

# WLAN との共存環境における IEEE802.15.4 の 適応的バックオフ制御方式の実装と評価

村上厚介<sup>†</sup> 小林秀幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 仙台高等専門学校

## 1 はじめに

近距離無線通信規格である IEEE802.15.4 はセンサネットワークを構築するために策定された規格である。しかしながら、無線 LAN の規格として普及している IEEE802.11 と同一周波数帯を使用するためそれらからの干渉を受ける [1]。そのため、IEEE802.15.4 と IEEE802.11 の規格間における干渉を回避する必要がある。IEEE802.15.4 では同一規格を使用した端末同士の干渉回避手法として CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) を使用しており、データ送信前に  $BE$  (Backoff Exponent) という指数を基に決定されるランダムなバックオフという待ち時間を設ける事で干渉を回避する。しかしながら、標準では  $BE$  の最小値  $BE_{min}$  を固定的に用いるため、通信環境が悪化した際にバックオフが不足してしまう恐れがある。そこで、 $BE_{min}$  を動的に変更する手法として高橋らによって Ack を用いた ARF 方式 [2] が提案されている。この方式はフレーム再送を低減する事によって消費電力の削減を図る事を目的にした手法である。この  $BE_{min}$  を動的に変更する手法は消費電力の削減のみならず IEEE802.15.4 と WLAN の間に規格間干渉が発生し、より長いバックオフ期間を必要とする際にも有効であると考えられる。

そこで本稿では、実機実験により  $BE_{min}$  を動的に変更する方式の WLAN 共存環境における有効性を検証する。その後、WLAN との共存環境の影響を考慮し、IEEE802.15.4 の LQI (Link Quality Indicator) を用いた  $BE_{min}$  の動的な変更手法を提案する。

## 2 Ack を用いた ARF 方式

Ack を用いた ARF 方式は、送信したフレームに対して受信端末から Ack が返ってきた際に送信成功と判

断し、連続して送信に成功した回数に応じて  $BE_{min}$  の動的な変更を行う。ARF 方式では  $BE$  の取り得る範囲を 3~8 と定めているが、これは IEEE802.15.4 の仕様によって  $BE$  の範囲が 0~8 と規定されている事と、0~2 の間の  $BE$  を用いるとバックオフ期間が極短に短くなることに起因している。この方式ではあらかじめ定められた回数だけ、送信したフレームに対して Ack が返ってきた場合は  $BE_{min}$  を 1 減らし、バックオフ期間を確率的に短くすることでバックオフ期間を短縮する。一方、送信したフレームに対して規定された回数だけ Ack が返って来ない場合、即ち連続して送信に失敗した場合は  $BE_{min}$  を 1 増やし、確率的にバックオフ期間を増やすことによって干渉を回避する。このように Ack を用いた ARF 方式では送信したフレームに対する Ack の有無によって  $BE_{min}$  の動的な変更を行う。

### 2.1 実験

我々は WLAN 共存環境下においても  $BE_{min}$  の動的な変更が有効であることを検証するために、送信端末が送信したフレームを 100 回受信するのに要する時間を測定する。本実験では WLAN の規格として IEEE802.11 を使用し、Buffalo 社の無線子機である WLI-UC-GNM を搭載した 2 台の PC 間でアドホックモードを使用して通信を行う。また、 $BE_{min}$  を固定的に用いる IEEE802.15.4 及び  $BE_{min}$  を動的に変更する ARF 方式の通信には Texas Instruments 社の CC2420 を使用し、2 台のノード間で通信を行う。図 1 に実験結果を示す。IEEE802.11 のスループットが 15Mbps の点で IEEE802.15.4 と ARF 方式の差が最大となり、IEEE802.15.4 は ARF 方式よりも 607msec 余計に時間がかかっている事が分かる。

この実験結果より、 $BE_{min}$  を動的に変更する手法は WLAN と共存した環境下でも有効であることが分かった。しかしながら Ack はフレームの送信に成功したか否か、という情報しか取得出来ないため WLAN との規格間干渉による通信環境の変化に対応する事が困難

Implementation and Evaluation of Adaptive Algorithm for IEEE802.15.4 Coexisting with IEEE802.11

Kosuke MURAKAMI<sup>†</sup>, Hideyuki KOBAYASHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup>National Institute of Technology, Sendai

