

密集無線LAN環境における公平性向上のための アクセスポイント間協調による信号検出閾値制御の検討

岩井 皓暉¹ 大沼 貴信¹ 重野 寛¹ 田中 悠介²

概要：近年，都市部では無線技術の発展に伴い多くの無線 LAN（Local Area Network）が乱立している．多数の無線端末が近接して配置されている密集環境では，同一チャネル干渉によってシステムの性能が大きく悪化する．IEEE 802.11ax Task Group では，この問題に対処する最も有効な手段の一つとして信号検出閾値，送信電力の最適制御を検討している．これらの制御を行う多くの既存研究では，システム性能を向上させる一方，他 Basic Service Set（BSS）のステーション（STA）を考慮していないため，スループット性能の BSS 間での公平性は十分ではない．本稿の目的は信号検出閾値の制御を行うことで，送信機会の枯渇を抑制し，BSS 間のスループット公平性を向上させることである．提案手法の fair Dynamic Sensitivity Control（fairDSC）では，アクセスポイント（AP）間でスループットやデータフレームの送信数を交換し，スループットと送信機会の観点から相対的に性能の悪い BSS の性能が向上するよう協調的に信号検出閾値の制御を行った．シミュレーション評価では，既存研究と比較して送信機会や DL スループットの公平性が改善することを示した．

1. はじめに

IEEE 802.11ac [1] 規格が策定されたことに伴い，無線 LAN（Wireless Local Area Network）技術は利便性やコスト効率，配置のしやすさ等の面で大幅に発展した．こうした技術発展は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無線 LAN が次々と無秩序に乱立した．そして，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）が密集化している．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，自 BSS および隣接した他 BSS の通信干渉によって，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．

密集配置された無線 LAN の高効率化（High Efficiency WLAN）を目的とする IEEE 802.11ax [2] の標準化が 2014 年 3 月から新たに開始され，有限な周波数資源を効率的に共有する空間再利用（Spatial Reuse）に関する研究が注目されている．空間再利用では主に以下の 2 つの制御，DSC と TPC 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．1 つ目の動的信号検出閾値制御 [3]

（DSC：Dynamic Sensitivity Control）はキャリアセンスを行う際の信号検出閾値を制御する．これにより信号検出可能範囲を制御し，過度な通信検出による送信機会の喪失を抑える．2 つ目の送信電力制御（TPC：Transmission Power Control）は送信時の電力を制御する．これにより，送信電力到達可能範囲を制御し，他端末に与える干渉電力を抑制させる．以降，DSC によって制御された信号検出可能範囲を DSC 範囲，TPC によって制御された送信電力到達可能範囲を TPC 範囲と定義する．

これまで，DSC や TPC 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 をベースとした DSC 手法 [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 の送信電力など限られた部分に着目しており，その他の制御やフレームに適用することでさらなる改善の余地がある．信号検出閾値と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出閾値，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が明らかではない．他 BSS から受ける干渉により送信電力，チャネルアクセスを決定する研究 [7] では，既存のアルゴリズムより高い伝送速度を達成した．

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

しかし、チャンネルアクセス方式を変更する必要がある、既存のシステムから大きな変更を必要とする。

本稿での提案のベースとなる既存制御 MiET [8] では、AP は配下の STA、STA は接続 AP に合わせて TPC および DSC を行っており、送信電力を最小限に、信号検出閾値を最大限に連動制御することで、TPC 範囲および DSC 範囲を共に最小限としている。この場合、自 BSS 内のみの協調動作で制御を行っているため、他 BSS への影響を考慮できていない。したがって、BSS が密集して配置された環境では、比較的 DSC 範囲が狭い端末が周波数資源を占有する一方、DSC 範囲の広い端末は周波数資源を獲得することができず、スループット公平性が悪化する。

