

p-persistent CSMA/CA の送信確率の検討によるスループットの改善 Throughput improvement by examining the transmission probability of p-persistent CSMA/CA

夫津木 康平[†] 稲井 寛^{††}

Kohei Futsuki[†] 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 概要

無線 LAN(Local Area Network) では、複数の無線端末が同時にパケットを送出するとパケットの衝突が発生するので、衝突をなるべく避けるために CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) と呼ばれる競合アクセス方式が採用されている。しかし、多くの競合端末が存在する場合には、衝突発生の可能性が高くなるので、大幅なスループットの低下が見込まれる。そこで、CSMA/CA に送信確率 p を加えた p-persistent CSMA/CA が検討されている。p-persistent CSMA/CA の確率 p の決定法についてはパケット長と競合端末数から、スループットを最大にする p を計算することは可能であるが、実際の競合端末数を把握することは困難であるため、減衰関数などを使って推定する必要がある。本研究では、送信確率および減衰関数の検討により、衝突による大幅なスループットの低下を抑えることを目的としている。

2 p-persistent CSMA/CA

ここでは、p-persistent CSMA/CA 方式についてスループットを最大にする送信確率 p^* について検討するが、次のような仮定をおく。

- 雑音や減衰などが原因で通信エラーが起こることはない。
- 通信エラーとなるのは、パケットの衝突が発生したときのみである。
- 隠れ端末は存在しない。

パケット送信が正常に終了してから、次に成功するパケット送信が始まるまでに経過する時間を「成功パケット間隔」と呼び、それを表す確率変数を L とする。また、パケット送信時間を表す確率変数を T_p とする。すると、正規化スループット γ は次式のようにになる [1]。

$$\gamma = \frac{E(T_p)}{E(L) + E(T_p)} \quad (1)$$

ここで、 $E(L)$ 、 $E(T_p)$ はそれぞれ L 、 T_p の平均値とする。

このことから、 $E(L)$ を最小にすると γ が最大になることがわかる。以下では、まず、p-persistent CSMA 方式においてスループットを最大にする確率 p^* を導

出し、それを元にして p-persistent CSMA/CA 方式の p^* を求めることとする。

p-persistent CSMA 方式では、競合端末数を n 、送信確率を p とすると、あるスロットでパケットを送信する端末数は二項分布 $B(n, p)$ に従う。ここで、成功確率 s の幾何分布 $G(s)$ に従う確率変数 X の平均が $E(X) = (1-s)/s$ であることから、成功パケット間隔 L の平均は次式のようにになる。

$$E(L) = \frac{(1-p)^n}{np(1-p)^{n-1}} T_s + \frac{1 - np(1-p)^{n-1} - (1-p)^n}{np(1-p)^{n-1}} E(T_p) \quad (2)$$

ただし、 T_s はスロット時間、 $E(T_p)$ は平均パケット送信時間である。 $dE(L)/dp = 0$ のときの p 即ち p^* の近似値は次のようになる。

$$p^* \simeq \frac{1}{n} \sqrt{\frac{2T_s}{E(T_p)}} \quad (3)$$

p-persistent CSMA/CA 方式では、コンテンションウィンドウを CW とすると $[0, CW]$ のランダムな値で決定されるバックオフカウンタ値が正の競合端末はパケットを送信しないので、平均的に見ると、競合端末数が n/CW の p-persistent CSMA と考えられる。従って、 p^* の近似値は次式のようにになる [1]。

$$p^* \simeq \frac{CW}{n} \sqrt{\frac{2T_s}{E(T_p)}} \quad (4)$$

式 (4) ではバックオフ時間が選ばれる確率 $1/CW$ を用いていたが、端末はバックオフカウンタが 0 になった時にパケットを送信可能になるため、注目すべきはバックオフカウンタの平均値であると考えられる。バックオフカウンタの平均値は $(CW+1)/2$ であるから、競合端末数が $2n/(CW+1)$ の p-persistent CSMA と考えられる。従って、本研究では、最適送信確率 p^* を式 (5) とする。

$$p^* = \frac{CW+1}{2n} \sqrt{\frac{2T_s}{E(T_p)}} \quad (5)$$

3 従来方式

従来方式の EDeM(Exponential Decrease to Match the Number of Contenders) 方式では、アイドル期間開始後 i 番目のスロットにおける n の推定値 $\hat{n}_i$ を

$$\hat{n}_i = N \left(\frac{1}{N} \right)^{\frac{i}{i_{max}}} \quad (i = 0, 1, \dots, i_{max}) \quad (6)$$

としている [1]. ただし, N は最大端末数のことであり, i_{max} は 60 としている.

