

令和 3 年度

卒業研究論文

次世代WLANの信頼性向上を 目指したIR-HARQ適用の提案

令和4年2月4日 提出

岡山県立大学 情報工学部

情報通信工学科

2130054

山内 彰悟

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	IEEE 802.11 ax WLAN の概要と再送制御	2
2.1	緒言	2
2.2	IEEE 802.11 ax WLAN の概要	2
2.3	再送制御	2
2.4	結言	3
第 3 章	HARQ の概要と IR-HARQ による再送制御	4
3.1	緒言	4
3.2	HARQ	4
3.3	IR-HARQ による再送制御	5
3.4	結言	6
第 4 章	シミュレーションによる性能評価	7
4.1	緒言	7
4.2	シミュレーション諸元	7
4.3	シミュレーション結果	8
4.4	結言	10
第 5 章	結論	11
5.1	まとめ	11
5.2	今後の課題	11
	謝辞	12
	参考文献	13

内容梗概

近年、スマートフォンの普及や自営系無線システムの増加、セルラシステムからのオフロードの増加、スマートメータやセンサネットワーク等 IoT/M2M (Internet of Things/Machine to Machine) の利活用の更なる促進から無線局の免許を必要としない周波数帯 (アンライセンスバンド) の逼迫が懸念されている。先行研究では、周波数帯利用効率を改善する方法として、複数周波数帯同時利用 WLAN (Wireless Local Area Network) の再送制御に IR-HARQ (Incremental Redundancy-Hybrid Automatic Repeat reQuest) を提案した。

本研究では、IEEE 802.11 ax の再送制御に IR-HARQ を適用した場合のスループット、PER (Packet Error Rate) を計算機シミュレーションで評価することで、次世代 WLAN の再送制御に IR-HARQ の適用の提案を検討する。

第 1 章

序論

近年、スマートフォンの普及や自営系無線システムの増加、セルラシステムからのオフロードの増加、スマートメータやセンサネットワーク等 IoT/M2M (Internet of Things/Machine to Machine) の利活用の更なる促進から無線局の免許を必要としない周波数帯 (アンライセンスバンド) の逼迫が懸念されている。以上の背景から、アンライセンスバンドの周波数利用効率の向上が求められている。

文献 [1] では、周波数利用効率の向上に複数周波数帯同時利用 WLAN (Wireless Local Area Network) が提案された。駅、空港、スタジアム等の人の多い場所であっても、複数の周波数帯 (2.4GHz 帯, 5GHz 帯等) を同時に利用することによって有限な周波数資源を万遍なく密に使用することができる。この複数周波数帯同時利用 WLAN を時間領域で周波数利用効率を改善するために再送制御に IR-HARQ (Incremental Redundancy - Hybrid Automatic Repeat reQuest) を提案した。

本研究では、WLAN の標準規格である IEEE 802.11 ax に IR-HARQ を適用し、スループット、パケット誤り率を従来の再送制御と比較することで次世代の WLAN 標準規格である次世代 WLAN の再送制御に IR-HARQ の適用の検討を行う。

第 2 章

IEEE 802.11 ax WLAN の概要と再送制御

2.1 緒言

本章では、WLAN 標準規格 IEEE 802.11 ax の概要とその再送制御について説明する。

2.2 IEEE 802.11 ax WLAN の概要

IEEE 802.11 ax とは、米国の IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers：米国電気電子技術者協会) 802 委員会によって 2021 年に標準化された WLAN 規格である。この規格では高効率通信を目的としており、WLAN が高密度に配置された環境下や屋外においても高い伝送効率が得られる。送信機側に複数のアンテナを設置することで、複数端末の伝送を多重化する MU-MIMO (Multi User - Multiple Input Multiple Output) 技術を上りリンク (UL：Up Link) においても使用できるように追加規定されている。IEEE 802.11 ax には OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 伝送が導入されている。OFDMA とは、アクセス権を獲得したチャネルを細分化し、多数の端末に割り当て、アクセスポイント (AP：Access Point) と複数の端末間で多元接続を実現するものである。この端末毎の割り当てに複数のサブキャリアで構成された RU (Resource Unit) が用いられている。

