

送信電力制御とビットレート制御を適用した MAC プロトコルに関する検討

前多 聡[†] 萬代 雅希[‡] 渡辺 尚[‡]

[†] 静岡大学大学院 情報学研究科 [‡] 静岡大学 情報学部

あらまし データ送信における電力効率を高めるために送信電力制御とビットレート制御を適用したメディアアクセス制御 (MAC) プロトコルを提案する。提案プロトコルでは制御フレームの交換によって得られた受信電力から 2 つのシーケンスを使い分ける。また、各ノードは自身の無線インタフェースの送信電力とビットレートからテーブルを作成する。データ送信毎に、テーブルから適切な送信電力とビットレートを選択することにより、周辺の無線状況の変化に対応し、電力効率の高いデータ送信を行う。計算機シミュレーションによって提案プロトコルの評価し、考察を示す。

キーワード アドホックネットワーク, MAC プロトコル, 送信電力制御, ビットレート制御

Study on MAC Protocol that Applies Transmission Power Control and Bit-rate Control

Satoshi Maeda[†] Masaki Bandai[‡] Takashi Watanabe[‡]

[†] Graduate School of Information, Shizuoka University

[‡] Faculty of Information, Shizuoka University

Abstract We propose Media Access Control (MAC) protocol that applies the transmission power control and the bit-rate control to improve the electric power efficiency in the data transmission. In the proposal protocol, An appropriate sequence is selected according to the received power obtained by exchanging the control frames. Moreover, each node makes a table for the transmission power and the bit-rate in own wireless interface. The data is transmitted with high power efficiency by acquiring appropriate transmission power and the bit-rate corresponding to the change in a peripheral wireless situation. The performance of the proposal protocol is shown by the computer simulation.

Keyword Ad Hoc Networks, MAC Protocol, Transmission Power Control, Bit-rate Control

1. はじめに

近年、無線通信機器の高性能化・小型化の実現により、アドホックネットワークへの期待が高まっている。アドホックネットワークは固定設備を必要とせず、いつでも・どこでも・即時にネットワークを構築できるという利点を持つ。センサネットワークへの利用や、ユビキタスコンピューティングで人間が持ち歩いて使用する等の移動端

末からのネットワーク利用を想定した場合、端末の小型化・軽量化が問題となる。そのため、バッテリー容量は大きな制約を受け、端末の省電力稼働は大きな課題となる。

一般的にアドホックネットワークでは 802.11a, 802.11b, 802.11g などの短距離無線の使用が想定される。これらの無線インタフェースは送信モード、受信モード、スリープモードの 3 種類のモー

ドで動作する。省電力稼働のみを目的とするのであれば、積極的にスリープモードを利用することが望ましいと考えられる。しかし、ネットワーク上に大量のデータが流れる場合や頻繁にデータが発生する場合、スリープモードの利用時間が短くなり、スリープモードによる省電力の効果は小さくなる。そこで、上記の短距離無線に搭載されている送信電力制御とビットレート制御を利用した省電力化を検討する。

これまでに送信電力制御やビットレート制御を適用したプロトコルが提案されている[1][2][3][4]。送信電力制御ではリンク間の受信電力を測定し、受信電力と受信閾値との差分だけ送信電力を小さくすることができる。そのため、データ送信の電力消費を低減できる。また、送信電力を小さくすることによって空間利用効率を向上させることも可能となる。送信電力制御のみを適用したのものとして、CSMA/CA with RTS/CTS をベースとした PCM (Power Control MAC) [1] が提案されている。PCM は RTS/CTS 交換によってリンク間の受信電力を測定し、適切な送信電力で DATA と ACK フレームを送信することによって電力消費を削減している。また、POWMAC [2] では空間利用効率の向上を利用するために特別なシーケンスを使用し、電力消費の削減とスループットの向上を成し遂げている。ビットレート制御では送信電力制御と同様に受信電力を測定し、その受信電力が受信閾値より大きければ、より高いビットレートで送信を行うことができる。高いビットレートを利用することによって送信時間の短縮による電力消費の軽減ができると考えられる。また、スループットの向上も見込める。ビットレート制御のみを適用したのものとして RBAR (Receiver-Based AutoRate) [3] が提案されている。RBAR では PCM のように RTS/CTS 交換によって受信電力を測定し、適切なビットレートで DATA 送信を行うことによりスループットを向上させている。また、rDCF (Relay-enabled DCF) [4] ではリレーノードを利用することによって RBAR より高いスループットを成し遂げている。なお、各ノードは位置や時間によって周辺の無線状況が変化するため、メディアアクセス制御 (MAC) 層で動的に適切な送信電力とビットレートを選択する必要がある。