後に示すように, 式 (6) では, アイドル時間の経過に従って, 急激に $\hat{n}_i$ が減少するため, 送信確率が大きくなって衝突が起こりやすくなる.

4 提案方式

今回提案する方式では, アイドル期間開始後 i 番目のスロットにおける n の推定値 $\hat{n}_i$ を

$$\hat{n}_i = N \cdot 16^{-i/N} \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \quad (7)$$

により決定する. 従来方式 (EDeM) および提案方式 (Prop.) の減衰関数について, 横軸をスロット時間, 縦軸を競合端末数の推定値としたグラフを図 1 に示す. ただし, 最大端末数 N を 100 としている. 従来方式に比べて, 提案方式の方が緩やかに減少しているため, 送信確率が低く抑えられて, 衝突が起こりにくくなると期待される.

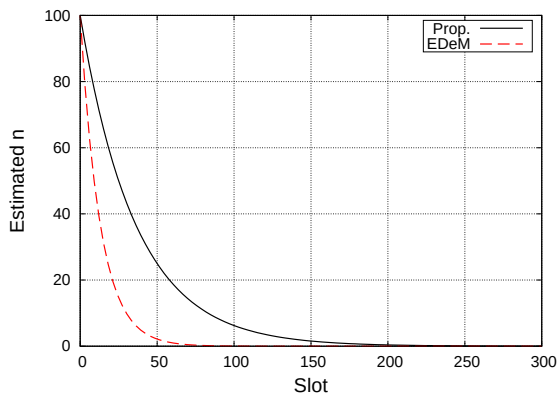


図 1: EDeM と提案方式の減衰関数

5 シミュレーションプログラムについて

以下の仕様に従い p-persistent CSMA/CA のシミュレーションプログラムを作成する.

1. アイドル状態の場合

- スロット時間ごとにバックオフカウンタを進め, 0 になると確率 p でデータ送信, 確率 $1-p$ で再度バックオフカウンタをセットする.

- データ送信を検知するとビジー状態に移る.

2. ビジー状態の場合

- 衝突が起こらなかった場合には, データ送信完了後, アイドル時間に移る.
- 衝突が起こった場合には, データ送信時間 + DIFS 時間が経過した後, アイドル状態に移る.

また, シミュレーションに使用した各パラメータの設定を表 1 に示す.

表 1: シミュレーション諸元 [2]

項目	数値	項目	数値
無線 LAN 規格	IEEE802.11ac	MACOverHead	32[Byte]
ビットレート	866[Mbps]	FCS	4[Byte]
PHY PPDU	28[μs]	データサイズ	1024[Byte]
VHT PPDU	12[μs]	ACK サイズ	14[Byte]
スロットタイム	9[μs]	最大 MPDU	11454[Byte]
SIFS 時間	16[μs]	最大 A-MPDU	1048575[Byte]
DIFS 時間	34[μs]	最大再送回数	6[回]

今回のシミュレーションでは, 一つのアクセスポイントに対して N 台の端末からの接続があった場合を想定している. N を 100 台とし, CW の値を変化させていくことによるスループット特性とパケット衝突率について検証する.

6 計算結果および考察

最適送信確率の式 (4), (5) それぞれを用いた従来方式および提案方式について p-persistent CSMA/CA のシミュレーションを実行し, 横軸をコンテンションウィンドウ CW として, 縦軸をスループットとしたグラフを図 2~5 に, 縦軸をパケット衝突率としたグラフを図 6 に示す. それぞれのグラフは, 1 秒間のシミュレーションプログラムを 1000 回実行して得られた結果の平均値を表示している.

