

IEEE 802.11ac WLAN ネットワークモードに対応した MT8862A ワイヤレスコネクティビティテストセットの開発

木原祥隆 Yoshitaka Kihara, 増原恵太 Keita Masuhara, 柳本貴志 Takashi Yanagimoto, 笠置崇裕 Takahiro Kasagi, 井上 剛 Gou Inoue, 岩本 守 Mamoru Iwamoto, 根上勇一 Yuichi Negami

[要 旨]

スマートフォンをはじめとした通信端末機器に加え、家電製品や自動車、IoT(Internet of Things)機器まで WLAN(Wireless LAN)の利用範囲は広がり続けている。WLAN デバイスの品質評価手法の一部として、ネットワーク接続状態での RF 測定が求められており、IEEE 802.11ac のネットワークモードによる RF 測定に対応した MT8862A ワイヤレスコネクティビティテストセットを開発した。本器は、RF 性能評価に必要な送信信号測定、受信感度測定をネットワーク接続状態で実施する機能を提供し、WLAN 機器の品質向上に貢献する。

1 まえがき

インターネット、モバイル通信環境の普及に伴い、スマートフォンをはじめとした通信端末機器には WLAN(Wireless LAN)が標準的な通信インターフェースとして搭載されている。加えて、家電製品や自動車など、従来想定された通信機器以外の近距離無線インフラとして WLAN の利用範囲が広がり続けている。近年注目されている IoT(Internet of Things)機器においても、WLAN はその中心的な通信技術として重視されている。

WLAN は IEEE 802.11 として標準化されているが、RF(Radio Frequency)性能評価の手順は明示されておらず、ダイレクトモード(チップベンダ独自のテストモード)による評価が主流である。一方でダイレクトモードが使用できない完成品状態での RF 性能評価や、CTIA CWG(Cellular Telecommunications and Internet Association Converged Wireless Group)で標準化されている OTA(Over The Air)試験など、ネットワーク接続状態を前提とした試験要求が高まっている。

そこで現在主流となっている IEEE 802.11ac の WLAN ネットワーク接続機能に対応した RF 測定器として MT8862A を開発した。以下に本開発における設計方針、設計の詳細、および MT8862A の特長について述べる。



図 1 MT8862A ワイヤレスコネクティビティテストセット

2 システム設計

2.1 設計方針

ネットワークモード測定はチップベンダ固有の制御環境や手順が不要となり、最も簡素な測定システムを実現できる。また、WLAN はオペレータがサービス対価を求めるような無線技術ではないため、デバイスのコスト要求が非常に厳しく、当然ながらその評価設備である測定器についても低価格が求められる。これらの市場要求をふまえ、以下のような設計方針とした。

- IEEE 802.11b/g/a/n/ac に対応
 - 一般的に使用される 2.4 GHz, 5 GHz の WLAN 規格に対応し、IEEE 802.11ac においては最も普及している 80 MHz 帯域幅までをターゲットとした。
- AP モード, STA モード, および WLAN セキュリティ機能に対応
 - DUT(Device Under Test)として AP(Access Point), STA(Non-AP Station)の両方を想定し、MT8862A は対向機器として両方の通信機能を搭載した。また、セキュリティ機能が必須の DUT を考慮して WEP(Wired Equivalent Privacy), WPA(Wi-Fi Protected Access)-Personal, WPA2-Personal を使用したネットワーク接続をサポートした。
- OTA 試験用途を考慮した RF 入出力構成
 - 大型チャンバを使用した OTA 試験システムの場合、補助的に RF 増幅器を使用する場合がある。そうした RF 経路構成に柔軟に対応できるよう、RF 入出力を共通コネクタまたは送信と受信が別々の独立コネクタに切り替えられる設計とした。
- ウェブブラウザを使用した GUI(Graphical User Interface)
 - 本体から操作パネルを排し、外部 PC から制御する仕様とした。また、本体にウェブサーバを内蔵し、ウェブブラウザによる GUI を採用することで PC プラットフォームに依存しない操作系を実現した。

