

高精度な網同期検証に対応したネットワーク試験器の開発

薄葉光弘 Mitsuhiro Usuba, 杉山修 Osamu Sugiyama, 石塚康二 Yasuji Ishizuka, 古木敦 Atsushi Furuki

[要旨]

LTE(Long Term Evolution)をさらに高速化させたLTE-AdvancedにおいてTDD(Time Division Duplex)方式のTD-LTE方式の採用が進んでいる。TD-LTE方式採用に合わせてMBH(Mobile Back Haul)における時刻・位相同期精度クラスに対する要求も高くなってきており、高精度かつ安価なPTP(Precision Time Protocol)ネットワーク網評価のニーズが高まっている。本開発ではネットワーク試験器であるMT1000A(ネットワークマスタプロ)に高精度なPTPネットワーク網評価で必要とされる機能を拡充した。

1 まえがき

スマートフォンやIoT(Internet of Things)の普及とともに爆発的に増加するデータ通信量に対応するため、LTEならびにLTEを発展させたLTE-Advancedの導入が世界中で加速している。こうした中、3GPP Release12において従来の周波数分割複信(FDD: Frequency Division Duplex)に加えて、周波数の利用効率の観点から時分割複信(TDD: Time Division Duplex)が盛り込まれた。LTE-Advancedでは前者がFDD-LTE方式、後者がTD-LTE方式と呼ばれている。¹⁾

TD-LTE方式では、上りチャネルと下りチャネル周波数の分離が不要で、周波数帯を最大限使用できる反面、隣接する基地局から上りチャネルと下りチャネルの信号が同一時刻に送信されると電波干渉に繋がるため、基地局と基地局の間で非常に高い時刻精度が必要となる。その精度はITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) G.8271において協定世界時(UTC: Coordinated Universal Time)と基地局装置の時刻誤差は1.5 μs以下に抑えるように規定されている。基地局はGPSを利用し、UTCに対して高精度に時刻同期する機能を有するが、地下のようにGPSの電波が届かない基地局ではイーサネット伝送を活用した時刻同期方式を採用することとなる。²⁾

ITU-TではFDD-LTE方式向けにシンクロナスイーサネットやPTPによる周波数同期に関する勧告G.826xシリーズの標準化が完了している。PTPとはイーサネット伝送路を使用することで汎用性が高く、高精度で安定した時刻・周波数同期を行うプロトコルである。

一方でTD-LTE方式向けに応用可能な勧告ITU-T G.827xシリーズはエンドユーザからの新たな要求に伴い、既存勧告の修正や新規勧告作成の必要性が認識されており、世界中の通信事業者、システム・デバイスベンダーの間で議論が活発化している。³⁾

2015年以降、既設MBHにクロック分配装置を追加し、PTP網を構築する動きがMobile/Fixedオペレータで始まっている。PTP網敷設コストを抑えるため、フィールドでの高精度な時刻同期検証と、キャリアイーサネット評価を効率化できるソリューションが求められている。

2 開発方針

従来、PTP網の時刻精度検証のために専用測定器が用いられてきたが、専用測定器は高価でありPTP網敷設時のコストを押し上げる原因となっている。またPTP網に要求される機能・性能評価では複雑な試験が求められ、検証測定器の複雑化や作業者へのトレーニングコスト増加にもつながってきている。これらの問題を解決することを目的として、操作が容易で、安価なPTP網評価測定を提供するため、以下の開発を行った。

- 最新テレコムプロファイル対応、時刻・位相差測定を含めたPTP機能拡張により、最新PTP網評価を可能とする。
- UTC時刻に同期可能な高精度GPS同期モジュールをMT1000Aの新規モジュールとして開発し、MT1000Aポータビリティを継承した高精度PTP測定器を提供する。
- 簡単な操作で複雑なPTP網評価を可能とすることで作業者の負担を軽減できる自動試験機能を提供する。

