

マルチ伝送レート無線 LAN 環境における チャンネル占有時間公平化のための受信機会制御方式

山下 豊^{†1} 渡部 公介^{†1} 小室 信喜^{†1}
阪田 史郎^{†1} 塩田 茂雄^{†2} 村瀬 勉^{†3}

マルチ伝送レート無線 LAN(Local Area Network) 環境では, 高伝送レート端末のスループットが低伝送レート端末のスループット以下になる Performance Anomaly 問題が存在する. これは, 低伝送レート端末が, チャンネルを長く占有するために発生する. 本研究では, マルチ伝送レート無線 LAN 環境における Performance Anomaly 問題解決のためのチャンネル占有時間を公平にする受信機会制御を提案する.

提案方式では, 低伝送レート端末へ ACK フレームを返さない制御を用いることによって, 低伝送レート端末の送信機会を減らし, 高伝送レート端末の送信機会を増加させることにより, 異なる伝送レートの端末間のチャンネル占有時間を公平化する. シミュレーション評価により, 提案方式の有効性を示した.

Reserving Opportunities Control Scheme to Fair Occupying time of Channel in WLAN of Multi-rate coordination

YUTAKA YAMASHITA,^{†1} KOSUKE WATANABE,^{†1}
NOBUYOSHI KOMURO,^{†1} SHIRO SAKATA,^{†1}
SHIGEO SHIODA^{†2} and TUTOMU MURASE^{†3}

In WLAN with multiple transmission rates, performance anomaly problem that terminal's throughput of high transmission rate decreases lower than that of low transmission rate is likely to occur. This is because terminals of low transmission rate occupy the channel longer time. In order to solve this problem, this paper proposes a new control scheme for achieving the fairness of channel occupation time using Receiving Opportunities Control (ROC) scheme which the authors previously proposed. ROC, in which an AP intentionally does not send ACK frames even when the AP correctly receives the frames, reduces transmission opportunities of terminals with low transmission rate, and consequently increases the opportunities of terminals with high transmission rate. This control achieves the fair channel access among different transmission rate

terminals. Simulation results show the effectiveness of the proposed scheme.

1. はじめに

近年, PC や携帯電話などのモバイル端末の普及により IEEE802.11 DCF (Distributed Coordination Function)[1] による無線 LAN 通信が一般的になっている. IEEE802.11 DCF による通信は, より良い通信品質でデータの送受信を行うために, ARF(Auto Rate Fall-back) 機能により複数の伝送レートを切り替えて使用している. ARF の機能は, データの送信が成功するならば通信速度の速い高伝送レートを使用し, 失敗が多ければ雑音に強い低伝送レートを使用することで無線環境の変化に対応するものである.

ARF 機能によるマルチ伝送レート環境では, 全ての端末が同じサイズのパケットを送信する場合, 低伝送レート端末がチャンネルを長く占有することで, 高伝送レート端末のスループットを著しく減少させる Performance Anomaly 問題 [2,3] が発生する. Performance Anomaly 問題が発生する原因は, IEEE802.11 DCF の MAC プロトコルでは, 無線端末が使用する伝送レートに関わらず全ての無線端末が平等に送信権を得る制御をしているためである. 全ての無線端末が平等に送信権を得ることで, 送信回数が等しくなり同じ長さのデータを送る場合, 高伝送レート端末に対して, 低伝送レート端末が長くチャンネルを占有することで大きく性能が悪化することを導く.

本稿では, AP(Access Point) が ACK(ACKnowledgement) フレームを制御する ROC(Receiving Opportunities Control)[4] を使用することにより, 低伝送レート端末のデータフレームを破棄することで送信回数を低下させ, 高伝送レート端末の送信回数を上昇させることにより, 異なる伝送レート端末間のチャンネル占有時間を公平化し, Performance Anomaly 問題を解決する方式を提案する. シミュレーション評価により, 提案手法が従来手法と比較して, 各伝送レート端末間のチャンネル占有時間を公平化し, さらに総スループットが増加していることを示す.