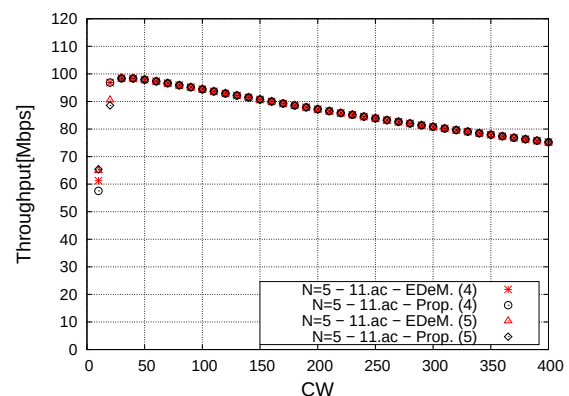


図 2: スループットと CW の関係 (N=5)

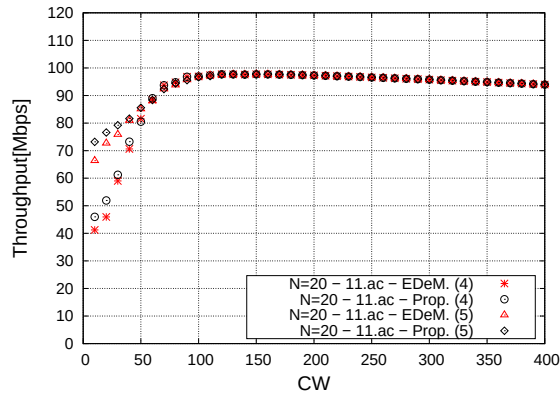


図 3: スループットと CW の関係 (N=20)

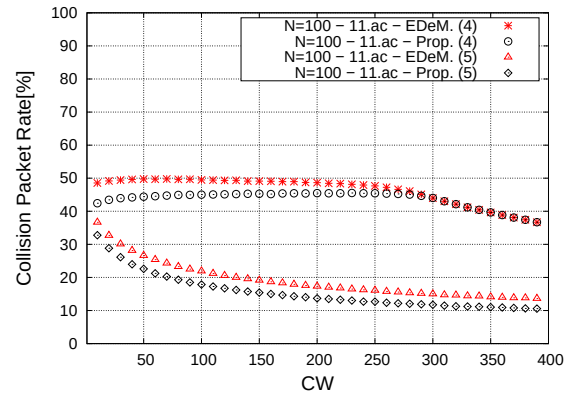


図 6: パケット衝突率と CW の関係 (N=100)

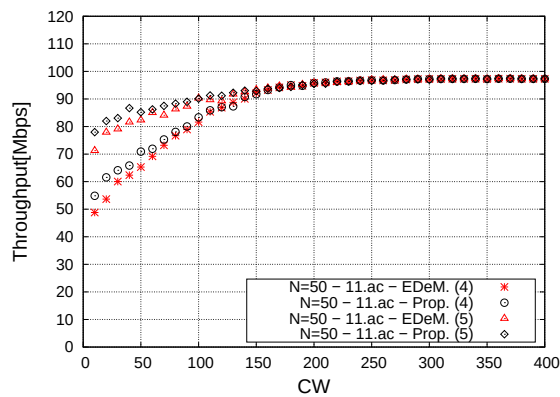


図 4: スループットと CW の関係 (N=50)

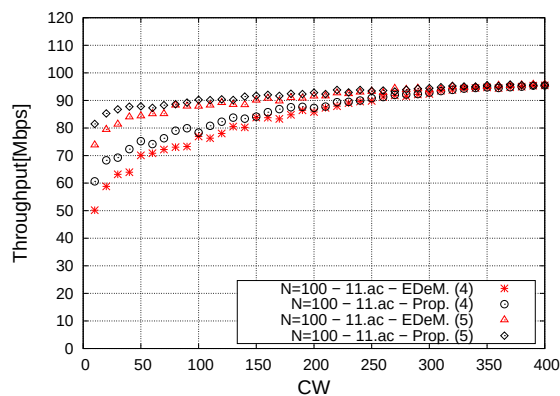


図 5: スループットと CW の関係 (N=100)

