社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE.

無線端末の周辺情報を利用したMAC層における マルチプルアクセス手法の一検討

松本　真紀子†　　小口　正人†

† お茶の水女子大学　〒105–0123 東京都文京区大塚 2–1–1
E-mail: †makiko@ogl.is.ocha.ac.jp，oguchi@computer.org

あらまし　センサの高精度化，多様化が進み，センサ情報を基に周辺状況を考慮した，高度なサービス提供に関する研究が近年盛んに行われている．一方で，無線通信システムでは通信環境に関係なく多くのパラメータは規格ごとに一意に値が設定されているため，周辺情報をパラメータ設定に利用することで，通信効率の改善が期待できる．本研究では CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) のバックオフ制御に着目し，Contention Window 初期値（CWmin）の設定に周辺情報を使用することした．設定方法の一つとして，既存手法の Bianchi モデルがあるが，ネットワーク上の全端末が同一条件である理想的な環境を想定している．そこで本研究ではより実環境に近い環境を想定し，端末の通信条件が CWmin の設定に及ぼす影響をシミュレーションにて検証した．
キーワード　CSMA/CA，バックオフ制御，Contention Window

A Study on Multiple Access in MAC Layer based on Surrounding Conditions of Wireless Terminals

Makiko MATSUMOTO† and Masato OGUCHI†

† Ochanomizu University　Ohtsuka 2–1–1, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-0012 Japan
E-mail: †makiko@ogl.is.ocha.ac.jp，oguchi@computer.org

Abstract　In recent years, intelligent services that consider surrounding conditions based on sensor information have been studied extensively. On the other hand, many parameters of wireless communication are uniquely configured, regardless of the communication environment. In this paper, we have proposed to configure parameters using information about surrounding conditions for improving communication efficiency. We have focused on back-off algorithm of CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) , and set initial Contention Window (CWmin) properly using it. While Bianchi Model that is one of approaches to calculate CWmin had been proposed, it assumed that all wireless terminals were the same performance and under the same environment. Hence we have evaluated impact of communication condition by deciding CWmin under scenarios which are closer to real environment by simulations.
Key words　CSMA/CA，Back off，Contention Window

1. はじめに

近年，多種多様なセンサが普及し，多岐にわたる情報を収集できるようになっただけでなく，各種センサの精度も高まり，それらのセンサを複数組み合わせることで，人や端末の置かれている状況をコンピュータが詳細に理解できるようになってきている．コンテキストアウェアネスはその代表例で，センサから得られる環境情報をもとに，ユーザの置かれている状況を判断，理解し，ユーザに適切なサービスを提供する．このようにセンサ情報を利用した高度なサービス提供に関する研究が近年盛んに行われている．現在，無線通信システムの多くのパラメータは規格ごとに一意に値が設定されているが，コンテキストアウェアネスと同様に周辺情報をパラメータ設定に利用することで，通信効率の改善が期待できる．そこで本研究では，周辺状況を無線端末が利用できる環境を想定し，周辺情報を利用した通信効率の改善方法の検討を行う．

MAC プロトコルの中でも DCF (Distributed Coordination Function) は最も基礎的でメカニズムがシンプルであるが，一

つのキャリアに多数の端末からのアクセスが集中した場合に利用可能なチャネル帯域を有効に利用できないといった問題点がある．その要因として，CSMA/CA における Contention Window 初期値（CWmin）が，チャネル上の端末数に関わらず固定されていることが考えられる．CWmin は端末数にあった適切な値に設定されていることが理想的であるが，現時点の IEEE 802.11 では無線規格ごとに CWmin が固定されている．そのためパケット衝突を繰り返し，本来利用可能なリソースを最大限に利用できていない．