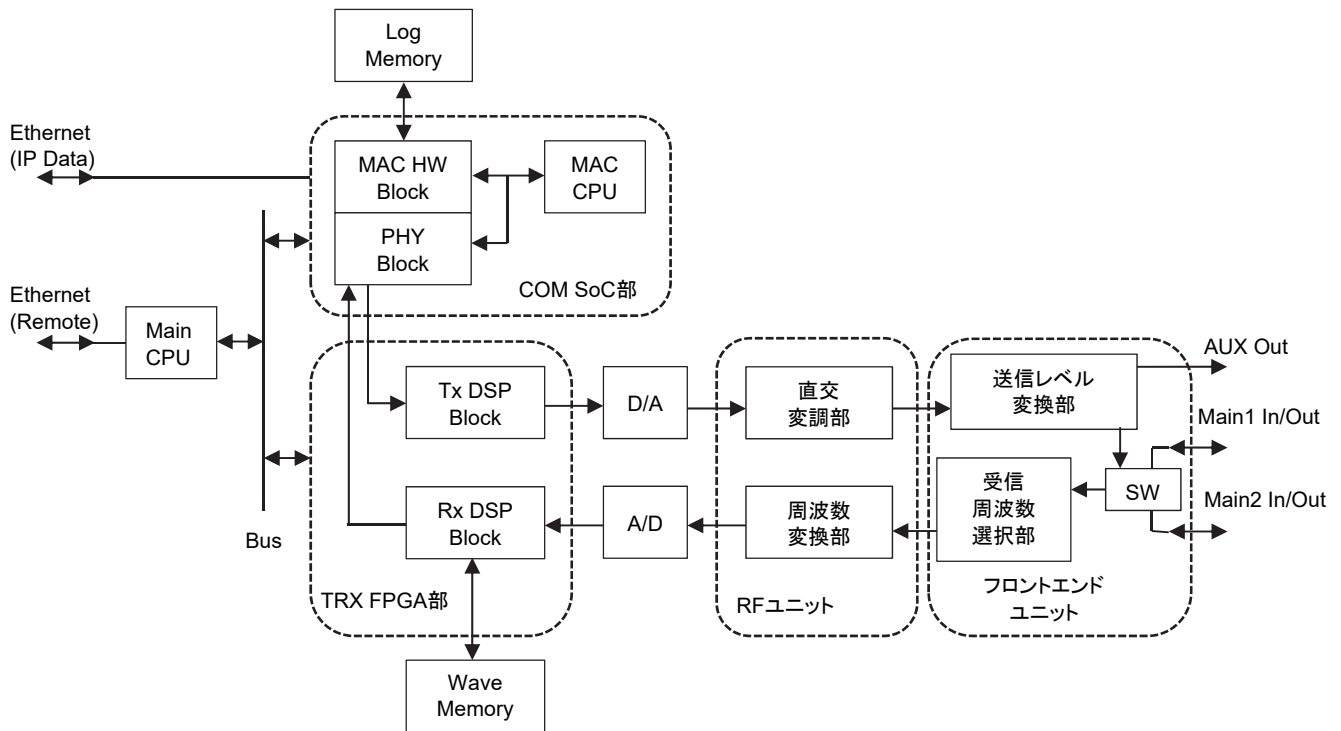


図2 ハードウェア構成

・設計資産の活用

MT8870A ユニバーサルワイヤレステストセットや MS2830A シグナルアナライザのハードウェア、FPGA、およびソフトウェア設計資産を活用することで、開発期間短縮、設計品質確保を重視した設計とした。

2.2 ハードウェアシステム

MT8862A のハードウェア構成を図2に示し、主要な機能ブロックについて、以下に説明する。

2.2.1 Main CPU 部

Main CPU 部は、MT8862A 内部ハードウェアの制御、信号解析機能、ユーザインタフェース機能を担当する。既存ソフトウェアの移植性を考慮して Linux を搭載するため、フォームファクタとして COM Express を採用した。リモート制御や後述するウェブ GUI インタフェースとして Gigabit Ethernet を装備した。

