

無線 LAN におけるビット誤り率に基づく動的パケット長制御の性能評価

A Bit-Error-Rate-Aware Dynamic-Packet-Length-Control in Wireless LAN System

森 隆幸†
Takayuki Mori山口 実靖‡
Saneyasu Yamaguchi浅谷 耕一‡
Koichi Asatani

1. はじめに

無線ネットワークは有線ネットワークに比べ設置の容易さ等のメリットを持っており、LAN 環境等において普及している。しかし、無線 LAN 環境では通信障害が起こりやすく、伝送誤りによるパケットロスが発生する可能性が高い。802.11 無線 LAN 通信では、送信パケット内にビット誤りが発生すると MAC 層においてパケットの再送が行われる。誤りの少ないネットワークにおいてはパケットサイズを大きくし一度に送る量を多くし効率的に通信を行うことが好ましいが、誤りの多いネットワークではパケットサイズを小さくしパケットエラー率と再送の単位を小さくすることが好ましい[1]。最も高い通信スループットが得られる最適パケット長はビット誤り率に依存し、ビット誤り率から「各パケット長において得られるスループット」や「最適なパケット長」を導出することができる[2]。

本稿では、パケット長とビット誤り率からスループットを導出する手法を用いて最適パケット長を導出し、パケット長を制御することにより無線スループットを向上させる方法を提案し、実験によりその有効性を示す。

2. IEEE802.11b 無線システム

IEEE802.11b は 2.4GHz 帯を使用する無線 LAN システムの規格であり、主として DCF 方式が用いられる。DCF 方式は複数の端末が同一チャネルを効率的に共有できるように、チャネル使用状況を把握してフレーム送信を行う自律分散型の CSMA/CA 方式である。以下に IEEE802.11b において DCF 方式を用いる CSMA/CA 方式を説明する。

フレームの送信間隔として IFS が定義されている。IFS の長さには 3 種類の長さが存在する。これらを使い分けることで送信遅延の時間を制御でき、フレームに対し優先度を与えることが可能となっている。

IFS の長さは、送信間隔が短い順に SIFS (Short IFS), PIFS (PCF IFS), DIFS (DCF IFS) がある。PIFS は PCF 用、DIFS は DCF 用の IFS である。短い IFS ほど高優先度となる。DCF において通常のデータフレームは、一番優先度が低い DIFS が用いられる。また受信確認である 802.11ACK では最も優先度が高い SIFS が使用される。

CSMA 方式では、送信端末は固定された DIFS 時間待ったあと、端末間の送信フレームの衝突を回避するためにランダム時間待ちフレームの送信を行い、バックオフ制御を行う。バックオフ時間は最小が 0 で、最大が規定の CW(Contention Window)の範囲の一様分布乱数により決定される。スロットタイムは 20 μ s であり、バックオフ時間は式(1)によって求められる。

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

(Random())は 0 から CW の一様分布乱数)

CW の最小値を CW_{min}、最大値を CW_{max} とすると、CW は式(2)のように再送回数 n の増加に伴い、CW_{max} に達するまで増加する。

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

一般的に最大転送回数 7 回(再送回数 6 回)であり、これを超えた場合フレームは無線層により破棄され TCP などの上位層による再送が行われることになる。

3. ビット誤り率とパケット長からスループットの導出

ランダム誤りの発生する 802.11 無線 LAN において、ビット誤り率とパケット長からその条件において得られるスループットの理論値を導出することができる[2]。具体的には、ビット誤り率よりパケット誤り率を導出することが可能であり、パケット誤り率より MAC 層における平均再送回数を導出することができる。平均再送回数より、2 章で述べた転送遅延時間を算出することで、平均パケット転送完了時間を導出することが可能である。これによりパケットの転送遅延時間を算出することで、得られるスループットを導出することができる。本導出手法を用いることにより、各ビット誤り率において最も高いスループットが得られるパケット長を求めることが可能となる。

4. ビット誤り率を考慮したパケット長制御手法の提案

3 章で述べたスループット導出法を用い、パケット長を動的に制御しスループットを向上させる手法を提案する。提案手法は以下の通りである。(1)初期値のパケット長 (1500 バイト)を用いて通信を行い、スループットを測定する。(2)測定されたスループットが得られるビット誤り率をスループット導出法により算出し、ビット誤り率を推定する。(3)推定されたビット誤り率において最も高いスループットが得られるパケット長をスループット導出法により求め、パケット長を求められた値に変更する。(4)変更したパケット長にて通信を行い、スループットを計測する。パースト誤りが発生した場合、予測したスループットと実際のスループットが異なる可能性がある。導出手法は、ランダム誤りを仮定しているが、パースト誤り発生時にはパケット長を短くすることはパケット損失率の低減になるには限らない。そこで、パースト誤りが含まれている場合には、導出された最適パケット長よりもパケット長を長くした方が良いと考えられる。パケット長を長くする指標として、予想したビット誤り率を低減させることを行う。今回の導出方法では、スループットよりビット誤り率を算出しているが、ビット誤り率を式(3)で変更を行う。

† 工学院大学大学院

‡ 工学院大学

修正ビット誤り率 =

$$\frac{\text{予想したビット誤り率} \times \text{実際のスループット}}{\text{予想した最適パケット長によるスループット}} \quad (3)$$

実測スループットが、予想スループットより低い場合はこれにより、ビット誤り率を減少させることでパケット長を長くすることを行う。(5)再度(4)を行い、予測したスループットが実際に測定するスループットと同じになるか上回るまで繰り返す。

