

## 伝送誤りを考慮した UDP 環境下における IEEE802.11DCF の ACK 性能評価

川崎 将和<sup>†</sup>重安 哲也<sup>††</sup>松野 浩嗣<sup>†††</sup><sup>†</sup> 山口大学大学院 理工学研究科<sup>††</sup> 広島国際大学 情報通信学科<sup>†††</sup> 山口大学 理学部

概要： IEEE802.11DCF ではパケット損失を MAC レベルで回復するために ACK を用いる。また、オプションとして RTS/CTS も規定されている。RTS/CTS オプション使用時は、隣接端末と隠れ端末からのパケット衝突を軽減できるため MAC レベルの ACK を省略することでスループットが向上する場合があることが報告されている。しかしながら、伝送誤りと ACK 省略の効果の関係についての議論はなされていない。本稿では伝送誤りと ACK 省略効果の関係をネットワークシミュレータ NS-2 を用いシミュレーションし、ACK 使用は低トラフィックにおいてはスループット向上効果があるが、高トラフィックでは送信オーバーヘッド上昇のため逆にスループットが低下することを、また、高トラフィックでの ACK 省略は遅延時間の短縮に効果があることなどを示す。

### Evaluation of ACK method of IEEE802.11DCF under UDP environment with transmission errors

Masakazu Kawasaki<sup>†</sup>Tetsuya Shigeyasu<sup>††</sup>Hiroshi Matsuno<sup>†††</sup><sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University<sup>††</sup> Department of Information Technology, Hiroshima International University<sup>†††</sup> Faculty of Science Yamaguchi University

Abstract : IEEE802.11DCF employs the ACK method for fast recovering from packet collisions in MAC layer. In addition, the RTS/CTS exchange can be used as an option. We have reported that the ACK method does not work effectively when the RTS/CTS option is used. Hence, we proposed to omit ACK packet from IEEE802.11DCF and evaluated the effect of the omission by simulations using NS-2. However, transmission error was not considered in the previous report. This paper gives the results of evaluations for ACK method when the transmission error is incorporated in the simulation. The results are as follows. (1) The ACK method improves the throughput in low traffic case. (2) In contrast, the ACK method reduces the throughput in high traffic case due to the increase of transmission overhead. (3) Delay time can be shorten by omitting ACK method in high traffic case.

## 1 はじめに

無線 LAN(Local Area Network) の代表的な規格である IEEE802.11[1] では、パケットの送信制御を規定する MAC(Media Access Control) 副層に CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) を採用している。CSMA/CA では、通信を開始する前にキャリアセンスを行うことにより隣接端末とのパケット衝突を防ぐ。しかしキャリアセンスは、隣接端末からのパケット衝突を軽減できるが、隠れ端末からのパケット衝突を防ぐことはできない。そのため、オプションとして RTS/CTS(Request To Send/Clear To Send) が規定されている。RTS/CTS は、パケット送信前に RTS, CTS パケットをやり取りすることにより送信端末に隣接する全ての端末の送信を一定期間延期させパケット衝突を防ぐ。

さて、IEEE802.11 ではデータパケットの到達確認を行なうために MAC レベルの ACK(Acknowledgment) を規定しており、パケットが正常に受信されたときは送信端末に ACK が返

信される。このとき、パケットが衝突あるいは伝送誤りなどにより失われた場合は ACK が返信されず、送信端末は何らかの原因で失われたと判断しパケットを再送する。以上のようにデータリンク層の再送指示を待つことなく MAC 層で迅速なパケット回復を行うことができる。

ところで、パケット損失が起りにくい場合は、MAC レベルの ACK は送信オーバーヘッドを増加させてしまう。文献 [3, 4] では、RTS/CTS オプション使用時は隣接端末とともに隠れ端末からのパケット衝突も軽減されるため、ACK を省略することで逆にスループットが上昇する場合があることを報告している。

しかしながら、これらの文献における評価では、無線伝送時に発生するランダムビット誤りは考慮されておらず、IEEE802.11 における ACK を詳細に評価しているとはいえない。そこで、本稿ではさまざまなビット誤り率 (BER : Bit Error Rate) を考慮することにより、IEEE802.11 の ACK の影響をより詳細に評価する。計算機シミュレーション