^{†1} 千葉大学大学院 融合科学研究科

^{†2} 千葉大学大学院 工学研究科

^{†3} NEC システムプラットフォーム研究所

2. IEEE802.11 の概要

2.1 DCF

IEEE802.11 DCF は、無線 LAN における MAC(Media Access Control) 層で規定されている。MAC 層では、CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) というアクセス方式に基づき送信を行う。CSMA/CA では、まずキャリアセンスを行い DIFS(Distributed Inter Frame Space) 期間チャンネルが占有されていないアイドル状態であることを確認する。次に、0 から CW(Contention Window) の間のランダムに決定された値のスロット数分だけ送信を待機するランダムバックオフを行う。ランダムバックオフでは、チャンネルがアイドル状態であるならばカウントダウンを行い、チャンネルが占有されたビジー状態になれば、カウントダウンを停止し待機する。再びアイドル状態になったならば停止した続きからカウントダウンを再開し、カウントダウンが終了すると送信を行う。このようにすることで、端末同士の同時送信を回避し衝突を減少させる。

図 1 に IEEE802.11 DCF を用いた通信手順を示す。同じチャンネルを共有する STA1 と STA2 では、まずバックオフ期間の短い STA1 が送信権を得る。その時 STA2 は、チャンネルが占有されているビジー状態になったと検知しバックオフカウントダウンを止め待機する。この後 STA1 の通信が終了すると DIFS 期間後、各 STA はバックオフカウントダウンを行い、次に STA2 が送信権を得る。このような動作を行う IEEE802.11 DCF では、各端末は同じ回数の送信権が得られるように制御されている。

2.2 Performance Anomaly 問題

2.1 節で述べたように、それぞれの端末は IEEE802.11 DCF のチャンネルアクセス方式である CSMA/CA を使用することにより、平等に同じ回数の送信権を得ることができる。しかし、図 2 のように送信回数と同じ場合、マルチ伝送レート環境では、低伝送レート端末のチャンネル占有時間が高伝送レート端末のチャンネル占有時間より長くなってしまふ。これが

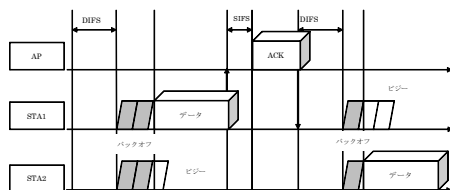


図 1 IEEE802.11 DCF.

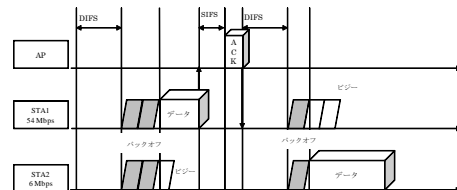


図 2 マルチ伝送レート環境.

原因で、高伝送レート端末のスループットが大幅に減少する問題が Performance Anomaly 問題である。

例えば、1 つの AP に同一チャンネルで伝送レート r_1 の端末と r_2 の端末が接続されている場合を考える。この時、各端末は常に送信するパケットを保持している Saturated 状態であり、送信するパケットサイズ L は同じであると仮定する。端末は DCF により通信しているため、 t 時間内に得られる送信機会数 m は伝送レートに関係なく等しい。よって各端末のチャンネル占有時間 t_i は、

$$t_i = mL/r_i \quad (2.1)$$

となる。式 2.1 に伝送レート r_1, r_2 を代入することにより端末 2 台の通信時間の合計が $t = mL/(r_1) + mL/(r_2)$ と求まる。また、各端末のスループット T_i は

$$T_i = mL/t \quad (2.2)$$

で求められる。式 2.2 に通信時間の合計 t を代入すると各端末のスループットが求められることから、伝送レートによらず全ての端末のスループットが等しいことが分かる。