2.3 再送制御

IEEE 802.11 ax における再送制御は DCF (Distributed Coordination Function) によって行われている。DCF による再送制御の模式図を図 2.1 に示す。DCF では送信元端末がチャネルの使用状況を確認し、他の端末が使用しているビジー状態は送信を見合わせ、他の送信端末が使用しなくなったアイドル状態に送信するといった、CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 方式が利用されている。送信時に DIFS (DCF Inter Frame Space) 時間を持ってチャネルの使用状況を確認する。未使用であれば、各端末に割り当てられたバックオフ時間を待ってパケットを送信する。受信側では、FCS (Frame Check Sequence) によってパケットが正常に届いたかどうかを判定する。FCS が OK であれば、DIFS 時間よりも短い SIFS (Short Inter Frame Space) 時間後、送信端末に ACK フレーム (ACKnowledgment frame：確認応答フレーム) を送信する。FCS が NG だった場合、送信端末には何も送信しない。送信端末は ACK フレーム受信時刻に ACK フレームを受信できなかった場合、受信側が受信に失敗したと判断し、再送に入る。DCF による再送制御は、再送時でも初送時と同じ手順で送信権を獲得する必要がある。高密度環境下では再送のオーバーヘッドが大きいといった問題が発生する。

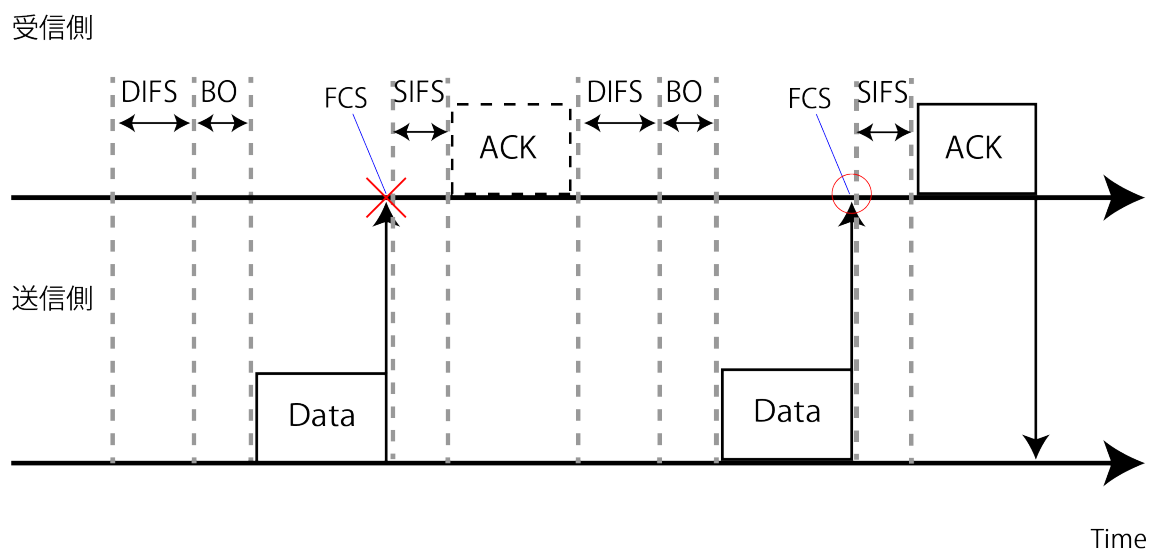


図 2.1. 従来の再送制御

2.4 結言

本章では、IEEE 802.11 ax の概要とその再送制御について説明した。次章では、HARQ と今回適用する IR-HARQ による再送制御について説明する。