2.2.2 COM SoC 部

COM SoC(System on a Chip)部は CPU を内蔵した FPGA(Field-Programmable Gate Array)デバイスである SoC FPGA を採用して WLAN シグナリング機能を実現した。FPGA 側に実時間性を必要とする PHY(Physical)レイヤと MAC(Media Access Control)レイヤの一部を実装し、上位レイヤ機能は CPU 側で動作するソフトウェアとして実装することで、最適で極めてシンプルなハードウェア構成となった。補助機能として WLAN 通信フ

レームをログとして格納するための 2G バイト大容量メモリを搭載した。また、CPU に直結する Ethernet(IP Data)ポートを装備し、外部 PC を使用した IP データ転送機能をサポートした。

2.2.3 TRX FPGA 部

TRX FPGA 部は Tx DSP 部と Rx DSP 部から構成され、主にベースバンド信号処理を行う。Tx DSP 部では COM SoC 部から入力される送信ベースバンド信号に対して直交度補正処理を行い D/A 変換部へ出力する。Rx DSP 部では A/D 変換後のデジタル IF(Intermediate Frequency)信号に対して、帯域内振幅補正、直交復調処理にてベースバンド信号に変換する。受信ベースバンド信号は前述の COM SoC 部へ出力されると同時に波形メモリに蓄積される。Main CPU 部は送信測定実行時に、波形メモリから受信ベースバンド信号をメインメモリに DMA(Direct Memory Access)転送する。

2.2.4 RF ユニット部

TRX FPGA 部からのベースバンド信号を直交変調し、2.4 GHz 帯、5 GHz 帯の WLAN 信号を出力する送信部と、フロントエンドユニット部から入力された RF 変調信号を受信して IF 周波数へ変換し、デジタルハードウェア部へ送出する受信部から構成される。IEEE 802.11ac の広帯域信号測定に対応するため 160 MHz の帯域幅を確保した。新しい周波数帯への拡張も見据えて送受信ともに 10 MHz~6000 MHz の広範囲 RF 帯域を使用可能な設計とした。

2.2.5 フロントエンドユニット部

RF ユニット部からの変調波のレベル増減を行い、コネクタへ出力する送信部とWLAN信号を受信し、RFユニット部へ送出する受信部で構成される。OTA試験システムでの使用を考慮して、RF入出力を共通コネクタまたは送信と受信が別々の独立コネクタに切り替えられる設計とした。Co-existence試験(WLANとセルラ無線の同時使用時の相互干渉による感度劣化試験)の際、MT8862A受信部への影響を最小限とするため、本ユニットの受信部には2.4GHz、5GHzそれぞれ帯域制限フィルタを用意した。

2.3 ソフトウェアシステム

MT8862Aソフトウェアシステムは、主要機能を担当するMain CPU部とWLANシグナリングを担当するWLANシグナリング部に分かれており、Main CPUソフトウェアはPlatform部とApplication部で構成される。図3にMain CPUソフトウェア構成を示し、以下に各部の機能を説明する。

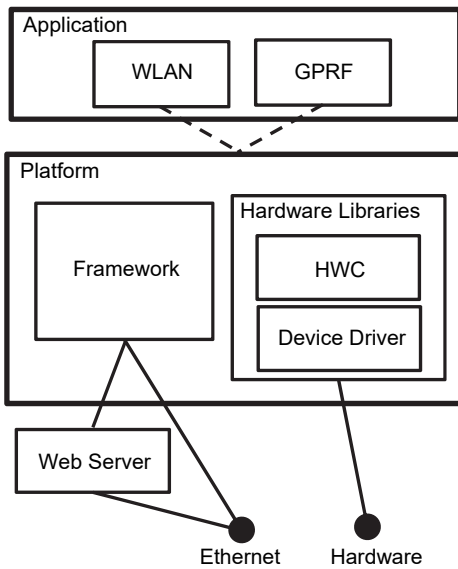


図3 Main CPUソフトウェア構成図

2.3.1 Platform部

Platform部はFrameworkとHardware Librariesから構成され、Framework部分ではリモートコマンド処理、本体情報管理、Applicationの管理などを行う。Hardware LibrariesはHWC部とDevice Driver部から構成され、MT8862Aに搭載されているハードウェアの制御、およびハードウェアとApplication間のデータの受け渡しを行う。また、Applicationに対してハードウェア制御のためのAPIを提供する。RFポート、周波数、レベル、トリガといった情報をApplicationが設定すると、HWC部がハードウェアのレジスタ設定値に変換してDevice Driver部を通じてハードウェアに設定を行う。