ここで伝送レート r_1, r_2 をそれぞれ 54 Mbps, 6 Mbps とすると、各端末のスループットは約 5.5 Mbps となる。54 Mbps を使用する端末にとって端末 2 台で帯域をシェアする場合、スループットは伝送レート値の半分である 27 Mbps が理想的な値である。しかし計算値では、5.5 Mbps となっており 54 Mbps を使用する端末のスループットは大幅に低下している。また低下した値は、6 Mbps を使用する端末が 1 台で通信した時のスループットに近くなっている。

3. ROC(Received Opportunity Control)

ROC は、IEEE802.11 DCF における CSMA/CA の ACK フレーム制御とバックオフ再

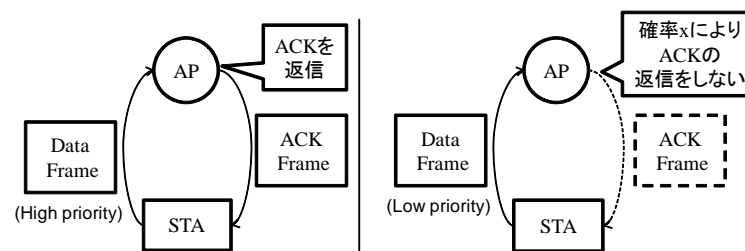


図 3 ROC.

送制御を利用して、フロー単位にフレーム送信率と、送信遅延、フレーム破棄の発生を制御するフロー QoS 制御手法である。

ROC のランダム受信拒否型では、図 3 に示すようにフレームによって決めた優先度に従い、AP が ACK フレームを確率的に返信しないことで、端末に再送を強いることができる。この時の ACK を返信しない確率を受信拒否確率と呼び x で表わす。再送時には、バックオフ再送制御により遅延が大きくなり、フレーム送信頻度が低下する。つまり、フロー単位に ACK フレームの返信確率を変えることで、フロー単位の遅延、送信機会、スループットの制御を行うことができる。

4. 提案手法

本稿では、ROC における優先フローを最大伝送レート端末、非優先フローをその他の低伝送レート端末として制御する。非優先フローは、伝送レートの違いによって異なる受信拒否確率をそれぞれ設定することにより、異なる優先度を与える。そして全ての無線端末間のチャンネル占有時間の公平化を行う。

4.1 アルゴリズム

提案方式では、AP が各端末のフローに対して ROC を使用することによって送信回数を制御する。そこで本研究における AP が端末へ行う制御を次のアルゴリズムに明記する。

アルゴリズム 1 で示すように、提案手法では接続端末が使用する最大伝送レートにより非優先端末へ適応する受信拒否確率を変動させる。ここで r は伝送レートを表し、表記の簡単化のため IEEE802.11a における伝送レート 54 Mbps から 6 Mbps をそれぞれ 0 から 7 で示す。

また、5 で示したように最大の伝送レートを使用している端末から一定期間データフレー

アルゴリズム 1: AP による端末への ROC	
1	: 端末による AP への通信開始
2	: AP は接続端末の最大伝送レートに従い受信拒否確率 $x[r]$ ($0 \leq r \leq 7$) をそれぞれ設定 (初期は全て 0 %)
3	: 端末からデータフレームを受信
4.1	: 接続端末の最大伝送レートと同じ伝送レートを使用しているならば、AP は端末へ ACK フレーム返信
4.2	: 最大伝送レートより高い伝送レートを使用しているならば、AP は端末へ ACK フレームを返信し 2 へ
4.3	: 最大伝送レートより低い伝送レートを使用している場合、AP は乱数を生成する
4.3.1	: 乱数の値が設定された受信拒否確率より高ければ、AP は端末へ ACK フレーム返信
4.3.2	: 乱数の値が設定された受信拒否確率より低ければ、AP は端末へ ACK フレームを返信しない
5	: 最大伝送レート端末からのデータフレームを一定期間受信しないならば 2 へ

