

CSMA/CA における受信電波強度に基づいた 制御フレーム検知手法への動的しきい値の導入

八田 海¹ 吉廣 卓哉²

概要: CSMA/CA は、無線通信の代表的な媒体アクセス制御方式として知られており、現在でも、最も普及した通信規格の一つである IEEE802.11 に採用されるなど、世界で広く使われている。CSMA/CA には古くから、隠れ端末問題や晒し端末問題と呼ばれる、通信性能を大きく低下させる問題が存在する。しかしながら、これらに対する根本的な解決策は、未だに提案されていない。この問題に対して梅澤らは、あるノードに近隣ノードの送信信号が届いており、通常であればビジー状態になる場合であっても、受信電波強度を監視することによって、復調することなく制御フレームの検知を高精度に行う制御フレーム多重化手法を提案した。これにより、CSMA/CA において晒し端末問題の影響を大幅に低減した。しかし、先行研究では、周辺ノードの信号を検知したときに、ビジー状態へ遷移せずに送信するかどうかを決定するしきい値に静的な値を用いる点で、通信性能を改善できる余地がある。本研究では、先行研究を拡張し、各ノードが送信するかどうかを決定する条件に動的なしきい値を設け、ノイズの RSSI 値と返信される制御フレームの RSSI 予測値の両方を用いて、送信するかどうかを判断することにより、柔軟な通信動作を実現し、先行研究より通信性能を改善する。

1. はじめに

IEEE802.11 は、現在最も普及している無線通信規格の 1 つであり、CSMA/CA と呼ばれる媒体アクセス制御方式が採用されている [1]。CSMA/CA は通信を開始する前に周辺で通信が行われていないか検知する。周辺での通信を検知しなかった場合、ランダムな時間だけ待機してから送信を開始する。また、周辺での通信を検知した場合、通信が終了するまで自身の通信を待機した後、送信を開始する。しかし、CSMA/CA には、隠れ端末問題や晒し端末問題と呼ばれる通信性能を大幅に悪化させる問題が発生する。隠れ端末問題とは、お互いに通信を検知できない場所に存在するノードが同時に電波を送信した場合、受信先のノードで衝突が発生する問題である。晒し端末問題とは、実際には送信可能であるが他のノードの通信を検知することで送信が抑制され、送信機会を損失する問題である。

隠れ端末問題の最も一般的な解消法として RTS/CTS が提案されている [2]。RTS/CTS はまずデータフレームを送信するノードが RTS フレームを送信し、RTS フレームを受信した宛先ノードは CTS フレームを返信する。CTS フ

レームを受信した送信ノードはデータフレームの送信を開始する。また、RTS/CTS を受信した通信を行わないノードは、NAV 期間送信を待機する。この動作によって、互いに通信を検知できない場所に存在するノードを把握することができ、衝突を回避することができる。しかしながら、RTS/CTS では、RTS フレームの送信による晒し端末問題が依然として発生する。隠れ端末問題と晒し端末問題についての研究は長年に渡って行われており、膨大な研究が存在するにもかかわらず、いまだに根本的な解決策は提案されていない。

本研究の目的としては、CSMA/CA を用いた無線通信において晒し端末問題を解消し、通信性能を大幅に改善させることである。我々の研究室では、これまでにデータフレームを受信中でも受信電波強度の変化を監視することによって制御フレームの到達を高精度に検知し、同時通信を可能にする制御フレームの多重化する技術を提案し、シミュレーション評価を通じて隠れ端末問題と晒し端末問題の悪影響を大幅に低減できることを確認した [3]。しかし、この手法では、データフレームを受信中に RTS を送信する際に、送信を行うかどうかを決める閾値に静的な値を用いる点で、通信性能を改善できる余地がある。本研究では、送信を行うかどうかを決める閾値に動的な値を用いることで、通信性能を改善する MAC プロトコルの実現を目指す。

¹ 和歌山大学大学院システム工学研究科
Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

² 和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

本論文は全5章で構成されており、第2章では先行研究について述べる。第3章では本研究の提案手法を述べる。第4章ではネットワークシミュレータを用いて提案手法を評価する。最後に、第5章では本研究についてまとめる。

2. 先行研究：RSSIによる制御フレーム検知手法 [3]

梅澤らの研究では、あるノードに近隣ノードの送信信号が届いている時、通常であればビジー状態になる場合であっても、一定条件を満たせば、RTSもしくはデータフレームを送信する。そして、近隣ノードの送信信号を検知していても、RSSI (Received Signal Strength Indicator : 受信信号強度) を常に監視することによって、復調することなく宛先ノードから返信される制御フレーム (CTS と ACK) の検知を高精度に行う制御フレーム多重化技術を提案した。

