

# 密集無線LAN環境における 他BSS最近傍ノードを基準とした 送信電力／信号検知閾値制御の検討

稲田 大陸<sup>1</sup> 岩井 皓暉<sup>1</sup> 重野 寛<sup>1</sup> 田中 悠介<sup>2</sup>

概要：無線LAN機器の密集化による相互干渉が問題となってきた。加えて、複数のアクセスポイント（AP）からなるメッシュ型機器や、スマートホーム機器などが普及し、Basic Service Set（BSS）間が近距離化することで、BSS間の相互干渉が一層深刻化することが予想される。この問題に対処する有効な手段の一つとして、送信電力制御（TPC）と信号検知閾値制御（DSC）が検討されている。例えば、送受信ノードの組み合わせを基準に送信電力／信号検知閾値の最適化が提案されている。しかし、特にAP、BSS間が近距離化した密集環境においては、隣接BSSからの干渉により、SINRが著しく劣化するという問題がある。以降本稿では、密集環境でのBSSの重複によるSINRの劣化および性能の低下を改善するために、他BSS最近傍ノードを基準とした送信電力／信号検知閾値の制御を提案する。提案では他BSSの中で最も受信ノードに対して干渉を与える可能性のある他BSS最近傍ノードも考慮して送信電力／信号検知閾値を制御する。シミュレーション評価により、既存手法と比較してスループットが向上していることを示す。

## 1. はじめに

無線LAN（Wireless Local Area Network）技術は大幅に発展し、多くの通信需要を満たし、多様なアプリケーションの実現を可能とした。一方で、都市部やスタジアムなどの高需要な地域では1つのアクセスポイント（AP）と複数のステーション（STA）からなるBasic Service Set（BSS）が無秩序に乱立し、密集化した。また、複数のAPからなるメッシュ型機器や、スマートホーム機器などが普及し、BSS間が近距離化し、さらなる密集化が予想される。このような無線LANが密集した環境では、それぞれの通信範囲が重複した箇所が発生し、BSS間の通信の相互干渉によって、送信フレームの衝突や送信機会の喪失が発生し、スループットが低下する。2014年3月から密集配置された無線LANの高効率化（High Efficiency WLAN）を目的とするIEEE802.11ax [1]の標準化が新たに開始され、そこでは有限な周波数資源を効率的に共有する空間再利用（Spatial Reuse）を重視している。

空間再利用では主に、送信電力制御（TPC：Transmit Power Control）と動的信号検知閾値制御（DSC：Dynamic

Sensitivity Control）[3]の2つの制御によって、密集環境下での周波数資源効率化の可能性を上げている。送信電力制御は受信側に合わせて送信電力の制御を行うことで、他ノードに与える電力干渉を抑制する。これにより、送信ノードの送信を検知可能なノードの地理的存在範囲が狭まる。動的信号検知閾値制御はキャリアセンスを行う際の信号検知閾値を制御することで過度な通信検知による送信機会の喪失を抑制する。これにより、制御ノードが検知可能な送信ノードの地理的存在範囲が狭まる。以降、TPCによって制御された送信電力到達可能範囲をTPC範囲、DSCによって制御された信号検知可能範囲をDSC範囲と定義する。TPC/DSCを行わない従来の制御（Legacy）では環境に依らず最大送信電力、最小信号検知閾値に設定する。そのため、TPC/DSC範囲が共に最大となり、密集環境では送信機会が低下することでスループットが著しく劣化する。

これまで、TPCやDSCを用いたシステムの性能向上が研究されてきた。APにおけるRSSIを基準としたDSC[4]では、APは隣接のAPと配下のSTAからのRSSIを基に信号検出閾値を算出する。ACKのTPCに着目した研究[5]では、ロバストな通信を損なうことなくACKによる干渉を抑える電力を算出した。これらの研究は既存手法から性能を向上させた。しかし、APの信号検出閾値やACKの送信電力など適用範囲が限定的である。信号検知閾値と

<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio University  
<sup>2</sup> ソニー株式会社 R&D センター  
R&D Center, Sony Corporation