3 PTP機能の拡張

従来からMT1000Aではネットワーク測定機能の一環としてPTP評価機能を実装していたが、TD-LTE方式に向けたPTP網評価においてはテレコムプロファイルへの対応と高精度の位相評価機能の実現が課題としてあげられていた。そこでITU-T G.8275.1テレコムプロファイルに対応したプロトコルシミュレーション機能対応とUTC時刻をリファレンスとした位相評価機能を実装することで最新のPTP網評価で必要な測定ソリューションを提供可能とした。

3.1 ITU-T G.8275.1 テレコムプロファイル対応

MT1000A 用 MU100010A 10G マルチレートモジュールでは ITU-T G.8265.1(周波数同期プロファイル)⁵⁾に対応していた。そこに図 1 で示すように G.8275.1(位相・時刻同期プロファイル)⁶⁾を追加拡張することでモバイル網評価向け機能の充実を図った。

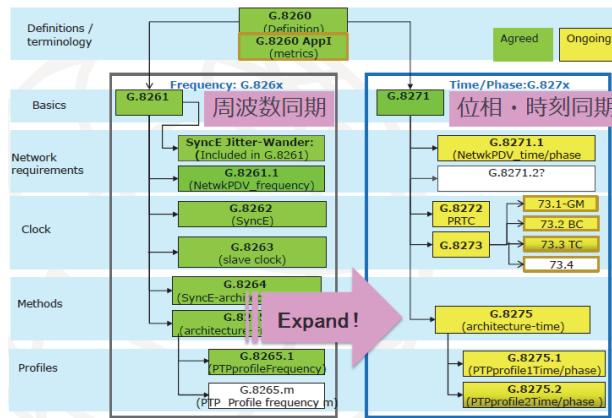


図 1 ITU-T 標準化勧告動向

3.2 UTC 時刻を用いた時刻同期精度測定

ネットワーク網同期においては装置間の周波数同期に加えて、絶対時刻まで一致させる時刻・位相同期アプリケーションが登場してきたことで、網同期技術の適用領域が拡大してきている。それに伴い時刻同期精度測定に対するニーズも拡大してきており、MT1000A では GPS からの UTC 信号を基準とした時刻・位相測定機能を開発し網同期ネットワークにおける時刻同期精度評価を可能とした。また評価方法としては次の 2 種とした。

- 1PPS(1 Pulse Per Second)信号による位相評価
- PTP パケットを用いた時刻・位相評価

(1) 1PPS 信号による位相評価

図 2 に示すように時刻を示す 1PPS 信号が出力可能なネットワーク装置を対象とした位相評価測定機能を開発する。GPS から取得した 1PPS 信号と、被測定対象からの 1PPS 信号を比較することにより、絶対時刻に対する被測定 1PPS の位相差評価を行う。



図 2 1PPS 信号比較

(2) PTP パケットを用いた時刻・位相評価

PTP 網同期ネットワークにおいて、GPS 信号から取得した UTC 時刻での PTP パケット送受信時刻 τ および PTP パケットに付与される被測定対象の時刻 T を用いて時刻同期精度の評価測定を開発する。⁶⁾

図 3 に示すように被測定対象が Sync パケットを送信する時刻 T_1 および、測定器が Sync パケットを受信する時刻 τ_2 の比較により被測定対象から測定器への片方向遅延である Sync OWD(One way delay)を算出する。また測定器が DelayReq パケットを送信する時刻 T_3 および被測定対象が DelayReq パケットを受信する T_4 の比較により DelayReq OWD を算出する。

$$\text{Sync OWD} = \tau_2 - T_1$$

$$\text{DelayReq OWD} = T_4 - \tau_3$$

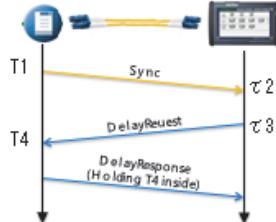


図 3 One way delay 測定

この Sync OWD および DelayReq OWD 測定結果から接続ケーブル長に依存した理論経路遅延(5 ns/m)を差し引くことで被測定対象での PTP 通信上り／下り方向それぞれでの時刻・位相差(Time Error)を算出し評価可能とする。また PTP 通信におけるマスタクロックからの時刻配信精度は上下双方通信に依存し決定されるため、上下双方の時刻・位相差 TE1 および TE4 の平均値を示す Terr(Time transfer Error)により被測定対象の時刻配信精度を評価可能とする。⁷⁾