具体的には、キャリアセンスによって電波を検知したとき、本来であればビジー状態へ遷移し、RTSを受信した場合 NAV に状態へ遷移するところを、ある一定条件を満

表 1: 先行研究における MAC プロトコルの変更

CSMA/CA	先行研究 [3]
電波を検知したとき ビジー状態へ遷移し送信を待機する	電波を検知したとき RSSI が静的なしきい値 T 以上の場合 ビジー状態へ遷移し送信を待機する
RTS もしくは CTS を受信したとき NAV 状態へ遷移し送信を待機する	RSSI が静的なしきい値 T 以上の RTS もしくは CTS を受信したとき NAV 状態へ遷移し送信を待機する

たしていれば、ビジー状態や NAV 状態へ遷移することなくバックオフ時間の待機を続ける。そして、バックオフ時間が経過したときに RTS を送信し、宛先ノードから返信される CTS を受信する。このとき、近隣ノードの送信信号を受信しながら RTS の送信を行ったため、返信された CTS と近隣ノードの送信信号が衝突する。しかし、制御フレームの受信タイミングは SIFS 時間とフレームの送信速度に依存し、制御フレームは固定長であることから、制御フレームの受信時間を把握することができる。そのため、送信ノードは制御フレームの到達予定時間と到達予定時間前後の平均 RSSI を比較し、RSSI の値に一定以上の差があれば、制御フレームが返信されたとみなし、フレームの復調をすることなく制御フレームの受信処理を行う。これらの動作によって、同時通信が実現され、晒し端末問題による影響を大幅に低減させる。

ここで、送信ノード同士の距離が近い場合には、他方の送信信号の RSSI が大きくなり、これが干渉することで、RSSI による制御フレームの受信判断が行えなくなる。このため、アイドル状態において、ビジー状態へ遷移するかどうかを判断する静的なしきい値を設けている。ビジー状態ではフレーム送信を開始しないため、フレーム衝突による通信性能の低下を防げる。ノード A からノード D への送信信号を検知したノード B は、図 1 のようにノード AB 間の距離が遠く、検知したノイズの RSSI がしきい値 T より小さい場合は、RSSI による制御フレームの受信が可能と予測して、ビジー状態へ遷移せずに RTS の送信を始める。一方で、図 2 のようにノード AB 間の距離が近く、検知したノイズの RSSI がしきい値 T より大きい場合は、RSSI による制御フレームの受信を検出できないと予測し、ビジー状態へ遷移し、送信を待機する。この動作を実現するために、示すように MAC プロトコルを変更した。

先行研究の動作例を図 4 に示す。ノード配置は図 3 のように配置しており、ノード A はノード D へ、ノード B はノード C へ送信を行う。はじめにノード A がノード D へ RTS を送信し、ノード D はノード A へ CTS を返信する。CTS を受け取ったノード A はデータフレームを送信する。ノード B はノード A からの RTS やデータフレームを検知するが、受信した RSSI がしきい値 T より低ければビジー状態や NAV 状態へ遷移せずにバックオフ時間待機し、RTS を送信する。ノード B からの RTS を受信したノード C は CTS を返信する。このとき、ノード B はノード A からの

