

# TR-G8271

## 「パケットネットワークにおける時刻と位相同期の の形態」の技術レポート

Technical Report on Timing and phase synchronization  
aspects of packet networks

第1版

2015年11月30日制定

一般社団法人  
情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE



本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。  
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

## 目 次

I. パケットネットワークにおける時刻と位相同期の様態の技術レポート .....	- 4 -
1. はじめに .....	- 4 -
2. 調査報告概要 .....	- 4 -
3. 今後の進め方 .....	- 4 -
<参考> .....	- 5 -
II. 概要説明 .....	- 6 -
III. 調査対象勧告和訳 .....	- 12 -

## I. パケットネットワークにおける時刻と位相同期の様態の技術レポート

### 1. はじめに

ITU-Tにおいては、パケットネットワークにおけるネットワーク同期に関連する複数の勧告を発行している。モバイル通信網のバックボーン向けの技術としてパケットネットワークにおける同期技術が注目され、国際標準化や市場へのシステム導入が活発化している。TTCでは、このような背景を考慮し、関連するITU-T勧告の技術概要と翻訳を日本国内に広めることにより、本分野での産業界への貢献を目指している。本技術レポートではITU-T G.8271/Y.1366 勧告「パケットネットワークにおける時刻と位相同期の様態” Timing and phase synchronization aspects of packet networks”」の調査結果を報告する。

### 2. 調査報告概要

ITU-T G.8271/Y.1366 (02/2012) 勧告に相当する本技術レポート TR-G8271 では、パケットネットワークにおける時刻と位相の同期の様態を定義する。ここでは、基準タイミング信号を分配するための適切な方法を規定する。これは、要求される品質に従って位相同期と時刻同期を再生するために用いられる。

本勧告において規定される同期特性に対する要求は異なる製造業者によって作られる装置の相互接続性と十分なネットワーク性能を保証するために遵守されるべきである。

### 3. 今後の進め方

モバイル通信網のバックボーンのアプリケーションとしてパケットネットワークでの同期技術が注目され、市場へのシステム導入や活発な国際標準化活動の背景から本勧告の調査を行った。今回調査を行った ITU-T G.8271/Y.1366 勧告はパケットネットワークにおける時刻と位相の同期の様態を説明しているが、本勧告に含まれていない本国特有の技術の展開などが計画されていないので、現時点での TTC 標準化は見送ることにした。

今後は、国内の市場からの要求を鑑みながらパケットネットワークにおける同期技術に関する他勧告 (ITU-T G.826x 勧告および G.827x 勧告) の調査を継続して行う予定である。

## <参考>

### (1) 国際勧告等との関連

本技術レポートは ITU-T G.8271/Y.1366 (02/2012) を調査したものである。ITU-T G.8271/Y.1369 Amendment 1 (08/2013) および ITU-T G.8271/Y.1369 Amendment 2 (01/2015) が出版済みであるが、本 TR では未反映である。