2.3.2 Application部

Application部はリモートコマンドに従って信号出力や測定・解析を行う実行部である。実行する機能は測定アプリケーション(以下、アプリ)単位で定義しており、各アプリは排他的に動作する。MT8862Aは、WLANアプリとGPRF(General Purpose RF)アプリの2種類のアプリを搭載している。WLANアプリはWLAN送信測定機能、受信測定機能、およびWLANシグナリングシステムの制御を実行する。GPRFアプリは外部ロス値調整のためのCW信号の出力、電力測定を実行する。

2.3.3 WLANシグナリング部

WLANシグナリング部は単一のSoCにIEEE 802.11に従ったシグナリング機能、パケット生成機能、外部接続PCとDUT間のデータを転送する機能を搭載した。図4に機能ブロック図を示す。

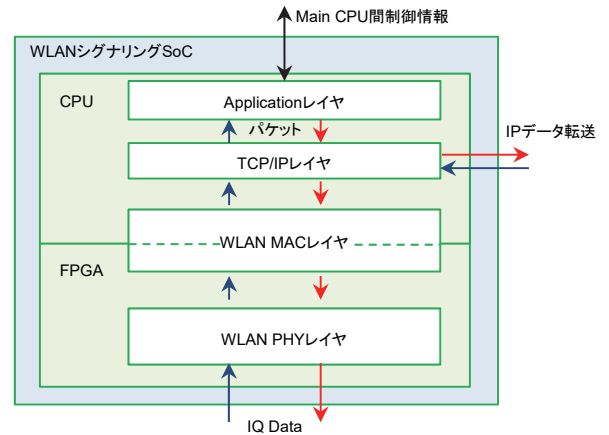


図4 WLANシグナリングSoC機能ブロック図

図5に示すとおり、データを送信する際は各レイヤでヘッダを付与しながらフレームを生成し、データを受信する際は各レイヤでヘッダを参照、削除して解析を行う。

CPU	Applicationレイヤ			Data	
	TCP/IPレイヤ		IP	Data	
	WLAN MACレイヤ	MAC	IP	Data	
FPGA	WLAN MACレイヤ	MAC	IP	Data	FCS
	WLAN PHYレイヤ	PHY	MAC	IP	Data

ヘッダ

送信
受信

図5 各レイヤ処理

また、送信するフレームのデータレートと再送可否をフレームの種類によって切り替える機能を搭載した。測定に使用するフレームを送信する場合は、ユーザに指定されたデータレートと送信回数に従うが、接続確立/維持に使用する制御フレームの場合は、DUTとの

接続性を維持するため、DUTとの Association で決定した最も低いレートを使用し、フレームの送達を確認できなければ再送を行う。

3 WLAN 測定機能

3.1 ネットワークモードによる RF 測定

MT8862A は、前述の WLAN シグナリングシステムによる WLAN 接続とパケット生成機能を使用して、ネットワーク接続状態での送信試験、受信試験を実施できる。図 6, 7 にそれぞれの測定実行画面を示し、以降の節で各測定機能について説明する。

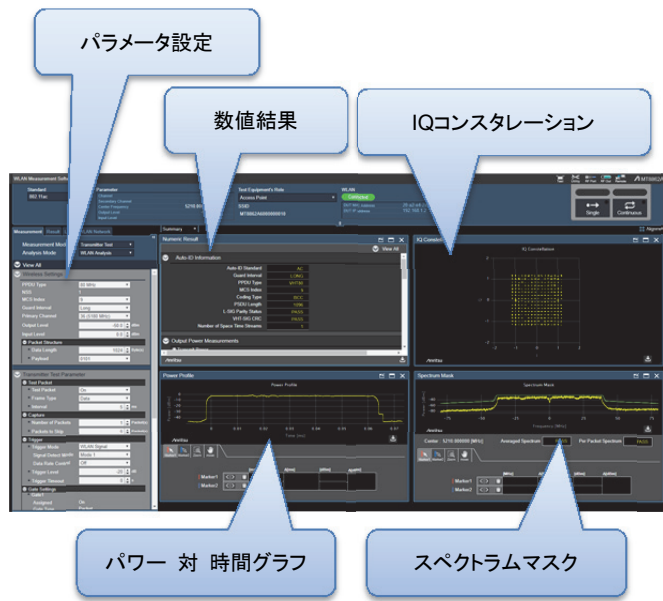


図 6 WLAN 測定画面(送信測定)

