

IEEE1588規格の拡張によるIP-DECTの精密同期

IP-DECT Precision Time Synchronization over LAN using IEEE1588 Standard with Some Unique Extended Algorithms

渋田 朗* 石原 裕行*
Akira Shibuta Hiroyuki Ishihara

IEEE1588は、イーサネット上の各端末間で、ナノ秒単位の精密な時刻同期を実現する、主に生産設備など産業分野向けに開発されたプロトコルである。この時刻同期技術に独自拡張アルゴリズムを追加して、IP-DECT製品の精密同期に応用することで、従来製品の諸課題を解決した。

IEEE1588 is the Precision (Nano-second time scale) Time Synchronization Protocol between Ethernet Terminals, developed mainly for industrial purposes such as for production equipment. We added some unique extended algorithms to the IEEE1588 standard to utilize it for IP-DECT Product, and solve some problems of existing products.

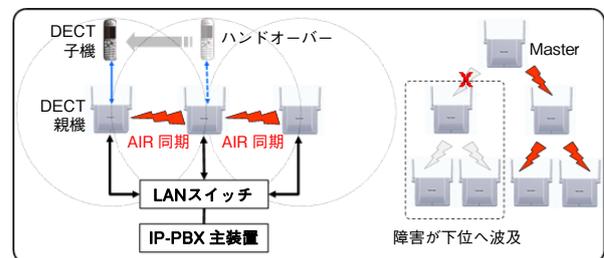
1. IP-DECTの課題

近年、IP (Internet Protocol) インフラと構内電話網を共用できるIP-PBX (Private Branch eXchange) システム、そのなかでも低コストで構内を移動しながら無線通話が行えるIP-DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) 無線電話システム (以下、IP-DECT) の普及が、大型オフィスや工場などを対象に進んでいる。

IP-DECTでは、移動するDECT子機の現在地に応じて、音声パケットを中継するDECT親機の動的な変更を行う、ハンドオーバー処理が必要である。ハンドオーバーの際に、音声途切れないパケット伝送を実現するためには、中継するDECT親機間で、時刻を精密同期させる必要がある。

従来のIP-DECTでは、DECT親機間の無線通信によって時刻を精密同期させる、「AIR同期方式」(第1図)を採用していたが、この方式は次のような課題があった。

- ① DECT親機設置台数：DECT親機間の安定した無線通信が必要なため、DECT親機の設置間隔を広くとることができず、設置台数が多くなる。
- ② 設置工数：DECT親機間の安定した無線通信を保証するために、設置時に慎重な現場環境調査と、設置場所調整が必要で、設置に長い時間がかかる。
- ③ 障害発生時の影響：1台のDECT親機をMasterとして、隣接するDECT親機間の、数珠つなぎの無線通信による「ツリー型同期網」のため、万一どこかに同期障害が発生した場合、その下位にあるDECT親機がすべて同期を失うことになり、障害発生時の影響が大きい。



第1図 IP-DECTのAIR同期方式

Fig. 1 AIR-sync method of IP-DECT

2. IEEE1588を用いたLAN同期方式

これらの課題を解決するため、新たに「LAN同期方式」(第2図)の開発に取り組んだ。

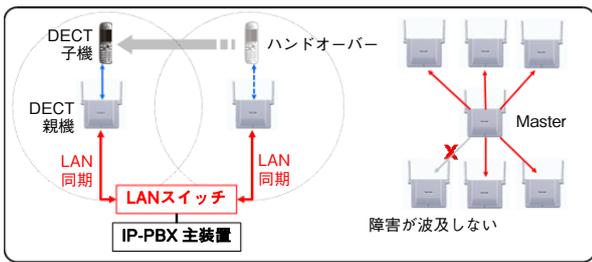
2.1 LAN同期方式

LAN同期方式は、DECT親機とIP-PBX主装置間の音声通信に使っているイーサネット(注1)を、DECT親機間の時刻の精密同期にも活用する方式である。この方式が実用化できれば、新たな配線工事などの追加なしで、AIR同期が不要となり、従来の課題を次のように解決することができる。

- ① DECT親機設置台数：DECT親機間の無線通信が不要のため、設置間隔を広くとって台数を削減できる。
- ② 設置工数：DECT親機間の安定した無線通信を保障するために費やしていた、現場環境調査と設置場所調整の工数が削減できる。
- ③ 障害発生時の影響：すべてのSlaveが直接Masterと通信して同期する「スター型同期網」のため、万一の同期障害の発生時にも、障害が周辺に波及しない。