そこで本稿では環境情報として得られる周辺端末情報を利用し，CWmin を周辺端末数に応じて設定することによって通信リソースを効率的に利用できると考え Bianchi モデル [2] を用いた CWmin の設定を行った．しかし，文献 [2] では本モデルの理想的な環境下における評価に留まっている．そこで本研究では理想的環境下において文献 [2] では評価されていなかった再送回数や CW の挙動，バックオフ時間の挙動などの様々な観点からの評価を行い，さらに各端末の状況が異なる，より実環境に近い環境下における評価を行った．

2. 既存アクセス手法とその問題点

2.1 CSMA/CA 概要

MAC 層において最も重要な機能の一つが無線チャネルアクセス制御である．IEEE 802.11 系無線 LAN の無線チャネルアクセス制御はランダムアクセスによるコンテンション方式をベースとした CSMA/CA が主で，CSMA/CA では各端末がパケットの送信を行う場合，事前にキャリアの使用状況をセンシングし，一定期間未使用であれば送信を開始する．また，他の端末が無線チャネルを使用中の場合は未使用になるまで送信を延期することで端末間のパケット衝突を回避している．CSMA/CA では一定時間のキャリアセンスにおいてパケット衝突を回避するためにバックオフ制御が行われている．バックオフ制御ではパケットを送信しようとしている各端末は，一定時間チャネルが idle 状態になった後に規定の CW 範囲内で乱数を発生させ，その乱数をもとにしたランダム時間 (バックオフ時間) だけさらにキャリアセンスを行う．バックオフ時間が最も短かった端末が送信権を獲得し送信を開始する．このようにキャリアセンスをランダム時間だけ行うことにより，各端末には公平な送信機会が与えられる．パケットが衝突した場合には再送ごとに CW の値が式 (1) にあるように 2 進指数関数で増加する．

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

n：再送回数

パケットの衝突時に式（1）に従い CW の値を増加させ，乱数の取りうる幅を広げることで，次の再送時に他の端末と再度送信タイミングが一致する確率を軽減している．また，パケット転送が成功した際には CW を CWmin にリセットする [1].

2.2 端末数の増加に伴う性能低下

1. 章で述べたように CWmin は無線規格ごとにその値は決まっているが，同一キャリア上に存在する端末が比較的少ない場合，CWmin が既存値であっても各端末間のバックオフ値が重複し，パケットの衝突，再送が起こる可能性は低いため通信効率に問題はない．しかし，同一キャリア上の端末数が非常に多い場合，端末数に対して CWmin が小さいため，いくつかの端末間で送信タイミングが重複し，パケット衝突が発生する可能性が高くなる．また，端末数が非常に多いとパケット送信までに複数回再送を繰り返しやすくなり，再送を繰り返した分だけ時間を浪費してしまう．さらに，再送を繰り返しパケット衝突が起きなくなるまで CW の値を増加させても，次に新しいパケットを送信する時には CW は CWmin にリセットされてしまうため，次のパケット送信時にも同様に再送を繰り返し，パケットを送信する度に不要な待ち時間が発生する．以上のことからネットワーク上の端末数の増加に伴いネットワーク全体のスループットも低下してしまう．

2.3 CWmin の設定

既存の CSMA/CA では無線機が周囲の状況を判断できることを想定しないため, 端末数に関わらず CWmin が一定値に設定されていた．しかし，本稿では複数のセンサやビデオ情報から周辺状況に関する情報を取得できることを想定しているため，既存の CSMA/CA のように CWmin を一定値に設定する必要はない．そこで本稿では CWmin を端末数に応じて適切に設定することで度重なるパケット衝突による不要な待ち時間を軽減し，通信効率の改善を目指す．

端末数に応じた CWmin の設定に関して文献 [2] の Bianchi モデルが提案されている．本モデルでは，各端末においてパケット送信時にコンスタントかつ独立的にパケット衝突が発生すると仮定し，その上でパケット衝突確率やパケット送信確率などの複数の確率を利用して端末数ごとの最適な CWmin (CW_{min}) を式 (2) と定義している．

$$CW_{min} = N\sqrt{2T_c/SlotTime} \qquad (2)$$

$T_c = MAC_{hdr}+PHY_{hdr}+Payload+DIFS+\ \delta$
N：ネットワーク上の端末数
MAC_{hdr}: MAC ヘッダ
PHY_{hdr}: 物理ヘッダ
$Payload$：パケットペイロード
δ：伝送遅延