$$\text{Time Error (TE)} = \text{OWD} - [\text{Ideal cable delay}]$$

$$\text{Terr} = (\text{TE1} + \text{TE4}) / 2$$

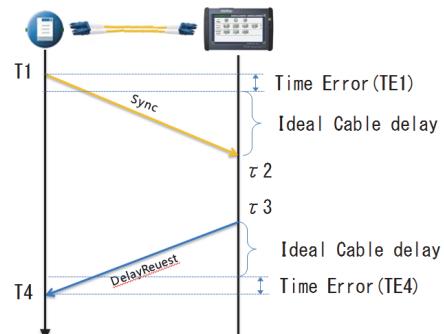


図 4 Time Error 算出

4 高精度 GPS 同期発振器モジュール開発

表 1 に示すような近年要求される精度レベル⁸⁾の位相評価を実現させたため、UTC に対して高精度で同期できる GPS 同期発振器モジュールの開発を行った。4 基以上の GPS 衛星からの信号が捕捉できない環境であっても高精度な時刻・位相評価を実現するために、事前に GPS 同期で得られた時刻情報を一定時間保持することが求められる。そこで高安定度なルビジウム発振器を GPS 信号から得られる 1PPS 情報に同期させるようにした。ルビジウム発振器は小型デバイスを採用し MT1000A のポートアビリティを失わない小型なモジュールを開発した。

表 1 要求される精度レベル⁸⁾

Level of accuracy	Range of requirements	Typical application
1	1 ms-500 ms	Billing, alarms
2	5 μs-100 μs	IP Delay monitoring
3	1.5 μs-5 μs	LTE TDD (large cell) Wimax-TDD (some configurations)
4	1 μs-1.5 μs	UTRA-TDD LTE-TDD (small cell)
5	x ns-1 μs	Wimax-TDD (some configurations)
6	<x ns	Some LTE-A features

4.1 MU100090A ハードウェア概要

図 5 に示すように、MU100090A はルビジウム発振器を採用することで高精度な 10 MHz 基準クロックを提供する。GPS レシーバの出力とルビジウム発振器の同期をとることにより、UTC と同期したクロックと 1PPS を出力する。また、GPS 信号を用いずに 1pps Sync Input コネクタに入力した 1PPS 信号にルビジウム発振器を同期することも可能である。GPS 衛星からの信号が受信できず、ルビジウム発振器に同期信号が入力されない状態(ホールドオーバ)でも、ルビジウム発振器の安定度が高いため時刻の確度は維持され GPS 衛星からの信号が捕捉できない環境での高精度な時刻・位相評価をサポートする。GPS レシーバは、3.3 V または 5 V のアンテナ給電と、NMEA0184 フォーマットで TOD(Time of Day)出力をを行う。

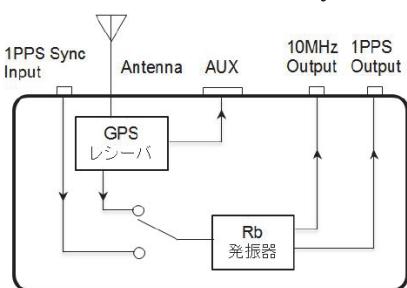


図 5 MU100090A ブロック図

本構成により、GPS 同期精度(vs UTC 時刻)は±45 ns rms、ホールドオーバ精度は 300 ns@10,000 秒を実現している。この精度を得るには、ルビジウム発振器への給電後 3 時間以上経過、かつ 30 分以上 GPS 同期および温度一定が必要である。

4.2 高精度時刻同期測定時の MT1000A 機器構成

MT1000A は背面に複数の測定モジュールを装着できる構造となっており、測定モジュールの組み合わせにより、さまざまな測定に対応可能である。1PPS 信号による位相測定および PTP パケットによる時刻位相測定を実施する場合は MU100090A 高精度 GPS 同期発振器モジュールと MU100010A 10G マルチレートモジュールを装着する。MU100090A はルビジウム発振器および GPS レシーバを搭載している。また、MU100010A は測定インターフェースとして SFP/SFP+を備え、イーサネット通信として 10 Gbps までのビットレートをカバーする。