第3章

HARQ の概要と IR-HARQ による再送制御

3.1 緒言

本章では、HARQ の概要と本研究で IEEE 802.11 ax に適用する IR-HARQ による再送制御について説明する。

3.2 HARQ

HARQ は、誤り訂正技術の FEC (Forward Error Correction：前方誤り訂正) と ARQ (Automatic Repeat reQuest：自動再送要求) を組み合わせた再送技術である。FEC は誤送信を見越し誤り訂正符号化した後、受信側で誤り検出、訂正を行う方式で、ARQ は受信側がデータフレームを正しく受信できなかった場合に NACK フレーム (Negative ACK frame：再送要求フレーム) を送信側に送り、送信側は受信側から ACK フレームを受け取るまで再送し続ける制御方式である。

HARQ を実現する方法として CC (Chase Combining) と IR (Incremental Redundancy) の 2 つがある。2 つの方法の違いは、再送プロセスにある。2 つの再送プロセスの模式図を図 3.1, 3.2 に示す。CC-HARQ は再送発生時、受信側は受信データを保管した後に再送要求をする。送信側が同一パケットを再送し、受信側でバッファしたパケットを再送パケットと最大比合成を行うことにより、時間的ダイバーシチ効果を得る方式となっている。一方、IR-HARQ は初送時に誤り訂正符号化した符号語のデータ部分とパリティビットの一部を送信し、受信エラーとなった場合には、初送時のパリティビットに続くパリティビットの一部を再送することで段階的に符号化率を低下 (誤り訂正能力を向上) させる方法である。

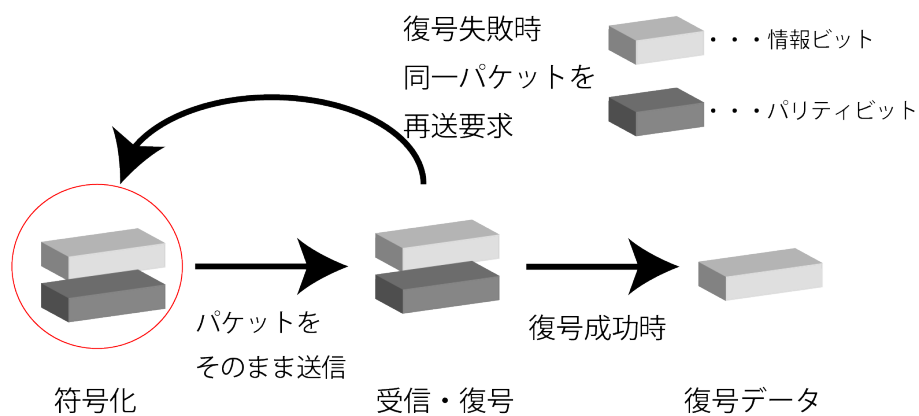


図 3.1. CC-HARQ の再送プロセス

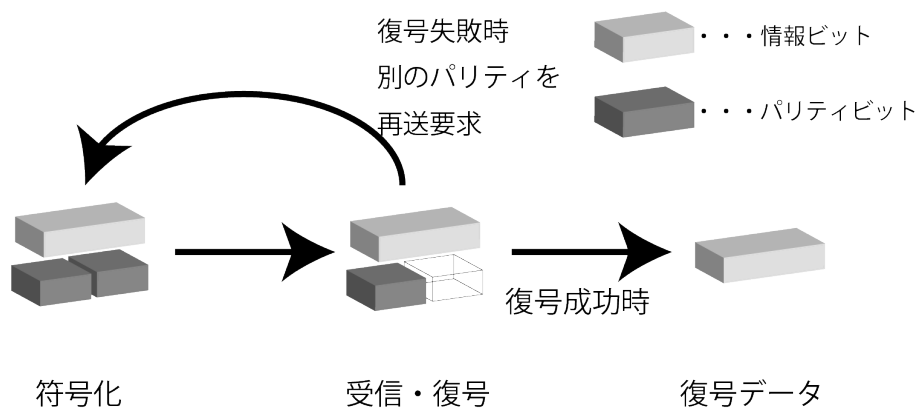


図 3.2. IR-HARQ の再送プロセス

3.3 IR-HARQ による再送制御

本研究において、IEEE 802.11 ax に適用する IR-HARQ による再送制御の模式図を図 3.3 に示す。初送時の送信権を獲得するプロセスは DCF と同様であるが、再送時は他の送信端末の送信を禁止する CTS (Clear to Send) フレームを用いて、次の ACK フレーム受信時間までの時間を設定した CTS/NACK フレームとして送信側と他の送信端末に SIFS 時間後に送信する。送信元端末は最大再送回数に達していれば通信を終了し、達していなければ指定されたパリティビットを SIFS 時間後に受信側に再送する。DCF による再送制御と比較して再送時にバックオフ時間が不要であり、DIFS 時間が SIFS 時間に短縮されているという利点がある。

