を行うことができるため、開発したプロトコルの有効性を評価するための有益な基準とすることができる。

しかしながら、これらの評価基準は、ネットワークのトポロジやトラフィックの発生条件等に大きく影響を受けてしまうため、得られた結果に高い一般性を期待することはできない。たとえば、CSMA などのキャリアセンス型の MAC プロトコルでは、キャリアセンス外の端末の存在割合が大きくそのスループットに影響するし[8]、FAMA では、隠れ端末の影響を完全に排除できるが、端末間距離に依存する伝搬遅延時間を元に RTS/CTS パケット長を決定するために、同様にスループットは大きな影響を受けてしまう。

そのため、与えられた MAC プロトコルに対して一般性の高い評価を行うためには、上記のような、ネットワークトポロジ、トラフィック発生条件などに左右されない評価基準が必要であると考えられる。そこで、本論文では、これを満たす評価基準として消費通信資源

を定義する。同基準は各プロトコルが送信を行う場合に影響を及ぼす領域と送信に要する時間から値を算出する。ここで、送信の際の影響範囲は同一ネットワーク上でどれだけのパケットを並行送信できるかに影響するし、送信に要する時間は任意の端末が一定時間内にどれだけ送信を行うことができるかに影響する。そのため、同基準を用いれば、任意のプロトコルの平行送信の成功しやすさや送信オーバヘッドの度合いなどを一般的かつ定量的に評価できると考えられるため、新たな MAC プロトコルの開発のみならず、既存 MAC プロトコルの改良を行う際の有効な評価基準になると考えられる。

以降、本論文では、消費通信資源の定義について述べた後、現在広く普及している無線 LAN 規格に採用される MAC プロトコルである IEEE802.11DCF を取り上げ、同プロトコルを消費通信資源を用いて評価・改良を行う。次に、同改良手法の有効性を明らかにするために行った改良 MAC プロトコルの計算機シミュレーションの結果を報告する。

2 消費通信資源

MAC プロトコルをネットワークのトポジやトラブル発生状況に依存せず、一般的かつ定量的に評価する基準として、消費通信資源を以下に定義する。

[消費通信資源]

任意の MAC プロトコルの送信を考える。1 パケットを送信するために、その他の新たなパケットの送信が延期されなければならない領域ならびにその時間の積を消費通信資源とする。

以下では、代表的な MAC プロトコルとして CSMA[1]、CSMA/CA[7]、CSMA/CA with RTS/CTS[7]を取り上げ、それぞれの消費通信資源について示す。

2.1 CSMA

2.1.1 送信成功時の CSMA の消費通信資源

CSMAにおいて、任意のパケットの送信が成功する場合の消費通信資源を考える。このパケットが受信端末において衝突なく受信されるためには、受信端末の通信範囲内で DATA パケット受信中にその他のパケットが新たに送信されないことが条件となる。また、CSMA では、キャリアセンスで隣接するその他の端末が送信中でないと判断した場合にのみ送信を開始することができるため、パケットの送信が成功する場合には、送信端末の通信範囲内も同様に DATA パケット送信中はその他の新たな送信開始が延期されることとなる。

従って、送信、受信端末の通信範囲をそれぞれ T_{range} 、 R_{range} とし、DATA パケットの受信に必要な時間を P_{DATA} とすると、CSMA における送信成功時の消費通信資源 ($CSMA_S$) は

$$CSMA_S = (T_{range} \cup R_{range}) \times P_{DATA} \quad (1)$$

となる。

2.1.2 送信失敗時の CSMA の消費通信資源

CSMA では、図 2 中の(②)に示される端末のように、送信端末の通信範囲外であり、かつ、受信端末の通信範囲内に存在する隠れ端末と呼ばれる端末と同時に送信を行うことによって、衝突が起こりパケットの送信が失敗する（隠れ端末問題 [2]）。

さて、受信端末においてパケットが衝突する場合、送信パケットが止しく受信されることはないため、受信端末の通信範囲でその他の端末が送信を延期する必要はない。しかしながら、送信端末は送信中のパケットの衝突を検知できないため、送信成功時と同じ時間ほどパケットの送信を行う。従って、この間、送信端末の通信範囲ではキャリアセンスによって送信が延期されてしまう。これらのことから、CSMA における送信