ある。

それらのことから、本研究ではこの2つの制御機能を適用し、データ送信における電力効率を高める目的で送信電力制御とビットレート制御を適用したメディアアクセス制御 (MAC) プロトコルを提案する。提案プロトコルでは制御フレームの交換によって得られた受信電力から2つのシーケンスを使い分ける。また、各ノードは自身の無線インタフェースの送信電力とビットレートからテーブルを作成する。データ送信毎に、テーブルから適切な送信電力とビットレートを選択することにより、周辺の無線状況の変化に対応し、電力効率の高いデータ送信を行う。計算機シミュレーションによって提案プロトコルの評価し、提案方式の電力効率が向上していることを示す。

2. 提案プロトコル

提案プロトコルは制御フレーム交換時の受信電力によってリンク間の距離やパスロス予測し、最適な送信電力とビットレートによるデータ送信と最適なシーケンスの選択を行う MAC プロトコルである。以下に提案プロトコルの特徴をまとめる。

- ・ 各ノードはリンク間の距離に応じてリレーシーケンスと2ホップシーケンスを選択
- ・ リンク間の距離が長いときにリレーシーケンスを選択し、短いときに2ホップシーケンスを選択する。
- ・ リレーシーケンスはより短いホップでデータ伝送を行うために、1ホップで通信できる場所をリンクの間に存在するリレーノードを経由して2ホップでデータ伝送を行い、電力効率の高い通信を行う。
- ・ 2ホップシーケンスは2ホップ分のシーケンスを1回のシーケンスにまとめ、制御フレーム数を削減することによって電力効率の高い通信を行う。
- ・ 各ノードが自身の能力(送信電力選択, ビットレート選択)から電力-レート選択テーブルを作成する。受信電力と受信閾値との差を使用して、テーブルから制御フレームを受信した状況で最も電力効率の高い送信電力とビットレートの組み合わせを選択する。

2.1 通信手順

提案方式は制御フレームの受信電力からリンク間距離を予測し、リンク間の距離が長いときにリレーシーケンスを選択し、短いときに2ホップシーケンスを選択する。

通信シーケンス説明用トポロジを図1に示す。点線はつながっているノード同士がベース送信電力、ベースレートでフレームを送信したときに直接通信可能であることを示している。なお、提案方式はACK以外の全ての制御フレームをベース送信電力 (Bpt [mW]) とベースレート (BR [Mbps]) で送信する。本論文では最大送信電力をベース送信電力、最低ビットレートとベースレートとする。