本稿では密集環境における無線 LAN のスループット公平性を改善するために、AP 間連携による信号検出閾値制御を提案する。DSC は既存の無線 LAN に対して適応が容易かつ効果が高く、密集環境下におけるシステムの性能を改善する最も基本的な手段の一つである。提案手法では、初めに AP は Beacon フレームで DL スループットとデータフレーム全送信数を情報交換する。次に交換した情報から制御権を取得する AP、制御対象となる BSS を決定する。制御権を取得した AP は自分が有利になるように信号検出閾値を制御し、また制御対象となる BSS に制御を依頼する。このように、既存制御 MiET では未考慮であった他 BSS の情報を考慮して信号検出閾値を決定する。提案の有効性は、シミュレーション [9] によって確認する。

以下本稿では、2 章において関連研究 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した提案のベースとなる制御方式 [8] 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。

2.1 制御

MiET 手法では先に宛先端末から送信されたフレームに記載された送信電力情報を用いて送信元端末が送信電力 (TxPower) を最小値に近づけるように制御し、そのときの TPC と連動させて信号検出閾値 (CCAT) を最大値に近づけるように制御する。この手法は前提としてフレームに送信電力を記載して送信を行う。この送信電力を用いて各 AP、STA との伝搬損失を算出して TPC を行い、その後に DSC を連動させる。この制御では TPC と DSC を連動制御させることで、TPC を行うインセンティブを DSC においている。

TPC

送信電力 (TxPower) 決定アルゴリズムを図 1 を用いて

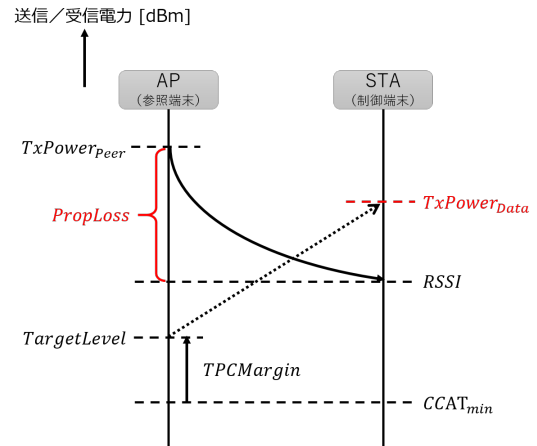


図 1: データフレーム用送信電力決定アルゴリズム

説明する。STA はまず、AP からの受信電力 (RSSI) とフレーム内に記載された送信電力情報 ($TxPower_{Peer}$) の 2 つを用いて AP-STA 間の伝搬損失 ($PropLoss$) を次式から求める。

$$PropLoss = TxPower_{Peer} - RSSI \quad (1)$$

AP、STA 標準の最低信号検出閾値 $CCAT_{min}$ ($= -82\text{dBm}$) から $TPCMargin$ だけ保証した目標到達電力である $TargetLevel$ 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 ($TxPower_{Data}$) とする。

$$TargetLevel = CCAT_{min} + TPCMargin \quad (2)$$

$$TxPower_{Data} = \min \left(\frac{TxPower_{Default}}{TargetLevel + PropLoss} \right) \quad (3)$$

ただし、ここで用いられた $TPCMargin$ は AP、STA 配置によって一意に決定される定数であり、 $TxPower_{Default}$ は AP のとき 23dBm 、STA のとき 15dBm を用いる。なお、AP が TPC を行う場合は配下の STA ごとに $TxPower_{Data}$ を宛先別に管理する。また、ACK フレーム用の送信電力は、受信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。

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

DSC

次に、信号検出閾値 (CCAT) 制御について説明する。MiET 手法では、DSC は TPC と連動して制御させる。単体で制御を行うと、DSC や TPC を行う Ax 対応端末と行わないレガシー端末が共存した場合両端末間で送信機会に差が生じるからである。Ax 対応端末では検知されなかった通信をレガシー端末は過剰に検知してしまうのである。具体的な連動制御は、全 AP/STA 間で共通の送信電力レベル $TxPower_{common}$ ($=23\text{dBm}$) と、TPC によって求めら