表 1: シミュレーション諸元

伝送レート	11Mbps
エリア	1000m×1000m
端末数	50 端末
初期配置	ランダム配置
端末の動作	最小 0.8m/s, 最大 1.0m/s でランダムにエリア内を移動.
トラフィック	512byte の UDP パケットを送信間隔を変化させながら CBR で送信する.
BER	$1.3 \times 10^{-5}$ , $2.6 \times 10^{-5}$ , $5.4 \times 10^{-5}$ , $8.7 \times 10^{-5}$
実行時間	500 秒
シミュレータ	NS-2.27[5]

表 2: 各パケットがロスする確率

BER	PER <sub>D</sub>	PER <sub>R</sub>	PER <sub>C, A</sub>
$1.3 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-3}$
$2.6 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-1}$	$4.1 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-3}$
$5.4 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-1}$	$8.7 \times 10^{-3}$	$6.1 \times 10^{-3}$
$8.7 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-1}$	$1.3 \times 10^{-2}$	$9.7 \times 10^{-3}$

を用いた性能評価の結果 1) 低トラフィック時には、パケット再送が効果的に機能するため ACK はスループットを上昇させること、2) 高トラフィック時には、送信オーバーヘッドを増加させてしまうため、ACK 送信はスループットを低下してしまうこと、3) 高 BER な環境ほど ACK を省略することで遅延時間を短縮することができることの3点を確認したのでこれらについて報告する。

## 2 計算機シミュレーション

表 1, 2 にシミュレーション諸元および各パケットがロスする確率を示す。IEEE802.11[1] では、受信したパケット中に誤りが1ビットでもある場合はそのパケットを棄却する。

そのため、パケット長が512byteであるデータパケットが棄却される確率 PER<sub>D</sub> は次のように算出できる。なお、本研究では512byteのデータパケットが5%, 10%, 20%, 30%でロスする確率から BER を算出した。

$$(1 - BER)^{512 \times 8} = 1 - PER_D$$

これと同様に、RTS, CTS, ACK パケットが棄却される確率 PER<sub>S</sub>, PER<sub>C</sub>, PER<sub>A</sub> を算出した結果を表 2 に示す。

図 1, 2, 3, 4 に計算機シミュレーションによって得られた既存方式と ACK を省略した方式のトラフィックスループット特性を示す。これらの図から、低トラフィック域では既存方式が、高トラフィック域では ACK 省略方式がそれぞれ高いスループット性能を示すことがわかる。また、BER が高くなるほど、低トラフィック域でのスループットの差が大きくなり、既存方式と ACK 省略方式のスループットが逆転する点も、高トラフィック側に推移する。BER

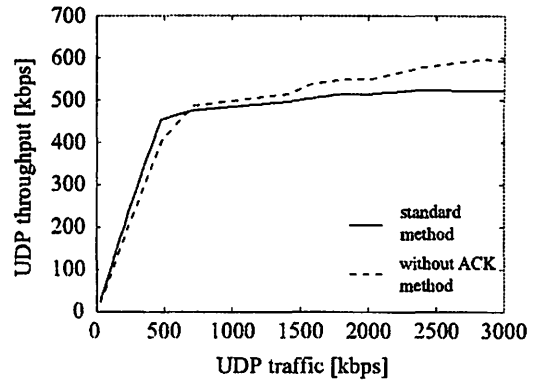


図 1: traffic-throughput 特性 (BER =  $1.3 \times 10^{-5}$ )

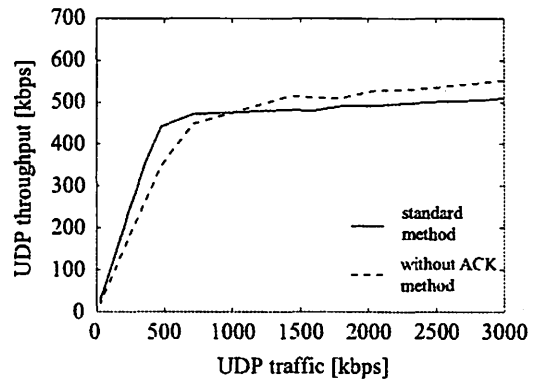


図 2: traffic-throughput 特性 (BER =  $2.6 \times 10^{-5}$ )