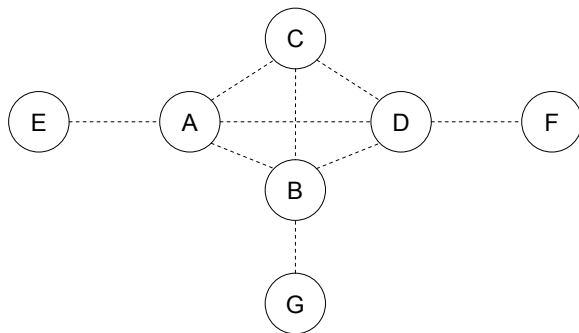


図1 シーケンス説明用トポロジ

2.1.1 リレーシーケンス

リレーシーケンスの通信手順を図2に示す(トポロジは図1参照)。

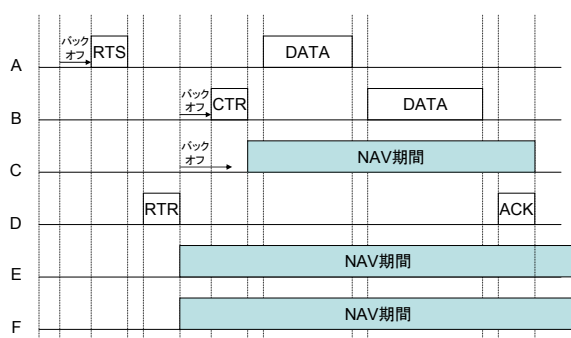


図2 リレーシーケンスの通信手順

図1のトポロジでノードAがノードD宛でのDATAを持っているとする。ノードAがデータフレーム送信前にDIFS+バックオフ時間キャリアセンスを行い、RTS(Request To Send)をノードD宛て

に送信する。ノードDがRTSを受信すると、RTSの受信電力を測定し、シーケンス選択閾値とRTSの受信電力を比較する。比較の結果、RTSの受信電力のほうが小さければ、リレーシーケンスを実行するためにノードDはノードAへRTR(Request To Relay)を送信する。ノードB、CはRTSを受信後、RTSの受信電力を測定し、RTR受信待ち状態へ移行する。ノードAはRTR受信後、RTRの受信電力を測定し、CTR(Clear To Relay)待ち状態へ移行する。ノードB、CはRTR受信後、RTRの受信電力を測定し、プライオリティバックオフ(2.1.3で詳細を説明)によってバックオフを行う。図2に示すようにノードBが先にバックオフ時間が終了したため、ノードBは自身がリレーノードになることを知らせるためにノードA、D宛てにCTRを送信する。プライオリティバックオフ期間が終わる前にCTRを受信したノードCはCTRのデューレーションによるNAV設定を行う。ノードAとノードDはCTRを受信後、CTRの受信電力を測定する。ノードAはCTRの受信電力から最適な送信電力とビットレートを選択し、リレーノードBにDATAを送信する。CTRを受信した宛先ノードDはDATA受信待ち状態へ移行する。ノードAからのDATAを受信したリレーノードBはRTRの受信電力から最適な送信電力とビットレートを選択し、宛先ノードDにDATAを転送する。リレーノードBからのDATAを受信した宛先ノードDはRTSの受信電力から最適な送信電力とビットレートを選択し、ノードA、BにACKを送信する。

ノードEがRTSを受信した場合、SIFS+RTR期間待ってもRTRを受信できないため、RTSのデューレーションによるNAV設定を行う。ノードFはRTSを受信せずにRTRを受信するため、RTRのデューレーションによるNAV設定を行う。RTS、RTRしか受信できない範囲にいるノードは正確なデューレーションを算出できない。そこで、CTR、DATA、ACKの受信できる範囲にいるノードはそれらのフレームを受信すると、それらのフレームのデューレーションを優先してNAV値に設定する。CTR、DATA、ACKをも受信できない範囲にいるノードは最悪の場合を想定してNAV値を設定する。

リレーシーケンスの利点として、プライオリテ

バックオフによって動的にリレーノードを決定することができるという点が挙げられる。また、ネットワーク層で使用するルーティングが最小ホップカウントルーティング (DSR (Dynamic Source Routing), AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector routing) 等) の場合、MAC におけるリンク間の距離が長くなり、リレーすることによって大きく電力効率を高めることができる。