図 6 MT1000A/MU100090A/MU100010A インタフェースパネル

図 7 に示すように、高精度時刻同期測定を行う場合、PTP パケット送受で使われるクロックと、基準時刻を駆動するクロックを External Clock である 10 MHz 基準クロックに同期させることで、システムとして全体が同期する構成としている。つまり MU100090A のクロック出力を MU100010A の External Clock In(10 MHz)ポートに接続し基準クロックとして使用することにより、安定で正確な時刻測定をすることができる。

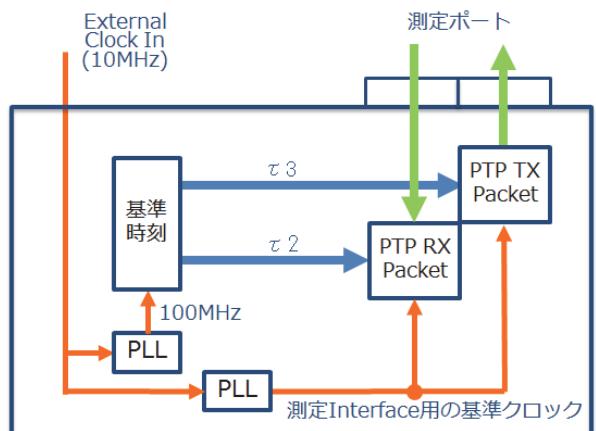


図 7 高精度時刻同期測定時のブロック図

5 自動試験機能の開発

ネットワークの開通・保守におけるネットワーク品質の評価作業では、2つの要因により運用コスト増加のリスクが大きくなっている。要因の1つ目は通信規格の増加に伴う評価で使用する測定器の操作手順の増加、2つ目は作業者の手戻りや作業ミスなどによる効率の悪化である。



図 8 自動化のシステム例

運用コストや作業者負荷の低減を目的とした測定器を用いた自動化システムでは、図 8 に示すように、制御 PC 上ソフトウェアが SCPI(Standard Commands for Programmable Instruments)などのリモートコマンドを使用して測定器を制御し、特定のシーケンスで測定を実行していくことにより複雑な試験を誤りなく実施する。しかし試験システム構築には、3 つのハードルが存在する。

- ・システム構築に測定器のみでなく制御 PC が必要
 - ・測定器を制御する専用制御ソフトウェア開発が必要
 - ・測定制御シーケンスを作成するスキルが必要

これらハードルを克服し、容易に試験システム構築可能であり、簡単な操作で複雑なネットワーク評価を可能とするソリューションとして自動試験機能を開発した。

5.1 自動試驗機能

自動試験機能では、実際に測定シーケンスの作成のみを行えば、自動化を行えるように設計されている。測定シナリオとは、上記測定シーケンスを含む一連の試験内容をファイルに落とし込んだもので、設定ファイル、測定シーケンス、シナリオ起動用のアイコンなどを含む。自動試験機能では、この測定シナリオの作成、登録、実行を行う3つの異なるソフトウェアモジュールがある。**表2**に開発した3つのソフトウェアモジュールを示す。

表2 自動試験機能ソフトウェア一覧

ソフトウェア	概要
シナリオ作成ツール SEEK (Scenario Edit Environment Kit)	測定シナリオを GUI 操作による制御シーケンスの組み合わせで作成する PC アプリケーションソフトウェア
シナリオマネージャ	測定シナリオを MT1000A 上で管理するソフトウェア
シナリオ実行エンジン	測定シナリオを MT1000A 上で実行するソフトウェア

図9に模式的に示したように、測定シナリオ作成から実行および結果データの管理までの自動試験の作業フローは次のとおりである。

1. 自動化したい測定シナリオを SEEK で作成
 2. 作成した測定シナリオを MT1000A 上のシナリオマネージャに登録
 3. 登録したシナリオをシナリオ実行エンジンで実行