* パナソニック システムネットワークス (株)
オフィスプロダクツ事業部
Office Products Business Div., Panasonic System Networks Co., Ltd.,

(注1) イーサネットおよびETHERNETは日本における富士ゼロックス (株) の登録商標

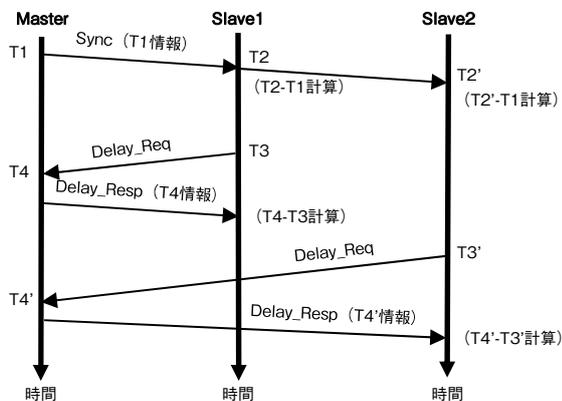


第2図 IP-DECTのLAN同期方式
Fig. 2 LAN-Sync method of IP-DECT

2.2 IEEE1588規格の概要

本来は非同期通信であるイーサネット上で、精密同期を実現する技術として、IEEE1588規格がある。

IEEE1588規格は、イーサネット上の複数端末間での時刻の精密同期を実現する、主に生産設備など産業分野向けに開発された技術である。この規格では、時刻情報を載せたパケットの交換により、双方向のパケット伝播(でんぱ)遅延T2-T1およびT4-T3を測定し(第3図)、この値を基に、各Slaveの時刻をMasterの時刻に同期させる。理想環境下では、ナノ秒単位の精密な時刻同期が可能である。今回はこの技術を、LAN同期方式に活用する検討を行った。



第3図 IEEE1588メッセージ
Fig. 3 IEEE1588 messages

3. IEEE1588規格の拡張によるIP-DECT精密同期

本章では、IEEE1588規格をIP-DECTのLAN同期方式に活用する際の課題と、その対策について説明する。

3.1 IP-DECTにおける時刻同期の要求性能

IP-DECTの用途においては、産業分野の用途とは異なる、次のような要求性能を満たす必要がある。

- A) システム収容台数：最大128台のDECT親機間での時刻同期
- B) 同期確立時間：20秒以内
- C) 同期精度(同期確立後のMasterと各Slave間の時刻偏差)：2.6マイクロ秒以内

実際の構内LAN環境においては、このうちAに対しては「時刻情報バッファのオーバーフロー」、BとCに対しては「パケット伝播遅延の揺らぎ」が課題となる。

3.2 時刻情報バッファのオーバーフロー対策

市場要求である、最大128台規模のDECT親機間の時刻同期では、時刻情報のバッファ容量が問題となる。

IEEE1588パケットは、標準ではすべてマルチキャスト通信で、各端末には自身に無関係なパケットもすべて転送されてくる。それらの時刻情報は一旦バッファに格納された後、ソフトウェアで処理されるが、IEEE1588用LSIの時刻情報のバッファは、一般に5個程度である。IEEE1588パケットが短時間に集中すると、ソフトウェアが処理しきれずに、オーバーフローを起こしてしまう。

つまり最悪ケースを想定すると、わずか5台程度しか収容できず、バッファ拡張による対策は現実的ではない。

この課題を、Master側とSlave側に分けて、それぞれ対策した。まずSlave側の対策として、本質的にMasterと各Slaveの1対1通信であるDelay_ReqとDelay_Respを、ユニキャスト通信に変更して、各端末には自身に関するパケットのみが転送されるようにした。それでもなおオーバーフローが懸念される、Master側の対策として、タイムスロット方式を導入して、各IEEE1588パケットの送信タイミングをスケジューリングした(第4図)。

これらの対策により、IEEE1588パケットの集中による時刻情報バッファのオーバーフロー問題を解決し、最大128台のDECT親機間の時刻同期を実現した。

Slot#	ミリ秒	Source	パケット	種別
0	0.0	Master	Announce Sync	Multicast Multicast
1	12.5	予備		
2	25.0	Slave0/Master Slave64/Master	Delay_Req/Delay_Resp Delay_Req/Delay_Resp	Unicast Unicast
3	37.5	Slave1/Master Slave65/Master	Delay_Req/Delay_Resp Delay_Req/Delay_Resp	Unicast Unicast
4~64	62.5	...		
65	812.5	Slave63/Master Slave127/Master	Delay_Req/Delay_Resp Delay_Req/Delay_Resp	Unicast Unicast
66~80	825.0	予備		
81	1012.5	Master	Sync	Multicast
82	1025.0	SlaveN/Master	Delay_Req/Delay_Resp	Unicast
83~97
98	1225.0	Master	Sync	Multicast
99	1237.5	SlaveN/Master	Delay_Req/Delay_Resp	Unicast