3. 基 礎 検 証

送信端末の性能やアクセスポイント（AP）までの距離が全て等しい，理想的な環境における CWmin のスループットへの影響と，CWmin を適切に設定したときの効果をネットワークシミュレータ Qualnet4.5 [3] を用いて検証する．

3.1 シミュレーション環境

シミュレーションでは配置した全端末から 1 つの AP へパケットを継続的に送信し続けるシナリオを想定しており，各端末の配置図は図 1 の通りである．また各種パラメータ設定を表 1 に示す．

3.2 適切な CWmin の設定

端末数 10〜50 において CWmin を 15〜800 に変化させた場合の端末全体の総スループットの測定を行った（図 2）．図 2 で

表 1　設定パラメータ

Simulation Time	180sec
パケットサイズ	1Kbyte
パケット送信間隔	1msec
無線規格	IEEE 802.11a
Data Rate	54Mbps
周波数	5.2GHz
トランスポートプロトコル	UDP

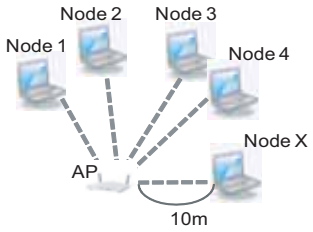

図 1　端 末 配 置

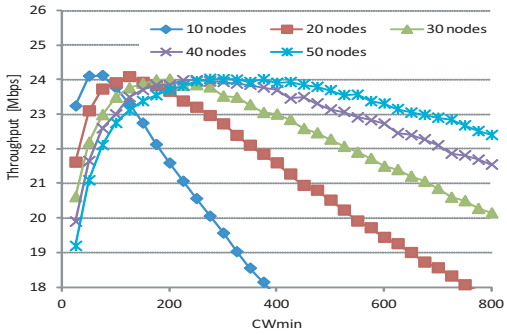

図 2　Simulation における CWmin とスループットの相関性

表 2　CWmin の比較

端末数	10	20	30	40	50
Simulation	50〜75	100〜150	175〜225	225〜300	175〜375
Bianchi	70	134	198	262	325

は通常の CSMA/CA Basic 方式（送信権獲得時に通常データパケットを用いる方式）を用いている．

無線規格に IEEE 802.11a を用いているため，CWmin の規定値は 15 であるが，図 2 より端末数が 10 以上の場合，CWmin が規定値のままでは性能を十分に発揮できていないことが分かる．また，CWmin を適切に設定することにより性能の向上が見込めることが確認できる．表 2 ではシミュレーション結果から得た，総スループットを最大にする CWmin の値と，Bianchi モデルを利用して算出した CWmin の比較を行っている．表 2 より，端末数 10〜50 において双方の値はほぼ一致しており，Bianchi モデルは有用であると判断できる．詳細については文献 [4] にて報告済みである．よって以降 Bianchi モデルを用いて端末数に応じた CWmin の設定を行うこととした．