### (2) 上記国際勧告等に対する追加項目等

なし

### (3) 上記国際勧告等に対する変更事項

なし。

### (4) 参照した国際勧告との章立て構成の相違

なし。

### (5) 改版の履歴

版数	発行日	改版内容
第1版	2015年11月30日	初版発行

### (6) 工業所有権

本技術レポートに関わる「工業所有権等の実施の権利に係る確認書」の提出状況は、TTC ホームページでご覧になれます。


### (7) その他、利用者に有益な事項

なし。

### (8) 標準作成部門

情報転送専門委員会

説明資料



## TTC技術レポート概要報告

---

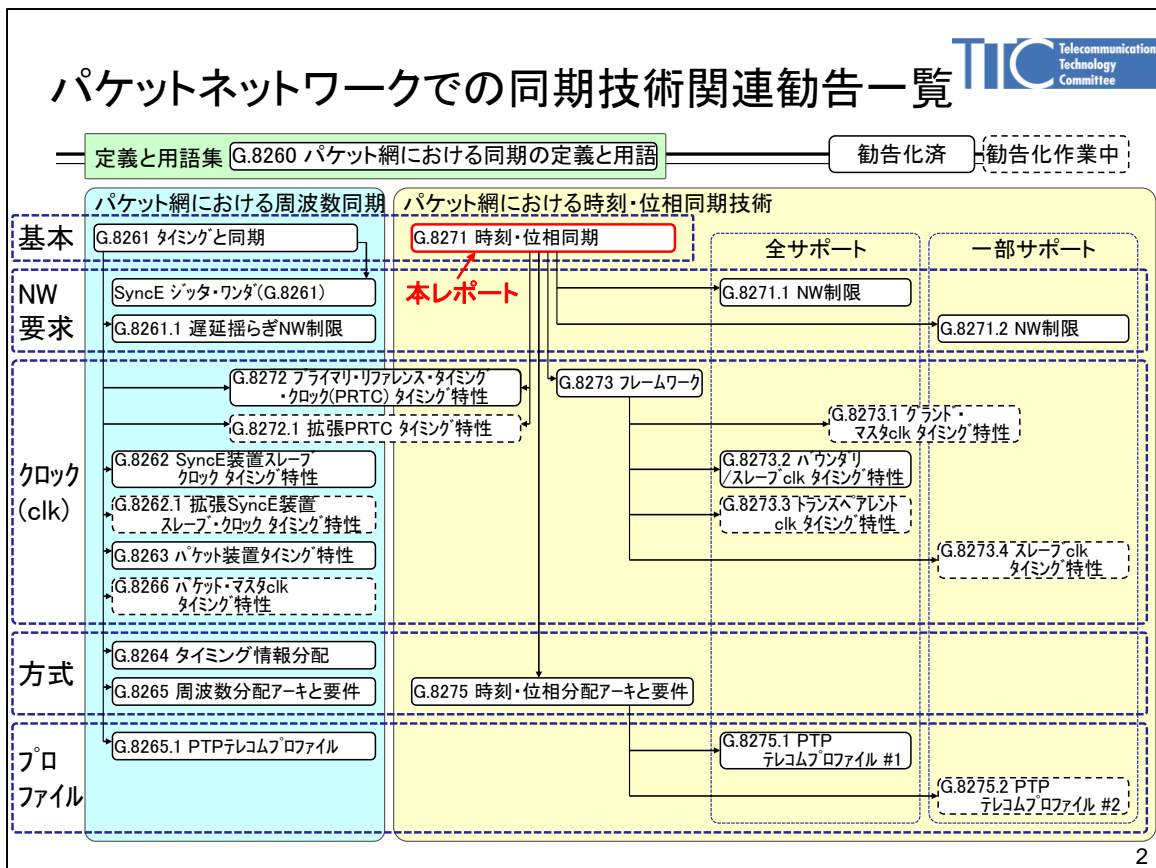
### TR-G8271

# 「パケットネットワークにおける時刻と位相の同期の様態」 の技術レポート

(Technical Report on Time and phase synchronization aspects of packet networks)

一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC)  
情報転送専門委員会 (WG1300)  
2015/11/30

1



TR-G8271 目次構成		(参考)ITU-T G.8271/Y.1366 Table of contents	
章	タイトル	Clause	Title
1	範囲	1	Scope
2	参照	2	References
3	定義	3	Definitions
4	略語と頭字語	4	Abbreviations and acronyms
5	慣例	5	Conventions
6	位相と時刻の同期に対する要求	6	The need for phase and time synchronization
7	時刻-位相同期方法	7	Time-phase synchronization methods
8	ネットワーク参照モデル	8	Network reference model
9	位相/時刻同期インタフェース	9	Phase/time synchronization interface
付属資料 A	1PPS位相及び時刻同期インタフェース仕様	Annex A	One pulse-per-second (1PPS) phase and time synchronization interface
付録 I	時刻配信チェーンにおける時刻・位相ノイズ源	Appendix I	Time and phase noise sources in time distribution chains
付録 II	エンドアプリケーションの時刻、位相の同期精度要求条件	Appendix II	Time and phase end application synchronization requirements
付録 III	異なる波長の利用に対する非対称補正	Appendix III	Asymmetry compensation for use of different wavelengths
	BIBLIOGRAPHY		BIBLIOGRAPHY

## 1. Scope – 本勧告が対象とする領域

### パケット・ネットワークにおける時刻・位相の同期問題を対象

- 主に下記の2項目を規定
  - 時刻・位相の同期を再生する時に用いる基準タイミング信号の分配手法
  - 時刻・位相の同期インタフェースと、それに関連する性能
- 対象とするパケットネットワーク
  - Ethernet
    - 802.3: Ethernet
    - 802.1D: MAC Bridges (Spanning Tree Protocol (STP) など)
    - 802.1ad: Provider Bridges
    - 802.1Q: Virtual LANs
    - 802.1Qay: Provider Backbone Bridge Traffic Engineering
  - MPLS
  - IP
- 物理レイヤ
  - Ethernetを想定

## 6. 位相・時刻同期に対する要求

時刻・位相の同期に関してアプリケーションに対する要求を概説  
 精度要求を6レベルで規定。本勧告ではレベル4~6を対象

レベル	要求精度範囲	代表的なエンド・アプリケーション
1	1 ms ~ 500 ms	課金・警報
2	5 μs ~ 100 μs	IP遅延監視
3	1.5 μs ~ 5 μs	LTE TDD (大規模セル) WiMAX TDD (一部の構成)
4	1 μs ~ 1.5 μs	UTRA-TDD LTE TDD (小規模セル)
5	x ns ~ 1 μs	WiMAX TDD (一部の構成)
6	< x ns	一部のLTE-A特性