ムを受信しないならば、次に高い伝送レートに従い再度受信拒否を設定することによりフローの変化に対応させる。この一定期間とは、最大伝送レート以外のある 1 台の低伝送レート端末へ 2 度 ACK フレームを返信する間とする。これは、端末の脱退を即座に判断することが難しいためであり、この様に決定した理由としては、最大伝送レート以外の端末へ 2 度 ACK を返信する間、最大伝送レート端末へ 1 度も ACK フレームを返信していないことは、最も優先度が高い最大伝送レート端末が通信を行っていないと判断できるためである。

4.2 受信拒否確率の導出

提案手法では、4.1 節で示したように AP が各伝送レートを使用する端末に対して、それぞれに受信拒否確率 $x[r]$ を設定する。設定する受信拒否確率は、ROC を使用した場合のスループットを解析的に導出する [5] の式に基づき、導出を行う。その導出方法を以下に示す。

受信拒否確率 x ($0 \leq x \leq 1$) と、ネットワークにおける衝突確率 γ ($0 \leq \gamma \leq 1$) を仮定する。仮定した衝突確率に対するフローの送信確率 P_{ti} を次の式により定義する。

$$P_{ti} = \frac{1 + \gamma + \gamma^2 + \gamma^3 + \gamma^4 + \gamma^5 + \gamma^6}{((CW_{min} + 1)/2) \times (1 + 2\gamma + 4\gamma^2 + 8\gamma^3 + 16\gamma^4 + 32\gamma^5 + 64\gamma^6)} \quad (4.1)$$

ここで、 CW_{min} はコンテンションウィンドサイズの最小値を表し、IEEE802.11a においては 15 である。次に式 4.1 で導出した P_{ti} と仮定した受信拒否確率 x より、受信拒否確率を考慮した場合の注目端末 j の衝突確率 $\gamma_{(lead)}$ を次の式で導出する。

$$\gamma_{(lead)} = 1 - (1 - x[r]) \times \prod_{i \neq j}^N (1 - P_{ti}(\gamma)) \quad (4.2)$$

ここで、 N は端末数を示す。仮定した γ と式 4.2 から求まる $\gamma_{(lead)}$ とが一致する値を求めることにより、仮定した受信拒否確率におけるネットワークの衝突確率を導出する。また、導出した衝突確率を式 4.1 に代入することにより送信確率 P_{ti} を求める。

次に P_{ti} より、アイドル状態である確率 P_{idle} 、受信拒否を適用しない最大伝送レート ($r = MAX$, $0 \leq MAX \leq 6$) と受信拒否を適用する低伝送レート ($MAX < r \leq 7$) におけるフロー i の送信成功確率 $P_{si}[r]$ を次のように求める。

$$P_{idle} = \prod_{i=1}^N (1 - P_{ti}) \quad (4.3)$$

$$P_{si}[r] = (1 - x[r]) P_{ti} \times \prod_{i=1}^{N-1} (1 - P_{ti}) \quad (4.4)$$

式 4.3, 4.4 より、任意のスロットの送信成功確率 $P_s[r]$ と送信失敗確率 $P_c[r]$ 、フロー i

のバケットロス率 P_{li} を次のように求める.

$$P_s[r] = \sum_{i=1}^N P_{si}[r] \quad (4.5)$$

$$P_c[r] = 1 - P_{idle} - P_s[r] \quad (4.6)$$

$$P_{li}[r] = \left(\frac{P_c[r]}{N} \right)^{RetryLimit} \quad (4.7)$$

以上の求めた値と各伝送レートにおける IEEE802.11a でのデータペイロード長の送信時間 $E[r]$ と送信失敗時間 $T_c[r]$, 送信成功時間 $T_s[r]$, 1 スロット時間 ST より, ある時間内における伝送レート r 端末の占める, 送信時間の割合 $T[r]$ を次の式で導出する.