3.3　適切な CWmin 設定の評価

3.3.1　再送による浪費時間の軽減

一般的な AP の最大接続台数である端末数 50 の時の通信を例に挙げ, その時の任意の端末における CW の挙動を測定した．

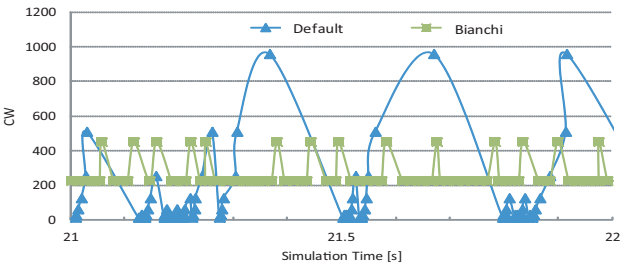

図 3　CW の挙動の比較

通信には Basic 方式を用いている．通信が安定した時の CW の挙動の一例としてシミュレーション時間 21sec〜22sec の 1 秒間の様子を図 3 に示す．再送が行われると CW は上昇し，パケット送信が完了した場合のみ CW は CWmin まで減少する．デフォルトの場合，図 3 より最大 6 回衝突を繰り返しており，一度再送が起こると最大で 133msec 時間を浪費し，衝突がない場合と比べてパケット送信に最大約 34 倍の時間がかかる．また全体のうち平均約 43.2 %の時間を再送により浪費している．それに対し，Bianchi モデルを適用した場合，再送回数は最大 2 回に抑制されており，浪費時間は最大でも約 15msec，衝突がない場合と比較してパケット送信時にかかる時間も 3 倍に抑制できている．また浪費時間も全体のうち平均約 11 %にとどまっている．このことから CWmin を適切に設定することにより再送回数を抑制し，再送による無駄な時間が著しく削減できていることが分かる．また，通信方式を RTS-CTS 方式（送信権獲得時に RTS パケットを用いる方式）に変更して CW の挙動を測定したところ，RTS-CTS 方式においても同様の結果が得られた．

次に，他のすべての端末数における，CWmin のパケット再送への影響を調べるために，各端末数において再送確率を測定した（図 4）．デフォルトの場合，端末数が増加するのに伴い，再送確率の著しい上昇が確認できる．それに対して Bianchi モデルを適用した場合，端末数が増加しても再送確率はほぼ一定に保たれている．これより CWmin を適切に設定することで，端末数が増加しても再送確率は端末数 10 の場合とほぼ変わらず，デフォルトの場合に見られる端末数の増加に伴う再送確率の上昇を抑制できていることが確認できた．以上のことから，CWmin が再送確率に大きく影響しており，CWmin の適切な設定によりパケットの再送抑制において一定の効果が得られることが分かった．

3.3.2　パケット送信時間の比較

CWmin のパケット送信時間への影響を調べるために，端末数 50 の時の任意の端末におけるバックオフ時間の挙動を測定した（図 5）．図 5 は Basic 方式を利用して通信を行った時の，通信が安定したシミュレーション時間 21sec〜22sec の 1 秒間におけるバックオフ時間の挙動を表している．シミュレーション時間 21.6sec あたりでデフォルトの場合のバックオフ時間と Bianchi モデルを適用した場合のバックオフ時間がほぼ同等の値になっている．しかし，同等のバックオフ時間であるにも関わらず，Bianchi モデルを適用した場合，デフォルトの場合と