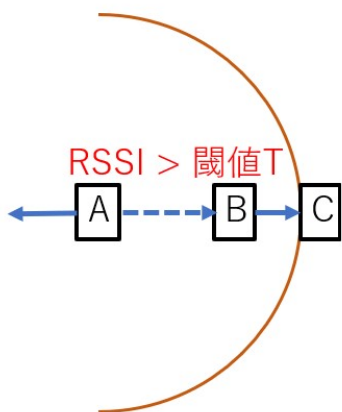


図 1: ノード AB 間の距離が遠い場合

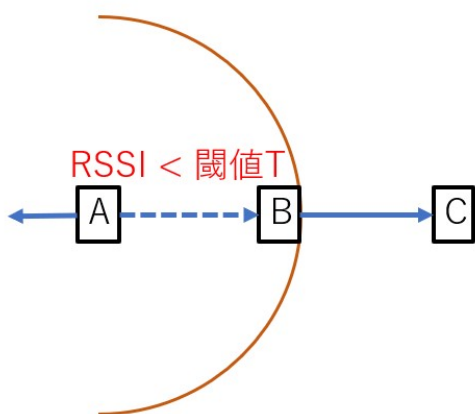


図 2: ノード AB 間の距離が近い場合

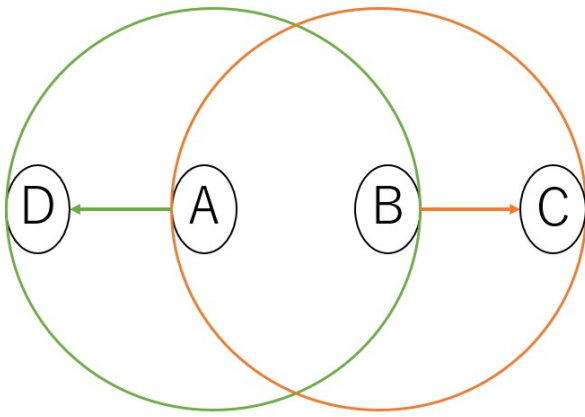


図 3: 晒し端末問題が発生するノード配置図

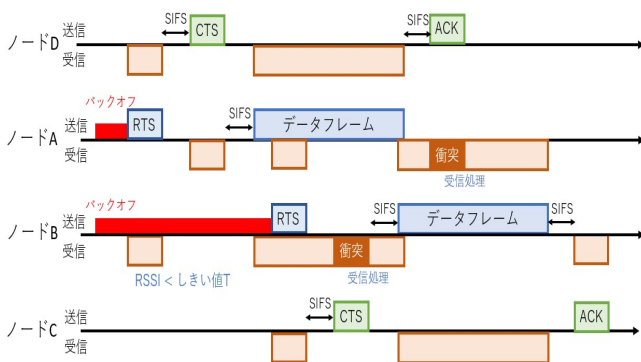


図 4: 先行研究の動作例

信号を検知中のためフレームの衝突が発生するが、CTS の到達予定時間とその前後で RSSI の値に一定以上の差があれば CTS の受信処理を行い、その応答としてデータフレームの送信を行う。また、ノード D はノード A からデータフレームを受信した後、ACK を送信する。このとき、ノード A はノード B からの信号を検知しているためフレームが衝突するが、ACK の到達予定時間とその前後で RSSI の値に一定以上の差があれば ACK の受信処理を行い、通信を完了する。その後、ノード C はノード B からのデータフレームを受信した後、ACK を返信し、ノード B が受信完了することで通信を完了する。このようにして、晒し端末問題を回避した効率の良い通信がなされる。

制御フレームが検知できるかどうかは、近隣ノードの信号が届いている場合に、その信号の RSSI の強度と宛先ノードから返信される制御フレームの RSSI の強度によって決まる。しかし、先行研究では近隣ノードの送信信号の RSSI 値のみを用いて制御フレームを検知できるかどうか予測しており、宛先ノードから返信される制御フレームの RSSI 値は用いられていない。そのため、両方の RSSI 値を用いて、それぞれの RSSI 値に応じて柔軟に通信動作を切り変えることで、通信性能が改善できる可能性がある。

3. 提案手法：制御フレーム検知手法における動的しきい値の導入

3.1 概要

無線通信では、信号の受信成否が、S/N 比と呼ばれる受信中の信号の RSSI 値とノイズ信号の RSSI 値の比によって決められる。S/N 比が一定以上であれば信号の受信は成功し、一定以下であれば信号の受信は失敗する。

先行研究では、あるノードが送信したいフレームを所持しているときに近隣ノードの送信信号を検知すると、その受信フレームを含むノイズの RSSI に送信するかどうかを判断する静的なしきい値 T を適用することで、送信するかどうかを決定し、宛先ノードから返信される制御フレームの RSSI の強さは考慮しない。近隣ノードの送信信号を含めたノイズの RSSI がしきい値 T より小さければ、返信される制御フレームを受信できると予測し、ビジー状態へ遷移せずにバックオフ時間だけ待機した後に RTS を送信する。逆に、近隣ノードの送信信号を含めたノイズの RSSI がしきい値 T より大きければ、返信される制御フレームの受信を検出できないと予測し、ビジー状態へ遷移するため、送信を開始しない。しかし、近隣ノードの送信信号を含めたノイズの RSSI の強さだけで送信を開始するかどうかを判断するため、その判断を誤る可能性がある。つまり、返信される制御フレームの RSSI が十分に大きく、S/N 比を用いて制御フレームが受信可能であると予測できる場合でも、ノイズの RSSI がしきい値 T より大きい場合には送信せず、通信機会を逸する。逆に、返信される制御フレームの RSSI が小さく、S/N 比を用いて制御フレームの受信を検出できないと予測できる場合でも、ノイズの RSSI がしきい値 T より小さい場合には RTS を送信し、フレームが衝突する。これらにより相応の通信性能の低下が生じると考えられる。

これに対して本研究では、送信を開始する RSSI に動的なしきい値を設け、ノイズの RSSI 値と、返信される制御フレームの予測 RSSI 値の両方を用いて、送信開始を判断することで、通信性能の向上を試みる。