$$T[r] = \frac{(P_{si}[r] \times (1 - P_{li}[r])) \times E[r]}{P_c \times T_c[r] + P_{idle} \times ST + P_s[r] \times T_s[r]} \quad (4.8)$$

式 4.8 により求めた $T[r] (MAX < r \leq 7)$ の値がそれぞれ, 最高伝送レート端末の値 $T[r] (r = MAX)$ と等しいならば公平性が達成される. よって, その条件を各低伝送レート端末が満たす受信拒否確率をそれぞれ求め, 求めた値を受信拒否確率として使用する.

ここで導出する受信拒否確率は, 最大伝送レートのみによって変化し, フロー数には依存しない. これは, 受信拒否により低伝送レート端末の送信回数が減少し, その時のチャンネル占有時間が最大伝送レート端末のチャンネル占有時間と一致するためである.

4.3 AP における受信拒否確率の設定

4.2 節で求めた受信拒否確率を AP はテーブルとして保持する. その AP が持つ受信拒否確率設定テーブルを表 1 に示す.

表 1 に示すように AP は, 接続している端末において最大の伝送レートを使用している端末へは受信拒否確率を 0% と設定し, ROC を適用しない. また, 最大伝送レートに値が

表 1 AP の持つ受信拒否確率設定テーブル

AP に接続する STA の最大伝送レート [Mbps]	54	48	36	24	18	12	9	6
54 Mbps を使用する STA への受信拒否確率 [%]	0	0	0	0	0	0	0	0
48 Mbps を使用する STA への受信拒否確率 [%]	4	0	0	0	0	0	0	0
36 Mbps を使用する STA への受信拒否確率 [%]	11	8	0	0	0	0	0	0
24 Mbps を使用する STA への受信拒否確率 [%]	20	16	8	0	0	0	0	0
18 Mbps を使用する STA への受信拒否確率 [%]	24	20	13	4	0	0	0	0
12 Mbps を使用する STA への受信拒否確率 [%]	29	25	17	9	5	0	0	0
9 Mbps を使用する STA への受信拒否確率 [%]	32	28	20	11	7	2	0	0
6 Mbps を使用する STA への受信拒否確率 [%]	35	31	22	14	9	5	2	0

表 2 端末の使用伝送レートと AP からの距離

端末の伝送レート [Mbps]	54	48	36	24	18	12	9	6
AP からの距離 [m]	5	7	9	20	25	40	50	60

近い程受信拒否確率は低くなり, 遠い程受信拒否確率は高くなる. これにより, 非優先フロー内においても優先度が設定される. 例えば, AP に接続している端末の使用する最大伝送レートが 36 Mbps であれば, 24 Mbps, 18 Mbps, 12 Mbps, 9 Mbps, 6 Mbps を使用する端末にそれぞれ 8, 13, 17, 20, 22% と設定する. この様に非優先の中でも高い, 24 Mbps を使用する端末には受信拒否確率を低く設定し, 非優先の中で最も低い, 6 Mbps を使用する端末には受信拒否確率を高く設定する.

以上のようなきめ細かい設定により, 各端末間でのチャンネル占有時間の公平化を行う.

4.4 公平性の評価

本研究において公平性の評価方法として, スループットの公平性を評価する手法である Jain's Fairness Index を引用する. Jain's Fairness Index における各端末のスループットを各端末におけるチャンネル占有時間に置き換え次のように定義する.

$$f(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (4.9)$$

式 (4.9) にシミュレーションにより求めたチャンネル占有時間を代入することにより, 公平性の評価を行う.