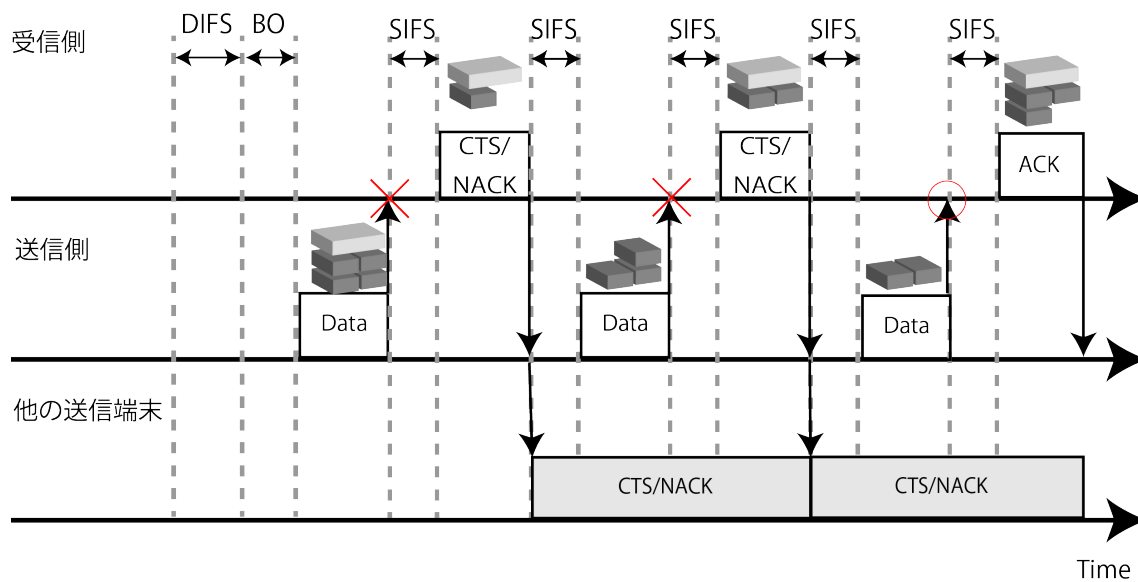


図 3.3. IR-HARQ による再送制御

3.4 結言

本章では、HARQ の概要と IR-HARQ による再送制御について説明した。次章では、シミュレーションによる性能評価を行う。

第 4 章

シミュレーションによる性能評価

4.1 緒言

本章では，本研究におけるシミュレーション諸元について説明し，第 3 章で説明した IR-HARQ による再送制御を実際に IEEE 802.11 ax に適用する．計算機シミュレーションすることによって従来の再送制御と性能比較を行う．

4.2 シミュレーション諸元

表 4.1 にシミュレーション諸元を示す．アクセスポイント (AP : Access Point) を 1 台，送信端末数を 1 台とし，パケットサイズ 1500 [byte] で AP 1 台と送信端末 1 台間のデータ伝送を行う．変調方式は 16 QAM，誤り訂正符号は IEEE 802.11 ax で規定されている畳み込み符号を符号化率 1/2 で使用する．受信エラーとなった場合の処理は，DCF では再送を行わずにパケットを棄却，IR-HARQ では再送を最大で 3 回まで行い，最大再送回数に達した場合は受信エラーとしてパケットを棄却する．IR-HARQ の符号化率の設定は 5/6, 3/4, 2/3, 1/2 として各符号化率の誤り訂正能力を図 4.1 に示す．