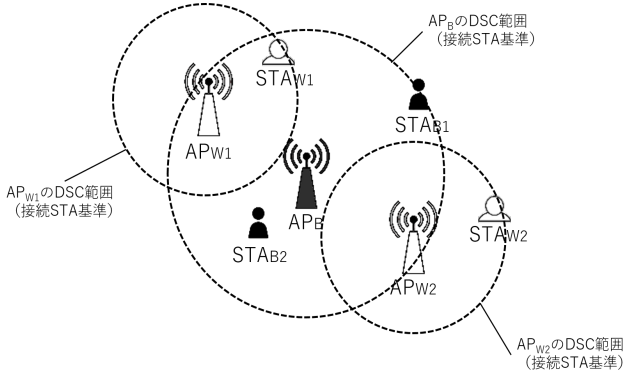


図 2: 周波数資源の占有や枯渇

れたデータフレーム用送信電力 $TxPower_{Data}$ の差分だけ、 $CCAT_{Default}$ から増加させる。 $CCAT_{Default}$ は使用する周波数帯域幅によって異なり、それぞれ-82dBm/20MHz, -76dBm/80MHz である。

$$CCAT_{Controlled} = CCAT_{Default} + TxPower_{common} - TxPower_{Data} \quad (5)$$

TPC が $PropLoss$ を基に制御されるため、それに連動する DSC も結果的に $PropLoss$ ベースの制御となり、CCAT もそれに依存した値となる。

また、前述したように AP は配下の STA ごとに $TxPower_{Data}$ を複数管理しているが、CCAT の算出には最も高い $TxPower_{Data}$ である、つまり最も遠方に位置している配下の STA を基準とする。

2.2 問題点

通信可能範囲を最小限にした MiET 手法では、自 BSS 内協調のみで制御を行っている。よって多数の BSS が近接するような密集環境を想定した場合、他 BSS との与干渉・被干渉を考慮できず、AP, STA の環境によって周波数資源の占有や枯渇が発生する。密集環境において他 BSS 間で周波数資源の占有や枯渇が発生するケースを図 2 に示す。このケースでは AP_B は自身の接続する最遠方の STA_{B1} を基準に DSC 範囲を決定する。また、 AP_{W1} と AP_{W2} はそれぞれ STA_{W1} , STA_{W2} を基準に DSC 範囲を決定する。この時、 AP_B の DSC 範囲には AP_{W1} , AP_{W2} が含まれているが、 AP_{W1} , AP_{W2} の DSC 範囲には AP_B が含まれておらず隠れ端末となっている。このケースにおいて、隠れ・さらし端末の影響を受けない比較的環境の良い AP_{W1} , AP_{W2} が周波数資源を占有し、隠れ・さらし端末の影響を受ける比較的環境の悪い AP_B の周波数資源が枯渇する。つまり、 AP_{W1} , AP_{W2} は AP_B が検出できるように DSC 範囲を広げた方がよく、 AP_B は DSC 範囲を狭めた方がよい。

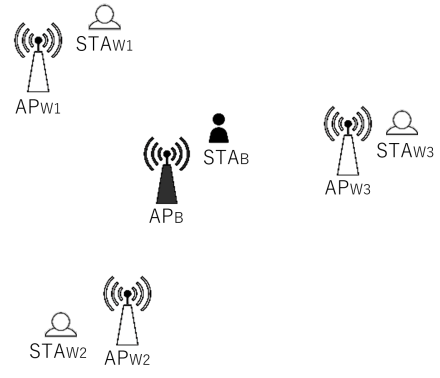


図 3: AP, STA 配置例

3. 提案

本章では、密集環境における無線 LAN のスループット公平性を改善するために、AP 間連携による信号検出閾値制御として fair Dynamic Sensitivity Control (fairDSC) を提案する。この手法では、DSC 範囲、TPC 範囲を MiET 基準で決定した後、AP 間で Beacon フレームを用いて情報交換を行い、情報をもとに比較的性能を得られていない AP が有利になるように周囲の AP, STA と協調して DSC を行う。

fairDSC の信号検出閾値制御について、制御 AP の決定、制御 AP と配下 STA の信号検出閾値の算出、被制御 AP と配下 STA の信号検出閾値の算出の 3 つの段階に分けて説明する。図 3 のように AP_B を含む BSS の周囲に AP_{W1} を含む BSS, AP_{W2} を含む BSS, AP_{W3} を含む BSS が隣接し干渉を起こしている AP, STA 配置ケースを想定する。