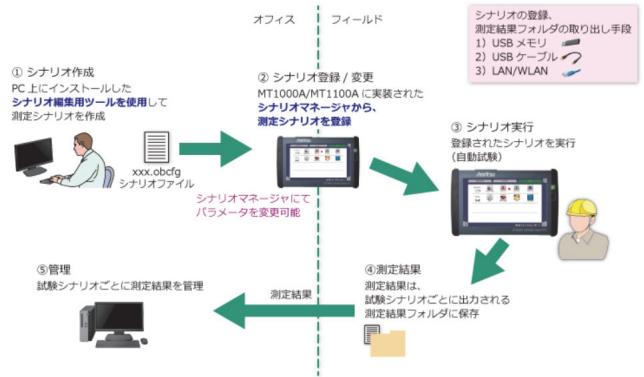


図9 自動試験機能の作業フロー

本自動試験機能により、一般的な自動試験時に必要となる測定器制御用 PC および測定器制御ソフトウェア開発が不要となる。また簡単な操作で測定シナリオの作成が可能となり、ネットワークの自動試験システムが容易に構築可能となる。

5.2 シナリオ作成ツール(SEEK)

シナリオ作成のためのツールとして、SEEKを開発した。SEEKは、シンプルなシーケンスであればドラッグアンドドロップで簡単に作成でき、自動測定において最もコストがかかる測定制御シーケンス作成のコストを軽減する。



図 10 MX1000003(SEEK)画面

図 10 に示すように SEEK は、主に 3 つの画面で構成される。一つ目は画面左側の「コマンド選択」部であり、この部分はシナリオで使用する各種命令（コマンド）を単純化したアイコンが配置されて

いる。二つ目は画面中央部の「コマンドシーケンス」部で、シナリオを作成する際に、「コマンド選択」部からコマンドのアイコンをここにドラッグアンドドロップで配置することでシーケンスを作成していく。三つ目は、画面右側の「コマンド詳細」部で、各コマンドに対しての細かな設定を行うことができる。図中では、シナリオ実行中に表示されるメッセージなどの設定を行っている。このほか、SEEKには、シナリオ作成に必要な設定データをMT1000Aから吸い上げる機能、作成したシナリオを対象のMT1000Aへ転送する機能等を装備しており、シナリオの作成を強力にサポートする。一方で複雑なシーケンスや評価を行うケースを想定してスクリプト言語を搭載したこと、幅広い運用が可能となっている。

5.3 シナリオマネージャ

シナリオマネージャは、SEEKで作成したシナリオをMT1000A上で管理するためのツールである。主な機能を以下に示す。

表3 シナリオマネージャの機能

機能	詳細
登録・削除	SEEKで作成したシナリオを本体へ登録する。または、本体に登録してあったシナリオを削除する。
表示・非表示	登録したシナリオのアイコンの表示・非表示を切り替える。
編集	パラメータの変更などシナリオの変数の調整を行う。

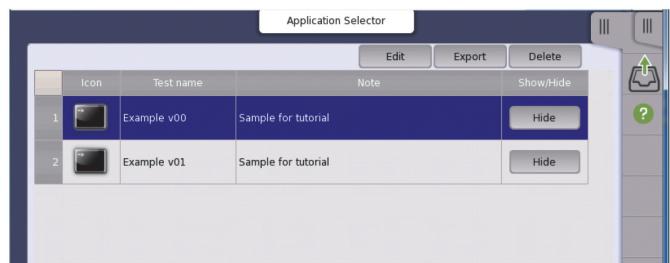


図11 シナリオマネージャ画面

ユーザ自身が別途管理する必要があるシナリオ管理自体を測定器に管理機能として組み込むことにより、シナリオ管理から実行までをMT1000A一台で可能となり、自動測定の運用管理を容易とする。

5.4 シナリオ実行エンジン

シナリオマネージャでMT1000Aに登録したシナリオのアイコンをクリックすると、シナリオ実行エンジンが起動されシナリオが実行可能となる。シナリオ実行エンジンは、シナリオを解釈し逐次実行する。