表 4.1. シミュレーション諸元

パラメータ	値
WLAN 規格	IEEE 802.11 ax
アクセスポイント	1 台
送信端末数	1 台
変調方式	16 QAM
誤り訂正符号	畳み込み符号 (拘束長 : 7, 符号化率 : 1/2)
最大再送回数 (IR-HARQ)	3 回
パケットサイズ	1500 [byte]
チャネル帯域	20 [MHz]
チャネルモデル	TGax チャネル (Model-B), AWGN 回路

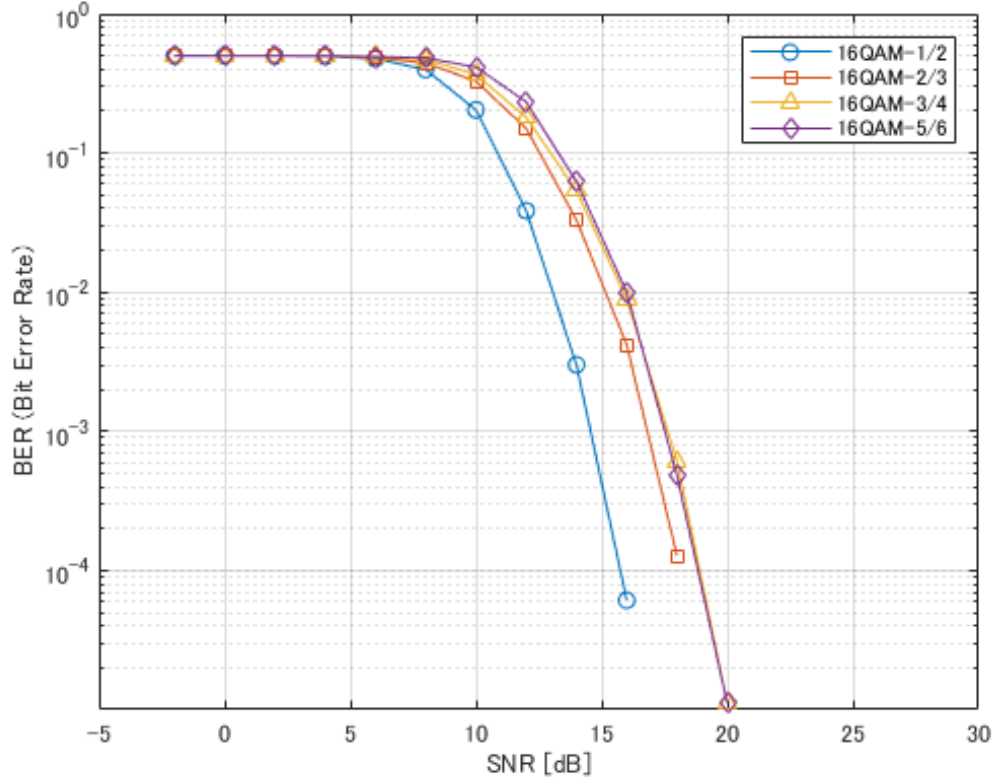


図 4.1. 16 QAM における SNR 対 BER 特性

本研究では、性能比較の指標として、スループットと PER (Packet Error Rate) を用いる．送信したパケットの総数を N_p ，受信成功したパケット数を N_{suc} ，パケットのビット長を L_p ，パケット持続時間を t_x とすると，スループット S ，PER は次式 (4.1)，(4.2) で求める．

$$S = \frac{N_{suc} L_p}{N_p t_x} \quad [\text{Mbps}] \quad (4.1)$$

$$\text{PER} = \frac{N_{suc}}{N_p} \quad (4.2)$$

4.3 シミュレーション結果

図 4.2 にスループットの比較，図 4.3 に PER の比較を示す．図 4.2 では，横軸を SNR [dB]，縦軸をスループット [Mbps] としており，図 4.3 では，横軸を SNR [dB]，縦軸を PER としている．図 4.2 から，従来の再送制御よりも IR-HARQ を適用した場合の方が，高 SNR 下でスループットが向上する特性が得られた．図 4.3 からは，従来の再送制御とほぼ同一の PER 特性が得られた．これらの結果から，AP1 台と送信端末 1 台のデータ伝送において，再送制御に IR-HARQ を適用すると高 SNR 下ではスループットが向上することが分かった．