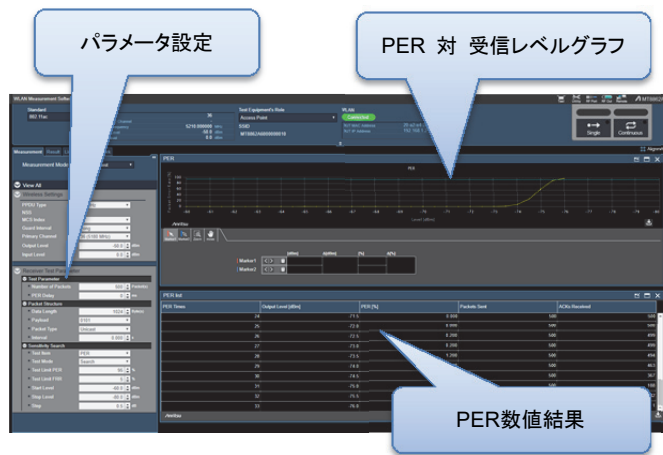


図 7 WLAN 測定画面(受信測定)

3.2 送信測定機能

WLAN では標準としてのテストモードや RF 測定のためのループバック機能は定義されていないため、MT8862A は以下の方法によって DUT に被測定信号を送信させる。

(1) Data フレームの測定

MT8862A から ICMP(Internet Control Message Protocol) Echo Request(Ping Request)を送信し、DUT から返送される ICMP Echo Reply(Ping Reply)を受信して測定を実行する。

(2) ACK フレームの測定

MT8862A からテスト用パケットを送信し、受信応答 ACK フレームを受信して測定を実行する。

ネットワーク接続状態では、さまざまな WLAN フレームのやりとりがあり、振幅のみで被測定フレームを弁別することは不可能なため、送信測定トリガを WLAN シグナリングシステムの復調情報と協調動作する WLAN シグナルトリガ機能を実装した。これにより、Data/ACK フレームの弁別や被測定フレームのデータレートを指定した送信測定を実行することが可能となった。

3.2.1 送信パワー測定

受信した被測定フレームについて、平均パワーとピークパワー、クレスト比を測定する。同時に、測定したバーストのパワー対時間のグラフ(図 8)を表示できる。

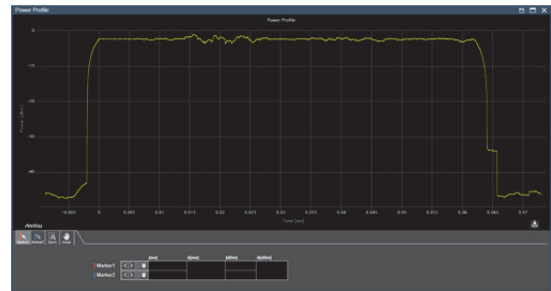


図 8 パワー対時間グラフウィンドウ

3.2.2 変調精度測定

受信した被測定フレームについて、EVM(Error Vector Magnitude), キャリア周波数誤差などの変調精度を測定する。WLAN 信号解析部は WLAN で使用される種々な変調方式を自動検出し、それぞれに対応した復調処理、変調精度測定を実行する。また、解析したフレームの IQ コンスタレーション(図 9)を表示できる。