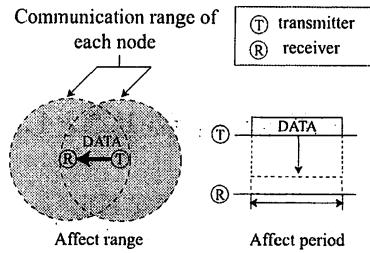


図 1: CSMA が送信成功時に影響を及ぼす範囲と時間

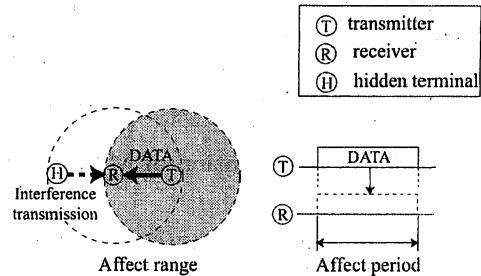


図 2: CSMA が送信失敗時に影響を及ぼす範囲と時間

失敗時の消費通信資源 ($CSMA_F$) は

$$CSMA_F = T_{range} \times P_{DATA} \quad (2)$$

となる。

2.2 CSMA/CA

CSMA/CA は、現在広く普及している無線 LAN 規格である IEEE802.11DCF に規定されるプロトコルであり、同規格において全てのパケットは同プロトコルに従って送信される。

図 3 に CSMA/CA における送信制御を示す。送信端末は、キャリアセンスによって DIFS 時間の間チャネルがアイドルであると判断した後に、DATA パケットの送信を開始する。このとき、DATA パケットの MAC ヘッダ中の duration フィールドには DATA パケットを正常にした場合に返信される ACK の受信完了までの時間が記録されており、DATA パケットの宛先端末以外が同パケットを受信した場合には、この duration フィールドに従って送信禁止時間 NAV(Network Allocation Vector) が設定される（図 3 中の NAV(DATA) がこれに該当する）。

2.2.1 送信成功時の CSMA/CA の消費通信資源

CSMA/CA の送信成功時における消費通信資源を考える。前述の通り、CSMA/CA では送信を開始するためには、送信端末の通信範囲が DIFS 時間アイドルでなければならない（図 4 の (1) に該当）。また、実際に DATA パケットやそれに対する応答パケットである ACK パケットの送信中は前出の CSMA の場合と同様に送受信端末両方の通信範囲で新たなパケットの送信が延期される。従って、CSMA/CA における送信成功時の消費通信資源 ($CSMA/CAs$) は

$$\begin{aligned} CSMA/CAs &= T_{range} \times DIFS + (T_{range} \cup R_{range}) \\ &\times (P_{DATA} + SIFS + P_{ACK}) \end{aligned} \quad (3)$$

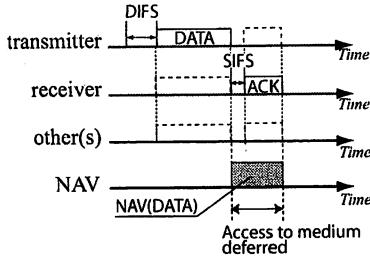


図 3: CSMA/CA における送信制御

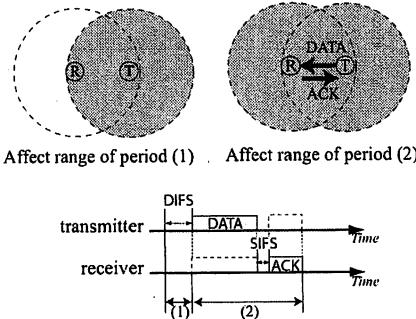


図 4: CSMA/CA が送信成功時に影響を及ぼす範囲と時間

となる。

2.2.2 送信失敗時の CSMA/CA の消費通信資源

CSMA/CA における送信失敗時の消費通信資源を考える。同プロトコルでは、送信成功時と同様に DIFS 時間アイドルであるとキャリアセンスによって判断した後に送信を開始するが(図 4 の区間 (1)), CSMA と共に隠れ端末と衝突を起こすことにより DATA パケットの送信が失敗する(同図の区間 (2))。