2.1.2 2 ホップシーケンス

2 ホップシーケンスの通信手順を図 3 に示す。

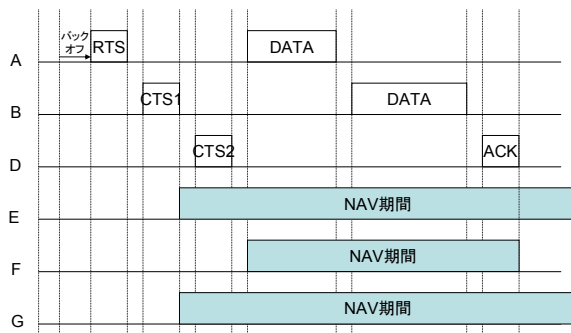


図 3 2 ホップシーケンスの通信手順

図 1 のトポロジでノード A がノード B 宛てのデータを持っており、ノード B の次の宛先がノード D であるとする。ノード A はデータフレーム送信前に DIFS+バックオフ時間キャリアセンスを行い、RTS をデータフレームの宛先であるノード B 宛てに送信する。ノード B が RTS を受信すると、RTS の受信電力を測定し、シーケンス選択閾値と RTS の受信電力を比較する。比較の結果、RTS の受信電力のほうが大きければ 2 ホップシーケンスを実行するためにノード B はネットワーク層からこのフレームの次ホップアドレスを取得し、ノード A と次の宛先であるノード D へ CTS1 (Clear To Send for 1 hop) を送信する。ノード A が CTS1 を受信すると、CTS1 の受信電力を測定し、CTS2 (Clear To Send for 2 hop) 待ち状態へ移行する。ノード D は CTS1 を受信した場合、CTS1 の受信電力を測定し、ノード A と B 宛てに CTS2 を送信する。ノード A が CTS2 を受信すると、CTS1 の受信電力から最適な送信電力とビットレートを選択し、DATA を送信し始める。なお、ノード A は CTS2 が受信できなくても、SIFS+CTS2 後に DATA を送信し始める。ノード

B が CTS2 を受信すると、CTS2 の受信電力を測定し、DATA 待ち状態へ移行する。ノード B が DATA を受信すると、RTS と CTS2 の受信電力を比較し、①RTS の受信電力が大きければ、ノード B は CTS2 の受信電力から最適な送信電力とビットレートを選択し、ノード D へ DATA を送信し始める。なお、この DATA はノード A への ACK の役割を果たす。ノード D はデータ受信後、CTS1 の受信電力から送信電力とビットレートを選択して、ノード B 宛てに ACK を送信する。②CTS2 の受信電力が大きければ RTS の受信電力から最適な送信電力とビットレートを選択してノード A 宛ての ACK を送信する。その後ノード B は CTS2 の受信電力から最適な送信電力とビットレートを選択してノード D 宛ての DATA を送信する。ノード D は DATA 受信後、CTS1 の受信電力から最適な送信電力とビットレートを選択してノード B 宛てに ACK を送信する。

2 ホップシーケンスの利点は、従来の GSM/GPRS with RTS/CTS のような従来の MAC プロトコルに比べて制御フレームを減らすことのできる点である。制御フレーム量を減らすことで電力消費を削減し、よりスループットを向上させることができるようになる。

2.1.3 リレーノード決定方法

RTS と RTR の両方を受信し、最初にプライオリティバックオフが満了して CTR を送信したノードがリレーノードとなる。

プライオリティバックオフとはバックオフ範囲をいくつかの区切り、優先度の高いノードほどバックオフを早く終わらせるようにバックオフする方法である。提案方式では電力消費率の小さいノードに高い優先度を与える。

プライオリティバックオフを始める前に RTS と RTR の受信電力を使用して電力-レート選択テーブル (2.2 で詳細を説明) から最適な送信電力とビットレートの組み合わせの電力消費率 P_c を取り出す。その P_c を表 1 のように乗算することにより優先順位をつける。