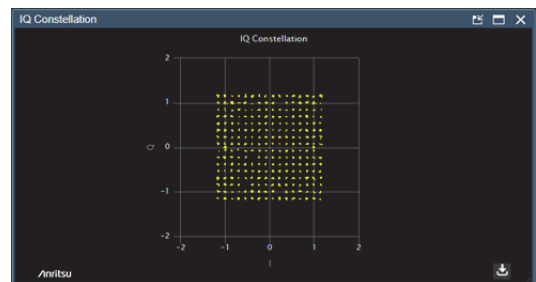


図 9 IQ コンスタレーションウィンドウ(256QAM)

3.2.3 スペクトラム測定

MT8862Aは160 MHzの信号解析帯域幅を有し、FFTによってスペクトラム測定を実施する。作成された信号スペクトラムに対して、IEEE 802.11で定義されたスペクトラムマスク(ただし IEEE 802.11ac 80 MHz 帯域幅については±80 MHz まで)の合否判定を実施する。信号スペクトラムは前記スペクトラムマスクと合わせてグラフ表示(図 10)ができる。

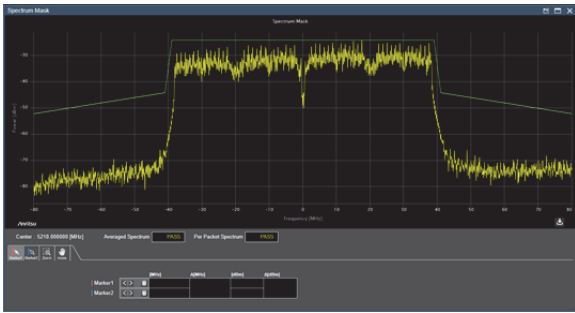


図 10 スペクトラムマスク結果ウィンドウ

3.3 受信測定機能

3.3.1 PER 測定

WLAN は自分宛てフレーム(パケット)を受信した際、確認応答として ACK フレームを返送する。受信性能評価として、PER(Packet Error Rate)測定はこの仕組みを利用して実現した。具体的には、MT8862A から指定数の測定用フレームを送信し、DUT から返送された ACK フレーム数をカウントする。送信した測定用フレーム数を分母に、DUT から返送されなかった ACK フレーム数を分子とし、受信できなかったフレーム数の割合を PER として算出する。

ネットワーク接続時の PER 測定において、DUT の Power Save 動作中は正しく PER 測定ができないことが課題であった。WLAN デバイスの中には省電力を目的として定期的に受信回路をオフにするものがあり、感度と関係なくテストパケットが到達せずに PER が悪化したように見える現象となる。これを回避するため、MT8862A は PER 測定中に DUT からの Power Save/Active 通知を監視し、DUT が Power Save 期間中には PER 測定を保留する動作を実装した。これにより、ユーザは DUT の Power Save 機能の有無を考慮せずに受信感度評価を実施することが可能となった。図 11 に Power Save 動作を考慮した PER 測定動作のイメージを示す。

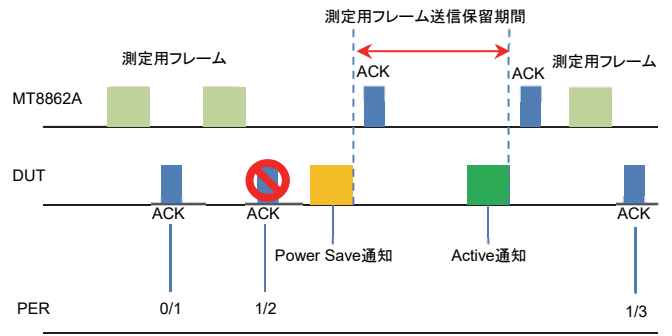
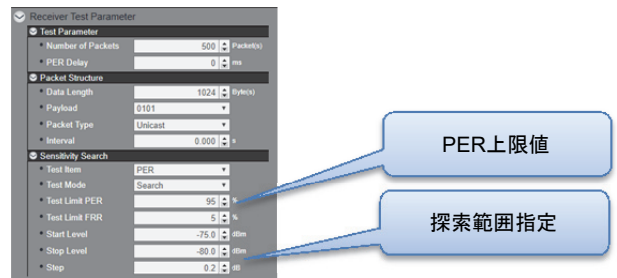