しかしながら、送信端末の通信範囲内であっても隠れ端末の通信範囲外に位置する端末(図中の○がこれに該当する)は DATA パケットの duration フィールドに従って NAV が設定されるために、ACK パケットが実際に送信されないにも関わらず、送信が延期されてしまう。従って、CSMA/CA における送信失敗時の消費通信資源(CSMA/CAF)は

$$CSMA/CAF = T_{range} \times DIFS + T_{range} \times (P_{DATA} + (SIFS + P_{ACK}) \times (T_{range} - T_{range} \cap H_{range})) \quad (4)$$

となる。

2.3 CSMA/CA with RTS/CTS

CSMA/CA with RTS/CTS(以降、RTS/CTS)は、IEEE802.11DCFにおいて隠れ端末の影響を軽減するためにオプションとして規定されている。

RTS/CTS による送信制御を図 6 に示す。RTS/CTS では、DATA パケットの送信前にこれから送信端末は受信端末宛てに送信要求を伝える RTS を送信する。これに対し、受信端末は受信可能状態にあれば CTS を返信する。このとき、送・受信端末の通信範囲内の端末は RTS、CTS いずれかのパケットを傍受することにより、

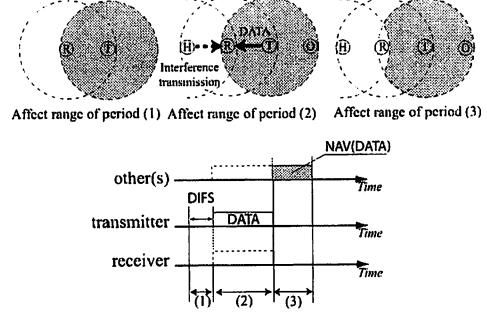


図 5: CSMA/CA が送信失敗時に影響を及ぼす範囲と時間

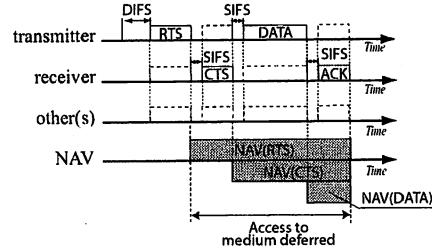


図 6: CSMA/CA with RTS/CTS における送信制御

duration フィールドの値から NAV(RTS), NAV(CTS) をそれぞれ設定する。このようにして、キャリアセンスが機能しない端末に対しても、以上のように NAV(CTS) を設定することができるため¹、隠れ端末の影響を軽減することが可能となっている。

2.3.1 送信成功時の RTS/CTS の消費通信資源

送信成功時の RTS/CTS における消費通信資源を考える。CSMA/CA と同様に RTS/CTS でもキャリアセンスにより DIFS 時間アイドルであると判断した後に RTS の送信を開始する(図 7 の区間 (1))。その後、RTS, CTS 交換後に続いて CSMA/CA と同様に DATA, ACK が送信されるため、送受信端末両方の通信範囲内での新たな送信が抑制される(図 7 の区間 (2))。従って、RTS/CTS における送信成功時の消費通信資源(RTS/CTS_S)は

$$\begin{aligned} RTS/CTS_S &= T_{range} \times DIFS + (T_{range} \cup R_{range}) \times (P_{RTS} \\ &+ SIFS + P_{CTS} + SIFS + P_{DATA} + SIFS \\ &+ P_{ACK}) \end{aligned} \quad (5)$$

となる。

2.3.2 送信失敗時の RTS/CTS の消費通信資源

送信失敗時の RTS/CTS における消費通信資源を考える。RTS/CTS では、送信成功時と同様に DIFS 時間アイドルであるとキャリアセンスによって判断した後に RTS 送信を開始する(図 8 の区間 (1))。RTS は DATA

¹RTS/CTS 制御を使用すれば、キャリアセンス外の端末の送信を抑制することができるため、同制御は特に仮想キャリアセンス(Virtual Carrier Sense)とも呼ばれる。

