

無線 LAN における固定した コンテンションウィンドウを用いたアクセス方式の提案

Proposal of access method using fixed contention window in wireless LANs

渡辺 大和[†] 稲井 寛^{††}

Yamato Watanabe[†] Hiroshi Inai^{††}

[†] 岡山県立大学大学院 情報系工学研究科 ^{††} 岡山県立大学 情報工学部

1 はじめに

無線 LAN(Local Area Network) では標準のアクセス方式として DCF(Distributed Coordination Function) が実装されている。DCF では、フレームの衝突を回避する方法としてバックオフ制御が定められている。バックオフ制御では、それぞれの端末が規定の CW(Contention Window) 範囲内のランダムな待機時間を有することで、フレーム送信タイミングをずらして衝突を回避している。さらに、衝突が発生した場合は CW を倍にすることで再衝突を回避している。また、送信が成功した場合は CW を初期値に戻す。しかし、すぐに CW を初期値に戻すと、端末数が多い場合は衝突を繰り返し、リソースを有効活用することができない。この問題を解決するため、様々な CW の増減アルゴリズムが提案されている [1-5]。しかし、CW の値は端末数によって最適値があり、それを維持することで常に最高スループットを得られると考えた。本稿では、端末数などのネットワーク環境に応じて適切な CW を定め、衝突が発生した場合も CW を変化させないアクセス方式を提案する。

2 バックオフ制御

DCF では衝突を回避する方法としてバックオフ制御が IEEE802.11 で定められている。フレーム送信を試みる端末はキャリアセンスによりチャネルがビジーではないことを確認するとランダムな待機時間 (バックオフ時間) 後に送信を行う。バックオフ時間はスロット時間の倍数であり、以下のように設定されている [6]。

$$\text{バックオフ時間} = \text{Random}() \times \text{スロット時間} \quad (1)$$

ここで、Random() は $[0, CW]$ 範囲の一様分布に従って生成される。さらに、CW は最小値 $CW_{\min}$ と最大値 $CW_{\max}$ の範囲内の整数で、フレーム衝突ごとに

$$CW = (CW_{\min} + 1) \times 2^n - 1 \quad (2)$$

(n は再送回数 ≥ 0)

の指数関数で CW は増加する。またフレーム送信に成功した場合、CW は $CW_{\min}$ にリセットされる。このバックオフ制御により衝突を回避しているが、ネットワーク上の端末数が多い場合、送信タイミングが重複する確率が高くなりフレーム衝突が発生しやすい。それに伴い再送を繰り返し CW が大きくなる。さらにフレーム送信に成功したあとは CW が $CW_{\min}$ に戻されるため、次のフレーム送信時も衝突が発生して再送を繰り返す可能性が高くなる。このため、ネットワーク上の端末数が増加するに連れて不要な待ち時間が発生しネットワーク全体のスループットが低下してしまう。

3 提案方式

前節で述べたように、CW の値が適切ではないため端末数の増加によって性能が低下する。そこで本稿では総スループットの最大化を目指し、ネットワーク環境に適した CW を定め、衝突が発生した際も CW を一定に保ったままバックオフ制御を行う方式を提案する。

3.1 提案方式における総スループットの算出方法

インフラストラクチャモード (図 1) を想定する。あるアイドルスロット終了後に、引き続きアイドル、フレーム送信成功、フレーム衝突が起こる確率を求め、それらをアイドル確率、送信成功確率、衝突発生確率と呼ぶ (図 2)。そして、アイドルスロット終了時から次のアイドルスロット終了までにかかる時間及び送信データ量の期待値を求める。すると総スループットの期待値は以下の式で求められる。

$$\text{総スループット} = \frac{\text{アイドルスロット終了時から次のアイドルスロット終了時までに送信したデータ量の期待値}}{\text{アイドルスロット終了時から次のアイドルスロット終了時までにかかる時間の期待値}} \quad (3)$$

以降、端末数を n 、スロット時間を $\delta[\mu\text{s}]$ 、フレーム送信時間の平均値を $B[\mu\text{s}]$ 、フレーム衝突時間の平均値を $C[\mu\text{s}]$ 、ペイロード長を $\text{Payload}[\text{byte}]$ とする。