第4図 タイムスロットと高速同期モード
Fig. 4 Time slot and high-speed sync mode

3.3 パケット伝播遅延の揺らぎ対策

実際の構内LAN環境では、主にLANスイッチでのパケット転送時間の揺らぎにより、パケット伝播遅延の測定値（第3図のT2-T1およびT4-T3）に大きな揺らぎが発生し、同期確立時間や同期精度の要求を満たせない場合がある。

この対策のため、LANスイッチ自身が内部で発生する揺らぎを補正する、IEEE1588対応モデルも存在するが、一般に非常に高価である。IP-DECT市場で広く普及させるためには、このような機能をもたない一般のLANスイッチでも、同期網が構成可能でなければならない。

そこで、まず同期確立時間の改善対策として、高速同期モードの機能を追加した。この機能は同期確立時に、第4図のタイムスロットのなかに定義した、各端末で共用する高速同期モード専用のスロットを使って、通常の1/50程度の短周期でIEEE1588パケットを交換して、一気に同期を確立させる。これにより、悪条件下での同期確立時間を、180秒から20秒へと大幅に改善し、要求性能を達成した。

さらに、同期精度の改善策としては、パケット伝播遅延の測定および同期補正に、独自のフィルタリングと平均化の処理を追加した。これにより、悪条件下では5マイクロ秒に達する場合があった同期精度を、要求性能である2.6マイクロ秒以下に改善した。

4. 実機評価と考察

この技術をDECT親機に実装し、実際のIP-PBXシステムに収容して、その効果を検証した。

4.1 IP-DECT実機への実装と性能評価

今回の同期アルゴリズムは、最大128台のDECT親機に対応したが、現時点ではIP-PBX主装置へのDECT親機収容台数が最大64台であり（128台は次期ソフトウェアで対応）、実機での評価は、DECT親機最大64台で実施した。

- 実験室内での評価：DECT親機64台の同期で、要求性能の達成と、ハンドオーバー時の音切れがないことを確認した。ただしDECT親機間の距離は数メートル、DECT子機は数台に限定し、通常よりもDECT送信出力を低減した状態で、機能確認のみ実施した。
- フィールドテスト：カスタマーのDECT親機約30台規模の設置現場2箇所（大型オフィス・大型工場）で、実際にこのIP-DECTを設置させていただき、実環境でも要求性能が達成でき、ハンドオーバー時の音切れもないことを確認した。

4.2 LAN同期方式の優位性確認

本技術による「LAN同期方式」を採用した、新しいIP-DECT製品は、業界標準である従来の「AIR同期方式」の製品に比べて、次のようなメリットがあることを確認した。

- ① DECT親機設置台数：実際のカスタマーの現場での設置において、DECT親機台数を16台から11台に削減（約3割減）できた。
- ② 設置工数：実際の設置業者による、上記①のカスタマーの現場での設置において、設置工数が3.5人日から1.0人日に削減（約7割減）できた。
- ③ 障害発生時の影響：フィールドテストにおいて、同期網の故意に発生させた1箇所の障害が、周囲へ波及せず、システムとしての信頼性が向上したことを確認した。

5. 動向と展望

今回のLAN同期方式を搭載したIP-DECT商品は、IP-PBXシステムの端末として、2014年10月に商品化を行い、市場で高い評価を得ている。IEEE1588を拡張した独自の精密時刻同期アルゴリズムにより、低コストで高信頼性、高品質なハンドオーバーを実現した今回の商品は、他社差別化のキーデバイスとして、今後もIP-PBXシステムの販売拡大への大きな効果が期待される。

また市場では、さらなるDECT親機収容台数の拡大の要望を受けており、今後の検討課題として拡大を図っていく。

今回の開発と商品には、（株）バランス製のIEEE1588ソフトウェアを搭載しています。また独自の拡張アルゴリズム開発に多大な御協力を賜りました。（株）バランスの高橋克典様、小島香織様に、深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, IEEE Standard 1588, 2008, pp.16-40.