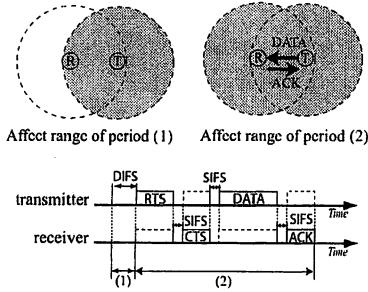


図 7: RTS/CTS が送信成功時に影響を及ぼす範囲と時間

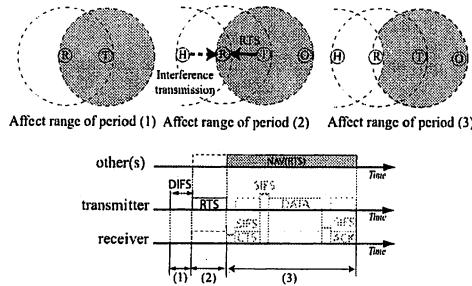


図 8: RTS/CTS が送信失敗時に影響を及ぼす範囲と時間

よりも短いパケットであるため、最初から DATA を送信する CSMA や CSMA/CA と比べて確率は低くなるものの、これらのプロトコルと同様に隠れ端末と衝突により失われる場合がある(図 8 の区間 (2))。しかし、受信端末には正常に RTS が受信されない場合にも隠れ端末の通信範囲外かつ送信端末の通信範囲に位置する端末(図 8 の⑤がこれに該当する)においては、正常に RTS パケットが受信される。そのため、これらの端末には RTS の duration フィールドに従って ACK 受信完了予定時刻まで送信が禁止される(図 8 の区間)。従って、RTS/CTS における送信失敗時の消費通信資源(RTS/CTS_F)は

$$RTS/CTS_F = T_{range} \times DIFS + T_{range} \times P_{RTS} + (T_{range} - T_{range} \cap H_{range}) \times (SIFS + P_{CTS} + SIFS + P_{DATA} + SIFS + P_{ACK}) \quad (6)$$

となる。

3 消費通信資源を用いた評価と MAC プロトコルの効率化

3.1 消費通信資源による MAC プロトコル評価

前節において式 (3)–(6) に導出した各プロトコルにおける消費通信資源を比較する。

各消費通信資源を導出する際に使用したパラメータを表 1 に示す(CSMA はパケットの転送手順のみしか規定しておらず、パケットプリアンブルなどの規定はないが、ここでは、他の 2 方式と同形式で DATA パケットを送信するものとする)。また、消費通信資源は各端末の配置によってその値も変化するが、両図に示す結果は、消費通信資源が最大となる状況(すなわち、端末

表 1: 数値計算に使用したパラメータ

| | |
|-------------------|-------------------------|
| PLCP preamble | 144μsec (long preamble) |
| PLCP Header | 48bit/1Mbps (=48μsec) |
| SIFS | 10μsec |
| DIFS | 50μsec |
| Transmission rate | 1Mbps |
| DATA Field | 1024 bytes |

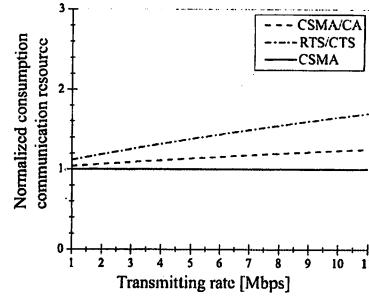


図 9: 各プロトコルの送信成功時における正規化消費通信資源

間の距離が通信可能距離と同じ状況)における値を導出したものである。

図 9, 10 に各プロトコルの送信成功時ならびに送信失敗時の消費通信資源をそれぞれ示す。両図において、横軸はパケット送信レートを示し、縦軸は CSMA/CA, RTS/CTS の基本プロトコルとなっている CSMA の消費通信資源の値によって正規化された値を示す。