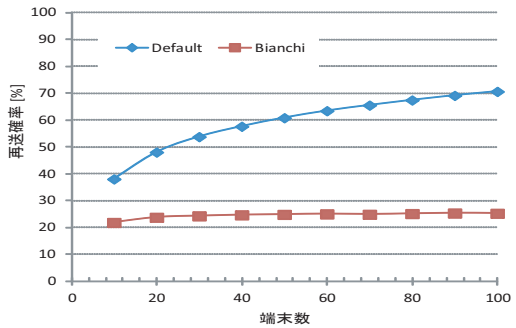

図 4　再送確率の比較

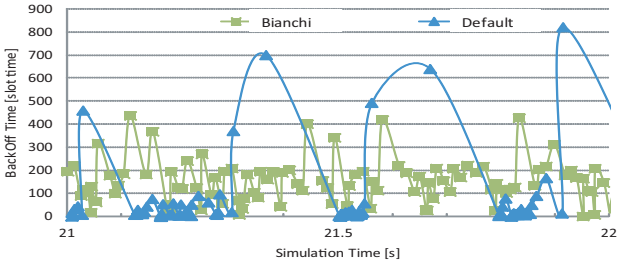

図 5　バックオフ時間の比較

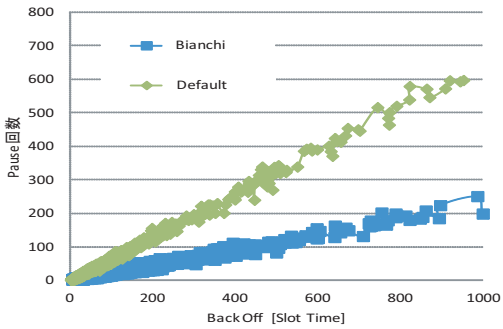

図 6　一時停止回数の比較

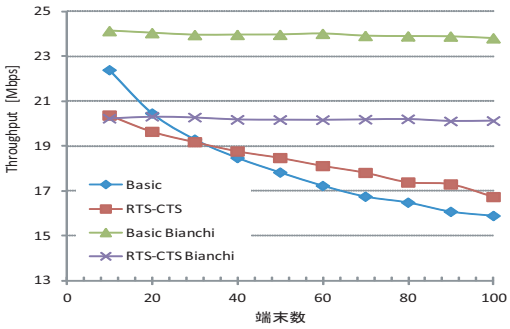

図 7　デフォルト時と Bianchi モデル適応時の性能比較

比較して，パケットの送信までにかかる時間が圧倒的に少ないことが分かる．CSMA/CA ではバックオフ時間をカウント中，他端末がパケット送信を行っている間は一度カウンタを一時停止させ，他端末のパケット送信が終了してから再度カウンタを再開させている．そのため同等のバックオフ時間が設定された場合でも，パケット送信までにかかる時間は変わってくる．そこでデフォルトの場合と，Bianchi モデルを適用した場合の双方の場合において，各バックオフ時間における一時停止回数を調べた（図 6）．図 6 より Bianchi モデルを適用した場合，デフォルトと比較して各バックオフ時間においてカウンタの一時停止回数が著しく軽減できていることが分かる．

デフォルトの場合，パケット送信が成功すると，CW は規定の CWmin15 にリセットされるため，他端末がパケット送信を終えると再度その端末がパケット送信する確率は高くなる．そのためデフォルトの場合は比較的長いバックオフ時間が設定されると，バックオフ時間のカウント中にカウンタが一時停止になる回数は多くなってしまう．それに対し，Bianchi モデルを用いた場合，他端末のパケット送信が成功して CW がリセットされたとしても，CWmin が端末数に適した値に設定されているため，他端末が再度パケット送信する確率を抑えることができていると考えられる．以上のことより Bianchi モデルを用いて CWmin を設定することは，パケット送信にかかる時間の短縮に有効であるといえる．

3.3.3　総スループットの比較

Basic 方式，RTS-CTS 方式に Bianchi モデルを適用し，端末数ごと (10〜100) に CWmin を設定して通信した場合と，デフォルトの CWmin を用いた通常の Basic 方式，RTS-CTS 方式で通信した場合の端末全体の総スループットにおける通信性能の比較を行った（図 7）．図 7 より，Bianchi モデルを適用することにより，デフォルトの場合に見られた端末数の増加に伴う総スループットの低下が抑制されることが分かる．よって，端末数に応じた CWmin の設定を行うことで，ネットワーク全体の通信性能においても一定の効果が得られるといえるが，これは 3.3.1，3.3.2 に述べたことが複合的に関係した結果であると考えられる．

4.　端末条件を変化させた場合の検証

本章では，より現実的な環境を想定した評価を行うために，ネットワーク上に存在する各端末の条件が異なる環境を想定したシミュレーション評価を行った．本研究では以下の二つの条件を端末ごとに変化させ，検証を行う．

条件 1：AP からの距離

条件 2：AP からの距離と距離に応じた伝送レート

また，本章ではネットワーク全体の通信効率だけでなく，各端末の条件の違いから生じる通信性能の公平性についても述べる．

4.1　条件 1：AP と端末間の距離が異なる場合の検証

4.1.1　シミュレーション環境

AP の周囲半径 250m に任意数の端末をランダムに配置し，距離のみの影響を調べるために全端末の伝送レートを 6Mbps に固定してシミュレーションを行った．伝送レート以外のパラメータについては表 1 の値を用いている．