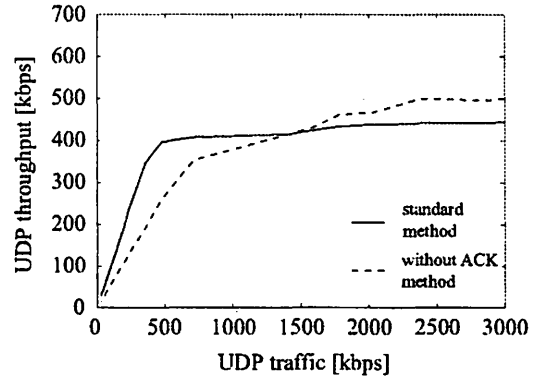


図 3: traffic-throughput 特性 (BER =  $5.4 \times 10^{-5}$ )

が増加するほど既存方式と ACK 省略方式の差が大きくなるのがわかる。

### 2.1 ACK 使用による性能向上効果

#### 低トラフィック時におけるチャネルの空き時間利用

低トラフィック域において、既存方式が高いスループット性能を示す理由は、ACK によるパケット再送制御が効果的に機能するためであると考えられる。図 5 に UDP パケットの生起間隔 (*interval*) とパケット送信 1 回に要する時間 ( $T_p$ ) の関係を図示する。本稿の計算機シミュレーションでは、UDP パケットが一定間隔毎 (*interval*) 毎に生起する。このとき、

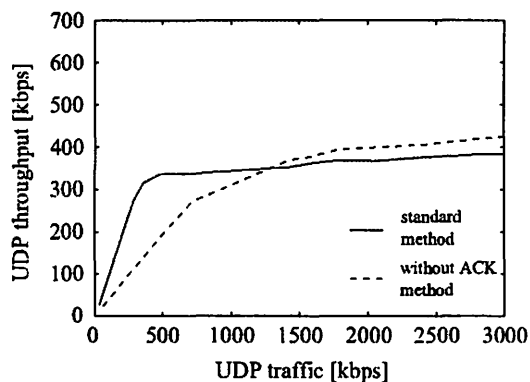


図 4: traffic-throughput 特性 ( $BER = 8.7 \times 10^{-5}$ )

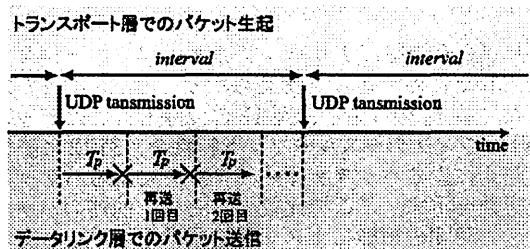


図 5: 各パケットに要する時間の関係

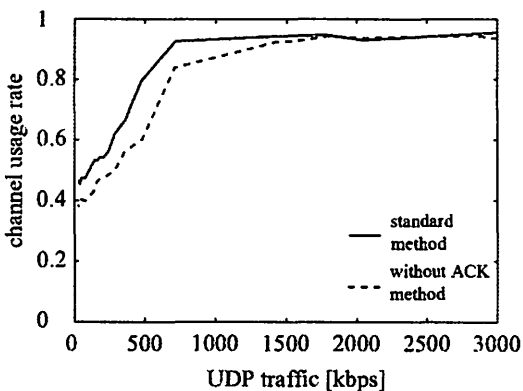


図 6: チャンネル利用率 ( $BER = 1.3 \times 10^{-5}$ )

生じた UDP パケットは MAC 層にわたされた後に、受信端末に向けて送信される。同図に示すように、低トラフィック時にはパケット 1 回の送信に要する時間  $T_p$  に比べ  $interval$  は十分に長いため、パケットが損失した場合でも ACK によりパケットを回復する時間が得られる。再送によってパケット到達率が上昇すると考えられる。同様のことが、チャンネルの利用時間割合を示す図 6, 7, 8, 9 から説明できる。これらの図より、低トラフィック域ではチャンネルに空き時間があり、チャンネルには ACK による再送制御を行う余裕があることが確認できる。

次に、低トラフィックにおいて BER の増加に伴い ACK 省略方式のスループットが大きく低下した原因を説明する。この原因として、チャンネルの空き時間の増加に着目する。チャンネル利用率を示す図 6, 7, 8, 9 から、BER が増加するに従い、ACK 省略