5. シミュレーション評価

5.1 シミュレーション条件

提案手法の有効性を確認するために, ネットワークシミュレータ QualNet4.5 による評価を行った. 提案手法のほかに, 既存の IEEE802.11DCF についてもシミュレーションを行い評価対象とする. シミュレーション環境は, 端末と AP が通信を行うスター型のトポロジを使用する. シミュレーションシナリオ 1 では図 4 に示すトポロジを使用し, 54 Mbps の端末 1 台に対して他の低伝送レートが 1 台の計 2 台が通信する状況を想定する. シミュレーションシナリオ 2 では図 5 に示すトポロジを使用し, すべての伝送レートが通信を行う状況と高伝送レート端末から 1 台ずつ脱退させた状況を想定する. 端末の AP からの距離と伝送レートの関係は, [6] を参考し, 表 2 のように 0~60m の間に配置する. この時, 端末の伝送レートは距離にのみ依存するものとして取り扱う.

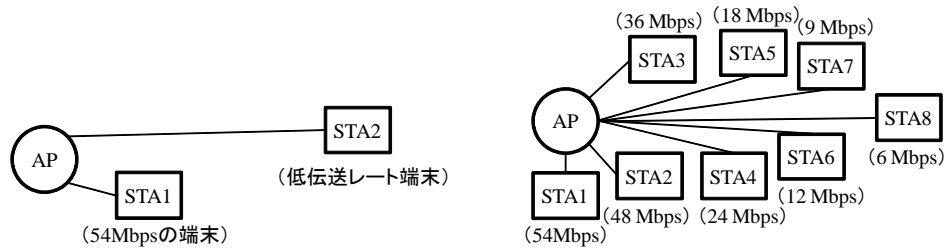


図 4 シミュレーショントポロジ:シナリオ 1.

図 5 シミュレーショントポロジ:シナリオ 2.

表 3 シミュレーション諸元

パラメータ	値	パラメータ	値
MAC protocol	IEEE802.11a	SIFS	16 μ s
A slot time	9 μ s	DIFS	34 μ s
CW_{min}	15	CW_{max}	1023
Simulation time	30s	ペイロードサイズ	1500byte
Phyheader size	15byte	MACheader size	24byte
Retry limit	7	RTS/CTS	なし
隠れ端末	なし		

表 3 にシミュレーション諸元を示す. 本研究では, IEEE802.11a を使用するためスロットタイムと SIFS, DIFS, CW_{min} , CW_{max} は, それぞれ 9 μ s, 16 μ s, 34 μ s, 15, 1023 となる. また, データペイロードサイズは 1500 byte, 物理ヘッダーサイズは 15 byte, MAC ヘッダーサイズは 24 byte, リトライリミットは 7 とし, シミュレーション時間は 30 s, 隠れ端末は無く, RTS/CTS は使用しないものとする.

シミュレーションにおける評価項目は, チャンネル占有時間の公平性, 各端末のスループット, 総スループットの 3 つである.

5.2 シミュレーション結果

シナリオ 1 のシミュレーション結果を以下に示す.

図 6, 7 は, 既存方式と提案方式における各端末のスループットを示す. 図 6 が示すように 54 Mbps 端末と同じ AP に接続する端末のスループットが低伝送レートになっていくと, その低伝送レート端末のスループットに従い, 減少 54 Mbps 端末のスループットが減少していく. 図 7 で示す提案方式では, 常に 54 Mbps 端末が高いスループットを得られることが分かる. ここで同じ AP に接続する端末の伝送レートが減少していくと若干スループット

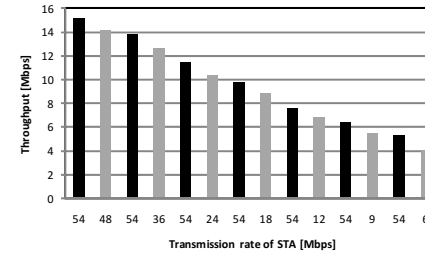


図 6 既存方式における端末のスループット:シナリオ 1.