本勧告の  
対象領域

注: エンド・アプリケーション毎の要求精度の詳細はAppendix IIのTable II.1に示されている

## 7. 時刻-位相同期方法 (1)

レベル4~6 (精度 $\leq 1.5 \mu\text{s}$ )に対応する2方式の同期方法を規定

- 分配型PRTC (Distributed Primary Reference Time Clock)
  - ケーブルや無線を介して同期信号を各クロックへ直接分配する方式
  - **パケットベース方式**
    - **PTP(例 IEEE 1588等)を用いて同期信号を各クロックへ分配する方式**

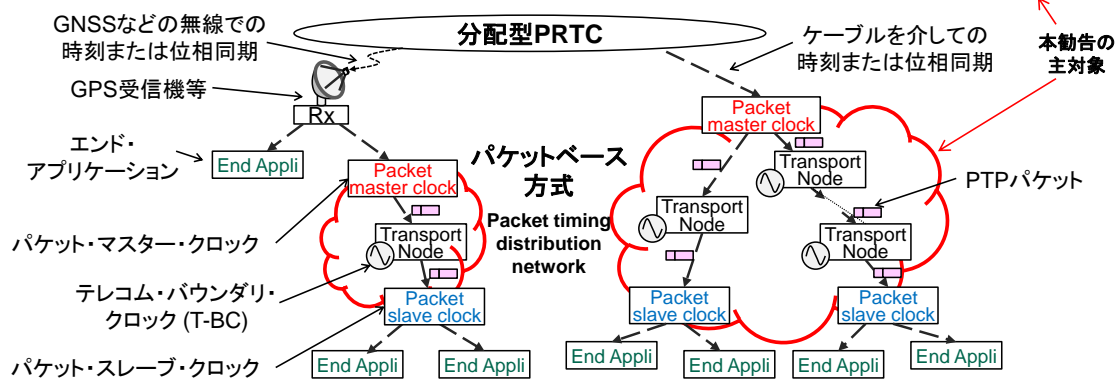


図 パケットを用いた時刻同期分配手法の例

GNSS: Global Navigation Satellite System, GPS: Global Positioning System, PTP: Precision Time Protocol



## 7. 時刻-位相同期方法 (2)

### 異なる2方式の同期方式の特性の詳細を規定

	分配型PRTC	パケットベース
方式	ネットワーク中の各クロックへ同期信号を直接分配 GPSなどGNSS(無線システム)を用いるのが一般的	IEEE1588-2008の様なPTPを用いて同期信号を分配 中継ノードではT-BCを実装し、タイムスタンプメッセージを終端・再生 注: T-BCの他にT-TCも存在するが、本勧告ではT-BCのみを考慮
利点	- GNSSの場合、基準タイミング信号を世界規模で利用可能 - タイミング・ループのリスクが無い - ネットワーク事前設計が容易	- GNSS受信機を大幅に削減可能
欠点	- サービスがGNSS運用者に依存 - 天空に対して広角な視野を持つアンテナが必要 - 電波妨害などによる干渉のリスク	- ネットワークの事前設計が複雑 - ノイズ累積の考慮が必要 - ネットワークの非対称性による時刻誤差のリスク

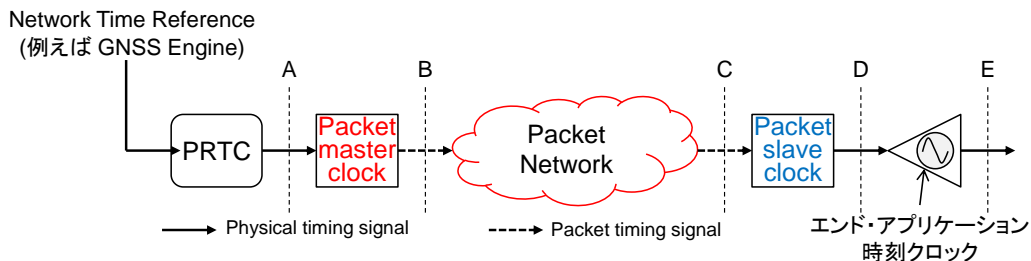
GNSS: Global Navigation Satellite System, GPS: Global Positioning System, PTP: Precision Time Protocol, T-BC: Telecom Boundary Clock, T-TC: Telecom Transparent Clock

7

## 8. ネットワーク参照モデル

### 時刻同期・位相同期の性能目標を定義するために使用するネットワーク参照モデルについて説明

- エンド・アプリケーションでの精度要求(E)を満足する様に各点における精度要求、または、2点間のノイズ・バジレットの規定を行う



点	名前	説明
A	PRTC Network Limits	PRTCの出力で適用されるネットワーク限界
B	Packet Master Clock Network Limits	パケット・マスター・クロックの出力で適用されるネットワーク限界
C	Packet Slave Clock input Network Limits	パケット・スレーブ・クロック入力においてパケット・タイミング信号に適用されるネットワーク限界
D	Packet Slave Clock output Network Limits	パケット・スレーブ・クロック出力において再生された参照パケット・タイミング信号に適用されるネットワーク限界
E	End Application requirements	エンド・アプリケーションにおける出力要求条件