3.1 制御 AP の決定

AP はまず自身の信号検出閾値を MiET アルゴリズムに従い式 (5) で算出する。次に Beacon フレームを用いて、Beacon 間隔 (100msec) で DL スループットおよびデータフレーム全送信数を隣接 AP と情報交換する。ここで隣接 AP を最大信号検出閾値の時に Beacon フレーム (最大送信電力) を検出する AP と定義する。DL スループットを情報交換することによって、隣接 AP との比較から、相対的なスループット性能を評価することができる。また、データフレーム全送信数を情報交換することによって、隣接 AP と比較して相対的な送信機会の獲得を評価することができる。さらに、DL スループットの情報だけでは、相対的に低スループットであったときにその主な原因を特定することはできないが、データフレーム全送信数の情報を合わせることで特定できる。具体的には低スループット AP について、データフレーム全送信数が多いと再送回数が多く、データフレーム全送信数が少ないと送信機会が獲得できていないと特定することができる。情報交換する DL ス

端末	AP _B	AP _{w1}	AP _{w2}	AP _{w3}
DLスループット [Mbps]	20	40	50	60

(a) AP_B における DL スループットリスト

端末	AP _B	AP _{w1}	AP _{w2}	AP _{w3}
データフレーム全送信数	100	400	600	800

(b) AP_B におけるデータフレーム全送信数リスト

図 4: 情報交換によるパラメータのリスト

ループット、データフレーム全送信数は過去一定時間の統計値を用いる。

そして、DL スループットリストを参照し、最もスループットの悪い AP を制御 AP とする。また、隣接 AP のうち RSSI が信号検出閾値以上となる AP を被制御 AP とする。fairDSC において信号検出閾値を変更するのは、制御 AP、被制御 AP とそれぞれの配下の STA のみであり、その他の AP、STA は MiET アルゴリズムに従って信号検出閾値を決定する。制御 AP の決定は Beacon 間隔ごとに行われる。このように、その時々スループット最下位 AP が制御 AP となり、制御 AP と配下の STA は送信機会を確保するように、被制御 AP と配下の STA は制御 AP と配下の STA を検出するように信号検出閾値を制御する。

図 4 に DL スループットリストとデータフレーム全送信数の例を示す。この例では AP_B の DL スループットリストとデータフレーム全送信数リストを示している。図 4 において、AP_B はスループット最下位が自分であると判断し、制御 AP となる。また、それぞれの AP は個別に DL スループットリストを所持しており、自らが制御 AP となるか判断する。

3.2 制御 AP とその配下 STA の信号検出閾値の算出

制御 AP は、データフレーム全送信数リストから以下の式でデータフレーム全送信数の公平率 α を計算する。

$$\alpha_i = \frac{Sent_i}{\frac{1}{N}(\sum_{i=1}^{N-1} Sent_j + Sent_i)} \quad (6)$$

公平率 α は、隣接 AP を含めた平均値に対する自身の割合である。ここで、 $Sent_i$ は制御 AP_i のデータフレーム全送信数、 $Sent_j$ は隣接 AP_j のデータフレーム全送信数であり、 N は自身を含む隣接 AP 数である。

平均以上送信機会が得られている場合 ($\alpha \geq 1$)、制御 AP は自身および配下の STA の信号検出閾値制御は行わず、現在設定されている信号検出閾値を用いる。平均未満の送信機会しか得られていない場合 ($\alpha < 1$)、低 DL スループットの原因は送信機会の喪失にあると考えられるため、制御 AP は自身の信号検出閾値を上げ、配下の STA に信号検出閾値を上げるように指示する。信号検出閾値は定数 C を用