提案手法では、図 5(a) のようにノード AB 間の距離が近く、送信ノード B が観測するノイズの RSSI が比較的大きい場合でも、宛先ノード C から返信される制御フレームの予測 RSSI 値から計算された S/N 比が十分に大きければ、それを受信可能と予測して B はフレームを送信する。逆に、図 5(b) のようにノード AB 間の距離が遠く、送信ノード B が受けるノイズが小さい場合でも、受信ノード C も距離が遠く、C から受信するフレームの S/N 比が十分に高くないと予測される場合には、ノード B は送信を開始せずに、ビジー状態へ遷移する。提案手法は、このようなアイデアで、先行研究より通信性能を向上させる。

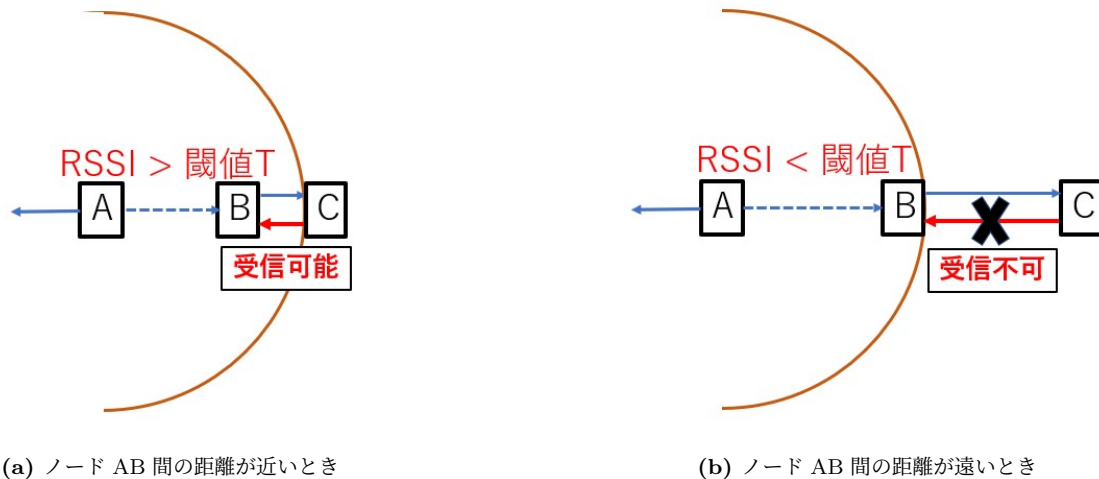


図 5: 制御フレームの RSSI を考慮している場合

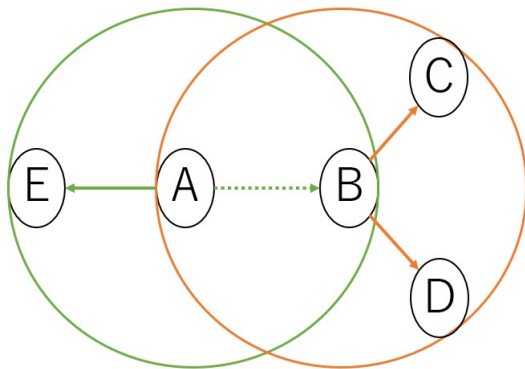


図 6: 動作例におけるノード配置

受信時間	宛先ノード	RSSI値
14.968	ノードC	-75.431
15.135	ノードC	-75.656
:	:	:
18.674	ノードC	-75.651
18.831	ノードC	-75.392
19.047	ノードC	-75.569
19.281	ノードC	-75.474

図 7: ノード C の受信記録管理テーブル

3.2 RSSI 予測値の計算と管理

本研究では、送信を行うかどうかを判断するために、宛先ノードから返信される制御フレームの RSSI 値を予測することが重要である。しかし、送信を開始する時点では返信される制御フレームの RSSI 値を事前に知ることはできないため、RTS やデータフレームを送信する際に、返信される制御フレームの RSSI を事前に予測する必要がある。

あるノードの隣接ノードの集合を J とおく。ノード $k \in J$ に対して、 k から返信される制御フレームの RSSI 予測値 R_k を計算する。 R_k の計算には、同一宛先ノードにおける過去 N 件の受信記録を用いる。受信記録は受信記録管理テーブルを用いて管理する。管理テーブルへの情報の追加は、フレーム受信時に行い、宛先ノードとフレーム受信時の RSSI 値、受信時刻の情報を追加する。管理テーブルからの情報の削除は、管理テーブルへ情報を追加した後、管理テーブルの同一宛先ノードにおける受信記録が N 件以上あるときに行い、受信記録が N 件になるように同一宛先ノードの情報を古い順に削除する。以上の操作により、受信記録管理テーブルの管理を行う。また、受信記録管理テーブルは宛先ノード毎に作られる。 R_k は、フレームを受信し、管理テーブルの操作を終えた後に求め、同一宛先