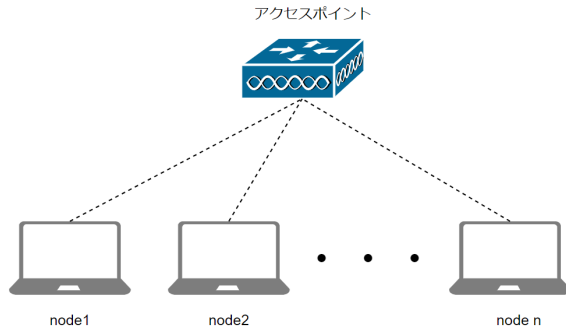


図1 インフラストラクチャモード

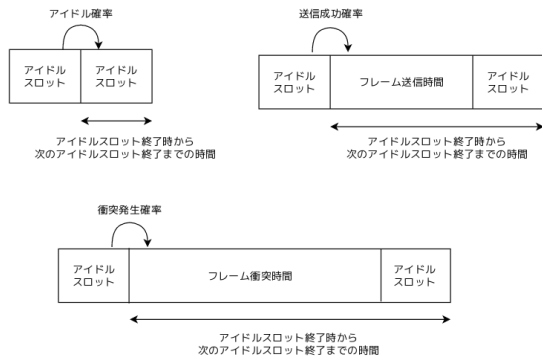


図2 アイドルスロット終了から次のアイドルスロット終了までの時間

3.2 ある端末が送信を試みる確率

アイドルスロット終了時に、ある端末が送信を試みる確率 τ を求める。バックオフ時間が生成されてその端末が待機となる場合、生成されたバックオフ時間が0ではないため、待機時間のもとになるランダムな整数は $[1, CW]$ から一様分布に従って決定される。よって、バックオフ時間が生成されてその端末が待機となる場合のランダムな整数値の期待値は

$$\frac{1}{CW} + \frac{2}{CW} + \cdots + \frac{CW-1}{CW} + \frac{CW}{CW} = \frac{CW+1}{2} \quad (4)$$

となる。このとき、バックオフカウンタはアイドルスロットごとに1ずつ減算されるため、アイドルスロット終了時にある端末が送信を試みる確率 τ は式(4)の逆数 $\frac{2}{CW+1}$ となる。

3.3 アイドル確率

アイドルスロット終了後にある端末が待機となる確率は $(1-\tau)$ なので、全端末が待機となり再びチャネルがアイドルとなる確率は

$$(1-\tau)^n \quad (5)$$

となる。また、スロット時間は δ であるため、アイドルスロット終了時から次のアイドルスロット終了までにかかる時間の期待値は δ である。

3.4 送信成功確率

送信を試みる確率は τ 、待機する確率は $(1-\tau)$ なので、競合端末のうち一台のみ送信を試みる確率は

$$nC_1 \times \tau \times (1-\tau)^{n-1} \quad (6)$$

となる。ここで、送信成功後に新たに生成されるバックオフ時間は0となる可能性がある。そのためフレーム送信に成功した端末が連続でフレーム送信を行う可能性がある。バックオフ時間が0となる確率は $\frac{1}{CW+1}$ なので、送信に成功したときの送信連続回数の期待値は以下ようになる。

$$\begin{aligned} & \frac{CW}{CW+1} + \frac{2}{CW+1} \cdot \frac{CW}{CW+1} + \frac{3}{(CW+1)^2} \cdot \frac{CW}{CW+1} + \cdots + \frac{k}{(CW+1)^{k-1}} \cdot \frac{CW}{CW+1} + \cdots \\ &= CW \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k}{(CW+1)^k} \\ &= \frac{(CW+1)}{CW} \end{aligned} \quad (7)$$