4.1.2　評 価 結 果

まず，ネットワーク上の端末数が増加した場合のスループットを図 8 に示す．Bianchi モデルを用いることにより，各端末と AP 間の距離が異なる条件においても，端末数の増加に伴う

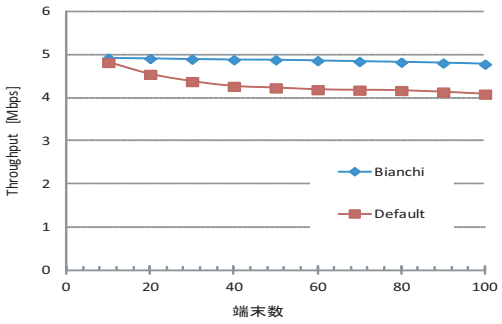

図 8　AP と各端末間の距離が異なる場合のデフォルト時と Bianchi モデル適応時の性能比較

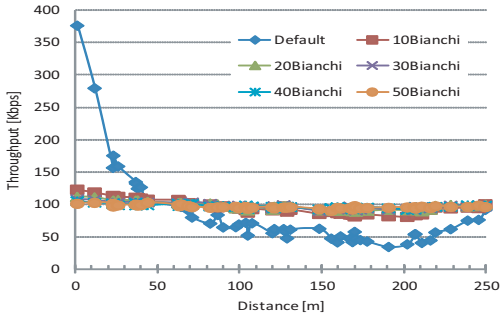

図 9　AP からの距離に応じたスループット

スループット低下が抑制できることが分かる．

次に，端末間の公平性について端末数 50 の場合を例にとり説明する．図 9 に各距離に配置された端末スループット，図 10 に各端末におけるシグナルエラーの値を示す．デフォルト場合，図 9 より AP からの距離が遠い端末ほどスループットが低下しているのが分かる．これは図 10 にあるように，AP からの距離が遠ざかり伝搬衰弱・電波干渉が増したためである．それに対して Bianchi モデルを用いた場合，いかなる距離においても距離の影響を受けずスループットを公平に分けあえていることが確認できる．これは CWmin を適切に設定することにより無駄な衝突が少なくなり，その分電波干渉が減ったため，AP から離れたところに配置された端末と AP との間の電波環境が向上したためであると考えられる．以上のことから，各端末と AP 間の距離がそれぞれ異なる場合においても Bianchi モデルを用いることによって，公平性，ネットワーク全体の通信性能の面において効果が得られることがわかる．

4.2　条件 2：AP からの距離と伝送レートが異なる場合

実環境においては端末と AP の距離が異なるだけでなく，ネットワーク上に存在する端末の伝送レートは様々である．しかし，Bianchi モデルを用いた場合，式 (2) においてパケットの伝送時間が式に反映されるため，伝送レートが CWmin の設定に大きく関わる．そこで Bianchi モデルの CWmin 算出時に利用する伝送レートのネットワーク全体の総スループットへの影響，各端末間の公平性への影響を検証する．また，伝送レートが変わることで端末ごとにアクセス頻度が異なってくることが考えられるため，全ての端末を同等に扱うべきかが問題となる．そのため，本シミュレーションでは Bianchi モデルを用いた CWmin の算出時に使用する N（N：ネットワーク上の端末数）を，実際のネットワーク上の端末数とは異なる値に設定した場合の効果についても検証した．