両図に示す結果から、全ての送信レートにおいて CSMA, CSMA/CA, RTS/CTS の順に大きな値をとることから、1 パケットの送信に要するオーバヘッドも大きくなるものと考えられる。また、高送信レートになると従って、各プロトコル間の差が大きくなることも確認できる。この特徴は、図 10 に示す送信失敗時の結果に強く表れていることがわかる。

3.2 消費通信資源を用いた MAC プロトコルの効率化

3.2.1 RTS/CTS における送信失敗時の不必要な送信延滞問題

RTS/CTS がその他の 2 つのプロトコルに比べ、送信失敗時に特に高い消費通信資源を示す原因について考える。図 8 に示すように、送信失敗時に及ぼす影響は 3 区間に分けることができるが、どの区間においてもその影響範囲で比較した場合大きな差は認められない。しかしながら、影響区間の長さに着目した場合は区間 (3) がもっとも長い事がわかる。

同区間は、RTS/CTS 交換が失敗したにも関わらず、RTS を傍受した端末が RTS の duration フィールドに従って NAV(RTS) を設定することによって不必要に送信を延期することにより発生する²。さて、同区間は IEEE802.11DCF の RTS/CTS においてのみ発生する区間であり、初めて RTS/CTS 制御の提案を行った MACA では発生しない。MACA において、NAV(RTS) は CTS 受信完了予定時刻までの長さに設定されている。そのため、RTS/CTS 交換が失敗した場合には、CTS が送信されなかった場合には直ちに送信禁止が解除されるよう設計されている。逆に、RTS/CTS 交換が成

² RTS/CTS 交換失敗によって引き起こされる不必要的送信延滞は、単に 1 端末の消費通信資源を増加されるだけでなく、文献 [9, 10]において、連鎖的に複数端末に波及する可能性があると指摘されている。

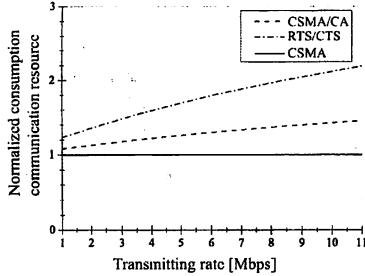


図 10: 各プロトコルの送信失敗時における正規化消費通信資源

| 表 2: シミュレーション緒元 | |
|---------------------|-----------------|
| Field size | 100×100 m |
| Number of terminal | 100 |
| Communication range | 20m |
| Traffic model | poisson arrival |

功した場合は、CTSによって新たに NAV(CTS)が一連の送信完了時刻まで設定されるため、隠れ端末の影響も軽減することができる。

3.2.2 RTS/CTS の NAV 短縮と消費通信資源の変化

RTS/CTSにおける送信失敗時の不必要な送信延期を解決するために文献[12]と同様に MACAに従ったNAV設定を行うshorted NAVの送信制御を図11に示す。同プロトコルでは、送信端末の通信範囲内かつ、受信端末の送信範囲外に位置する端末(図8の端末◎がこれに該当する)は RTS/CTS 交換の成功時ならびに失敗時ともに NAV(CTS)が設定されることはないが、RTS/CTS 交換成功時には NAV(RTS)終了後、SIFS 時間で DATA が送信されるため、同パケットをキャリアセンスすることにより正常に送信を延期することができる。また、DATA 送信終了後も NAV(DATA)によってACK受信完了時刻まで送信延期が設定されるため、衝突なく送信を完了することができる。逆に、RTS/CTS 交換が失敗した場合には、CTS受信完了予定時刻以降は送信を延期しないために、不必要に送信を延期する時間を短縮することができる。

以上のことから、送信成功時の消費通信資源は NAV 短縮前と変化はないが、送信失敗時の消費通信資源(shorted NAV_F)は

$$\begin{aligned} \text{shorted NAV}_F &= T_{range} \times DIFS + T_{range} \times P_{RTS} + (T_{range} \\ &\quad - T_{range} \cap H_{range}) \times (SIFS + P_{CTS}) \end{aligned} \quad (7)$$

となる。

図12にNAVを短縮したshorted NAVにおける送信失敗時の消費通信資源を示す。同図から、shorted NAVはその他の3つのプロトコルに比べ著しく消費通信資源が低く抑えられることがわかる。

