



高精度時刻同期アクセスシステムの開発導入

NTTアクセスサービスシステム研究所

なかにし たかし さかい しょうた たかだ ゆう おぐら やすお こばやし まこと
 中西 隆 /坂井 勝太 /高田 祐 /小倉 康夫 /小林 正人

LTE-Advanced (4G) では高精度な時刻情報が必要になりますが、GPSアンテナの設置ができない基地局も多数あるなど、時刻情報の取得に課題がありました。これらの基地局に対して有線ネットワークを用いて誤差がマイクロ秒以下の高精度な時刻情報を配信できる高精度時刻同期アクセスシステムの開発を行いました。

開発の背景

2016年6月より一部のモバイルキャリアが総務省より新たに割当てられた3.5GHz帯の周波数を用いて次世代携帯通信規格のLTE-Advanced (4G) のサービスを開始しています。このサービスで使用されているモバイル通信規格 (TD-LTE) ではユーザから基地局へ送信される上り信号と、基地局からユーザへ

送信される下り信号で同じ周波数を使用するため周波数利用効率が高い特長がありますが、同時刻に上りと下りの信号が送信されると電波干渉が発生するため、すべてのモバイルキャリアの基地局間で時刻が同期している必要があります (図1)。必要とされる時刻同期精度はITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) のG.8271で、協

定世界時 (UTC: Coordinated Universal Time) との時刻誤差は1.5マイクロ秒以下と規定されています。これを実現するためには基地局でGPS (Global Positioning System) をはじめとするGNSS (Global Navigation Satellite System) を利用してUTCを生成する方法が考えられますが、遮蔽物が多い地域など、GPSの電波が届かない場所に対しては有線伝送を活用して時刻情報を伝達す

(a) 隣接する基地局^{※1}が端末と送受信する信号の上り・下りのタイミングが異なると電波干渉が発生

(b) 隣接する基地局や近接する周波数を使用する基地局と時刻同期し、上下方向の信号送受信タイミングをそろえることで電波干渉を回避

※1 隣接周波数を利用する他社の基地局の場合でも電波干渉が発生

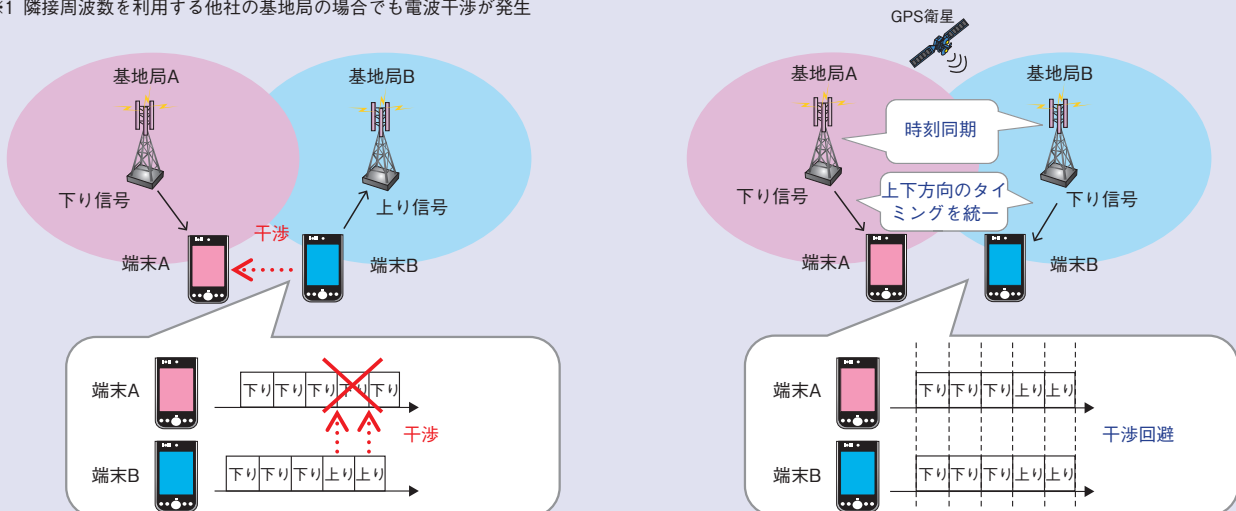


図1 TD-LTE規格における時刻同期の必要性

する必要があります。

一般的な時刻同期技術としてはNTP (Network Time Protocol)がありますが、NTPで実現できる時刻精度は最高でも1ミリ秒オーダーであり1マイクロ秒以下の高精度な時刻同期が必要なLTE-Advanced (4G) では採用できません。一方、IEEE1588で規定されたPTP

