

センサネットワーク向け負荷適応型省電力 MAC プロトコル

渡邊竜馬† 荒井順平† 小山明夫†

山形大学大学院† 山形県立産業技術短期大学校†

1. はじめに

近年、注目される技術の一つにセンサネットワークが挙げられる。これはセンサを搭載した小型の端末による無線ネットワークで、アドホック通信を使用し端末同士でデータを中継することによって、端末が配置されたエリア内の情報を得ることを目的にしている。

端末の稼働時間を延ばす工夫として、ソフトウェアの面では、通常の通信の制御だけではなく、端末の電源を制御するセンサネットワーク専用のプロトコルも提案されている。Wei Ye らによって提案された S-MAC[1]では無線モジュールの待機電力を抑えるために、端末に Sleep という状態を導入した。Sleep 時間中は無線通信が出来ない状態になり、自分への通信を聞き逃す危険も大きくなるが、それ以上に端末の寿命を引き伸ばすことが重視されているのが特徴である。

そこで、本研究ではネットワークの負荷の増減を予測し、適応できるセンサネットワーク用の省電力 MAC プロトコル R-MAC を提案する。R-MAC では、端末は Active-Sleep のサイクルをブロック単位の 2^n 倍のリズムで実現し、これを利用して同期を取る。また、ノードのキュー長を元に回帰分析を用いてトラフィック予測をし、負荷に適応する。

2. センサネットワーク向けプロトコル

<2.1> RTS-CTS 型プロトコル

RTS は Request To Send の略であり端末に送信要求が発生した際に相手端末に対し通信を開始したい旨を伝えるために使用する。それに対して CTS は Clear To Send の略で受信の準備が整っているということを意味し、RTS に対して返信される。2 端末間の回線はこの手順によって予約される。データが転送されると受信端末では ACK(了解信号)を送信端末に返信する。この方式では、パケットの衝突を減少させることができるという長所がある。

この方式の基本的なプロトコルとしては、アマチュア無線用に開発された無線プロトコルの MACA がある。この方式では高出力な無線通信を想定しており、省電力性は全く考慮されていないので、そのままではセンサネットワークには向かないと言える。

<2.2> S-MAC

S-MAC は RTS-CTS 型のプロトコルをベースとし、省電力化のために Sleep という状態を導入しているのが特徴である。図 1 に S-MAC の端末の状態図を示す。状態は Listen と Sleep の 2 つに大別される。Listen 期間は通信が可能だが Sleep 状態では無線ユニットへの電力供給を制限しているため、通信ができなくなる。つまり、Sleep の時間が長いほど、単位時間当たりのデータ転送量は小さく

なるが、端末の稼働期間が長くなる。この Listen-Sleep の繰り返しを Duty Cycle と呼んでいる。通常は 1 サイクルの間に RTS-CTS-DATA-ACK という流れが 1 回行われることでデータが伝送される。端末がお互いに通信するためには、遷移を同期させる必要がある。そのために SYNC パケットと呼ばれる制御パケットが用いられる。SYNC には「発信元の端末が何秒後に Sleep になるか」という情報が入っている。SYNC パケットを受信することができれば、その発信元の端末に同期し、できなければ独自のタイミングで動作を開始する。

このように Sleep 手法によって電力消費を抑えられるトレードオフとして以下のような短所が挙げられる。

- 同期を取る必要がある。
- 即時送信できないので遅延が大きくなる。
- ネットワーク負荷の増減に対応できない。

S-MAC において負荷の増大に対する対処はなされていない。負荷が大きくなる時には、遅延も大きくなると考えられるので、改善が必要となる。また、負荷が少ない場合においても余分な稼働期間があると思われるので、この点も改善が必要と思われる。

3. 提案手法 (R-MAC)

ここでは、提案手法として既存のプロトコルに対する考察を元に、負荷の増減に適応できるセンサネットワーク用の MAC プロトコル R-MAC について述べる。

<3.1>プロトコルの概要

本研究では、RTS-CTS を用いたセンサネットワーク用のプロトコルを提案する。このプロトコルでは以下の点がオリジナルな提案として挙げられる。

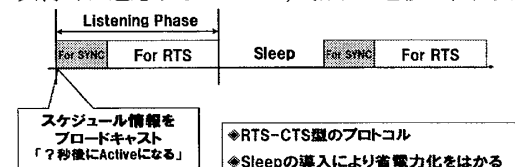
- リズムを持った Duty Cycle の採用
- RTS-CTS を用いた同期手法
- トラフィック予測による負荷適応

これらの手法を用いて、省電力化への要求を満たしながら負荷の増減に適応できる MAC プロトコルを目指す。基本的な機能については文献[2]を参照せよ。

次節ではトラフィック予測の手法について説明する。

<3.2>トラフィック予測による負荷適応

R-MAC では、負荷適応のための仕組みとして、図 2 で示すような 1,2,4,8,16 拍子の 5 つのサイクルを用いる。高負荷時に適応するために 1,2 拍子に遷移し、低負荷時には