送信電力の反比例設定における最適値に関する研究 [6] では、モデルに従って最適な信号検知閾値、送信電力を導出した。しかし、現実的な環境における有用性の検証に課題がある。受信側の RSSI を基準に送信電力の最小化と信号検知閾値の最大化を行う既存制御 MiET [9] では、送信機会の最大化と与干渉量の最小化を目的としているが、送受信ノード間の制御であるため、隣接する BSS との干渉量は未考慮である。この方法は、特に AP 間や BSS 間が近距離化した密集環境において、送信電力を一方向的に低下させるため、著しい SINR の劣化をもたらす。

本稿では密集環境での BSS の重複による SINR の劣化およびスループットの低下を改善するために、他 BSS 最近傍ノードを基準とした送信電力/信号検知閾値の制御手法を提案する。提案では、既存制御 MiET に加えて他 BSS の中で最も宛先ノードに対して干渉を与える可能性のある他 BSS 最近傍ノードも考慮して送信電力/信号検知閾値を制御する。具体的には、初めに自身の周囲のノードとの伝搬損失情報を取得し、電波伝搬損失上他 BSS 内の最近傍に位置するノードを決定する。次に、他 BSS 最近傍ノードが宛先ノードよりも遠方に位置した場合、他 BSS 最近傍ノードを基準に送信電力を増加させることで宛先ノードにおける SINR を向上させる。送信電力を上げたノードは周囲への与干渉を抑制するために信号検知閾値を連動して下げる。提案の有効性は、シミュレーションによって確認する。

本稿では、2 章で提案のベースとなっている関連研究 MiET について述べ、3 章で提案手法を説明し、4 章でシミュレーションを用いた評価を行う。最後に 5 章で結論を述べる。

## 2. 関連研究 : MiET

本章では、TPC および DSC によって通信範囲を最小化する提案の基礎となる制御方式 [9] について取り上げる。本稿では、この手法を Minimized Exposed Terminal Control (MiET) と呼ぶ。MiET では事前に宛先ノードから送信されたフレームに記載された送信電力の情報を用いて送信元ノードが送信電力 (TxP) を最小化し、そのときの送信電力と連動させて信号検知閾値 (CCAT) を最大化する。

### 2.1 MiET の送信電力制御 (TPC)

図 1 に TxP の決定アルゴリズムを示す。送信ノードはまず、宛先ノードからの受信電力 (RSSI) とフレーム内に記載された送信電力の情報  $TxP_{dst}$  の 2 つを用いて AP-STA 間の伝搬損失  $PropLoss$  を次式から求める。

$$PropLoss = TxP_{dst} - RSSI \quad (1)$$

ノード標準の最低信号検知閾値  $CCAT_{min}$  (= -82 dBm) から  $Margin$  だけ保証した目標到達電力である  $TargetRSSI$

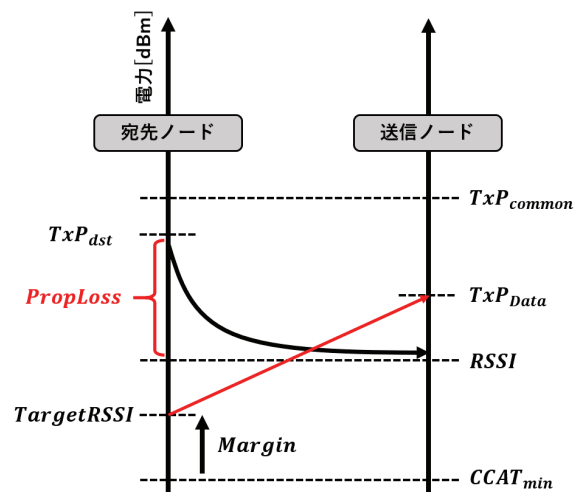


図 1: MiET のデータフレーム用 TxP 決定アルゴリズムと  $PropLoss$  を用いて送信電力を逆算し、それをデータフレーム用送信電力  $TxP_{Data}$  とする。

$$TargetRSSI = CCAT_{min} + Margin \quad (2)$$

$$TxP_{Data} = \min \left( \begin{array}{c} TxP_{max} \\ TargetRSSI + PropLoss \end{array} \right) \quad (3)$$