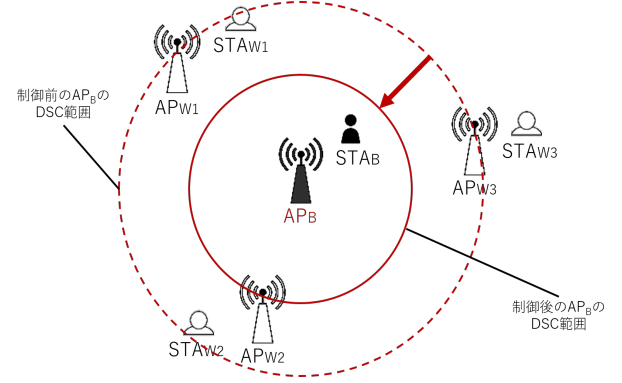


図 5: AP_B の信号検出閾値制御による DSC 範囲の縮小

いて以下の式で求める。

$$CCAT_{new} [dBm] = CCAT_{old} [dBm] + C [dB] \quad (7)$$

指示を受けた STA は AP に追従し信号検出閾値を上げる。さらに、制御 AP は被制御 AP にその配下 STA も含めた信号検出閾値の制御を依頼する。

図 5 は AP_B の信号検出閾値制御による DSC 範囲の縮小を示す。図では、AP_B が制御 AP となり信号検出閾値を上げ、DSC 範囲を縮小することで送信機会を創出するように制御している。

3.3 被制御 AP とその配下 STA の信号検出閾値の算出

制御を依頼された被制御 AP は各々自身と自 BSS 内 STA の信号検出閾値を制御する。まず、以下の式で DL スループットの公平率 β を計算する。

$$\beta_i = \frac{Thr_i}{\frac{1}{N}(\sum_{i=1}^{N-1} Thr_j + Thr_i)} \quad (8)$$

ここで、 Thr_i は被制御 AP_i の DL スループットであり、 Thr_j は隣接 AP_j の DL スループットである。また、ここでの隣接 AP とは制御 AP における隣接 AP であり、制御 AP から情報を得る。

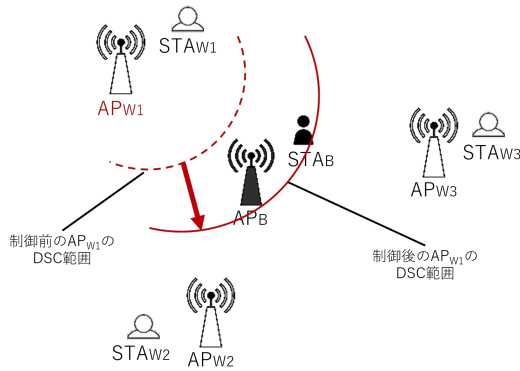
次に計算した β から信号検出閾値制御 StepSize を以下の式で算出する。

$$StepSize_i = \begin{cases} 1 [dB] & (\beta_i > 2) \\ \frac{1}{2}\beta_i [dB] & (\beta_i \leq 2) \end{cases}$$

被制御 AP は、算出された StepSize を用いて信号検出閾値を以下式のように決定し、さらに配下の STA に信号検出閾値を以下式のように決定するよう指示を出す。

$$CCAT_{new} [dBm] = CCAT_{old} [dBm] - StepSize [dB] \quad (9)$$

被制御 AP の配下 STA は、被制御 AP から指示を受けて、信号検出閾値を下げる。図 6 は AP_{w1} の信号検出閾値制御による DSC 範囲の拡大を示す。AP_{w1} は、制御 AP である AP_B から図 4 の DL スループットリスト情報を受

図 6: AP_{W1} の信号検出閾値制御による DSC 範囲の拡大

ける。そして、図 6 のように DSC 範囲を拡大する。これらの制御により、被制御 AP や配下の STA は制御 AP を優先して検出するように制御する。また、被制御 AP 間でも自身のスループットの公平率に応じて制御することで、より高いスループットを獲得できている時、DSC 範囲をより大きく広げるようにすることで、公平性を向上させる。

4. 評価

本章では、提案手法 fairDSC、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。評価シナリオとして IEEE 802.11ax で定義されたオープンスペースシナリオを用いた。このシナリオは、オープンスペースに均一に BSS を配置し、障害物がない上で通信を行った。評価シナリオの概略図を図 7 に示す。なお、図 7 は同一チャネルを選択した BSS のみを示した図となっており、この同一チャネルを選択した 19 の BSS を評価対象とした。シミュレーションパラメータを表 1 にまとめる。シミュレーションの各設定値は文献 [8][9] を参考にした。シミュレータには Scenargie2.0 を用いた。