ノードにおける過去 N 件の受信記録から得られた、フレーム受信時の RSSI の平均値とする。

図 6 と同様のノード配置で、ノード B がノード C へフレームを送信する場合を例として、図 7 を用いて一連の流れを説明する。図 7 はノード B が作成した宛先ノード毎の受信記録管理テーブルであり、通信相手であるノード C、D との過去に行った通信の受信記録を表したテーブルである。ノード B はノード C から送信されたフレームの受信を完了したとき、ノード C の受信記録管理テーブルにフレームの送信元ノードとフレーム受信時の RSSI、受信時刻を追加した後、受信記録が N 件になるように古い受信記録から情報を削除する。そして、削除後の受信記録管理テーブルを図 7 としたときに、図 7 の N 件の受信記録から RSSI 値を用いて平均 RSSI 値を求め、RSSI 予測値 R_c とする。ノード C の情報が受信記録管理テーブルに 1 つもなかった場合は、予め決めておいたデフォルト値を RSSI 予測値 R_c として用いる。ノード B がノード A からの信号を検知したときに、B が観測しているノイズ (A からの信号を含む) と R_c から、C からの制御フレームの受信を判別できるか予測する。受信可能と予測した場合には、ノード B はビジー状態へ遷移せずにバックオフを継続し、パッ

表 2: 提案手法における MAC プロトコルの変更

CSMA/CA	先行研究 [3]	提案手法
電波を検知したとき ビジー状態へ遷移し送信を待機する	電波を検知したとき RSSI が静的なしきい値 T 以上の場合 ビジー状態へ遷移し送信を待機する	電波を検知したとき RSSI の予測値と 検知した信号を含むノイズの RSSI 値を用いて 制御フレームの受信検知が不可能な場合は ビジー状態へ遷移する
RTS もしくは CTS を受信したとき NAV 状態へ遷移し送信を待機する	RSSI が静的なしきい値 T 以上の RTS もしくは CTS を受信したとき NAV 状態へ遷移し送信を待機する	CTS を受信したときのみ NAV 状態へ遷移し送信を待機する

クオアフ時間経過後にノード C へ RTS を送信し、受信を検出できないと予測した場合には、ノード B はビジー状態へ遷移する。

3.3 MAC プロトコルの変更

提案手法を満たすために、MAC プロトコルの変更点を表 2 に示す。CSMA/CA ではバックオフ、データ待機、CTS 待機、ACK 待機状態のいずれかであるときに電波を検知した場合は、ビジー状態へ遷移する。また、自分宛でない RTS または CTS を受信した場合は、NAV 状態へ遷移する。先行研究では、バックオフ状態のときに電波を検知した場合は、検知した電波を含むノイズの RSSI がしきい値 T 以下であればバックオフを継続し、ノイズの RSSI がしきい値 T 以上であればノイズが大きく、S/N 比を用いた制御フレームの受信を検出できない可能性があるため、ビジー状態へ遷移する。また、自分宛でない RTS を受信した場合は、電波を検知した場合と同じように、ノイズの RSSI がしきい値 T 以下であればバックオフを継続し、ノイズの RSSI がしきい値 T 以上であれば NAV 状態へ遷移する。これらに対して提案手法では、電波を検知したときに、所持しているデータフレームの宛先ノードから返信される制御フレームの RSSI 予測値から、S/N 比を用いて制御フレームの受信を検知するために必要なノイズの RSSI 値を動的なしきい値 T' とする。このしきい値 T' よりノイズの RSSI 値が小さい場合は、受信可能と予測し、ビジー状態へ遷移せずにバックオフを継続した後、送信を開始する。しきい値 T' よりノイズの RSSI 値が大きい場合は、受信を検出できないと予測し、ビジー状態へ遷移する。また、送信するフレームが無く、アイドル状態であるときは、電波を検知したとき場合でも、ビジー状態へ遷移せずにアイドル状態を継続する。CTS を受信した場合は、CTS を送信したノードでデータフレームとの衝突が発生するのを防ぐために、NAV 状態へ遷移する。以上の変更により提案手法が実現され、先行研究より通信性能の向上を見込める。