表1 プライオリティバックオフ範囲

優先順位	バックオフ範囲	電力消費率の範囲
1	[0, x]	[0.0, X × Pc]
2	[x+1, y]	[X × Pc, Y × Pc]
3	[y+1, z]	[Y × Pc, Z × Pc]

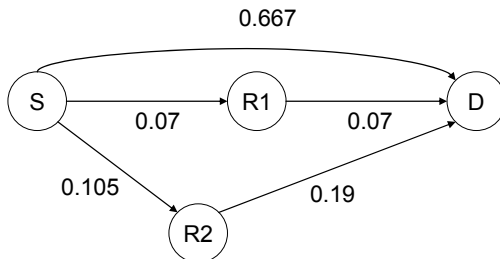


図4 プライオリティバックオフの例

例えば、図4のような状況を考える。表1のx, y, z, X, Y, Zにそれぞれ9, 19, 29, 0.3, 0.6, 0.9とする。S-D間のリンクが存在し、直接通信を行うときに選択される送信電力とビットレートの組み合わせの電力消費率Pcが0.667とする。その値から、優先順位1の電力消費率の範囲は[0.0, 0.3×0.667]となる。同じように優先順位2, 3の電力消費率の範囲もそれぞれ[0.2, 0.4], [0.4, 0.6]となる。次に2つのリレーノードR1, R2のバックオフ時間を計算する。まず、ノードR1をリレーノードとして利用したときの電力消費率は0.07 + 0.07 = 0.14だから、優先順位は1になり、[0, 9]でバックオフを行う。ノードR2でリレーしたときの電力消費率は0.295だから、優先順位は2になり、[10, 19]でバックオフを行う。このような方法により、より電力効率の高いリレーノードが優先的にリレーを行うことができるようになる。

2.2 電力-レート選択テーブルの作成

送信電力が小さいほど送信に要する電力が小さく、ビットレートが高いほど送信時間が短縮され、消費電力が小さくなる。つまり、送信電力とビットレートの両方を制御することにより、送信電力制御だけ、またはビットレート制御だけの送信より送信に要する電力を削減することが可能になると考える。そこで、受信電力と受信閾値との差によって消費電力を小さくする適切な送信電力とビ

ットレートが決定するテーブルを作成する。本稿では802.11bのネットワークカードCisco Aironet 350シリーズを例に挙げて示し、その送信電力およびビットレートに対する電力消費率の関係を表2および表3にそれぞれ示す。

表2 送信電力表

電力[mW]	電力[dBm]	電力消費率	差 [dBm]
30	15	1.000	0.00
20	13	0.667	1.76
5	7	0.167	7.78
1	0	0.033	14.77

表3 ビットレート表

ビットレート[Mbps]	受信感度[dBm]	電力消費率	差 [dBm]
1	-94	1.000	0
2	-91	0.508	3
5.5	-89	0.195	5
11	-85	0.105	9

表2の電力消費率は選択した送信電力/ベース送信電力で定義される。差は各送信電力とベース送信電力との差と定義する。

表3の電力消費率は802.11bのパケット構成を考慮し、PLCP(physical Layer Convergence Protocol)プリアンブルとPLCPヘッダーをベースレート(1Mbpsを使用)で送信した時の送信時間を192μs(ロングパケットフォーマット)とし、MPDU(MAC Protocol Data Unit)は選択されたビットレート(Bitrate)を使用するとしたときの送信時間の短縮率(電力消費率Pc)は

$$Pc = \left(\frac{MPDU}{Bitrate} + \frac{192}{1 \times 10^6} \right) \Bigg/ \left(\frac{MPDU + 192}{1 \times 10^6} \right)$$

$$= \frac{MPDU \cdot r^{-1} + 192}{MPDU + 192}$$

となる。r={1, 2, 5.5, 11}とする。これをビットレート選択による電力消費率としてテーブルに加える。以下にMPDUを1,500byteとした場合のビットレート表を表2に示す。例えば、MPDUを1,500byteとしたとき、x=2の電力消費率は

$$Pc = \frac{1500 \times 8 \times 2^{-1} + 192}{1500 \times 8 + 192} \cong 0.508$$