評価指標に公平性、システムスループット、AP 位置と DL スループット、AP 位置と送信時間を用いた。公平性を確認するために、各スループットの累積分布のグラフを用いた。スループット [Mbps] を横軸とした累積分布をみることで、各スループット性能を持つ端末の存在率について調べることができる。このグラフ概形が横軸方向に伸びている場合は、端末間でスループットに差があり、公平性を確保できていないと判断し、縦軸方向に伸びている制御を公平性が高い制御であると判断する。ここでは特にスループットの 5%ile 値（下位 5%の最大値）に着目し評価した。システムスループットは各 BSS ごとの平均値を示す。さらに、より詳細に評価を行うため AP 位置別に DL スループットを確認した。各 AP とその位置ごとにスループットを確認することで、平均システムスループットなどの全体評価では見えなかった詳細な分析が可能となる。また、提案手法では DSC により周波数資源を均等に分配する傾向

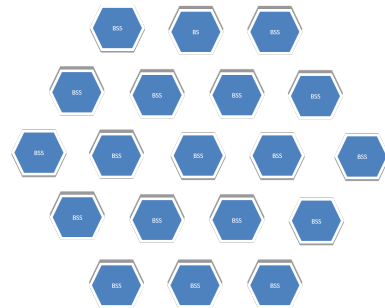


図 7: オープンスペースの概略図

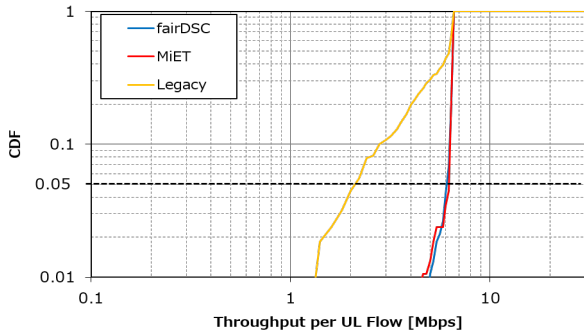
表 1: シミュレーションパラメータ

シミュレーション時間	接続 : 7 秒, 通信 : 20 秒
端末数	AP : 19, STA : 40/AP
無線通信規格	IEEE 802.11ac
使用周波数帯	5 GHz 帯
周波数帯域幅	80 MHz
トラフィック [8]	UL : 26, DL : 240 Mbps
トラフィックモデル	CBR
TPCMargin	30 dB
最大送信電力	AP : 23, STA : 15 dBm
最小信号検出閾値	-76 dBm
定数 C	1 dB
アンテナゲイン	AP : 0, STA : -2 dBi
ノイズ指数	7 dB
チャネル選択 [10]	D NLOS
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
伝搬損失モデル	3 次元空間距離ベース
Fading/Shadowing	あり
BSS Color Filtering	あり
RTS/CTS	なし

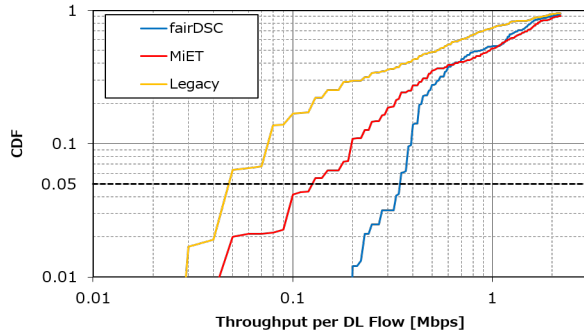
に制御しており、AP のリンク別に送信時間を既存手法と比較することで、正確に制御されているか評価した。