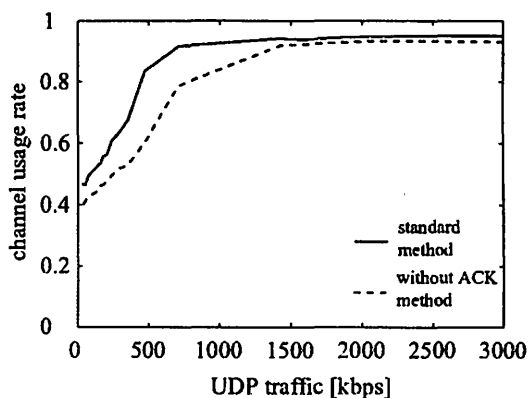


図 7: チャンネル利用率 ( $BER = 2.6 \times 10^{-5}$ )

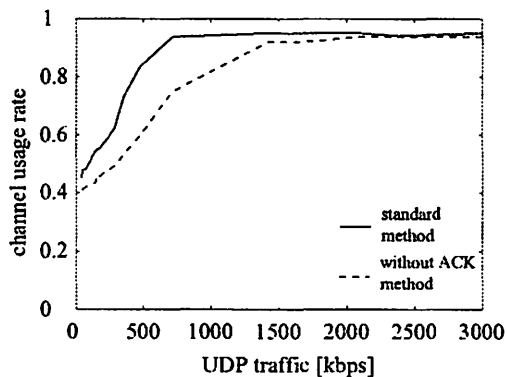


図 8: チャンネル利用率 ( $BER = 5.4 \times 10^{-5}$ )

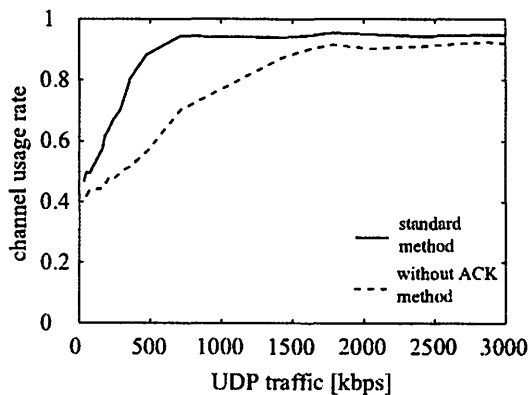


図 9: チャンネル利用率 ( $BER = 8.7 \times 10^{-5}$ )

方式のチャンネル利用率が大きく低下することが分かる。ACK 省略方式ではビット誤りによって起こるパケットロス回復しない。このため、パケットロスが起こると次の UDP パケット生起までが空き時間になり、パケットロスの起きやすい高 BER な環境ほど低トラフィックでスループットが低下したと考えられる。

## 2.2 ACK 省略による性能向上効果

高トラフィック時に ACK 省略によりスループットが向上した理由として、ACK を省略することに

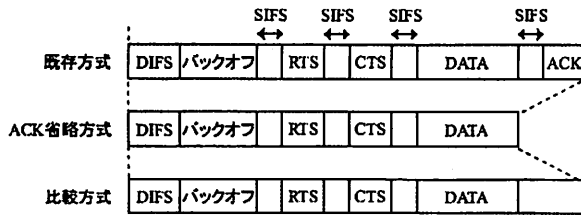


図 10: 各方式における  $T_p$  の長さ

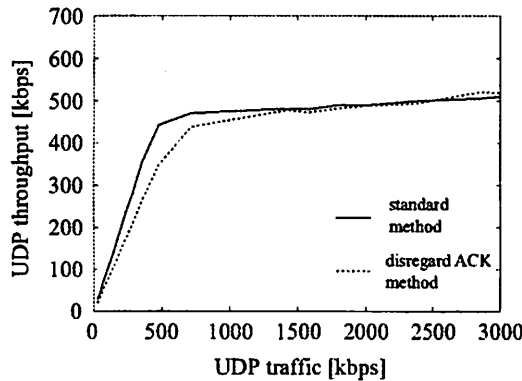


図 11: traffic-throughput 特性 ( $BER = 2.6 \times 10^{-5}$ )

よるパケット送信 1 回に要する時間の短縮と端末のバッファオーバーフローによるパケット破棄数の低減の 2 点が考えられる。さらに、ACK の省略はスループット向上以外にも遅延時間を短縮する効果が得られることを以下で説明する。