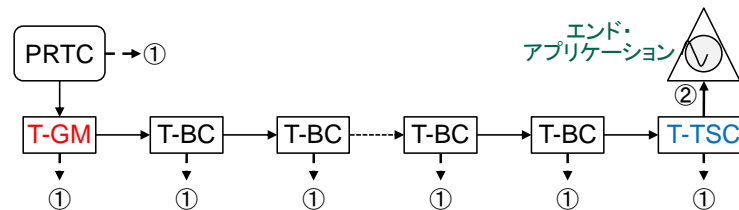
GNSS: Global Navigation Satellite System, PRTC: Primary Reference Time Clock

8

## 9. 位相同期・時刻同期インタフェース

### 時刻同期・位相同期のために必要となる異なる用途(測定用、同期配信用) 向けの2種類のインタフェースについて説明

- 測定インタフェース (下図 ①で示すインタフェース)  
分配される同期信号の品質測定を可能とするために、全PRTC、T-GM、T-BC、T-TSCは専用の外部位相同期・時刻同期インタフェースを持たなければならない  
本インタフェースの一例はAnnex Aに示す「1秒当たりのパルス数(1PPS)を測定するインタフェース」。その他のインタフェースは今後の検討課題
- 配信インタフェース (下図 ②で示すインタフェース)  
位相同期・時刻同期インタフェースは同期信号をシステムへ接続するインタフェース。典型例はT-TSCに接続される1PPSインタフェースの入力を持つベース・ステーションなどのエンド・アプリケーション。配信インタフェースの詳細は今後の検討課題



PRTC: Primary Reference Time Clock,  
T-GM: Telecom Grand Master, T-BC: Telecom Boundary Clock, T-TSC: Telecom Time Slave Clock,  
PPS: Pulse Per Second

9

## Annex A 1PPS位相同期・時刻同期 インタフェース

### 第9章における同期インタフェースの一例として 2種類の1PPS位相同期・時刻同期インタフェースを規定

- A.1 ITU-T V.11 interface
  - 時刻同期のために用いる
  - コモンモード雑音耐力がある平衡形インタフェース (RS-422 インタフェースとして知られている)
  - インタフェース信号、パルスの立ち上がり/立ち下がり時間などを規定
- A.2 1PPS 50Ω位相同期 測定インタフェース
  - 位相同期の測定のために用いる
  - 測定器との接続するために用いられる不平衡50Ωインタフェース
  - パルス幅、パルスの立ち上がり時間などを規定

10

Appendixとして下記の3項目について記述。本Appendixは参考情報(勧告としての強制力無し)なので詳細は割愛

- Appendix I 時刻配信チェーンにおける時刻・位相ノイズ源
  - 時刻配信ネットワークにおける時刻・位相ノイズ源を説明
  - ネットワークの非対称に起因する遅延の導出方法を説明
  - 各ノイズ源の特性・特徴を説明
  
- Appendix II エンド・アプリケーションに対する時刻・位相の同期精度要求
  - エンド・アプリケーション毎の時刻同期・位相同期の精度要求の一覧を示す
  - エンド・アプリケーションはCDMA、WCDMA、LTE、WiMAX、遅延測定、課金と警報など
  
- Appendix III 異なる波長利用時の非対称補正
  - 異なる波長を用いた場合、光ファイバの波長分散特性に起因する群遅延差により非対称性が発生する。その補正方法について説明

### Ⅲ. 調査対象勧告和訳

#### ITU-T G.8271/Y.1366勧告

#### パケットネットワークにおける時刻と位相同期の様態

##### 概要

ITU-T G.8271/Y.1366 勧告はパケットネットワークにおける時刻と位相の同期の様態を定義する。ここでは、基準タイミング信号を分配するための適切な方法を規定する。これは、要求される品質に従って位相同期と時刻同期を再生するために用いられる。

本勧告において規定される同期特性に対する要求は異なる製造業者によって作られる装置の相互接続性と十分なネットワーク性能を保証するために遵守されるべきである。

##### 改版履歴

Edition	Recommendation	Approval	Study Group
1.0	ITU-T G.8271/Y.1366	2012-02-13	15