4.1 公平性

図 8 に UL, DL スループットの累積分布を示す。図 8a に示す UL スループットの下位 5%の累積分布を確認すると、提案ではほぼ全端末でトラフィック量と同程度のスループットを達成していることがわかる。DL のスループット累積分布から、5%ile 値を見ると、MiET は 0.13Mbps, Legacy は 0.05Mbps であるが³, fairDSC では 0.35Mbps であり、DL 公平性が大きく改善していることがわかる。オープンスペースシナリオのような高密度環境では、他端末による干渉が大きく、既存手法では周波数資源の占有や枯渇が強く発生している。提案手法では、低スループット端末に優先的に周波数資源を与えるように DSC 範囲を制御することで、公平性が大きく改善していることを確認できる。



(a) UL (STA) におけるスループット



(b) DL (AP) におけるスループット

図 8: 各スループットの累積分布

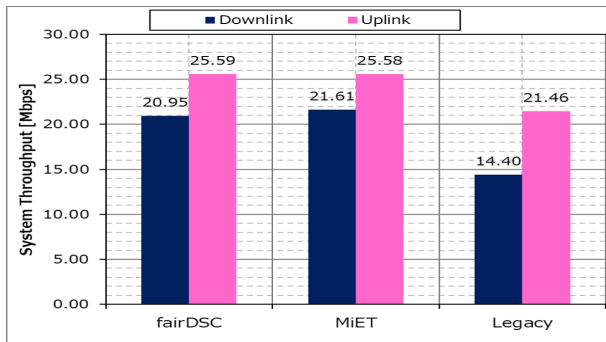


図 9: 平均システムスループット

4.2 システムスループット

図 9 に各比較制御方式における平均システムスループットを示す。fairDSC の UL, DL を合計した平均システムスループットは 46.54Mbps であり, MiET の 47.19Mbps と同程度の平均システムスループットを達成していることがわかる。提案手法では, DSC を用いて適切に信号検出閾値を制御することで, 全体のシステムスループットを悪化させることなく, 公平性を改善することができたと言える。また, Legacy の平均システムスループットは 35.86Mbps であり, fairDSC や MiET では DSC, TPC を行うことで約 30% の向上を示した。

4.3 AP 位置と DL スループット

図 10 に各比較制御方式における AP 位置と DL スループットを示す。図の BSS ごとに表示されている数値は, 各

表 2: DL スループット下位 AP の比較

	下位 1 位	下位 2 位	下位 3 位
fairDSC	0.20 Mbps	0.34 Mbps	0.34 Mbps
MiET	0.03 Mbps	0.19 Mbps	0.32 Mbps
Legacy	0.05 Mbps	0.06 Mbps	0.06 Mbps

AP の平均スループットである。各比較制御方式における AP の平均スループット下位 1 位, 2 位, 3 位の値を表 2 に示す。図 10, 表 2 から, Legacy は通信範囲の制御を行わないため全体的に低スループットであることがわかる。提案の fairDSC では, MiET と比較して低スループット BSS が改善していることがわかる。さらに中心の BSS とその周囲に着目すると, MiET から fairDSC では, 周囲の BSS が多く使用していた周波数資源を開放し, 中心の BSS がそれを獲得していることがわかる。

このように提案ではスループット下位の AP に有利になるように制御が出来ており, 結果として周囲のスループット悪化と引き換えに, スループット下位 AP が改善していることが確認できた。

4.4 AP 位置と送信時間

図 11 に各比較制御方式における AP 位置と送信時間を示す。図の BSS ごとに表示されている数値は, 各 BSS の AP の送信時間である。図 11 から Legacy は通信範囲の制御を行わず, 全 AP が DSC 範囲を最大としているため, 全体的に送信時間が獲得できていないことがわかる。fairDSC と MiET を比較すると, 低スループット AP において, 送信時間が増加していることがわかる。例えば, 図 11 において中心に位置するスループット下位 1 位の AP では, MiET における送信時間は 0.54sec であるが, fairDSC では 1.30sec であり, より周波数資源が獲得できていることを確認できた。逆に, 周囲の BSS において送信時間を比較すると, 提案では MiET に比べて低下する傾向にあり, 提案において DSC 範囲を拡大することで, 周波数資源の占有を抑え, 隣接の低スループット BSS に周波数資源を譲っていることがわかる。