(Precision Time Protocol) と呼ばれる方式ではイーサネット技術を用いて距離に依存することなくマイクロ秒以下の安定した時刻精度を実現できます (表)。今回、基地局をはじめとする高精度な時刻同期が必要とされるアプリケーションに対してPTPを用いて時刻情報を提供可能なアクセスシステムを開発するこ

としました。

PTP技術の概要

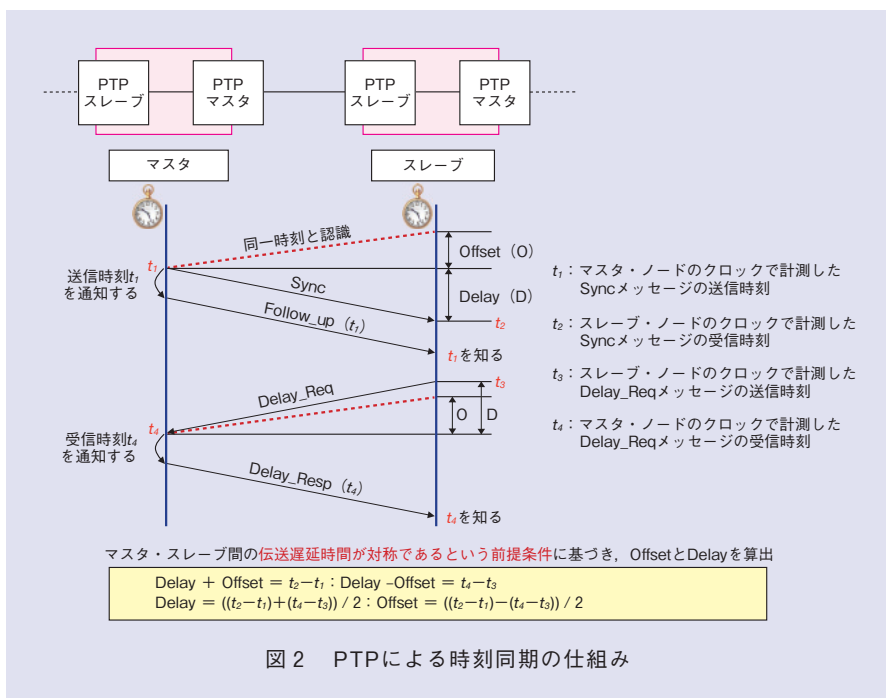
PTPを用いた時刻同期ネットワークでは対向する装置間でPTPパケットを通信することで高精度な時刻同期を実現します。マスタポートは対向のスレーブポートに向けて自身が持つ時刻 (t_1) が記録されたメッセージ (Syncメッセージ) を送信します。スレーブポートではSyncメッセージを受信した時刻 (t_2) を記録します。続いてスレーブポートはマスタポートに向けて自身が持つ時刻 (t_3) が記されたメッセージ (Delay_Reqメッセージ) を送信します。マスタポートではDelay_Reqメッセージを受信した時刻 (t_4) を記録してスレーブポートにメッセージ (Delay_Respメッセージ) を送信します。マスタポートとスレーブポートの伝送路距離が同じであれば、これら $t_1 \sim t_4$ の時刻から伝送路遅延 (Delay) と時刻誤差 (Offset) が計算でき、この値を基にスレーブポートで時刻を補正します。このようにスレーブがマスタに従属同期することで高精度な時刻同期が可能になります (図2)。

開発コンセプト

イーサネットで動作するPTPによる位相・時刻同期では、既存インフラへの適用が容易であるというメリットがありますが、各装置間で時刻を刻む速度 (周波数) がそれぞれ異なり、ネットワーク全体では周波数同期がとれていません。ネットワークの輻輳などで微小な遅延の揺らぎが発生すると安定した時刻

表 時刻同期プロトコル

項目	NTP	PTP
標準化団体	IETF	IEEE
規格	RFC5905 (NTPv4: 2010)	IEEE1588v2 (2008)
ターゲットとする時刻精度	1ミリ秒以下	1マイクロ秒以下
ハードウェアタイムスタンプ	なし	あり
転送レイヤ	IP	IP, Ethernetほか
同期メッセージ通信頻度	最大16秒に1回	最大128回/秒



同期精度を提供できないため、周波数同期を実現するためにSyncE (Synchronous Ethernet) を併用するハイブリッド方式が有効と考えて採用しています。