## 目次

1 範囲	- 14 -
2 参照	- 14 -
3 定義	- 15 -
4 略語および頭字語	- 15 -
5 慣例	- 15 -
6 位相と時刻の同期に対する要求	- 16 -
7 時刻-位相同期方法	- 17 -
7.1 分配形 PRTC	- 17 -
7.2 中間ノードにおけるタイミング対応するパケットベースの方式	- 18 -
8 ネットワーク参照モデル	- 20 -
9 位相/時刻同期インタフェース	- 22 -
付属資料 A	- 23 -
A.1 ITU-T V.11 インタフェース	- 23 -
A.1.1 インタフェース信号	- 23 -
A.1.2 1 PPS 立ち上がり及び立ち下がり時間仕様	- 23 -
A.1.3 信号タイミング	- 23 -
A.2 1PPS 50Ω 位相同期測定インタフェース	- 24 -
A.2.1 導入	- 24 -
A.2.2 性能詳細	- 24 -
A.2.3 追加情報	- 25 -
付録 I	- 26 -
I.1-プライマリ・リファレンス・タイム・クロック (PRTC) に誘起されるノイズ	- 26 -
I.2-パケット・マスタ・クロック機能により誘起されるノイズ	- 26 -
I.3-パケット・スレーブ・クロック機能により誘起されるノイズ	- 26 -
I.4-テレコム・トランスペアレント・クロックにより誘起されるノイズ	- 26 -
I.5-リンクにより誘起されるノイズ	- 27 -
I.6-遅延非対称性の導出	- 27 -
I.7-ノイズ源の特性	- 30 -
I.7.1-参照時刻エラー	- 30 -
I.7.2-PHY 遅延揺らぎと遅延非対称性	- 30 -
I.7.3-タイムスタンプ粒度	- 30 -
I.7.4-局発位相ノイズ	- 30 -
I.7.5-周波数参照位相ノイズ	- 31 -
I.7.6-時刻の過渡応答	- 31 -
I.7.7-リンク非対称性	- 31 -
I.7.8-ノード内での時刻配信におけるエラー	- 32 -
付録 II	- 33 -
付録 III	- 35 -
BIBLIOGRAPHY	- 36 -

## パケットネットワークにおける時刻と位相同期の様態

### 1 範囲

本 ITU-T 勧告はパケットネットワークにおける時刻と位相の同期の様態を定義する。ここでは、基準タイミング信号を分配するための適切な方法を規定する。これは、要求される品質に従って位相同期と時刻同期を再生するために用いられる。また、適切な時刻と位相の同期インタフェースと関連する性能も規定する。

本勧告の対象とするパケットネットワークは下記のシナリオに限定する。

- ・ Ethernet ([IEEE 802.3], [IEEE 802.1DTM], [IEEE 802.1 adTM], [IEEE 802.1QTM ],[IEEE 802.1QayTM ])
- ・ MPLS ([IETF RFC 3031], [ITU-T G.8110])
- ・ IP ([IETF RFC 791], and [RFC 2460])

本規定に関連する物理レイヤは IEEE Standard 802.3 TM-2005 で定義される Ethernet メディアである。

### 2 参照

以下の ITU-T 勧告と参考文献は本文中での参照を通して、本勧告の規定を構成する規定を含む。出版時においては、以下に示された版が有効である。全勧告と他の参考文献は改訂される。従って、本勧告の読者は以下の勧告と参考文献の最新版の適用の可能性を調査することを推奨する。現在有効な ITU-T 勧告の一覧は正規に発行されている。

本勧告内の文章での参照は独立した文章としてその勧告に地位を与えるものではない。

[ITU-T G.810]	Recommendation ITU-T G.810 (1996), <i>Definitions and terminology for synchronization networks</i> .
[ITU-T G.8110]	Recommendation ITU-T G.8110/Y.1370 (2005), <i>MPLS layer network architecture</i> .
[ITU-T G.8260]	Recommendation ITU-T G.8260 (2012), <i>Definitions and terminology for synchronization in packet networks</i> .
[ITU-T V.11]	Recommendation ITU-T V.11/X.27 (1996), <i>Electrical characteristics for balanced double-current interchange circuits operating at data signalling rates up to 10 Mbit/s</i> .
[IEEE 802]	IEEE 802-2001, <i>IEEE standard for local and metropolitan area networks: Overview and architecture</i> < <a href="http://standards.ieee.org/getieee802/802.html">http://standards.ieee.org/getieee802/802.html</a> >.
[IEEE 802.1D]	IEEE 802.1D-2004, <i>IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges</i> < <a href="http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1D-2004.pdf">http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1D-2004.pdf</a> >.
[IEEE 802.1Q]	IEEE 802.1Q-2005, <i>IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Virtual bridged local area networks</i> < <a href="http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2005.pdf">http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2005.pdf</a> >.
[IEEE 802.1ad]	IEEE 802.1ad-2005, <i>IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Virtual bridged local area networks – Amendment 4: Provider Bridges</i> < <a href="http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1ad-2005.pdf">http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1ad-2005.pdf</a> >.
[IEEE 802.3]	IEEE 802.3-2008, <i>Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications</i> < <a href="http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html">http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html</a> >.
[IETF RFC 791]	IETF RFC 791 (1981), <i>Internet Protocol (IP)</i> < <a href="http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791">http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791</a> >.
[IETF RFC 2460]	IETF RFC 2460 (1998), <i>Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification</i> < <a href="http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460">http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460</a> >.
[IETF RFC 3031]	IETF RFC 3031 (2001), <i>Multiprotocol Label Switching Architecture</i> < <a href="http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031">http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031</a> >.
[IEEE 1588™-2008]	IEEE Std 1588™-2008, <i>Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems</i> .