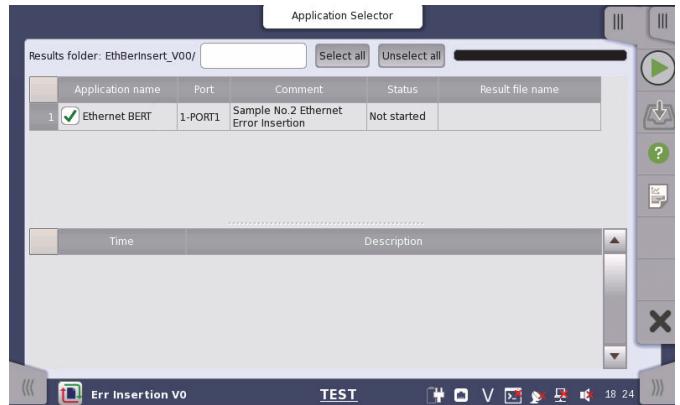


図12 シナリオ起動画面

画面右上の実行ボタンを押すだけで事前に作成されたシナリオを実行できる。複雑な測定器操作なしでの自動測定実行により、作業者の負荷を軽減する。またシナリオ実行エンジンには下記に挙げるような作業中のミスを低減するための機能を合わせて備えており、作業ミス軽減にも貢献する。

(1) シナリオエラー注意喚起機能

シナリオで問題が発生したときの判断の補助機能である。シナリオ実行中に問題がない場合には緑色に、問題が検出されると、赤くハイライトされるため、どこに問題があったか一目で判断がつく。

Time	Description
15 2016-04-13 20:39:45	"Length: Pair1=0.8 Pair2=0.8 Pair3=0.8 Pair4=0.8
16 2016-04-13 20:39:45	All of Statuses are not SHORT-> NG
17 2016-04-13 20:39:45	All of length are within margin > OK

図13 実行時エラーを検出した際の振る舞い

(2) 作業手順等注意喚起機能

SEEKの節で例示したメッセージが画面上にポップアップ表示される。この機能で作業者に次の作業指示をうながすことができる。下図は、その実行例で光ケーブルの接続を確認している。



図14 シナリオ中での注意喚起

(3) 測定結果自動保存機能

測定完了後、測定ごとにファイルディレクトリを作成し、結果データを自動保存する。これにより、結果の保存忘れを予防することができる。

6 むすび

近年の PTP ネットワーク網評価に対する要求に応えて、精度の高い PTP ネットワーク網評価機能および自動試験機能を備えた、キャリアイーサネット評価測定に貢献するネットワーク測定器を開発することができた。

時刻・位相同期技術は今後も 5G モバイル技術などを支える重要な基盤技術となっていくと考えられる。新たな測定ニーズに応えて、今後もネットワークの進展に貢献してゆきたい。

参考文献

- 1) 永田聰, 武田和晃, 高橋秀明, “LTE-Advanced のさらなる発展に向けて Release12 標準化動向”, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル Vo.23 No.2, pp.30-34, (2015.7)
- 2) 横手慎一, 西村弦太, 杉本寛利, “3.5 GHz 帯 TD-LTE 導入に向けた高精度時刻同期ネットワーク装置の開発”, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル Vo.24 No.2, pp.18-26, (2016.7)
- 3) 新井薰, 村上誠, “ITU-T における網同期技術の標準化動向”, NTT 技術ジャーナル 2015 vol.27 No.12 pp.63-67, (2015.12)
- 4) IEEE Std 1588™-2008, “IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Measurement and Control Systems”
- 5) ITU-T G8265.1, “Precision time protocol telecom profile for frequency synchronization”
- 6) ITU-T G8275.1, “Precision time protocol telecom profile for phase/time synchronization with full timing support from the network”
- 7) ITU-T G8273, “Framework of phase and time clocks”, (08/2013)
- 8) ITU-T G8271, “Time and phase synchronization aspects of packet networks”

執筆者



薄葉 光弘
R&D 本部
第1商品開発部



杉山 修
貿易管理部



石塚 康二
R&D 本部
第1商品開発部



古木 敦
R&D 本部
第1商品開発部

公知