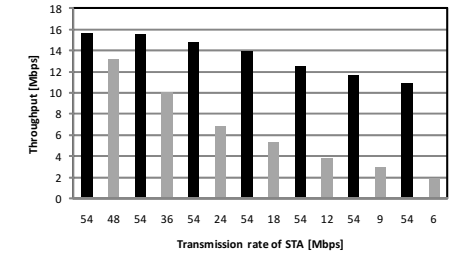


図 7 提案方式における端末のスループット:シナリオ 1.

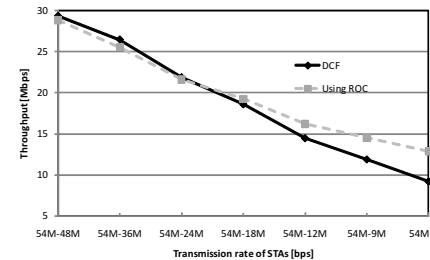


図 8 各方式における総スループット:シナリオ 1.

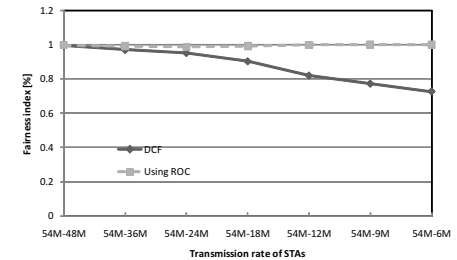


図 9 Fairness index:シナリオ 1.

が減少する原因としては, 低伝送レート端末程チャンネルを占有する時間が長いためである.

図 8 は, 各方式における総スループットを示す. 横軸の値 54M - 48M は, 54Mbps 端末と 48Mbps 端末が 1 対 1 で通信していることを表す. この結果では, ROC を使用する提案方式は, 54 Mbps 端末とそれぞれ 18, 12, 9, 6Mbps 端末が同一 AP で通信している場合, 総スループットが DCF による既存方式より高くなっている. これは, 高伝送レートである 54 Mbps のチャンネル占有時間が増えたことにより, 高速で通信する時間が長くなったためであると考えられる. 一方, 既存手法は, 54 Mbps 端末とそれぞれ 48, 36, 24 Mbps 端末が同一 AP で通信している場合, 総スループットが高くなっている. これは, 高伝送レートの送信時間が増える効果より, ROC 適用によるフレームロスの効果が大きいためである.

図 9 は, 54 Mbps と各低伝送レート端末が同一 AP で通信した場合のチャンネル占有時間の公平性を示す. この結果が示すように, DCF による既存方式は, 54 Mbps 端末に対する伝送レートが低くなると公平性が低くなる. 一方 ROC を使用する提案方式は, 伝送レートが変化しても高い公平性を保つ. その値は, 常に 99% であった.

次にシナリオ 2 の結果を以下に示す。

図 10, 11 は各方式における端末のスループットを示す。DCF のみの既存方式の結果を表す図 10 では、同一の AP に接続している端末のスループットは、伝送レートによって違いがあるもののそれぞれ近い値になっている。一方 ROC を使用する提案方式の結果を示す図 11 では、伝送レートにより得られるスループットの差が大きくなっている。しかし、高伝送レートが脱退していくと、その効果は小さくなっている。これは、シナリオ 1 の結果同様、伝送レート差が小さくなっていくためだと考えられる

図 12 は各方式における総スループットを示す。横軸の 56 - 6 は、56Mbps から 6Mbps の端末がそれぞれ 1 台通信していることを表す。提案方式は、全伝送レートが通信している場合既存方式より総スループットが高くなっている。しかし高伝送レート端末が脱退していくと既存方式より若干値は低くなる。これは、図 11 同様、伝送レート差が近いと ROC による効果が低いためである。

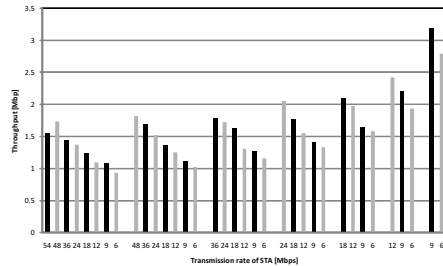


図 10 既存方式における端末のスループット:シナリオ 2.