(1)~(3)より、ビット誤り率と最適パケット長を予測し、スループットを向上させることが可能であると考えられるが、無線区間の干渉は、ランダム誤りだけでなくバースト誤りが起きる可能性がある。本導出手法では干渉をランダム誤りだけと仮定している。このため、ランダム誤りのみを仮定としている導出手法では、実際の最適パケット長と、予測した最適パケット長で差異が生じることが予想される。そのため、バースト誤りも考慮することが必要となる。バースト誤りは、同時に何バイトも干渉が起きる可能性もあれば、数バイトしか起きない可能性があり、理論に組み入れることは難しい。よって、バースト誤りによって発生する最適パケット長の差異を減らすために式(3)を行った。

5. 評価実験

提案した動的パケット長制御手法の有効性を検証するために、図1に示す妨害波が存在する環境において通信実験を行いその有効性を検証した。電波干渉源として電子レンジを用いた。また図2に、計測したスループット(実験値)と以下の例で使用する予想スループット(理論値)を示す。

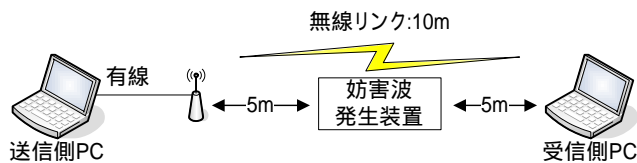


図1. 実験ネットワーク

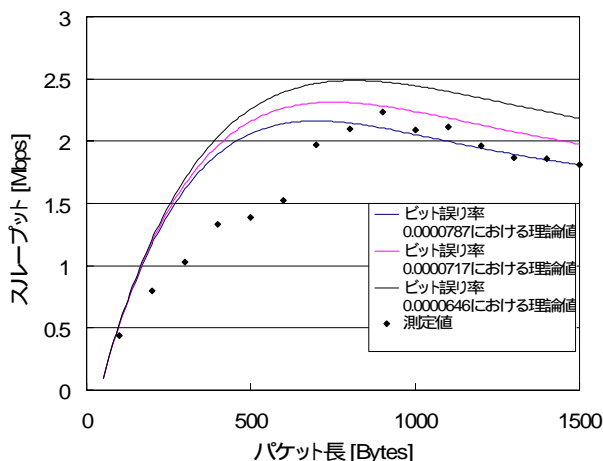


図2. 平均スループットの理論値と実験値

まず、パケット長 1500 バイトにおいて通信を行いスループットを計測した。計測されたスループットは 1810kbps

であった。スループット導出手法より、この時のビット誤り率は約 7.87×10^{-5} と推測される。次に、推測されたビット誤り率において最も高いスループットが得られるパケット長をスループット導出手法より求める。ビット誤り率 7.87×10^{-5} における最適パケット長は 690 バイトであり、得られるスループットは 2161kbps であると予想される。実験では、690 バイトの値に近い 700 バイトを選択した。このときにおける予想スループットは、2162kbps である。

パケット長 700 バイトにおける実際のスループットは 1974kbps であり、パケット長を 1500 バイトに固定する従来方式の手法の 1.09 倍程度のスループットが得られた。

次に、得られたスループットが予想したスループットより低いことから、バースト誤りが含まれていると仮定し、4章の手順で再度、最適パケット長を算出した。700 バイトにて計測されたスループットと予想されたスループットより、バースト誤り率を含むことによって起きた差異を考慮したビット誤り率を算出し、ビット誤り率 7.17×10^{-5} とした。ビット誤り率 7.17×10^{-5} における最適パケット長は、751 バイトである。751 バイトに近い 800 バイトを選択した結果、パケット長 800 バイトにおける実際のスループットは 2096kbps であり、パケット長を 1500 バイトに固定する従来方式の手法の約 1.16 倍程度のスループットが得られた。

さらに、得られたスループットが予想したスループットより低いことから、バースト誤りを考慮し、最適パケット長を再度算出した。800 バイトにて計測されたスループットと予想したスループットより、ビット誤り率を算出し、ビット誤り率 6.47×10^{-5} と予想した。ビット誤り率 6.47×10^{-5} における最適パケット長は、810 バイトであった。810 バイトに近い 800 バイトを選択し、パケット長 800 バイトが導出手法による最適パケット長となった。

実際には、100 バイト毎に計測した各パケット長の実験結果では、最適パケット長は 900 バイトであった。完全な最適パケット長を算出することはできていないが、近い値を算出していることが分かる。パケット長 900 バイトにおけるスループットは 2237kbps であり、パケット長を 1500 バイトに固定する従来方式の手法の約 1.25 倍程度のスループットが得られることになる。

6. おわりに

本稿では、無線 LAN 環境においてビット誤り率とパケット長からスループットを導出する手法を用い、動的にパケット長を制御する手法を提案した。電波干渉のある無線 LAN 環境において、通信実験を行い提案手法の評価を行った結果、従来手法より高い性能が得られることが確認された。今後は、スループット以外の指標を用いたビット誤り率の推定方法の検証や、より複雑なネットワークの環境への適用を行う予定である。

参考文献

- [1] 森 隆幸, 大澤 篤史, 浅谷 耕一, "有線・無線統合化ネットワークにおける動的パケット長制御に関する検討", 電子情報通信学会総合大会, Mar. 2006.
- [2] 森 隆幸, 山口 実晴, 浅谷 耕一, "無線 LAN におけるビット誤り率に基づく最適パケット長の導出", FIT2006-7M-3