8, 16 拍子に遷移する。ノードの拍子を 2^n 倍にすることによってノード間の同期を崩れにくくさせる次にトラフィック予測の手法について説明する。

トラフィック予測の手法としてはノードのキューにあるデータ量を基に回帰式を用いて予測を行う。

手順は、まずノードの Active-Sleep 期間 1 回を 1 サイクルとすると 1 サイクルの最初の Active 期間終了時にその時点でのキューにたまっているデータ量をメモリに格納する。格納したキューのデータ量を基に回帰式を用いてトラフィック量を予測する。予測した値によって状態を振りわけ。これを繰り返していく。状態遷移図を図 3 に示す。

予測に用いる回帰式は単純回帰式で、求める次サイクルのキューのケット量を Y 、時系列を X とすると $Y=aX+b$ の形で表せる。式(1)では求める式の傾き a と切片 b を表している。ここで反映する過去のデータ量 $i=3$ としている。

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{Y} - a\bar{X} \quad (1)$$

ここで予測された結果をもとに状態遷移を行う。式(2)は遷移状態の振り分けを決定する式である。 q は予測されたキューのケットの値で、 Q は過去のキューのケット量の平均である。現時点での状態を n 拍子とした時 q と Q の和が H より大きくなった場合 (上昇) $1/2n$ 拍子へ遷移する。 q と Q の和が L より小さくなった場合 (下降) $2n$ 拍子へ遷移する。遷移判定タイミングは拍子の上昇は 1 サイクルごとに判定、下降は 2 サイクルごとに判定する。また閾値である H, L は何度か実験を行い経験的に $H=4, L=2$ とした。

$$H < q + \bar{Q}$$

$$L > q + \bar{Q} \quad (2)$$

A:2拍子



B:4拍子



C:8拍子



D:16拍子



E:1拍子



図 2. R-MAC の状態

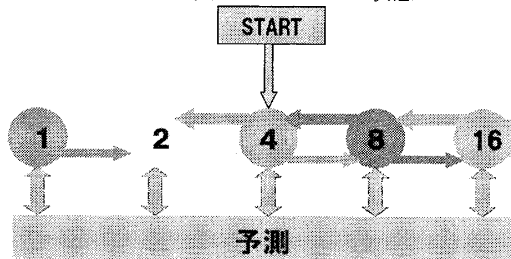


図 3. 状態遷移図

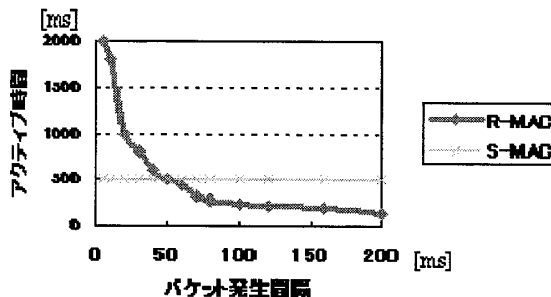


図 4. パケット発生間隔とアクティブ時間の関係

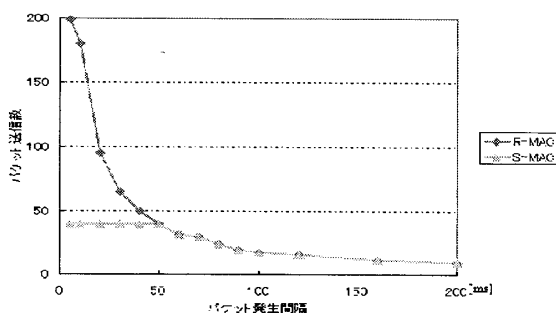


図 5. パケット発生間隔とパケット送信数

4. 性能評価

R-MAC の予測性能について C++ を用いてノード数 2 でパケット発生間隔を変化させ 2000 [ms] 間シミュレーションを行った。図 4 の x 軸はパケット発生間隔で y 軸はノードのアクティブ時間の平均値である。図 4 をみると発生間隔が短く負荷が高い時は R-MAC がアクティブ時間が多いが負荷が低い時には R-MAC のアクティブ時間が少なくなってうまく状態が負荷に適応していることがわかる。図 5 の x 軸はパケット発生間隔で y 軸はパケット送信数となっている。低負荷時には発生数が少ないため送信数は変わらないが、高負荷時には R-MAC のほうが送信数が多くスループットが高くなることがわかる。

5. おわりに

本論文ではセンサネットワークのための省電力負荷適応型 MAC プロトコルを提案し、シミュレーションによってその性能を実験・評価した。その結果、R-MAC の特性である負荷予測においては、低負荷時のトラフィックを予測し、ノードの余分な Active 時間を S-MAC より減らすことができた。また、高負荷時にアクティブ時間を増やすことにより送信機会を増やせた。つまり、スループットを損なうことなく中～低負荷時の電力消費の削減を達成できた

文献

- [1] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin: "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", Proc. of IEEE INFOCOM, 2002.
- [2] 原田, 小山, 荒井, パロリ: "センサネットワークのための負荷適応型 MAC プロトコル" 信学技報, Vol. 106, No. 310, pp. 35-40, 2006.

Load Adaptive MAC Protocol for Sensor Network Using Regression Analysis

†Ryoma Watanabe Akio Koyama (Yamagata University)

†Iunnei Arai (Yamagata College of Industry and Technology)