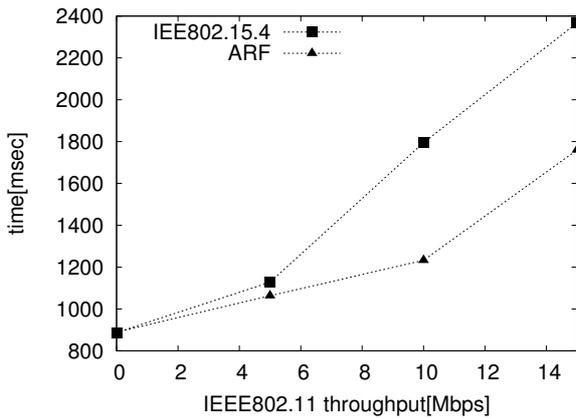


図 1: WLAN 共存環境下での 100 フレームの受信時間

である。そこで我々は IEEE802.15.4 の LQI を使用して通信環境に対して適応的に  $BE_{min}$  を変更する手法を提案する。

### 3 提案手法

我々は文献 [3] にて Ack と LQI を用いて  $BE_{min}$  を動的に変更する手法を提案した。しかしながら、この手法ではフレームを受信した端末が Ack と LQI を別々に送信端末に送信する必要がある。そこで、我々は LQI のみを用いて  $BE_{min}$  を動的に変更する手法を提案する。

送信端末 Tx における  $BE_{min}$  の動的変更の流れを図 2(a) に示す。Tx は初めに連続送信成功回数  $S$  と失敗回数  $F$  を初期化する。送信端末である Tx は受信端末である Rx に対してフレームの送信を行った後に一定期間 Rx から LQI を搭載したフレームの受信待ちを行う。Tx はこの期間内にそのフレームを受信するか否か、また受信した場合は Rx 側にて取得した LQI があらかじめ設定した閾値よりも高いか否か、といった情報を基に  $BE_{min}$  の動的変更を行う。例えば、Tx がその期間内に LQI を搭載したフレームを受信し LQI の値が閾値よりも高い場合は、 $S$  をカウントし、 $S$  が閾値  $S_{th}$  と等しく、かつ  $BE_{min}$  が 3 よりも大きい場合は  $BE_{min}$  を 1 減らす。これにより、確率的にバックオフ時間は短くなるため送信時間の短縮を図る事が可能になる。反対に、期間内にフレームを受信した場合でも LQI の値が閾値よりも低い場合は  $F$  をカウントし、 $F$  が閾値  $F_{th}$  と等しく、かつ  $BE_{min}$  の値が 8 より小さければ  $BE_{min}$  を 1 増やす。これにより、確率的にバックオフ時間は長くなるため干渉の回避が可能となる。同様に期間内にフレームを受信出来なかった場合はその時点で  $BE_{min}$  を 1 増やす。

受信端末 Rx の概要図を図 2(b) に示す。Rx は Tx か

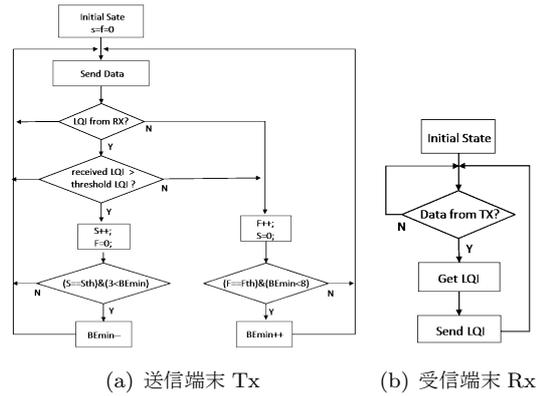


図 2: 提案手法における  $BE_{min}$  の動的変更の流れ

らのフレームを受信後、そのフレームの LQI を取得しその値を Tx 側に送信する。その後、再度 Tx からの受信待ちを行う。

### 4 まとめ

実験により、 $BE_{min}$  を動的に変更する Ack を用いた ARF 方式は IEEE802.15.4 と比較して 100 回フレームを受信するのに要する時間を最大 607msec 短縮可能であることが分かった。この結果を踏まえ提案手法はこの ARF 方式を更に拡張させ、LQI のみを用いて  $BE_{min}$  の動的変更を行う。LQI は Rx が正常にフレームを受信した時のみ取得可能な値であるため、Tx が Rx から LQI を搭載したフレームを受信した時点で、Tx から Rx へのフレーム送信が成功した事が分かる。即ち提案手法は、Rx からの LQI を搭載したフレームを仮想的に Ack に見立てるため Ack を送信する必要がなくなる。そのため従来手法と比較して Rx 側の端末の負担を減らしつつ、規格間干渉を低減することが可能である。

### 参考文献

- [1] Axel Sikora, et al., "Coexistence of IEEE802.15.4 of other Systems in the 2.4GHz-ISM-Band," IMTC 2005, pp.1786-1791, May.2005
- [2] 高橋淳, et al., "センサネットワークにおける QoS を考慮した衝突回避のための適応的バックオフ制御方式," 信学技報, Vol.2008, no221, pp.373-378, Mar.2007
- [3] 村上厚介, et.al., "IEEE802.11 干渉下における IEEE802.15.4 のリンククオリティを用いた適応的バックオフ制御方式の提案," 情報処理学会第 77 回全国大会, pp.345-346, Mar.2014