### 2.2.1 パケット送信 1 回に要する通信時間の短縮

既存方式における 1 回の端末間のパケット通信に要する平均時間  $T_{p(def)}$ <sup>1</sup> は、

$$\begin{aligned} T_{p(def)} &= DIFS + \text{バックオフ} + RTS + SIFS \\ &+ CTS + SIFS + DATA + SIFS \\ &+ ACK \\ &= 1591.5 \quad [\mu\text{sec}] \end{aligned}$$

一方、ACK 省略方式における 1 回の端末間のパケット通信に要する平均時間  $T_{p(noACK)}$  は、

$$\begin{aligned} T_{p(noACK)} &= DIFS + \text{バックオフ} + RTS \\ &+ SIFS + CTS + SIFS + DATA \\ &= 1379.3 \quad [\mu\text{sec}] \end{aligned}$$

になり、ACK を省略することにより約 13% 短くなる。これらから、既存方式に比べて ACK 省略方式の方が同時間で多くのパケットを送信することができるため、スループットが向上したと考えられる。

### 2.2.2 バッファオーバーフローの低減

高トラフィックでスループットに差が見られなかった原因として、既存方式において、高トラフィック

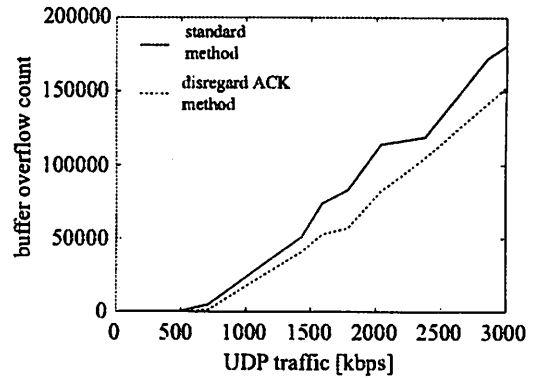


図 12: バッファオーバーフローによるパケットロス量

時に ACK 使用によりバッファオーバーフローが多く発生したためであると考えられる<sup>2</sup>。図 10 に各方式における  $T_p$  の長さを、図 11 に既存方式と比較方式のトラフィックスループット特性を、図 12 に許容量を超えによるバッファオーバーフローによるパケット破棄数を示す。ここで比較方式とは、前述のパケット送信時間の短縮による影響を排除し ACK の使用とバッファオーバーフローの影響を純粹に評価するために、既存方式と  $T_p$  の長さを変化させずに ACK の機能だけを排除した方式である。図 10 から高トラフィックにおけるスループットには差が見られず、ACK による再送制御ではスループットが向上しないことがわかる。IEEE802.11 では、データリンク層から MAC 層に到着したパケットは、一旦、バッファに格納される。格納されたパケットは正常に送信が完了すると破棄されるが、バッファは有限であるため許容量以上のパケットが到着した場合にはバッファに格納されずに破棄される。ACK を使用した場合、再送制御により通信が終了する時間が増加するためパケットの平均バッファ滞在時間も長くなる。結果として既存方式のバッファオーバーフローによるパケット破棄が増加するものと考えられる。

### 2.2.3 遅延時間の短縮

図 13, 14, 15, 16 に、既存方式と ACK 省略方式の UDP パケット送信遅延時間を示す。これらの図から、ACK を省略することにより高トラフィックで遅延時間が短くなることが分かる。UDP パケットは複数端末を經由して目的端末に到着するが、ACK を使用するとビット誤りによってロスしたパケットを再送制御により回復しようと試みるためにパケットの遅延時間は長くなる。これに対し、ACK 省略方式では再送制御を行わず、 $T_p$  も短い遅延時間が短くなったと考えられる。さらに、BER が増加することによって両方式の遅延時間の差が顕著になるため、ACK を使ってもスループットの向上は見込めない高トラフィックでは ACK を省略した方が良いと考えられる。

<sup>2</sup>IEEE802.11 における標準バッファ許容量は 1 端末当り 50 パケット。

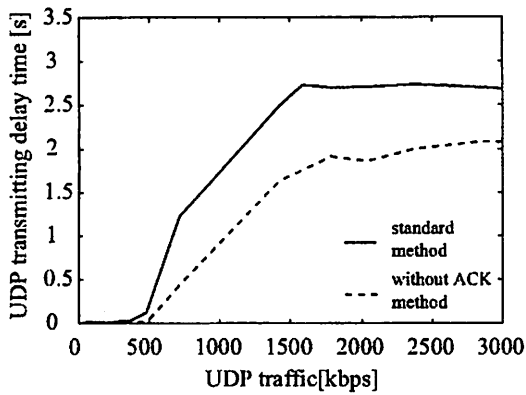


図 13: UDP パケット送信遅延時間 (BER =  $1.3 \times 10^{-5}$ )