ただし、ここで用いられた  $Margin$  はノード配置によって一意に決定される変数であり、 $TxP_{max}$  は制御ノードが AP のとき +23 dBm, STA のとき +15 dBm を用いる。なお、AP が TPC を行う場合は配下の STA ごとに  $TxP_{Data}$  を宛先別に管理する。ACK フレーム用の送信電力は、受信されたデータフレームに使用された送信電力と同じ値を用いる。

$$TxP_{ACK} = TxP_{Data} \quad (4)$$

### 2.2 MiET の動的信号検知閾値制御 (DSC)

図 2 に CCAT の決定アルゴリズムを示す。TPC 単独の場合、送信電力を宛先ノードに合わせて下げることはシステム全体の干渉量の抑制につながるが、送受信ノード間でみるとレガシーノードの共存下において SINR の劣化を起こす。そこで、MiET では TPC に加え DSC を連動させ、DSC 範囲を縮小することで自身の送信機会を創出する。具体的には全ノードの最大送信電力  $TxP_{common}$  (= 23 dBm) と、TPC によって求められたデータフレーム用送信電力  $TxP_{Data}$  の差分だけ、 $CCAT_{min}$  から増加させる。 $CCAT_{min}$  は使用する周波数帯域幅によって異なり、それぞれ -82 dBm/20 MHz である。

$$CCAT_{control} = CCAT_{min} + TxP_{common} - TxP_{Data} \quad (5)$$

TPC が伝搬損失  $PropLoss$  を基に制御されるため、それに連動する DSC も結果的に  $PropLoss$  ベースの制御と

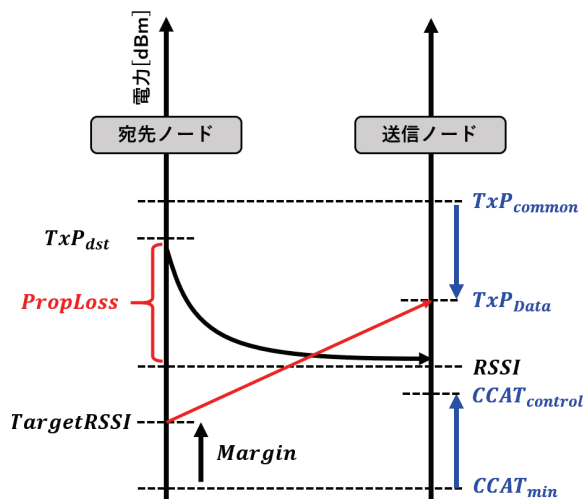


図 2: MiET の CCAT 決定アルゴリズム

なり、 $CCAT_{control}$  もそれに依存した値となる。特に、最後の項の  $Margin$  は唯一の設定変数であり、TPC と同様、この値によって制御の幅が変動する。

また、制御ノードが AP の場合は TPC は配下の STA ごとに行い、DSC は自 BSS 内で最も遠方に位置するノードを基準に行う。一方で、制御ノードが STA の場合は TPC、DSC 共に接続先 AP を基準に行う。