となる。差は各ビットレートの受信閾値とベースレートの受信閾値との差と定義する。

表 2 と表 3 から、送信電力 5mW とビットレート 5.5Mbps を選択したときの電力消費率は $0.167 + 0.195 = 0.362$ となる。また、そのときの受信電力と受信閾値との差は $7.78 + 5 = 12.78$ となる。以上のようにして、表 2 と表 3 を合成して電力-レート選択テーブル(表 4)を作成する。

表 4 電力-レート選択テーブル

差 [dBm]	電力消費	送信電力 [mW]	ビットレート [Mbps]
0.00	1.000	30	1
1.76	0.667	20	1
3.00	0.508	30	2
4.76	0.339	20	2
5.00	0.195	30	5.5
6.76	0.130	20	5.5
7.78	0.167	5	1
9.00	0.105	30	11
10.76	0.070	20	11
10.78	0.085	5	2
12.78	0.032	5	5.5
14.77	0.033	1	1
16.78	0.018	5	11
17.77	0.017	1	2
19.77	0.006	1	5.5
23.77	0.004	1	11

表 4 を各ノードが保持する。例えば、RTS 受信電力と受信閾値との差が 4dBm だとすると、差が 4dBm より小さいエントリの中で一番小さい電力消費率の送信電力とビットレートの組み合わせを選択する。つまり、RTS の受信電力と受信閾値との差が 4dBm のときは、送信電力が 30mW、ビットレートが 2Mbps が選択される。

2.3 各フレームのデュレーション設定値

送信電力とビットレートを制御することと、リレーシーケンスの途中にプライオリティバックオフがあるため、制御フレームによる正確なデュレーションを計算することが難しい。さらに、送信電力制御を行うため、制御フレームの到達範囲とデータフレームの到達範囲が異なり、最悪の場合、信号を検知することもできなくなる。そのため、キャリアセンスを開始してしまい、衝突を引き起

こす可能性がある。そこで制御フレームのデュレーション設定では最悪の場合をデュレーションにセットして送信するようにする。各フレームのデュレーションの設定値を表 5 に示す。

RTS と RTR を受信した後、CTR や DATA フレームを受信できるノードはデュレーション設定を更新して、送信終了時間に NAV が満了するようにする。

表 5 各フレームのデュレーション設定値

フレーム名	デュレーション
RTS	Pbackoff+CTR+DATA+DATA+ACK
RTR	Pbackoff+CTR+DATA+DATA+ACK(Adapt)
CTR	DATA(Adapt)+DATA(Adapt)+ACK(Adapt)
CTS1	CTS2+DATA(Adapt)+DATA+ACK(Adapt)+ACK
CTS2	DATA(Adapt)+DATA(Adapt)+ACK(Adapt)+ACK(Adapt)
DATA	ACK(Adapt)
DATA(R1)	DATA(Adapt)+ACK(Adapt)
DATA(R2)	ACK(Adapt)

フレーム名だけの表記はベースレート送信したときのフレーム送信時間、(Adapt) は電力-レート選択テーブルによって送信電力とビットレートを適応して送信したときの送信時間、R1, R2 はリレーの 1 ホップ目 2 ホップ目を表している。PBackoff はプライオリティバックオフの最大時間 ($z \times$ スロットタイム) を表す。なお、表を見やすくするために SIFS の表記を省略する。

3. 性能評価

計算機シミュレーションで提案方式の有効性を評価する。提案方式の電力-レート選択テーブルとリレーシーケンスを実装し、2 ホップシーケンスの代わりに CSMA/CA with RTS/CTS を動作させる(提案 1)。比較対象は提案方式の電力-レート選択テーブルを使用して送信電力とビットレートを選択する CSMA/CA with RTS/CTS とする(提案 2)。なお、提案方式 1 のリレーシーケンスと CSMA/CA with RTS/CTS との条件分岐で使用する閾値は -84dBm とする。