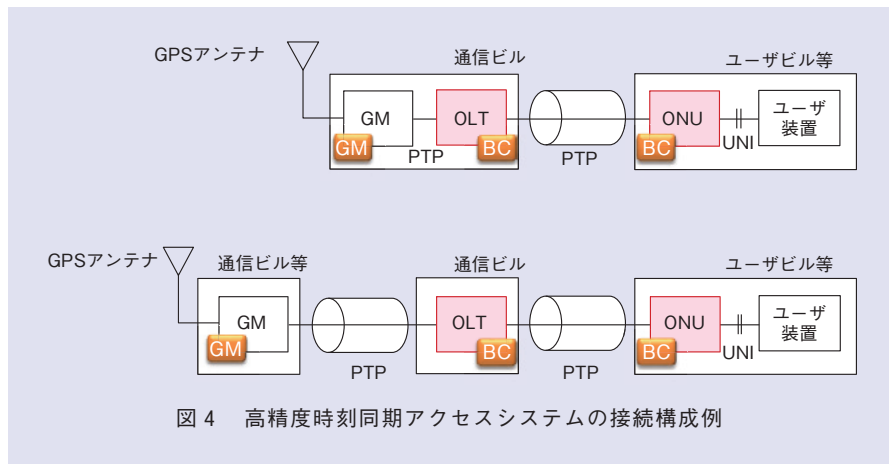
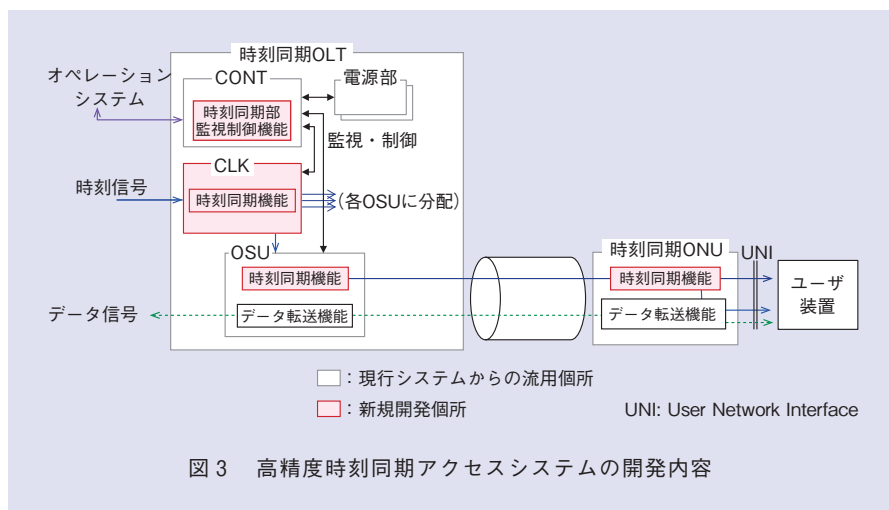
周波数同期を実現するイーサネットの方式であるSyncEは物理レイヤにおいて周波数同期を実現する方式であり、位相・時刻同期には対応していませんが、高い精度の周波数同期を実現可能です。

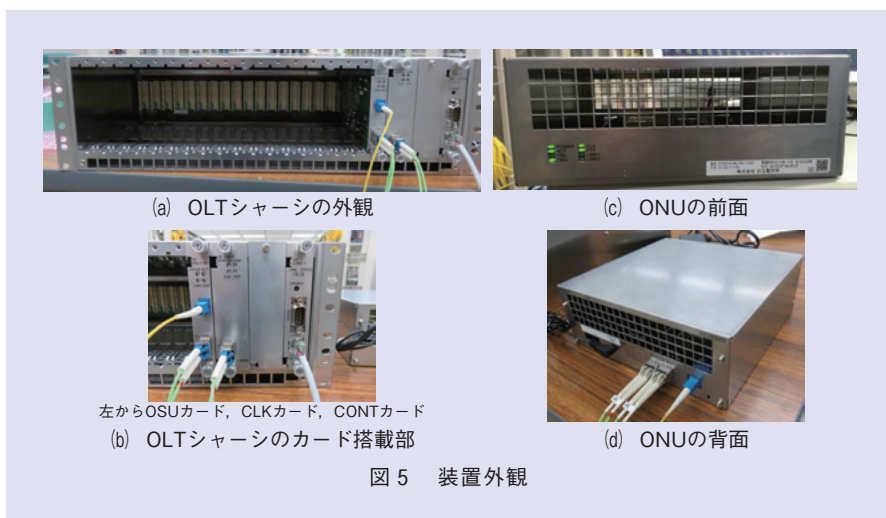
今回の開発ではSyncEによる周波数同期を実現しつつ、伝送路の伝送遅延により生じる時刻の誤差をPTPによって補正する方法を用いて位相・時刻同期の高精度化を実現しています。ハイブリッド方式の採用により装置間での高精度な周波数同期状態を実現しているため、時刻の誤差補正を頻繁に行う必要はなくなります。またPTPの制御信