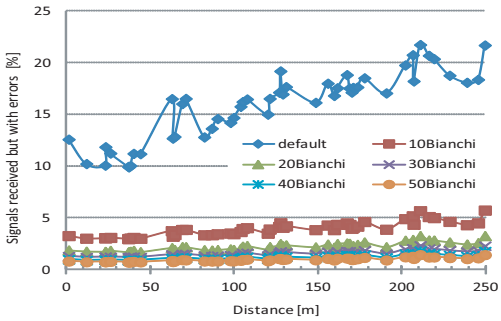

図 10　AP からの距離が電波へ与える影響

4.2.1　シミュレーション環境

端末の伝送レートの設定については多く議論されており，その設定方法はベンダの仕様に依存するが，本シミュレーションでは距離に応じて伝送レートを設定することとした．AP の周囲半径 250m 内に，802.11a で設定可能な各伝送レート（54/48/36/24/18/12/9/6Mbps）が設定された端末を 5 台ずつランダムに配置し，計 40 端末を用いてシミュレーションを行った．また CWmin 算出時の N については，10，20，30，40 の 4 つの場合を比較した．他パラメータについては表 1 の値を用いている．

4.2.2　評 価 結 果

Bianchi モデルを用いた，各端末の CWmin の算出時に用いる伝送レートに，各端末が実際のパケット送信時に用いる伝送レート（Auto Rate），またはパケット送信時の伝送レートとは異なる固定伝送レート（54/24/6Mbps）を用い，各場合について CWmin 算出時に利用する N を変化させた時の各伝送レートグループごとの平均値を図 11，12，13，14 に示す．また，各伝送レート設定時のネットワーク全体の総スループットの比較結果を図 15 に示す．

CWmin 算出時の N を変化させることにより，各伝送レートグループ間の公平性が大きく変化する．算出時の N が小さい場合には各伝送レートグループ間の平均スループットの差は大きく，逆の場合はグループ間の差は小さくなる．しかしネットワーク全体の総スループットに関しては，算出時の端末数が小さいほうが，実際のネットワーク上の端末数を CWmin の算出時に利用するよりも効果的であり，必ずしも Bianchi モデル通りにネットワーク上の端末数を設定したとしても最大の効果が得られるとは限らないといえる．

また算出時に用いる伝送レートを変化させることにより，各伝送レートグループの平均値間の公平性が変化することが図 11，12，13，14 を比較することにより分かる．特に算出時の伝送レートを Auto Rate にした場合は，各伝送レートグループ間のスループットは最大で約 400Kbps の差が生じるが，算出時の伝送レートを 6Mbps と最小伝送レートに設定した場合，

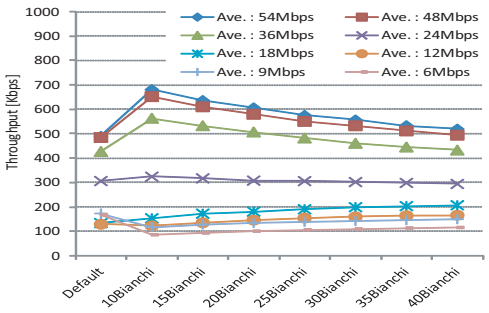

図 11　CWmin 算出時の伝送レート：Auto Rate

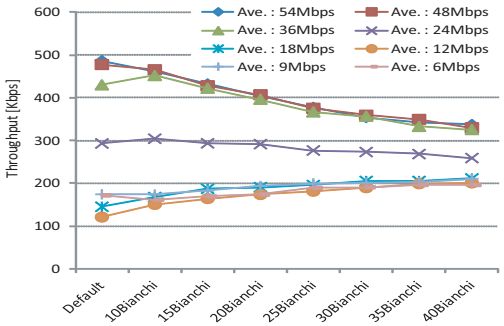

図 12　CWmin 算出時の伝送レート：54Mbps

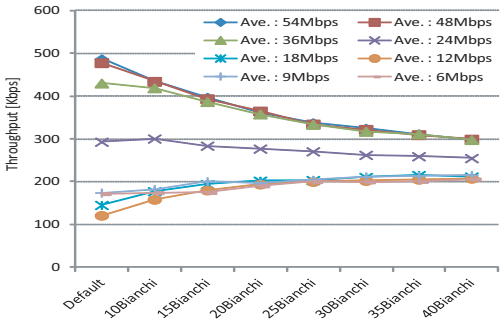

図 13　CWmin 算出時の伝送レート：24Mbps

各伝送レートグループ間の差は約 50Kbps まで縮まる．しかし，ネットワークの総スループットに関しては，CWmin 算出に Auto Rate を用いた場合に最も高い値となることが図 14 より分かる．これは CWmin 算出に固定 6Mbps を用いた場合，Auto Rate を用いたときと比較して，パケット送信の伝送レートが 24Mbps 以上の端末については大幅なスループットの低下が強いられるにも関わらず，18Mbps 以下の端末については，若干の向上しか見られないためである．