4 計算機シミュレーション

消費通信資源による評価と実際のスループット性能との関係を調査するため、計算機シミュレーションにより CSMA/CA, RTS/CTS, shorted NAV の 3 つのプロトコルを評価した。シミュレーション緒元を表2に示す。

端末の伝送レートを 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbps と変化させた場合のトラフィック-スループッ

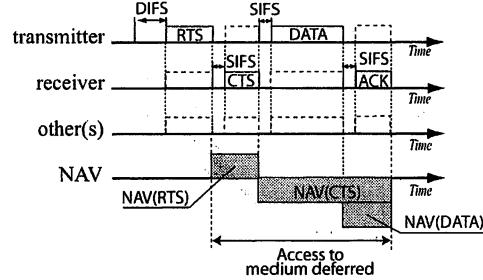


図 11: MACA の NAV 設定に従った RTS/CTS の送信制御

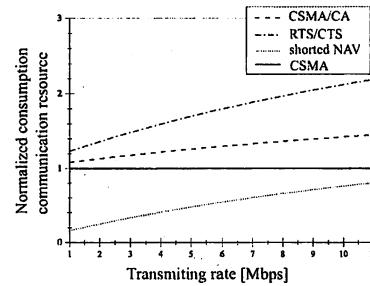


図 12: NAV 短縮手法の送信失敗時における正規化消費通信資源

ト特性を図13, 14, 15, 4にそれぞれ示す。

これから、すべての伝送レートにおいて shorted NAV がその他のプロトコルと比べて高いスループット性能を示していることがわかる。特に図12における消費通信資源の値が最小となる 1Mbpsにおいて、その差は大きくなっていることがわかる。

また、RTS/CTS は伝送レートが 1Mbps の場合は、shorted NAV に次ぐスループットをとり、CSMA/CA もよりも優れた性能を示す。しかしながら、伝送レートが高くなるに従い CSMA/CA に対する優位差は小さくなり、11Mbps では、逆に CSMA/CA もよりもスループットが低くなることがわかる。RTS/CTS は CSMA/CA に比べ、RTS/CTS 交換によって隠れ端末によるパケット衝突を軽減できるが、高伝送レートでは図10, 12 からもわかるように、送信成功時と送信失敗時の消費通信資源がともに CSMA/CA に比べて大きくなってしまう。従って、送信オーバヘッドが増加するためにスループット性能が低下したものと考えることができる。

同様に、伝送レートが高くなるに従い shorted NAV と CSMA のスループットの差が小さくなるのも、shorted NAV の送信成功時の消費通信資源が CSMA/CA に比べて大きくなるからであると考えられる。

5 まとめ

本論文では、自律分散方式の MAC プロトコルの性能を一般的かつ定量的に評価するための基準として消費通信資源を提案した。次に、代表的な MAC プロトコルとして、IEEE802.11DCF に規定されるプロトコルを取り上げ、消費通信資源を算出した。また、同プロトコル送信失敗時の消費通信資源を小さく抑えるために効率化を施した。

さらに、消費通信資源をプロトコル効率化の基準とする手法の有効性を示すために、計算機シミュレーション

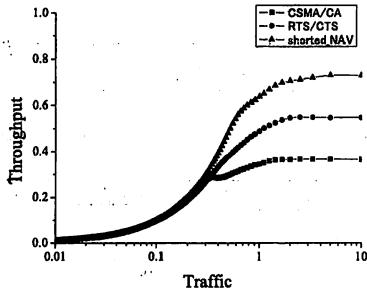


図 13: トラフィック-スループット特性 (1Mbps)

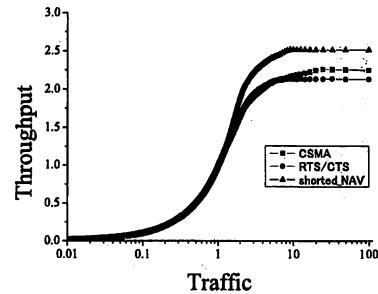


図 15: トラフィック-スループット特性 (5.5Mbps)