4. シミュレーション評価

4.1 評価方法

今回の提案手法と先行研究 [3]、従来手法である CSMA/CA を性能比較するため、ネットワークシミュ

レータ上でシミュレーション実験を行った。ネットワークシミュレータは Scenargie version 2.1[4] を使用した。本研究では、Scenargie で配布されている DotElevenModule の C++ で記述されたソースコードに、自身で作成したソースコードを追加することで、提案手法の動作を実現している。実験では、提案手法が先行研究や CSMA/CA よりも通信性能が向上しているか調査するために、平均スループットとフレーム到達率を評価指標とする。平均スループットは単位時間あたりに送受信したデータ量を表しており、平均スループットによってネットワーク全体の通信速度を測る。また、フレーム到達率はそれぞれのノードが送信した全フレームに対して、宛先ノードがどれだけフレームを受信できたかを表している。

提案手法が、近隣ノードの送信信号の RSSI 値と宛先ノードから返信される制御フレームの RSSI 値に応じて、柔軟に通信動作を切り替えられているかを確かめるために、シミュレーションシナリオを 2 つ用意する。2 つのシナリオの共通条件として、ノード配置は図 8 のように送信ノードと受信ノードを 2 つずつ一直線上に配置し、送信ノードと受信ノードの距離は、アソシエーションが可能な範囲で最長距離の 198 m で統一する。送信ノード同士の距離は、2 つのシナリオにより異なり、220 m と 250 m にする。すべてのノード間隔は、隣接ノードの電波のみが到達できる間隔であり、隠れ端末問題と晒し端末問題が発生するようにしている。シミュレーション時間は 100 秒とし、ノード A からノード D への通信フローとノード B からノード C への通信フローの発生時間を 100 秒とする。通信方式は一般的な無線通信方式の一つである IEEE802.11g を用い、ノードの通信速度は 6 Mbps とする。通信フローは CBR 通信とし、フレームサイズは 1500 Byte とした。そして、通信フロー 1 本当たりの送信レートを 0 kbps から 6000 kbps まで 400 kbps ずつ増加させてシミュレーションを行った。表 3 にシミュレーションの共通条件を示す。また、先行研究と提案手法における、制御フレームの受信を判断するために必要な S/N 比は 3 dB とした。先行研究における、送信するかどうかを判断する静的なしきい値 T は、従来の CSMA/CA と同様の -72 dBm とし、提案手法における、RSSI 予測値を求めるために用いる受信記録件数 N は 50 個とした。

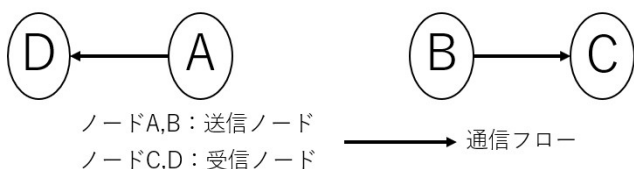


図 8: シミュレーションにおけるノード配置

表 3: シミュレーションにおける共通条件

パラメータ	値
シミュレーション時間	100 秒
ノード数	4 個
送信ノードと受信ノードの間隔	198 m
データフロー種別	CBR
データフロー数	2 本
送信ビットレート	0~6000 kbps
発生時間	100 秒
フレームサイズ	1500 Byte
通信規格	IEEE802.11g
通信速度	6 Mbps
送信電力	10 dBm

4.2 評価結果

送信ノード同士の距離が 250 m のシミュレーションシナリオにおける平均スループットを図 9(a) に、フレーム到達率を図 9(b) に示す。図 9(a) の縦軸は平均スループットを、図 9(b) の縦軸はフレーム到達率を表しており、横軸はともに 0 から 6000 kbps までの 1 フロー当たりの送信レートを表している。平均スループットでは、2400 kbps まで CSMA/CA と先行研究、提案手法すべて同等の結果である。2400 kbps 以降からは CSMA/CA と先行研究・提案手法の差が開き始め、送信レートが大きくなると差が広がった。4800 kbps 以降は差が一定になり、1.8 倍程度の差が生じた。フレーム到達率でも同じく、2400 kbps まで CSMA/CA と先行研究、提案手法すべて 100 % であり、それ以降は先行研究と提案手法が常に上回る結果となった。これは、先行研究での提案技術である RSSI を用いた制御フレームの検出により、晒し端末問題の影響を大幅に低減し、通信機会が損失されずにフレームの同時通信が行われたと考えられるためである。

送信ノード同士の距離が 220 m のシミュレーションシナリオにおける平均スループットを図 10(a) に、フレーム到達率を図 10(b) に示す。縦軸と横軸は図 10(a), 10(b) と同じである。平均スループットでは、1600 kbps まで従来手法と先行研究、提案手法すべて同等の結果である。1600 kbps 以降からは先行研究との差が開き始め、2400 kbps 以降は提案手法と先行研究の差が一定になり、1.5 倍程度提案手法が上回った。しかし、従来手法と提案手法では、提案手法が少し下回る結果となった。フレーム到達率でも同じく、1600 kbps まで従来手法と先行研究、提案手法すべて