### 2.3 問題点

MiET では、送受信ノードのみを考慮した干渉の最小化を行っている。しかし、BSS の重複による BSS 間の干渉量が考慮できておらず、密集環境において SINR の著しい劣化および性能の低下が発生する。図 3 に密集環境における隣接 BSS 内ノードによる受信側での SINR の著しい劣化が発生する様子を示す。このケースは  $AP_B$  が  $STA_{B1}$ 、 $STA_{W2}$  が  $AP_W$  にそれぞれデータ通信を行っている状態を表す。MiET で制御を行っていない場合は、 $AP_B$  の DSC 範囲は最大となり、DSC 範囲内に  $AP_W$  が存在するため、 $AP_W$  の通信を無視することができない。そこで、MiET では前記通信を無視できるように TPC/DSC 範囲を縮小ため、送信電力を下げる。しかし、 $STA_{B1}$  における  $STA_{W2}$  からの干渉量は変わらないため、 $STA_{B1}$  における SINR が著しく劣化する。また、CCAT を規定された最大値に設定しても、DSC 範囲内に  $STA_{W2}$  が入ってしまい、図 3 のようにならない状況も存在する。さらに、 $AP_B$  と  $AP_W$  を含むメッシュ型機器を使用した場合、 $AP_B$  の DSC 範囲内に  $AP_W$  が含まれないため、期待される協調や連携が阻害される。

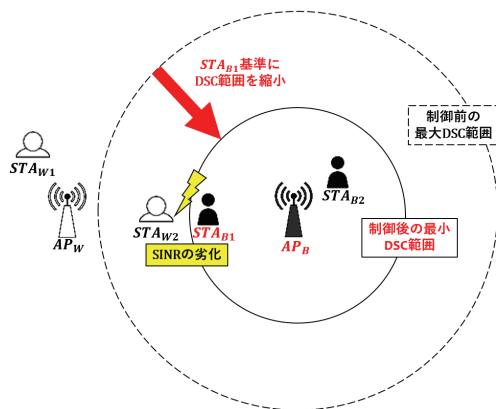


図 3: 隣接ノードの通信干渉による SINR の劣化

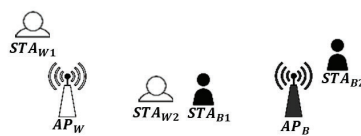


図 4: AP, STA 配置例

## 3. 提案

本章では、密集無線 LAN 環境における SINR の劣化およびスループットの低下を改善するために、他 BSS 最近傍ノードを基準とした送信電力/信号検知閾値制御手法として TPC/DSC based on the Nearest Node of Other BSS(N2OB) を提案する。提案では他 BSS の中で宛先ノードに対して最も干渉を与える可能性のある、すなわち最も近傍に位置するノードを考慮して送信電力/信号検知閾値を制御する。この手法により、密集環境では TPC/DSC 範囲を他 BSS 最近傍ノードを基準に拡大し SINR を向上させ、各 BSS 内のノードは同一空間内においても独立して制御を行い、あらゆる環境において自律的に動作する。

以下の制御の説明のために、図 4 のような  $AP_B$  を含む BSS と  $AP_W$  を含む BSS が隣接し、相互干渉を起している AP, STA 配置ケースを想定する。提案手法 N2OB のシーケンスは主に、周辺ノード間伝搬損失の取得、他 BSS 最近傍ノードの決定および TxP の決定、CCAT の決定の 3 つの段階に分かれており、それぞれ具体的に説明する。

### 3.1 周辺ノード間伝搬損失の取得

全てのノードは自 BSS 内の AP を経由して他 BSS 内ノードに対してテスト信号要求フレームを送信することで、BSS 間の情報交換を行い、周辺ノード間の伝搬損失を取得する。図 5 に  $AP_B$  を例とした周辺ノード間の伝搬損失上の取得シーケンスを示す。まず、 $AP_B$  は周囲の AP に対して、テスト信号要求フレームをブロードキャストする。次に、テスト信号要求フレームを受信した  $AP_W$  は自 BSS 内の STA に対してテスト信号を送信する。これによって、