よって、送信成功からアイドルスロット終了までにかかる時間の期待値は、式(7)とフレーム送信時間 B より、

$$= \frac{B(CW+1)}{CW} + \delta[\mu s] \quad (8)$$

となる。また、送信成功からアイドルスロット終了までの送信データ量の期待値は、式(7)とペイロード $Payload$ より、

$$\frac{Payload(CW+1)}{CW} [\text{bit}] \quad (9)$$

となる。

3.5 衝突発生確率

衝突発生はアイドルと送信成功の余事象であるため

$$1 - n\tau(1-\tau)^{n-1} - (1-\tau)^n \quad (10)$$

となる。ここで、 CW に適切な値が設定された場合は衝突確率は小さくなるため、連続衝突及び衝突後に送信成功する可能性を考慮しない。よってフレーム衝突時間 C より、衝突発生からアイドルスロット終了までにかかる時間の期待値は $C + \delta$ となる。

表 1 設定パラメータ

シミュレーション時間	500[sec]
ペイロード長	1.5[Kbyte]
スロット時間	9[μs]
無線規格	802.11a
伝送レート	54[Mbps]
周波数	5.2[GHz]

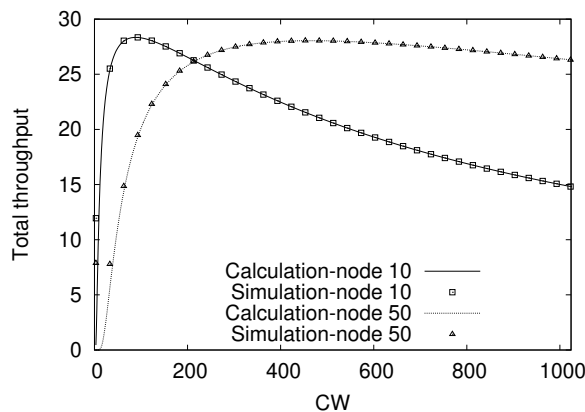


図 3 総スループットの計算値とシミュレーション値の比較

3.6 総スループットの計算値

式 (3) の通りに総スループットを求めると式 (4) ~ (10) より

$$\frac{2 \cdot \text{payload} \cdot n\tau(1-\tau)^{n-1}}{(2-\tau) \{ (B-C-\delta)\tau(1-\tau)^{n-1} - C(1-\tau)^n + C + \delta \}} \quad (11)$$

となる。

3.7 近似の妥当性の検証

式 (11) より求めた総スループットの計算値とシミュレーションから得られる総スループットを比較し近似の妥当性を検証する。インフラストラクチャモード (図 1) を想定し、設定パラメータは表 1 の通りとする。図 3 は、端末数が 10 及び 50 台で、固定する CW を 3~1023 に変化させたときの総スループットの計算値とシミュレーション値の比較である。図 3 より CW の値が小さいときを除き、計算値とシミュレーション値はほぼ一致していることがわかる。CW が小さいときに値のずれが生じている理由は、端末数に対して CW が小さいため衝突が頻発し、計算では考慮していない連続衝突及び衝突後に送信成功することが多くなるためであると考えられる。しかし本稿では、スループットが最大