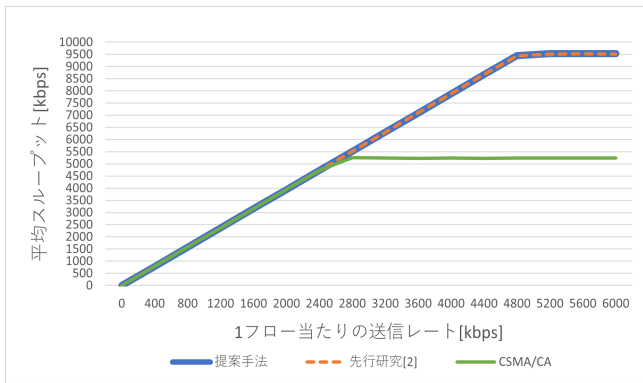
100 % であり、それ以降は従来手法と提案手法が常に上回る結果となった。しかし、平均スループットと同じく従来手法と比較したときに、提案手法が少し下回る結果となった。これは、先行研究では、静的なしきい値を用いていることにより、実際には RSSI を用いた制御フレームの検出ができない場合でも送信しており、提案手法では、動的なしきい値を用いて送信の判断をしていることにより、RSSI を用いた制御フレームの検出ができない場合は、事前に予測してビジー状態へ遷移し、送信を待機していると考えられるためである。

以上の結果から、送信ノード同士の距離が 250 m のシミュレーションシナリオでは、周辺ノードの信号を検知している状態でも、RSSI を用いた制御フレームの検出が可能のため、提案手法である返信される制御フレームの RSSI 予測値を用いるかどうかに関わらず、先行研究と提案手法はビジー状態へ遷移せずに送信をし、同時通信を実現していると考えられる。そのため、先行研究と提案手法は、CSMA/CA より通信性能が向上しているが、先行研究と提案手法に通信性能の違いはない。一方、送信ノード同士の距離が 220 m のシミュレーションシナリオでは、周辺ノードの信号を検知している状態では、RSSI を用いた制御フレームの検出ができないため、提案手法は返信される制御フレームの RSSI 予測値と検知している信号を含むノイズの RSSI から、S/N 比を用いて制御フレームを検出できないと予測し、ビジー状態へ遷移し通信を待機していることが考えられる。また、先行研究はノイズの RSSI からビジー状態へ遷移せずに RTS を送信すると判断したが、RSSI を用いた制御フレームの検出ができないため、受信誤りが発生したと考えられる。そのため、提案手法は先行研究より通信性能が向上している。提案手法が CSMA/CA より少し通信性能が低下している原因としては、S/N 比を用いた制御フレームの受信予測が誤っている場合があったと考えられる。

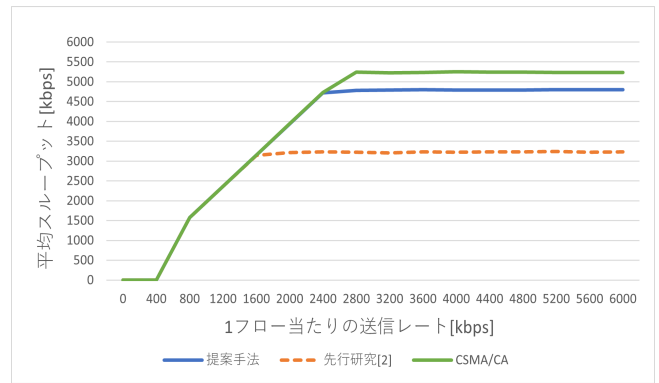
これらの結果から、ノイズの RSSI 値だけでなく、返信される制御フレームの RSSI 予測値を用いていることにより、提案手法は先行研究より通信性能が改善されることがわかった。また、提案手法では返信される制御フレームの RSSI 予測値と検知している信号を含むノイズの RSSI 値から、S/N 比を用いて制御フレームの受信予測を行うことで、制御フレームを受信できる場合は同時通信が行われ、制御フレームの受信を検出できない場合は通信を抑制するといったように、返信される制御フレームの RSSI 予測値とノイズの RSSI 値に応じて柔軟に通信動作を切り替えられていることがわかった。