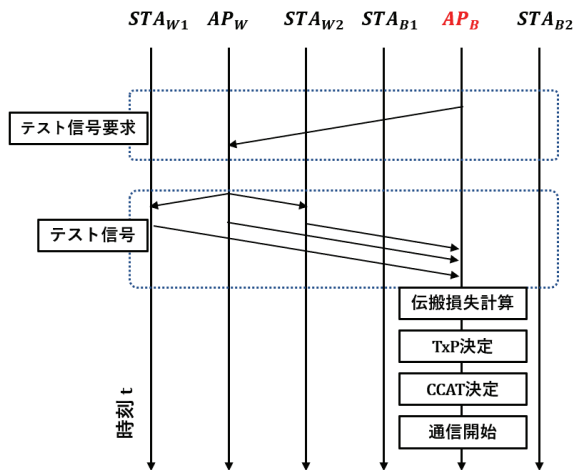


図 5:  $AP_B$  の周辺ノード間伝搬損失取得

表 1:  $AP_B$  が保持する伝搬損失情報リスト

ノード	$AP_W$	$STA_{W1}$	$STA_{W2}$	$STA_{B1}$
伝搬損失 [dB]	75	80	70	60

$BSS_W$  内のすべてのノードは要求フレームを受信することが可能になる。要求フレームを受信したノードは最大送信電力でテスト信号フレームを送信する。この信号を受信することによって、 $STA_{B2}$  は隣接した BSS 内のノードとの伝搬損失を取得し、リストとして保管する。伝搬損失の算出には  $TxP_{max}$  と RSSI から、式 6 を用いて算出する。

$$PropLoss = TxP_{max} - RSSI \quad (6)$$

### 3.2 他 BSS 最近傍ノードおよび TxP の決定

制御ノードは取得した伝搬損失情報の中から他 BSS 内で最も電波伝搬損失上最近傍に位置するノードを決定する。そして、宛先ノードよりも他 BSS 最近傍ノードが遠方に位置していた場合、他 BSS 最近傍ノードを基準に TxP を決定する。図 6 に  $STA_{B2}$  の伝搬損失情報リストの例を示す。 $AP_B$  の他 BSS 最近傍ノードは  $STA_{W2}$  となり、宛先ノード  $STA_{B2}$  のよりも  $STA_{W2}$  の方が遠方に位置するため、 $STA_{W2}$  を基準に TxP を決定する。図 1 に  $AP_B$  の他 BSS 最近傍ノード基準の TPC 範囲の拡大の様子を示す。これによって他 BSS への与干渉を最小限に抑えた上で、宛先ノードの  $STA_{B1}$  での SINR を向上させる。また、宛先ノードが他 BSS 最近傍ノードよりも遠方に位置する場合は宛先ノードを基準に送信電力を決定する。さらに、伝搬損失情報リストの中に他 BSS ノードの情報が存在しない場合は、単一 BSS 環境と判断し、TxP を最大に決定することで自 BSS 内での隠れ端末問題を抑制する。宛先ノード、他 BSS 最近傍ノードそれぞれとの伝搬損失と制御後の送信電力をそれぞれ  $PL_{dst}$ ,  $PL_{near}$ ,  $TxP_{N2OB}$  と呼び、式 7 に示す。

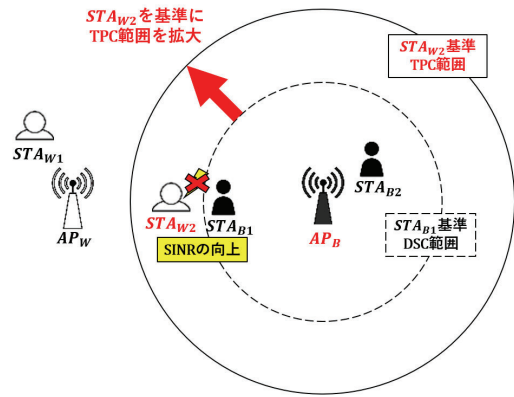


図 6:  $AP_B$  の TPC 拡大による SINR の向上

$$TxP_{N2OB} = \begin{cases} TxP_{max} & PL_{near} \text{ is not defined} \\ TargetRSSI + \max(PL_{dst}, PL_{near}) & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