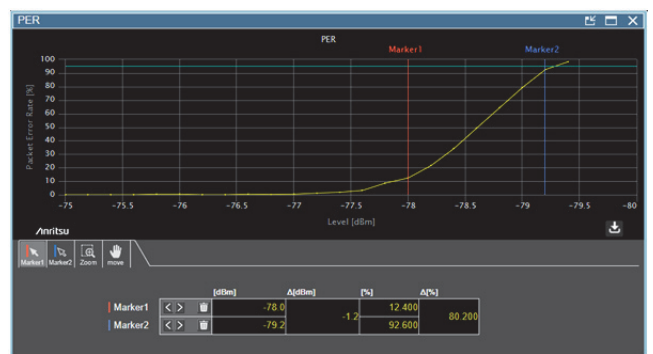
図 11 PER 測定イメージ図

3.3.2 受信感度探索機能

前項で PER 測定機能について述べたが、ユーザの関心は PER 値ではなく、特定の PER 値となる受信信号レベル(感度点)である。そこで、GUI 機能として、DUT 受信レベル(MT8862A 送信レベル)を下げながら PER 測定を実行する機能を実装し、受信感度点を容易に探索することを可能にした。測定開始と終了の DUT 受信レベルおよび PER 上限値を設定でき、所定の感度点に到達すると、自動的に測定を終了する。



(a) 受信感度探索パラメータ



(b) 受信感度探索結果画面

図 12 受信感度探索

3.4 測定補助機能

3.4.1 フレームキャプチャ機能

MT8862A と DUT 間のシグナリングを可視化するため、送受信フレームのフレームキャプチャ機能を搭載した。フレームキャプチャ

は pcap フォーマットで保存され、図 13 に示すように pcap ファイルに対応したアプリケーション (Wireshark などのネットワークプロトコルアナライザソフトウェア) で解析できる。

本機能は、DUT との接続トラブルの調査をする上で非常に有用であり、問題発生時に WLAN フレームを解析することで、ただちに DUT 設定誤り等をチェックできる。

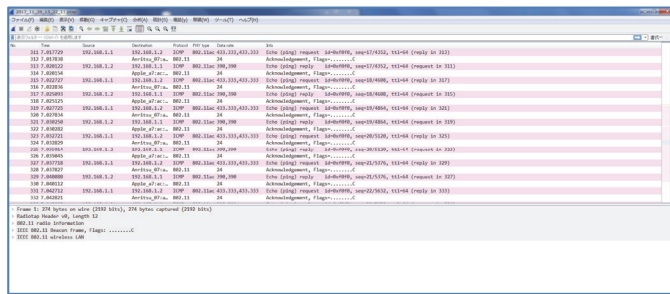


図 13 フレームキャプチャ表示例 (Wire Shark)

3.4.2 送信データレートの制御

送信データレートの選択論理は WLAN デバイスによってさまざまであり、WLAN 規格においては一部しか定義されていない。任意のデータレートを DUT に送信させる手法として、弊社の在来製品である MT8860C WLAN テストセットでは測定器の受信可能なデータレートを表す制御情報を測定対象のデータレートのみに限定して DUT に通知することで実現している。ただし、本手法には以下 2 点の問題点がある。

(1) STA モードで接続に失敗する場合がある

AP として動作する多くの WLAN デバイスは、STA に要求する最低限サポートすべきデータレートを制御情報で指定する。STA が送信する制御情報がこの条件を満たしていない場合、AP は接続を拒否する。そのため、測定器が受信可能なデータレートを限定した場合、STA モードで AP に接続できない場合がある。

(2) IEEE 802.11ac の制御に使用できない

IEEE 802.11ac は IEEE 802.11n 以前の規格と異なり、測定対象のデータレートのみ受信可能であることを制御情報で示すことができなくなった。受信可能な MCS は 0~7, 0~8, 0~9 の 3 パターンで表現されるようになり、MCS0 のみをサポートするというような設定はない。

MT8862A では MT8860C と同様の制御手法もサポートしているが、それに加えて DUT に意図的に再送を発生させることで任意のデータレートを送信させる手法を新たに搭載した。