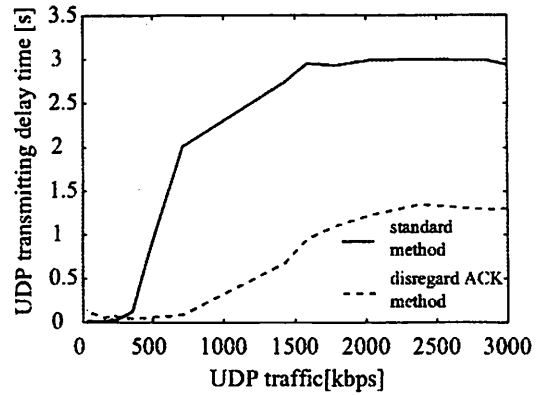


図 16: UDP パケット送信遅延時間 (BER =  $8.7 \times 10^{-5}$ )

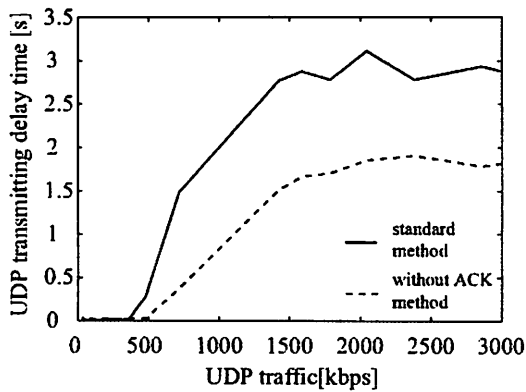


図 14: UDP パケット送信遅延時間 (BER =  $2.6 \times 10^{-5}$ )

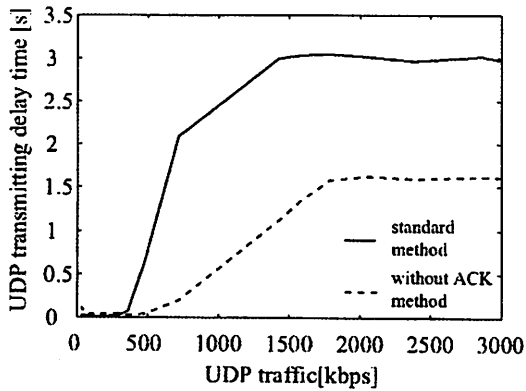


図 15: UDP パケット送信遅延時間 (BER =  $5.4 \times 10^{-5}$ )

高トラフィックでの ACK 省略は遅延時間の短縮に効果があることも確認した。チャンネルの利用率が一定値を超えると ACK を省略するなど、今後はトラフィック環境に応じて ACK 制御のオン/オフを切り替えるなどといった適応制御などの導入を検討していくつもりである。

### 参考文献

- [1] Editors of IEEE802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC and Physical Layer(PHY) specifications, Draft Standard)," IEEE802.11, 1997.
- [2] 重安 哲也, 松野 浩嗣, 森永 規彦, "IEEE802.11 マルチホップ環境下における ACK 運用の改良とその効果," 電気・情報関連学会中国支部連合大会公演論文集, pp.251-252(2003)
- [3] T, Sigeyasu, T, Hirakawa, H, Matsuno, and N, Morinaga, "Two simple modifications for improving IEEE802.11DCF throughput performance," IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2004, (in CD-ROM, 6pages), 2004.
- [4] T, Sigeyasu, T, Hirakawa, H, Matsuno, and N, Morinaga, "Evaluation of the ACK Process in IEEE802.11DCF," The 7th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications 2004 (WPMC04), (in CD-ROM, 5pages), 2004.

- [5] Network Simulator -2,  
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

### 3 おわりに

本稿では、IEEE802.11 の RTS/CTS オプション使用時における MAC レベルの ACK の効果を伝送誤りが発生する条件下で評価した。NS-2 を用いた計算機シミュレーション結果から、低トラフィック時にはチャンネル利用率が低いために ACK による再送制御が有効に機能しスループットが向上するが、高トラフィック時にはバッファオーバーフローにより ACK の効果が機能しないことから、ACK を省略することにより逆にスループットが向上した。さらに、