### 3 定義

本勧告の中で用いられる用語と定義は [ITU-T G.810] と [ITU-T G.8260] に含まれている。

### 4 略語および頭字語

本勧告は以下の略語および頭字語を用いる。

EEC	Ethernet Equipment Clock Ethernet 装置クロック
GNSS	Global Navigation Satellite System 全地球的航法衛星システム
GPS	Global Positioning System 全地球測位システム
HRM	Hypothetical Reference Model 仮説に基づいた参照モデル
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service マルチメディアブロードキャスト・マルチキャストサービス
MBSFN	MBMS based on Single Frequency Network 単一周波数ネットワークベースの MBMS
NTP	Network Time Protocol ネットワーク・タイム・プロトコル
PPS	Pulse Per Second 1 秒間当たりのパルス
PRTC	Primary Reference Time Clock プライマリ・リファレンス・タイム・クロック
PTP	Precision Time Protocol 高精度タイム・プロトコル
SSU	Synchronization Supply Unit 同期供給装置
TDD	Time Division Duplexing 時分割二重化
T-BC	Telecom Boundary Clock テレコム・バウンダリ・クロック
T-GM	Telecom Grandmaster テレコム・グランドマスタ
T-TC	Telecom Transparent Clock テレコム・トランスペアレント・クロック
T-TSC	Telecom Time Slave Clock テレコム・タイム・スレーブ・クロック

### 5 慣例

本勧告内において、以下の慣例が用いられる。用語 PTP は IEEE1588TM - 2008 において定義される PTP プロトコルを引用する。

用語テレコム・バウンダリ・クロック (T-BC) は IEEE1588TM - 2008 において定義されるバウンダリ・クロックを構成するデバイスであり、付加的な性能特性は今後の研究課題である。

用語テレコム・トランスペアレント・クロック (T-TC) は IEEE1588TM - 2008 において定義される透過クロックを構成するデバイスであり、付加的な性能特性は今後の研究課題である。

用語テレコム・グランドマスタ (T-GM) は IEEE1588TM - 2008 において定義されるグランドマスタ・クロックを構成するデバイスであり、付加的な性能特性は今後の研究課題である。

用語テレコム・タイム・スレーブ・クロック (T-TSC) は IEEE1588TM - 2008 において定義される PTP スレーブのみのオーディナリ・クロックを構成するデバイスであり、付加的な性能特性は今後の研究課題である。

## 6 位相と時刻の同期に対する要求

時刻同期は課金と警報機能 (メンテナンスまたは障害分離) を支援するために伝統的に要求されてきている。この文章において、同期は一般的に数 100ms 以内の精度である。

その他の時刻同期のアプリケーションは IP ネットワークにおける遅延監視である。この場合、要求は数 100  $\mu$ s 以内の精度である (実際の要求はアプリケーションに依存する)。

時刻同期に対する厳しい要求 (例えば、数  $\mu$ s の範囲) は、同期 CDMA2000 との相互接続をサポートするために要求され、CDMA2000 または LTE FDD unicast の様な一部のモバイルシステムの無線インタフェース上での信号生成に適用される。

位相同期は、TDD システム (例えば LTE TDD) などの場合、または、マルチメディアブロードバンド・マルチキャストサービス (MBMS) をサポートする時に、いくつかのモバイルシステムの無線インタフェースに対する要求をサポートするためにしばしば必要とされる。注意すべきことは、普通の WCDMA MBMS は高精度な位相同期を必要としないことである。この理由は、周波数精度要求が 50ppb を満足するネットワークにおいて適切に機能する様に規定され、設計されているからである。WCDMA ノード同期機能によって保証される ([b-ETSI TS125 402] 参照) この要求は位相揺らぎを 10 ~ 20ms の範囲で制限している。しかし、MBMS が単一周波数ネットワーク (MBSFN) をベースにした時、タイミングは数  $\mu$ s 以内の精度でなければならない。これは、同一の波形が複数のセルから同時に転送されるからである。これらのセルからの信号は次に単一セルのマルチパス成分として結合される。従って、端末はこれらが単一のセルからやってきたかの様に、送信セルの全グループの信号を理解しなければならない。それ故に、全送信機は非常に正確に同期されなければならない。各ベースステーションに対して同じ内容を正確に供給しなければならない。

アプリケーションの出力 (例えば無線アプリケーションの場合における無線インタフェース) において当てはめられる主な要求は付録 II に要約されている。

表 II.1/G.8271 に基づいて、以下の表 1/G.8271 に示す様に、アプリケーションを要求精度毎にクラス分けすることができる。

表 1/G.8271 – 時刻と位相の要求精度クラス

精度レベル	必要条件の範囲 (注 2)	代表的なアプリケーション
1	1 ms – 500 ms	課金、警報
2	5 $\mu$ s – 100 $\mu$ s (注 1)	IP 遅延監視
3	1.5 $\mu$ s - 5 $\mu$ s	LTE TDD (大規模セル) Wimax-TDD (一部の構成)
4	1 $\mu$ s - 1.5 $\mu$ s	LTE-TDD (小規模セル)
5	x ns - 1 $\mu$ s (x ffs)	Wimax-TDD (一部の構成)
6	< x ns (x ffs)	一部の LTE-A 特性 (注 3)