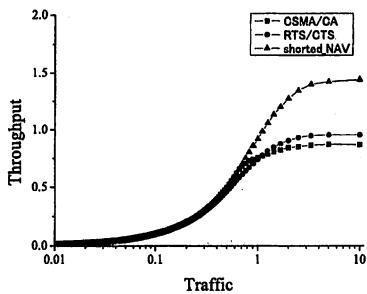


図 14: トラフィック-スループット特性 (2Mbps)

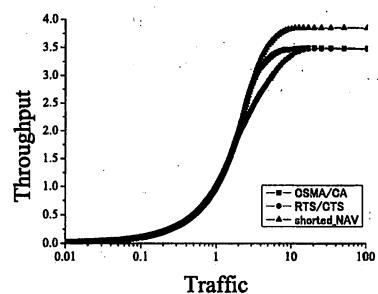


図 16: 各プロトコルのトラフィック-スループット特性
(伝送レート:11Mbps)

ンにより効率化を施したプロトコルの性能を評価した。その結果から、消費通信資源を元に効率化を施したプロトコルは改良前のその他のプロトコルに比べて高いスループット性能を示すことを確認した。また、計算機シミュレーションから得られた結果は、伝送レートに対する消費通信資源の値を算出した図に示される結果と関連性を持つことも確認された。

今後は、消費通信資源が一般的な評価を行える評価基準であることをさらに示すためにより様々に条件を変化させた計算機シミュレーションを行い、これらの結果と消費通信資源との関連性を明らかにしたい。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 若手研究 (B) (No.18700075) の援助を受けている。

参考文献

- [1] L. Kleinrock and F. A. Tobagi, "Packet Switching in Radio Channels: Part I - Carrier Sense Multiple Access Modes and Their Throughput Delay Characteristics," *IEEE Trans. on Communications*, COM-23, pp. 1400-1416, 1975.
- [2] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet Switching in Radio Channels: Part II - The Hidden Terminal Problem in CSMA and Busy-Tone Solution," *IEEE Trans. on Communications*, COM-23, pp. 1417-1433, 1975.
- [3] P. Karn, "MACA - a new channel access method for packet radio," *ARRL/CRRRL Amateur Radio 9th, Computer Networking Conference*, pp.134-140, 1990.
- [4] V.Bharghavan, A.Demers, S.Shenker, and L.Zhang, "MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's," in Proc. ACM SIGCOMM '94, pp.212-25, 1994.
- [5] F.Talucci, M.Gerla and L.Fratta, "MACA-BI(MACA By Invitation): A Receiver Oriented Access Protocol for Wireless Multiple Networks," in PIMRC '97, Helsinki, Finland, 1997.
- [6] C.L.Fullmer and J.J.Garcia-Luna-Aceves, "Solutions to hidden terminal problems in wireless networks," Proc. ACM SIGCOMM '97, pp.39-49, 1997.
- [7] Editors of IEEE802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC and Physical Layer(PHY) specifications, Draft Standard)," IEEE802.11, 1997.
- [8] 重安哲也, 松野浩嗣, 森永規彦, "隠れ端末の影響を調査するためのネットワーク生成アルゴリズムによる MAC プロトコル評価," 信学論 (B), vol.J89-B, No.3, pp.351-360, 2006.
- [9] V. Bharghavan, "Performance evaluation of algorithms for wireless medium access," Proc. IEEE Performance and Dependability Symposium '98, Raleigh, NC, 1998.
- [10] S. Ray, J. Carruthers, and D. Starobinski, "RTS/CTS-induced Congestion in Ad-Hoc Wireless LANs," Proc. IEEE WCNC 2003, pp. 1516-1521, 2003.
- [11] 松野浩嗣, 石中秀幸, 重安哲也, "MACA における伝搬遅延時間と RTS 認識時間の影響," 信学論 (B), vol.J86-B, No.12, pp.2449-2459, 2003.
- [12] T. Shigeyasu, T. Hirakawa, H. Matsuno, and N. Morinaga, "Two simple modifications for improving IEEE802.11DCF throughput performance," WCNC 2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, no. 1, March 2004 pp. 1445-1450