### 3.3 CCAT の決定

制御ノードは TxP を決定した後、CCAT を決定する。MiET 同様、N2OB も TPC のインセンティブを DSC においている。 $AP_B$  は TxP の減少幅分、最大 CCAT から引き下げることで再送率の低下を抑制する。よって、 $STA_{B2}$  は他 BSS 最近傍ノードの  $STA_{W2}$  を基準に TPC/DSC 範囲の拡大を行う。図 6 に TxP の決定による TPC 範囲の拡大を示す。また、制御ノードが AP の場合は、CCAT の決定には複数の管理する  $TxP_{N2OB}$  の中で最も大きい値を使用する。

$$CCAT_{N2OB} = CCAT_{min} + TxP_{common} - TxP_{N2OB} \quad (8)$$

## 4. 評価

本章では、提案手法 N2OB、既存手法 MiET、通信範囲の制御を行わない Legacy システムを通信シミュレータを用いて評価し、提案の有効性を示す。使用した評価シナリオは、一部屋を  $10m \times 10m \times 3m$  の空間とした、各フロア  $5 \times 2 = 10$  部屋 3 階建てのアパートメントであり、全 30 部屋それぞれに BSS を 3 つずつ配置する。各部屋の AP の配置は固定であり、STA は世帯内で 2 つの AP から等距離にある直線で区切られる 3 つのエリア内でそれぞれ 4 台ずつランダムに配置される。接続先は物理距離が最も近い AP とし、ハンドオーバーは行わない。評価シナリオの概略図を図 7 に示す。シミュレーションパラメータを表 2 にまとめる。シミュレーションの各設定値は文献 [1][6] を参考にした。シミュレータには Scenargie2.0 を用いた。評価指標に、システムスループット、平均 SINR、平均再送率、平均送信時間を用いた。

表 2: シミュレーション設定

シミュレーション時間	接続: 7 秒, 通信: 20 秒
ノードのモビリティ	なし
世帯数	30 世帯
ノード数	AP: 90, STA: 4/AP
無線通信規格	IEEE 802.11ac
使用周波数帯	5GHz 帯
周波数帯域幅	160 MHz
チャンネル選択 [10]	D NLOS
トラフィック (1 世帯)	UL: 475 Mbps, DL: 401 Mbps
トラフィックモデル	CBR
最大送信電力	AP: 23 dBm, STA: 15 dBm
最小 CCAT	-82 dBm/20 MHz
Margin	30 dB
アンテナゲイン	AP: 0 dBi, STA: -2 dBi
ノイズ指数	7 dB
伝搬損失モデル	3 次元空間距離ベース
最大アグリゲーション	64
最大再送回数	9
CW	最大値: 1023, 最小値: 15
Fading/Shadowing	あり
BSS color Filtering	あり
RTS/CTS	なし

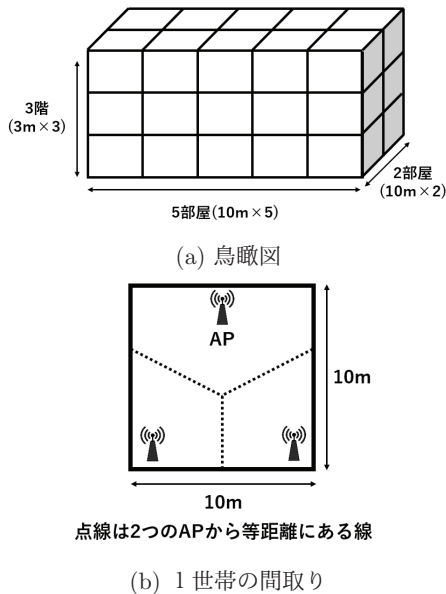


図 7: アpartmentシナリオの概略図

#### 4.1 システムスループット

図 8 に各比較制御方式における世帯当たりの平均システムスループットを示す。N2OB の DL/UL の合計スループットは 166.7 Mbps であり、MiET の 139.3 Mbps に対して約 19 % 向上を示した。N2OB では、他 BSS 最近傍ノードを考慮に入れて TPC/DSC を行うことによって、システムスループットを向上させることが出来たと言える。また、Legacy の平均システムスループットは 126.8 Mbps であり、N2OB は TPC/DSC を行うことで約 31 % の向上を示した。