3.1 電波特性

シミュレータでは送信者と受信者の間が見通しであり、電波通路に妨害物や反射・回折物等がまったくないときの伝搬(自由空間伝搬)を使用する。自由空間伝搬における受信電力と送信電力の関係

はフリスの公式(1)で与えられる.

$$Pr = Pt \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

ここで, P_t は送信電力[mW], d は送信アンテナからの距離[m], λ は波長[m]である. このフリスの公式に変更を加え, 近似的に様々な環境における送信端末間距離 d における受信電力 P_r を求める式が式(2)である.

$$Pr = P_t k d^{-n} \quad (2)$$

ここで k は定数, n は減衰定数であり, 想定する環境によって値を決定する. $n=2$ は自由空間, $n=2.7 \sim 3.5$ は郊外, $n=4$ は屋内を近似的に表す値となる.

3.2 評価

シミュレーション仮定を表6に示す.

表6 シミュレーション仮定

減衰定数	3
アンテナ利得	0[dBi]
キャリアセンス閾値	-108[dBm]
キャプチャ閾値	10[dBm]
周波数	2.4[GHz]
空間サイズ	130×130[m]
ノード数	10

130×130[m]の正方形の範囲内(全てのノードが1ホップ範囲内にいる)にノードを10個ランダムに配置する. データをポアソン発生させ, スループットと総消費電力の評価を行う. MAC層のペイロードサイズを変化させた時のスループット, 総消費電流, 電力効率をそれぞれ図5, 6, 7に示す.

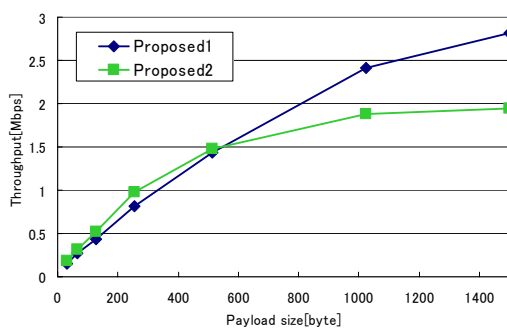


図5 スループット

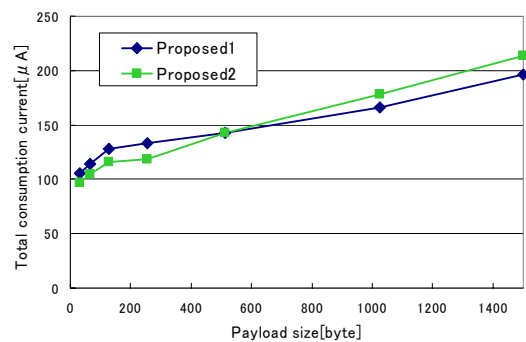


図6 総消費電流

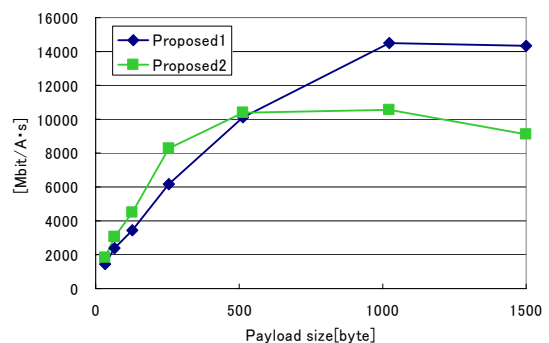


図7 電力効率

図5ではペイロードサイズが512バイトまでは電力-レートテーブルのみを用いる提案方式2のほうが高いスループットを示す. リレーシーケンスを適用した提案方式1のスループットのほうが低くなる原因として, 制御フレームを追加したこと, プライオリティバックオフによる送信時間が提案方式2の制御フレーム交換より長くなってしまふことが考えられる. つまり, ペイロードサイズが512バイトまでは制御フレーム交換で費やす時間がペイロードを送信するために費やす時間より長くなってしまふため, 提案方式2のスループットのほうがよくなると考えられる. 512バイトより大きい場合は提案方式1のほうがよくなっている. これはペイロードサイズが大きいほど制御フレーム交換の影響が小さくなることと, リレーによる電力効率の向上が大きいからだと考えられる.