号の頻度を減らすこともでき、時刻同期の通信に必要な帯域の消費を抑えることも可能となっています。また、PTPだけで高精度な位相・時刻同期を実現するためには各装置に高精度な発振器を搭載する必要がありますが、ハイブリッド方式では必ずしもその必要がなくなりました。特にアクセスシステムにおいては装置価格の低廉化が非常に重要になるため、発振器のコストを抑えることも可能となりました。そのほかにも、今回の開発では既存のネットワークに容易に適用することを目的に、イーサネット・コア網のインフラの機能、構成を変更することなく現行システムに最小限の開発で時刻同期機能を追加するなど、現行システムとの親和性も重視しています(図3)。

開発構成のコンセプトをまとめると以下のようになります。

- ① 既存のイーサ・コア網のインフラを変更することなく導入が可能
- ② 開発範囲をアクセス網に限定して、時刻精度を劣化させる原因となる中間装置数、ファイバ長を最小化、かつハイブリッド方式の採用で高精度の周波数および時刻同期を実現可能
- ③ 開発範囲をアクセス網にのみ限定することで、経路切替に伴うパスの変更や往路・復路の経路の違いによる波長分散による位相・時刻同期精度への影響を無視することが可能
- ④ 現行システムを有効活用することで開発ボリュームや装置コストの





抑制が可能

システムの特長

開発した高精度時刻同期アクセスシステムの接続構成を図4に示します。GPS信号を受信して基準時刻源となるGM (Grand Master) 装置とOLT (Optical Line Terminal) は1000BASE-SX/LX/ZXで接続が可能であり、同じビル内だけではなく異なるビルの設置も可能になっています。OLTは19インチラックマウントタイプの集合型メディアコンバータで、OLTには装置を制御するCONTカード、時刻信号を受信するCLKカード、ONU (Optical Network Unit) と1対1で接続されるOSU (Optical Subscriber Unit) カードが搭載されます。CLKカードは上位装置から受信した1 Gbit/sのイーサネット信号からクロック信号を抽出し、内部クロック源と比較して正常範囲内の場合に従属同期します。さらに、抽出したクロック信号を基

に1 Gbit/sのイーサネット信号を生成してOSUカードに送信します。CLKカードには内部クロック源を搭載するため、周波数同期確立後にクロック信号が受信できない場合は、CLKカード内部のクロック源を基準として動作します (周波数ホールドオーバー状態)。OLTはOSUカードを最大18枚搭載可能であり、制御カードは監視制御端末からの各種情報の設定や読出、装置から監視制御端末への情報通知をCLI (Command Line Interface)、SNMP (Simple Network Management Protocol) を通じて実施可能です。ONU、OSUは1心のシングルモード光ファイバ (SMF) を介して1対1に接続され、イーサネットフレームを双方向に伝送します。ONUはBC (Boundary Clock) として機能し、ONUポートで受信したクロック信号とPTPフレームに基づいて装置内部の位同期回路を合わせ、これに周波数同期したイーサフレームおよび時刻同期情報、

周波数同期情報をユーザ側に出力します。これによりユーザ機器はOLTに入力された時刻信号に対して高精度に同期することが可能となります。装置の外観を図5に示します。

今後の展開

時刻同期技術は携帯基地局向け以外にも金融取引、スマートグリッド、グリッドコンピューティング、4K/8K放送などの幅広いアプリケーションへの適用や網の品質評価としてのインタフェース間の伝送遅延時間を高精度に計測する手段にも適用可能ですので、さらなる適用領域の拡大に取り組みたいと考えています。



(左から) 小林 正人/ 中西 隆/
高田 祐/ 小倉 康夫/
坂井 勝太

高精度な時刻同期技術はネットワークの発展に貢献できる技術と考え、今後も研究開発を進めていきます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
光アクセスサービスプロジェクト
光アクセスサービスSEG
TEL 046-859-4966
FAX 046-859-5514
E-mail nakanishi.takashi@lab.ntt.co.jp