5. おわりに

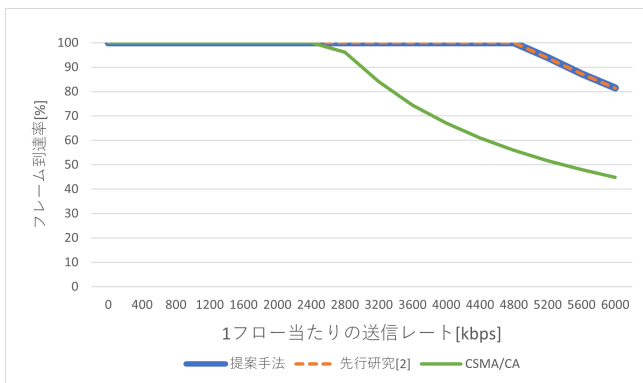
本研究では、各ノードがビジー状態へ遷移せずに送信するかどうかを判断する条件に動的なしきい値を導入す



(a) 平均スループット

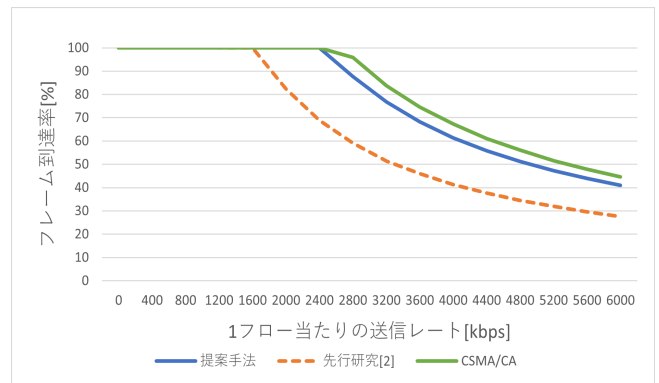


(a) 平均スループット



(b) フレーム到達率

図 9: 送信ノード同士の距離が 250 m の場合



(b) フレーム到達率

図 10: 送信ノード同士の距離が 220 m の場合

る手法を提案した。先行研究では、RTS/CTS を利用する CSMA/CA を用いた無線通信において、データの同時通信を可能にする制御フレーム多重化技術と、多重化技術を CSMA/CA に適用した MAC プロトコルを提案しており、RSSI の上昇を観測することで制御フレームを復調せずに到達を判定する。これによって、晒し端末問題を大幅に低減していたが、周辺ノードの信号を検知したときに、ビジー状態へ遷移せずに送信するかどうかを判断するしきい値が静的な値であるため、相応の通信性能の低下が生じていた。そのため動的なしきい値を導入し、周辺ノードの信号を含むノイズの RSSI 値と返信される制御フレームの RSSI 予測値から、S/N 比を用いて送信するかどうかを判断することによって、先行研究より柔軟に通信動作を切り替え、通信性能の向上を目指した。

ネットワークシミュレータの Scenargie を用いて、性能評価を行った。CSMA/CA と先行研究、提案手法の通信性能を比較した。直線状に 4 つのノードを配置し、送信ノード同士の距離が異なる 2 つのシナリオによる評価の結果から、RSSI を用いた制御フレームの検知が行えない場合に、先行研究では送信を開始することがあるが、提案手法では事前に予測することでビジー状態へ遷移し送信を待機するため、先行研究より通信性能が向上している。逆に、RSSI

を用いた制御フレームの検知が行える場合に、CSMA/CA では晒し端末問題によって電波を検知したときにビジー状態へ遷移し送信を待機するが、提案手法では事前に予測することでビジー状態へ遷移せずに送信を開始するため、CSMA/CA より通信性能が向上している。これらから提案手法では、2 つの RSSI 値から制御フレームの受信可否を事前に予測し、送信するかどうかを判断することで、柔軟に通信動作を切り替え、通信性能が改善されることがわかった。

今後の課題は、ノード数やフロー数を増加させ、ノードをランダムに配置するなど、今回行った評価より現実に近いネットワークにおけるシミュレーション評価を行う必要がある。また、将来的にはソフトウェア無線機を用いた実機実験を行う必要があると考えられる。

謝辞

本研究の一部は科研費 19K22845 の助成によるものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] IEEE802.11 Wireless Local Area Networks, 入手先 <<http://www.ieee802.org/11/>> (参照 2022-02-12).

- [2] B. Bharghavan et al., “MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LANs,” In Proc. ACM SIGCOMM 94, 1994.
- [3] 梅澤良斗, 吉廣卓哉, ” RSSI を用いた制御フレーム検知による CSMA/CA の高効率化の一検討,” 情報処理学会研究報告, 2020-MBL-94(12), 2020.
- [4] Network Simulator Scenargie, Space Time Engineering, 入手先 <<https://www.spacetimeeng.com/jp/>> (参照 2022-02-12).