図6でもペイロードサイズが512バイトまでは提案方式2のほうが小さい消費電流を得られることがわかる. しかし, 512バイトを超えると提案方式1のほうが消費電力は小さくなる.

図7は図5と図6を掛けた結果である。この結果から、提案方式1はペイロードサイズが大きいときに有効であるといえる。しかし、ペイロードサイズが小さいときは有効であるとはいえない。その理由について考察する。

まず、提案方式1は、リンク間の距離が長いほど高い電力効率を得ることができる。今回の評価ではルーティングを考慮していなため、空間内の全てのノードが1ホップで届くような空間を使用した。そのため、リレーする必要がない通信ペアが多く存在してしまい、図5のように提案方式2の結果がリレーシーケンスの結果と同じくらいよいものとなる。そのため、ペイロードサイズが小さい範囲では提案方式2が提案方式1を上回るスループットと下回る総消費電流になると考えられる。ネットワーク層で最小ホップカウントのルートを構築するルートを考慮して評価すれば提案方式2のスループットは低下し、総消費電流は増加すると考えられる。

次にNAV設定の影響が考えられる。提案方式1はプライオリティバックオフやビットレート制御など不確定要素が多いため、最初の制御フレーム交換時に正確なデュレーションを計算することが困難である。さらに、送信電力制御とビットレート制御を行うことによりRTSを送信したノードがDATA送信時にRTS送信時より低い送信電力または高いビットレートを使用するため、RTSだけしか受信できないノードが出てくる。このRTSだけしか受信できないノードは今回のデュレーションの設定方法では最悪の場合を想定してデュレーションを設定しているため、長時間NAVをセットしてしまい、スループットを下げる原因となる。

4. まとめと今後の課題

一般的にアドホックネットワークで利用されている短距離無線(802.11b)の利用を考慮して、送信電力制御とビットレート制御を適用し、電力効率を高めるMACプロトコルの提案を行った。提案プロトコルでは各ノードが自身の送信電力選択とビットレート選択にPSDUサイズを考慮して電力-レート選択テーブルを作成する。また、制御フレー

ムの受信電力に応じてリレーシーケンスと2ホップシーケンスを使い分けることで高い電力効率を実現できる。計算機シミュレーションにおいて、リレーシーケンスを実装し、評価した結果ペイロードサイズが大きいときにリレーシーケンスが有効であることが分かった。

今後の課題として、以下の項目について研究を進めていく予定である。

- ・ 2ホップシーケンスをシミュレーションに実装し、評価・考察
- ・ 提案プロトコルの性能を劣化させている原因として考えられるNAV値の設定方法を検討
- ・ 新たなシーケンスの追加の検討
- ・ クロスレイヤ設計による電力効率を高めるプロトコルについて検討

参考文献

- [1] Eun-Sun Jung, Nitin H. Vaidya, "A Power Control MAC Protocol for Ad Hoc Networks," in Proc. of ACM MOBICOM, 2002.
- [2] Alaa Muqattash, Marwan Krunz, "A Single-Channel Solution for Transmission Power Control in Wireless Ad Hoc Networks," in Proc. of ACM MOBIHOC, 2004.
- [3] Gabin Holland nitin Vaidya, Paramvir Vahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks," in Proc. of ACM MOBICOM, 2001.
- [4] Hao Ahu, Guohong Cao, "rDCF: A Relay-enable Medium Access Control Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," in Proc. of IEEE INFOCOM, 2005.