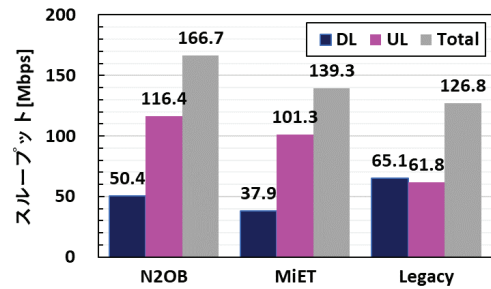


図 8: システムスループット

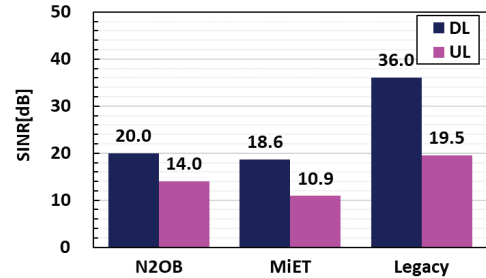


図 9: 平均 SINR

#### 4.2 平均 SINR

図 9 に各比較制御方式における各ノードの平均 SINR を示す。N2OB の DL/UL の SINR はそれぞれ 20.0 dB, 14.0 dB であり、MiET の 18.6 dB, 10.9 dB に対してそれぞれ 1.4 dB, 3.1 dB の向上を示した。また、Legacy の平均 SINR は DL/UL それぞれ 36.0 dB, 19.5 dB であり、N2OB はどちらの値も低下した。Legacy は通信範囲の制御を行っていないため、環境に依らず固定的に最大 TxP, 最小 CCAT で通信を行う。そのため、宛先ノードでの RSSI は最大、被干渉量は最小となり SINR は最大となる。しかし、本シナリオのような密集環境ではさらし端末が増加し、過剰な送信抑制が起こることで、送信機会が減少し、スループットが低下する。

#### 4.3 平均再送率

図 10 に各比較制御方式における各ノードの平均再送率を示す。この再送率は 1 回の送信を成功させるために要した再送の割合を示す。N2OB の DL/UL の再送率はそれぞれ 1.05, 1.04 であり、MiET の 1.91, 1.35 に対してそれぞれ 0.86, 0.31 の低下を示した。また、Legacy の平均再送率は DL/UL それぞれ 0.43, 1.06 であり、DL の再送率が増加し、UL は同程度であった。SINR の評価と合わせて、SINR を向上させると再送率は低下する。よって、これらから N2OB のスループットは MiET に対しては再送率を低下させたことによって増加したと考えられる。