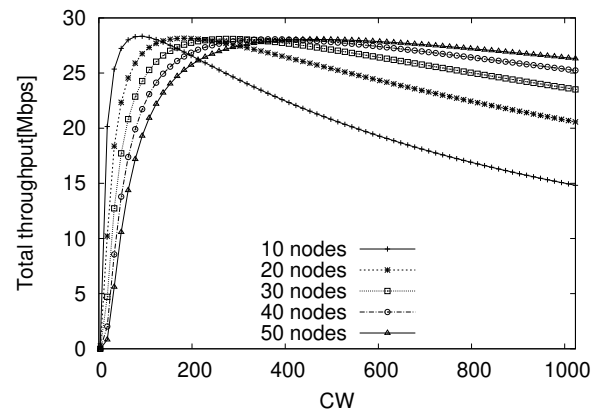


図 4 総スループットと固定された CW の関係

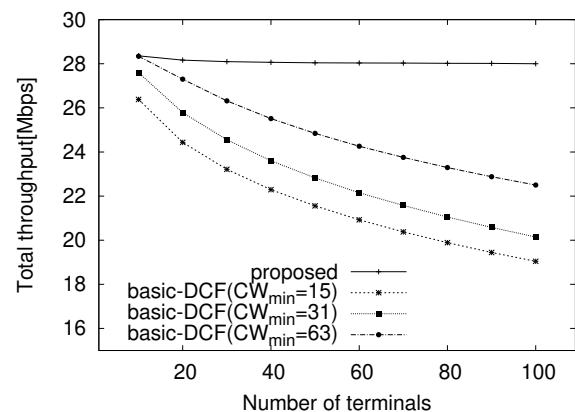


図 5 提案方式と DCF の総スループットの比較

となる CW を求めるため、図 3 の頂点がずれていなければ求める CW に影響はない。よって計算値は適切な値が求められていることがわかる。

4 総スループットの評価

本節では、計算により求めた総スループットと CW の関係を調べる。そして、最適な CW で固定した提案方式と DCF の総スループットを比較する。図 4 は端末数 10~50 台において固定する CW を 3~1023 に変化させたときの式 (11) から求めた総スループットである。ただし、競合端末数の伝送レートは全て 54[Mbps] で、スロット時間 $\delta = 9[\mu\text{s}]$ 、フレーム送信時間の平均値 $B = 338[\mu\text{s}]$ 、フレーム衝突時間の平均値 $C = 338[\mu\text{s}]$ 、ペイロード長 $\text{Payload} = 1500[\text{byte}]$ としている。さらに、図 5 は最適な CW を設定した提案方式との DCF において、端末数を 10 から 100 台まで増加させたときの総スループットの比較である。図 4 では、端末数が増えるほど適切な CW の値は大きくなるがわかる。そして図 5 では、DCF では端末数

の増加に伴い総スループットは低下しているが、提案方式ではその低下が抑制されていることがわかる。これは DCF と比べて提案方式の衝突時間やアイドル時間が短くなっているためであると考えられる。このことから、提案方式は端末数が多いときにより有効であるといえる。

5 おわりに

本稿では端末数に応じて適切な CW を定め、衝突が発生しても CW を変化させないアクセス方式を提案した。シミュレーションによる性能比較の結果、DCF では端末数が増加するに伴い総スループットが低下するが、提案方式ではその低下が抑制された。このことから、提案方式は端末数が多いときにより有効であることがわかった。今後の課題としては、(1) 実際の環境では端末数が変化するため、それ把握し CW を変化させること (2) 総スループットを最大にする CW の値を計算により求めることがあげられる。

参考文献

- [1] P. Chatzimisios, A.C. Boucouvalas, V. Vitsas, A. Vafiadis, A. Oikonomidis, and P. Huang. A simple and effective backoff scheme for the IEEE 802.11 MAC protocol. In CITSA, Orlando, Florida, USA, July 2005.
- [2] H. Wu, K. Long, S. Cheng and J. Ma, “IEEE 802.11 DCF: Analysis and Enhancement”, in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC 2002), vol. 1, pp. 605-609, April 2002.
- [3] Soung C. Liew, Jack Y. B. Lee and Victor C. M. Leung, “Performance evaluation of an adaptive backoff scheme for WLAN”, Wireless Communications and Mobile Computing 4, 8 (2004), 867-879.
- [4] Q. Ni, I. Aad, C. Barakat and T. Turletti, “Modeling and analysis of slow CW decrease for the IEEE 802.11 MAC protocol”, Proceeding of PIMRC 2003, Beijing, China, (2003) September. July 2005.
- [5] N. Song, B. Kwak, J. Song, and L. E. Miller, “Enhancement of IEEE 802.11 distributed coordination function with exponential increase exponential decrease backoff algorithm,” Proc. IEEE VTC 2003 Spring, vol. 4, pp. 2775-2778, Seoul, Korea, April 2003.
- [6] 守倉 正博, 久保田 周治, “改訂三版 802.11 高速無線 LAN 教科書”, 三橋 昭和 (編), pp. 94-95, (社) 株式会社インプレス R & D, 東京, 2010 年.