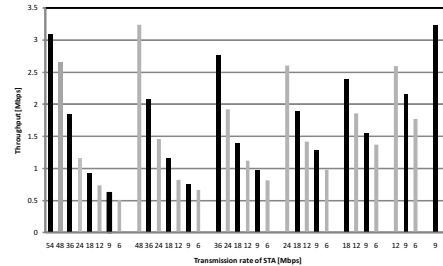


図 11 提案方式における端末のスループット:シナリオ 2.

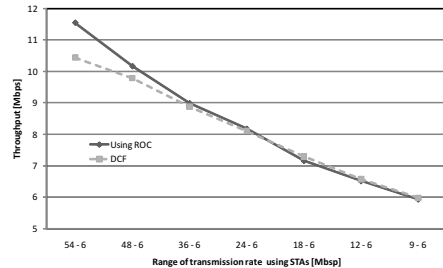


図 12 各方式における総スループット:シナリオ 2.

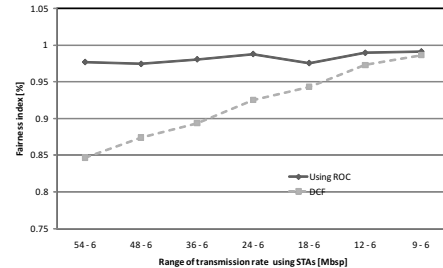


図 13 Fairness index:シナリオ 2.

図 13 に各方式における公平性を示す。提案方式では常に一定の公平性が保たれており、その値は 0.97% 以上である。一方既存方式では、高伝送レートと低伝送レートの差が大きいほど公平性が悪くなっている。また、伝送レート差が 1 段階しかない 9 Mbps と 6 Mbps が通信している場合には、ほとんど提案方式と同じ公平性になっており、Performance Anomaly による影響がほとんど起こっていないと分かる。これは、図 10 から図 12 の結果を見ても同じことが言える。

6. ま と め

本稿では、マルチ伝送レートを使用する無線 LAN において ROC を使用することにより Performance Anomaly 問題を解決する方式を提案した。提案方式は、マルチ伝送レート環境において、低伝送レート端末に対して受信拒否を行うことにより端末間のチャンネル占有時間を公平化する。また、各伝送レートに対してそれぞれ受信拒否確率を設定することによりきめ細かい制御を行うことができる。シミュレーション評価により、提案方式が既存方式と比較して通信する端末の伝送レートが変化しても常に高いチャンネル占有時間の公平性を維持することを示した。

参 考 文 献

- 1) “IEEE Standard 802.11:Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications,,” IEEE 802.11 Std.,1999.
- 2) Heusse M, Rousseau F, Berger-Sabbatel G, Duda A, “Performance Anomaly of 802.11b,” Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies, , March 2003
- 3) Murad Abusubaih, “On Performance Anomaly in 802.11 Wireless LANs: Problem and Solution Approaches”, Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, pp. 208-212, July 2010.
- 4) 村瀬 勉, 平野 由美, 塩田 茂雄, 阪田 史郎, “フロー QoS のための無線 LAN MAC フレームの受信機会制御方法の提案,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, pp.43-48, December, 2007.
- 5) 渡部 公介, 小室 信喜, 村瀬 勉, 塩田 茂雄, 阪田 史郎, 村瀬 勉, “IEEE 802.11e 端末, DCF 端末の混在環境における受信機会制御による動的 QoS 制御,” Multimedia, Distributed, Cooperative, and Mobile Symposium, July, 2011.
- 6) Miki F, Nobayoshi D, Fukuda y, Ikenaga T, “Performance Evaluation of Multi-Rate Communication in Wireless LANs”, Consumer Communications and Networking Conference , pp. 9-12, Jan, 2010.