多くの WLAN デバイスは、送信フレームに対して ACK フレーム

が受信できている場合は最大までデータレートを上げ、ACK フレームが受信できない場合はより送達確率が上がるようデータレートを下げて再送する動作傾向がある。これを利用し、図 14 に示すように DUT が測定対象のデータレートを送信するよう意図的に ACK フレームの送信を抑止する。

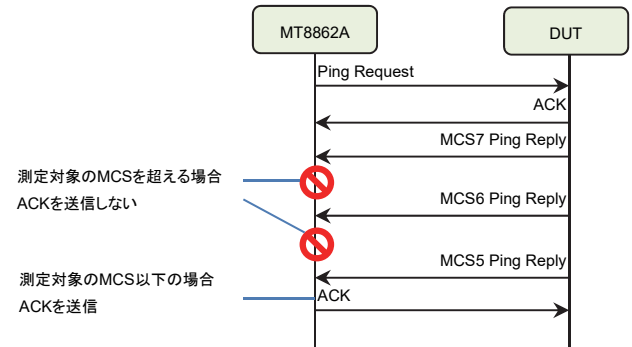


図 14 送信データレート制御イメージ

4 グラフィカルユーザインタフェース

4.1 ウェブ GUI

MT8862A には画面表示用ディスプレイを搭載していないため、マニュアル操作を行う場合は、外部の PC 上から操作を行う。操作には専用ソフトウェアのインストールが必要ないように、ウェブブラウザから MT8862A に設定されている IP アドレスにアクセスすることで操作画面を表示できる構成としている。

MT8862A は、ウェブブラウザから操作可能とするためにウェブサーバを搭載している。ウェブブラウザ上の GUI で行われたユーザ操作に対応するリモートコマンドを HTTP 経由で MT8862A 上のウェブサーバに送信し、MT8862A 内の各アプリに通知することで外部 PC からの操作を実現している。

ウェブ GUI では、WLAN アプリ、GPRF アプリのパラメータ設定、測定実行、測定結果の表示のほか、MT8862A の機器情報の読み出し、設定、ファームウェアのアップデート、オプションライセンスのインストールなどが実行できる。

ウェブ GUI 画面構成は、使用目的別にページを独立させることで、それぞれの機能について使い勝手のよいレイアウトとした。はじめにアクセスするトップ画面、WLAN 測定を行う WLAN 測定ソフトウェア画面、GPRF 測定を行う GPRF 測定画面、およびファームウェアアップデートなどシステム設定を行うシステム情報画面から構成される。

4.2 測定結果の CSV 出力

WLAN 画面では送信測定や受信測定の結果を CSV (Comma-Separated Values)形式でファイル出力する機能を持つ。送信測定では Numeric Result 画面に表示されている各数値結果を、受信測定では List 表示されている PER の測定結果をウェブブラウザ経由でダウンロードし測定結果を PC 上に保存できる。

4.3 グラフ画像の保存

WLAN 画面, GPRF 画面の各グラフをウェブブラウザが対応している画像形式で出力する機能を持つ。送信測定, 受信測定で表示されている各グラフをウェブブラウザ経由でダウンロードし, 測定結果のグラフを PC 上に画像として保存できる。

5 むすび

IEEE 802.11b/g/a/n および IEEE 802.11ac のネットワーク接続に対応した RF 測定器である MT8862A を開発した。従来のダイレクトモードでは困難であった完成品状態で WLAN 性能評価やネットワーク接続を前提とした RF 測定機能を提供する。ネットワーク接続を利用したセットアップの容易さ, ウェブ GUI による操作性の利便性によって, WLAN デバイスの製品評価を手軽に実現する環境を提供し, IoT 技術を含めて今後も広く普及が見込まれる WLAN 機器の品質の向上に貢献していく。

参考文献

- 1) IEEE Standard 802.11-2016
“Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”
- 2) CTIA / Wi-Fi Alliance
“Test Plan for RF Performance Evaluation of Wi-Fi Mobile Converged Devices” Version 2.0.3

執筆者



木原 祥隆
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



増原 恵太
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
第 2 ソリューションマーケティング部



柳本 貴志
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



笠置 崇裕
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



井上 剛
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



岩本 守
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



根上 勇一
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部

公知