注1: IP監視に対して期待される最も厳しい要求はこの要求精度クラスに対する制限として選ばれる。

注2: 要求は理想的な参照値に対する誤差を単位として表現している。

注3: LTE-A特性の性能要求は3GPPにおいて検討中である。

本勧告は主により厳しい要求精度クラスについて取り扱っており、それは、表 1/G.8271の精度レベル4, 5, 6で示されている。

## 7 時刻-位相同期方法

ネットワークからのタイミンサポートが無いパケットベースの方式 (一般的に NTP を用いる) は伝統的に正確な時刻と位相同期要求の無いアプリケーション (表 1/G.8271 によると Class 1) をサポートするために用いられてきた。

本勧告は表 1/G.8271 の Class 4, 5, 6 に対応するアプリケーションに焦点を当てる。

これらのアプリケーションに対して、次のオプションが本勧告において検討される:

- ・ 分配型の PRTC 手法、end-application 中の Global Navigation Satellite System (GNSS) の受信機 (例えば GPS 受信機) を実装
- ・ 中間ノードにおけるタイミングサポートによるパケットベースの方式

注: 中間ノードにおけるタイミングサポート無しのパケットベース方式の利用方法、そして、表 1/G.8271 の要求精度のクラス定義は今後の研究課題である。

以下の章では異なる同期方式の特性の詳細について規定する。

### 7.1 分配形 PRTC

時刻と位相同期を実現する一つの方式は、ネットワーク中の各クロックに対して同期信号を直接分配する方式である。本方式は”分配型 PRTC (Distributed Primary Reference Time Clock)”として呼ばれており、一般的に、無線による分配で実行可能である。というのは、ネットワークワイドな有線ベースの分配は完成した外部のネットワークを要求するが、それは非現実的である。しかしながら、ある場合では、ケーブルを介した PRTC 信号の遠隔分配も可能かもしれない。無線通信による分配は GNSS によって普通は実現され、例えばそれは GPS である。他の無線通信システムも用いられるかもしれない。

同期ネットワークの主目的は基準タイミングを必要とするエンドアプリケーションを同期するためである。この場合、いくつかのエンドアプリケーションが一つのサイトに存在し、一つの PRTC 基準がそのサイト内に導入され、そのサイト内において基準時刻と位相は集中型機能からさらに分配される。集中型機能の詳細は今後の研究課題である。

以下に示す図 1/G.8271 は一般的な分配型 PRTC 方式の説明を示している。GNSS ベースの同期の場合、基準タイミング信号は衛星放送信号によって分配され、そして、GNSS 受信機はネットワークの PRTC の役割を果たす。受信機 (本図の RX) は GNSS 信号を処理し、エンドアプリケーションのために基準信号を抽出する。