端末数のみ異なる図 2, 3, 4, 5 については, 端末数が 20 台付近までは図 2 のようにほぼ同じ値を取っていたが, 20 台辺りから次第に式 (4) および式 (5) による差異が見られ始めるようになった. そして図 3 と図 4, 5 を比較すると, 端末数の増加により端末数の推定法による影響もスループットに現れ始めていることが分かる. また, 図 5, 6 から, 最適送信確率の式に関しては, 式 (5) を用いた方がスループットおよびパケット衝突率の値は優れていることが分かる. 更に EDeM および提案方式を比較すると, スループットおよびパケット衝突率はいずれも大きな差異はあまり見られなかったが, 僅かに提案方式の値が優れているという結果となった. また, $CW = 300$ あたりでスループットがいずれもほぼ同様の値となっていることが分かる. また, CW について注目すると, 最適送信確率の式 (4) では高いスループットを出すために, CW を大きく取る必要があるのに対し, 式 (5) は CW の値に左右されず安定して高いスループットが出せているという利点があると言える.

また、従来方式および提案方式の推定性能について注目するため、最大端末数は図5、6と同様に $N = 100$ 、CWについては、いずれの推定法でも差異の見られなかった $CW = 300$ で設定し、シミュレーションを行い、競合端末数の実測値と推定値を比較することで性能を評価する。従来方式および提案方式について、横軸を競合端末数の実測値 n 、縦軸を競合端末数の推定値としたグラフを図7に示す。

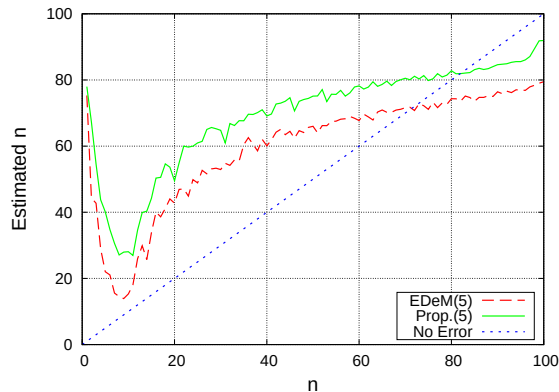


図 7: 従来方式と提案方式の推定値の比較

図7から、提案方式は従来方式よりも推定値を多く見積もっていることが分かる。これにより、衝突を抑えることが出来ているため高いスループットが得られていると考えられる。また、図4、5のように端末数が多数存在する場合において推定性能の影響が現れ始めたことについては、端末数の推定がいずれの方式においても実際の端末数を下回っているため、推定精度が高い提案方式の方が高いスループットを得られたのではないかと考える。しかし、CWをある程度取ることによって推定による差がほぼ無くなるため、競合端末数の推定より送信確率の計算式を最適化する方が、スループットの最大化を行う上では重要ではないかと考える。

7 まとめ

本研究では、p-persistent CSMA/CAにおいて、最適送信確率 p^* の計算法および競合端末数を推定するための減衰関数について検討した。従来の最適送信確率の計算法の問題点を指摘し、更に競合端末数の推定法においては、従来方式の減衰関数の減衰量は急激であり、端末数が多数存在する際には推定値が実際の端末数より低くなる可能性が高かったため、提案方式では減衰率を緩やかにすることでパケット衝突の可能性を小さくし、スループットの改善を達成した。今後の課題としては、最適送信確率の計算法を追及していくことに加え、より競合端末数の推定精度を高める必要

があると考ええる。

参考文献

- [1] Victor Gau, Jenq-Neng Hwang, Kung-Ming Lan, Hung-I Pai, Jian-Ren Chen, Yi-Yuan Chen, “Latency Minimized Probabilistic CSMA/CA”, Proc.WMuNeP’11, pp. 3-8, 2011
- [2] 守倉 正博, 久保田 周治, “インプレス標準教科書シリーズ 改訂三版 802.11 高速無線 LAN 教科書”, 株式会社 インプレス R&D, pp.xi,94-95,132, April 2008