以上のことから，算出時の伝送レート，N，いずれの値についても端末間の公平性とネットワーク全体の通信性能はトレードオフの関係にあり，Bianchi モデルで利用される，パケット送信時間，ネットワーク上の端末数以外にも，さらなる情報を用いる必要があると考えられる．

5. おわりに

本稿では複数のセンサ情報から周囲の端末数を判断できる通

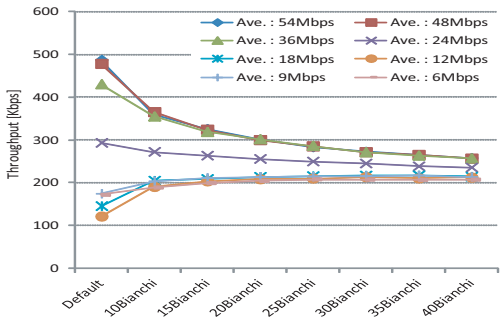

図 14　CWmin 算出時の伝送レート：6Mbps

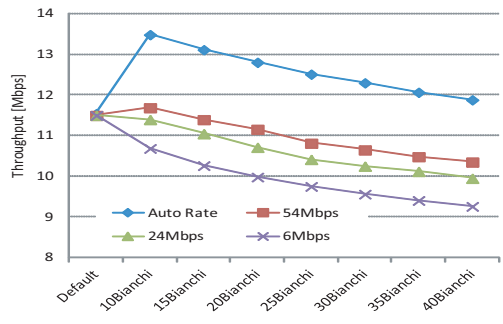

図 15　各算出時伝送レートの総スループット比較

信環境を想定し，端末数に応じた CWmin の設定を行い，その効果をシミュレータを用いて検証した．初めに理想的な環境を想定したシナリオでの評価を行い，その有用性を検証した．結果として端末数に応じた CWmin の設定によりデフォルトの場合に見られる端末数の増加に伴うスループットの低下が解消され，特に端末数が多い場合に著しい効果が得られることを確認した．さらに本稿では，より実環境に近い想定の場合にも Bianchi モデルが有効であるかを検証するために，各端末の AP までの距離，伝送レートを様々に設定し，その影響を調べた．端末間に AP までの距離のみの違いがある場合には，Bianchi モデルが端末間の公平性，ネットワークの通信効率に効果的であることが確認された．しかし，端末間で伝送レートが異なる場合については，公平性とネットワークの通信効率はトレードオフの関係にあり，Bianchi モデルで利用される，パケット送信時間，ネットワーク上の端末数以外にも，さらなる情報を用いる必要があることがわかった．

今後は，多様な環境にも適応した CWmin の設定方法や，周辺情報を利用することで効果が得られるその他のパラメータを検討し，複合的にパラメータ設定を行うことでさらなる通信効率の向上を目指す．

文　献

[1] 松江英明，守倉正博，佐藤明雄，渡辺和二共著『高速ワイヤレスアクセス技術』電子情報通信学会，2004 年．
[2] Giuseppe Bianchi, ”Perform Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function, ” IEEE JSAC, Vol. 18, No.3, pp.535-547, March 2000
[3] QualNet:http//www4.kke.co.jp/network/products/qualnet/
[4] 松本真紀子，Altintas Onur，西堀満洋，小口正人：環境情報を利用したマルチプルアクセス手法の一検討，情報処理学会第 73 回全国大会，2011 年 3 月