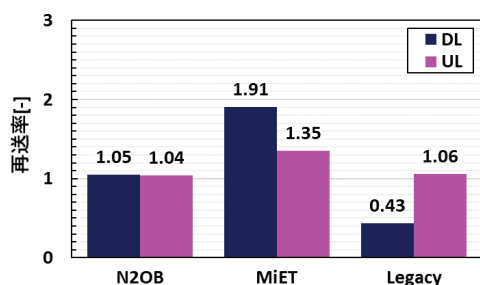


図 10: 平均再送率

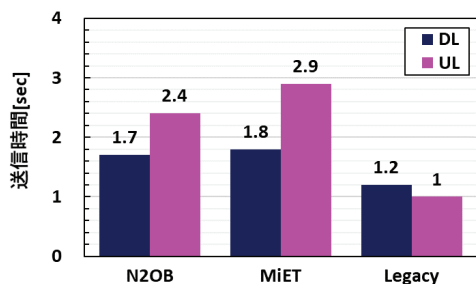


図 11: 平均送信時間

#### 4.4 平均送信時間

図 11 に各比較制御方式における各ノードの平均送信時間を示す。N2OB の DL/UL の送信時間はそれぞれ 1.7 sec, 2.4 sec であり, MiET の 1.8 sec, 2.9 sec に対してそれぞれ 0.1 sec, 0.5 sec 減少した。送信機会と再送率や SINR はトレードオフの関係であることがわかる。MiET では TPC/DSC 範囲を最小化することで送信機会, Legacy では最大化することで SINR を極端に優先した制御である。一方で, N2OB では他 BSS 最近傍ノードまで考慮に入れて TPC/DSC 範囲を制御することで, MiET に対しては SINR, Legacy に対しては送信機会を優先し, スループットが向上したと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では, 密集無線 LAN 環境における BSS の重複による SINR の劣化, およびスループットの低下を改善するために, 他 BSS 最近傍ノード基準の送信電力/信号検知閾値制御として N2OB を提案した。提案では他 BSS の中で最も宛先ノードの対して干渉を与える可能性のある他 BSS 最近傍ノードも考慮して送信電力/信号検知閾値制御を行う。具体的には全ノードは周辺ノードとの伝搬損失を取得し, 他 BSS 内で電波伝搬損失上最も近傍に位置するノードを決定する。そして, 他 BSS 最近傍ノードが宛先ノードよりも遠方に位置した場合, 他 BSS 最近傍ノードを基準に送信電力を決定することで宛先ノードでの SINR の劣化を抑制する。送信電力の減少幅に合わせて CCAT を連動して増加させることで制御ノードは送信機会を確保し, 送信電力を低下がもたらす再送率の増加によるスループットの低下を抑制する。

シミュレーション評価では, DL/UL の合計のシステムスループットが MiET に対して, 27.5 Mbps(19%) 向上した。また, 平均 SINR, 平均再送率, 平均送信時間の評価から, MiET に対しては送信電力の増加による再送率の低下, Legacy に対しては送信時間の確保をすることによってスループットを向上させた。

## 参考文献

- [1] IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications—Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz, IEEE Std 802.11ac(TM)-2013 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012, IEEE Std 802.11aa-2012, and IEEE Std 802.11ad-2012), pp. 1-425, Dec 2013.
- [2] Stephen McCann and Alex Ashley. OFFICIAL IEEE 802.11 WORKING GROUP PROJECT TIMELINES - 2016-11-14. [http://www.IEEE802.org/11/Reports/802.11\\_Timelines.htm](http://www.IEEE802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm), 2016. Accessed: 2018-01-27.
- [3] Robert Stacey others. Proposed TGax draft specification. <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/16/11-16-0024-01-00ax-proposed-draft-specification.docx>, March 2016. Accessed: 2018-01-27.
- [4] M. S. Afaqui, E. Garcia-Villegas, E. Lopez-Aguilera, D. Camps-Mur. Dynamic sensitivity control of access points for IEEE 802.11ax. IEEE International Conference Communications (ICC), 2016.
- [5] Seongwon Kim, Jaehong Yi, Youngwook Son, Seungmin Yoo, and Sunghyun Choi. Quiet ACK: ACK Transmit Power Control in IEEE 802.11 WLANs. IEEE INFOCOM, 2018.
- [6] Koji Yamamoto, Xuedan Yang, Takayuki Nishio, Masahiro Morikura, and Hirantha Abeysekera. Analysis of Inversely Proportional Carrier Sense Threshold and Transmission Power Setting. IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2018.
- [7] A.ValKanis, A.Iossifides, P.Chatzimisios. An Interference Based Dynamic Channel Access Algorithm for Dense WLAN Deployments. IEEE Panhellenic Conference on Electronics and Telecommunications (PACET), 2018.
- [8] Simone Merlin and et al. TGax Simulation Scenarios. <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/14/11-14-0980-16-00ax-simulation-scenarios.docx>. 2015. Accessed: 2018-01-27.
- [9] Takeshi Itagaki and Masahito Mori and Kazuyuki Sakoda. Dynamic CCA control and TPC Simulation Results with SS1 SS3. <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/15/11-15-1045-00-00ax-dynamic-cca-control-and-tpc-simulation-results-with-ss1-ss3.pptx>, September 2015. Accessed: 2018-01-27.
- [10] Greg Breit and et al. TGac Channel Model Addendum Supporting Material. <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/09/11-09-0569-00-00ac-tgac-channel-model-addendum-supporting-material.doc>. 2009. Accessed: 2018-08-29