5. おわりに

本稿では密集環境における無線 LAN のスループット公平性を改善するために, AP 間連携による信号検出閾値制御として fairDSC を提案した。fairDSC では, 隣接 AP のうち情報交換した DL スループット最下位の AP が制御権を取得し, その隣接 AP のうち $RSSI \geq CCAT$ となる AP が被制御 AP となる。そして制御 AP はデータフレームの全送信数の公平率から, 被制御 AP は DL スループットの公平率から, DL スループットが最下位であった制御 AP が周波数資源を獲得できるようにそれぞれ DSC を行う。つまり, 制御 AP は DSC 範囲を縮小し, 被制御 AP は DSC

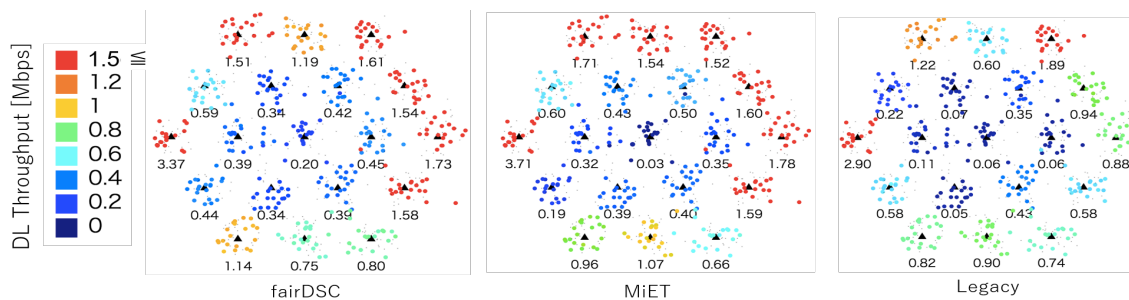


図 10: DL (AP) における端末位置とスループット

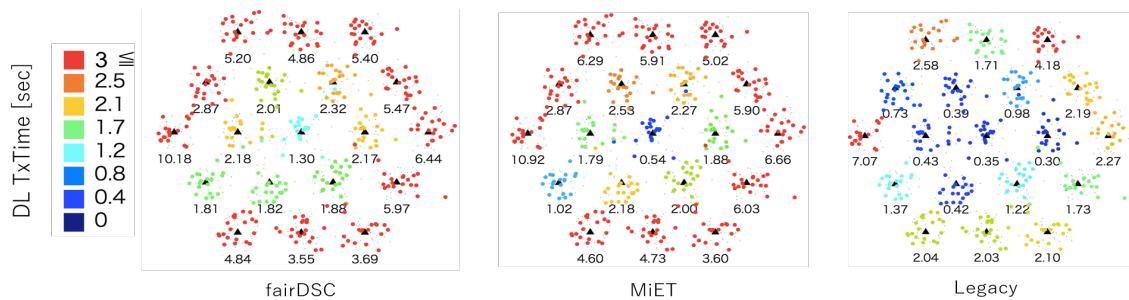


図 11: DL (AP) における端末位置と送信時間

範囲を拡大する。また、BSS をひとつの系とみなし、配下の STA は AP に追従する形で DSC 範囲を制御する。

シミュレーション評価では、既存手法と比較して、UL, DL 通信の平均システムスループットおよび UL スループット公平性を維持したまま、DL 通信においてスループット 5%ile 値が 0.22Mbps 増加 (169.2 ポイント増加) し、公平性が改善することを示した。また、AP, STA 位置とスループット、送信時間の評価から、低スループット AP と周囲の AP, STA が協調して低スループット AP が周波数資源を獲得できるように信号検出閾値を制御している様子が確認できた。

今後の課題としては、より公平性を改善させるために、信号検出閾値の制御に加えて送信電力の制御を行うことである。

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, 2016. Accessed: 2017-01-27.
- [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: 2017-01-27.
- [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, 2017.
- [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), 2017.
- [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), 2017.
- [8] 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: 2017-01-27.
- [9] 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: 2017-01-27.
- [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: 2017-08-29.