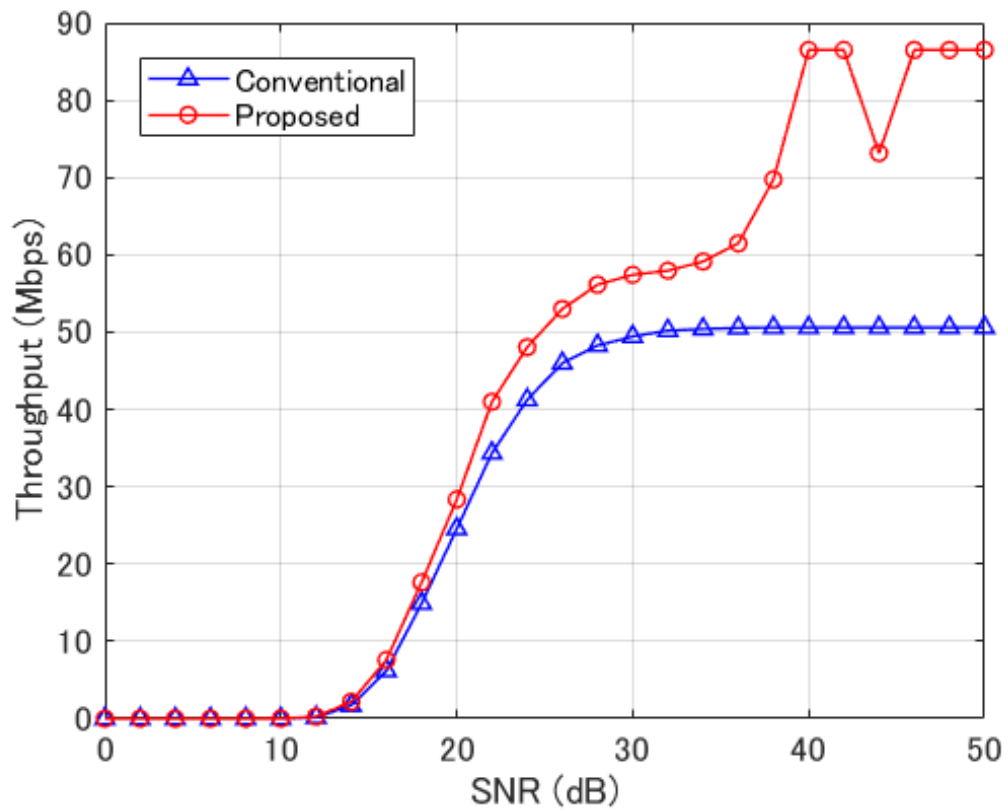


図 4.2. DCF と IR-HARQ のスループット比較

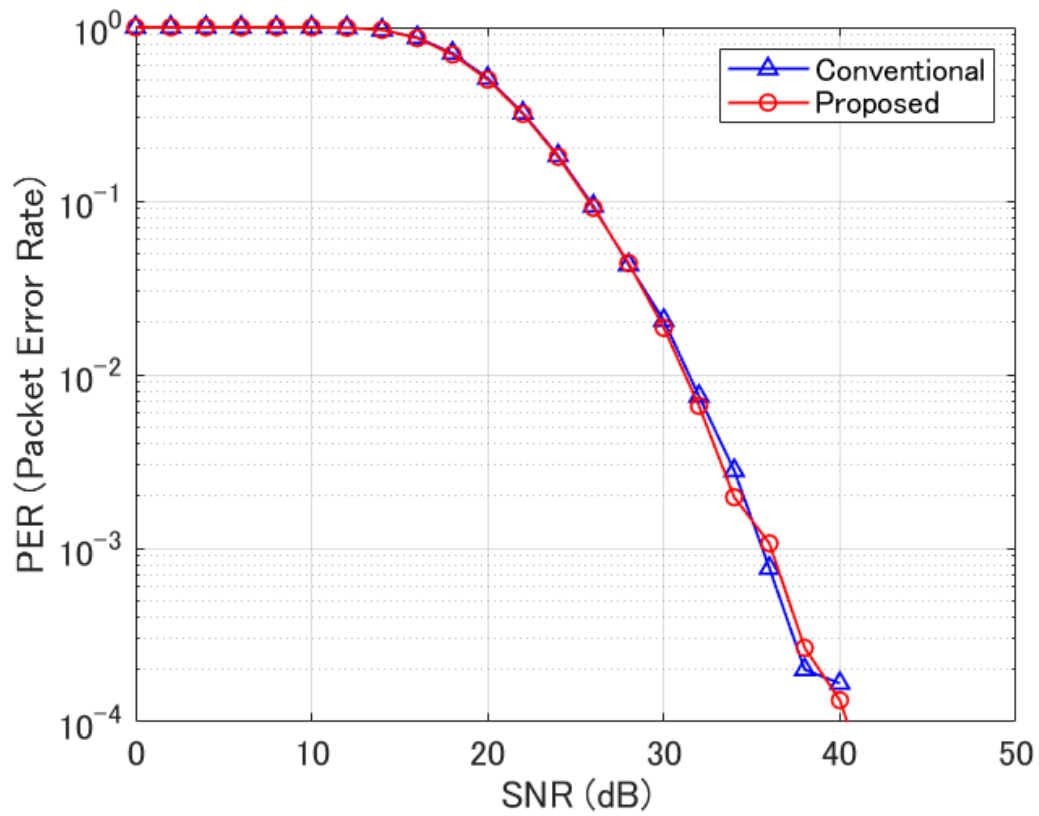


図 4.3. DCF と IR-HARQ の PER 比較

4.4 結言

本章では，従来の再送制御と IR-HARQ を適用した場合のスループットと PER を計算機シミュレーションにより比較した．その結果，高 SNR 下でスループットが向上する結果が得られた．

第 5 章

結論

5.1 まとめ

本研究では、IEEE 802.11 ax の再送制御に IR-HARQ 適用した場合のスループットと PER の特性を従来の再送制御と比較することで評価した。高 SNR 下でスループットの利得を確認したが、複数台の端末と AP1 台のシミュレーションを行っておらず、周波数帯が逼迫した環境下での評価が不十分である。従って、当初目的としていた次世代 WLAN への IR-HARQ 適用の検討へと至ることができなかった。

5.2 今後の課題

今後の課題としては、複数台の端末と AP1 台のデータ伝送のシミュレーションが挙げられる。これにより、周波数帯が逼迫した環境下での評価が可能となり、IR-HARQ の有効性を検討することができる。また、誤り訂正符号の最適化も挙げられる。超多値変調方式を最適に伝送するための誤り訂正符号を実装する必要があると考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり，全過程を通じて御助言，御指導を頂きました，高林健人助教に深く感謝致します。

また，本研究及び本論文の執筆において，様々な面で御協力を頂きました，榊原勝巳教授に感謝致します。

最後に，本研究を通して日頃から議論や協力をいただいた通信伝送工学研究室の皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 雨澤泰治, “複数周波数帯同時利用無線 LAN における IR-HARQ による周波数利用効率の改善”, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J102-B, No. 2, pp.106-119, 2019 年 2 月.
- [2] 浅井裕介 (NTT), “次世代高性能無線 LAN 規格 IEEE802.11ax に関する国内外の動向”, 論文誌名, 2019 年 3 月, <https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/equ/mra/pdf/30/j/15.pdf>.
- [3] 鵜澤史貴, 光山和彦, 池田哲臣, 平栗健史, “TDD-双方向 FPU における Type-II HARQ 方式の適用に関する検討”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 68, No. 5, pp.210-212, 2014 年 4 月.
- [4] 村上泰司, ネットワーク工学, 丸山隆一, 森北出版株式会社, 東京都, 2004 年.