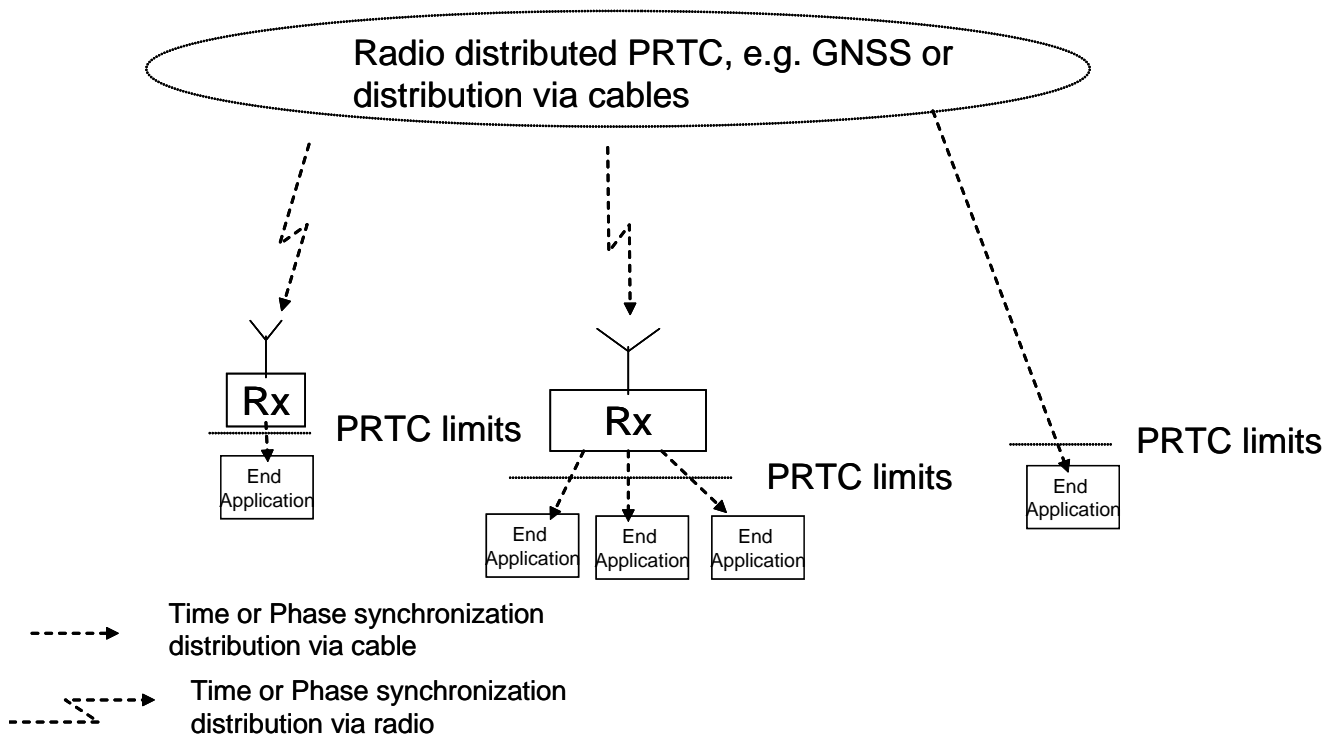


図 1/G.8271 分配型PRTC同期ネットワークの例

### 主特性

分配型 PRTC 方式の主な利点の一つは、基準タイミング信号が GNSS の場合において世界規模で利用できる点である。本手法もまたタイミンググループのリスク無しで平面的な分配階層を許可する。一般的に全ネットワーク計画が容易にもなる。

本方式の主な欠点はナビゲーションシステムの運用者に対する依存、天空に対する広角な視野を持つアンテナに対する要求、避雷対処の必要性和、一般的にアンテナのケーブルに関連する問題である。

最後に GNSS ベースシステムは例えば、TV システム、飽和と電波妨害などによる干渉のリスクの存在である。

しかしながら、技術の進展により主な欠点 (例えば、導入、信頼性) は減ってきていると言及されるべきである。更に、堅牢な GNSS 受信機も実現されるべきであり、例えば、同期イーサネット信号のような高精度周波数基準の場合も利用できる。堅牢な GNSS 受信機のオプションについては今後の研究課題である。

性能の観点において、PRTC system を用いて実現可能な精度は今後の研究課題である

### 7.2 中間ノードにおけるタイミング対応するパケットベースの方式

時刻同期は PTP (IEEE 1588 - 2008 を参照) の様なタイミングプロトコルを通して分配できる。本勧告では、現状のところ、ネットワークからのサポートでタイミング基準を運ぶ場合に重点的に取り組む。

中間ノード (例えば、イーサネットスイッチ) でのタイミング対応はソフトウェアによるタイミング機能と同様に特定のハードウェアに関わる (図 2/G.8271)。

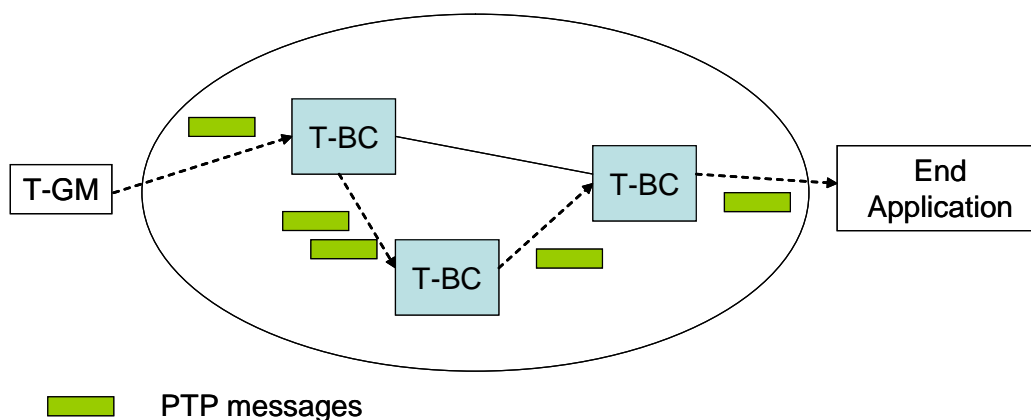


図2/G.8271 ネットワークノードからサポートによるパケットベース方式の例

PTP の場合において、これらの機能は関連するインターフェースにおけるハードウェアでタイムスタンプ付けをすると共に、テレコム・バウンダリ・クロック (T-BC) またはテレコム・トランスペアレント・クロック (T-TC) のいずれか一つに対応する。

T-BC はタイムスタンプメッセージを終端し、再度タイムスタンプメッセージを生成する。

T-TC は遅延測定的手段を提供し、その遅延はネットワーク構成要素によって、そして、ネットワーク構成要素に接続されるリンクによって付加される。本勧告ではこの版においてサポートする T-BC のみを考慮する。テレコムアプリケーションにおける T-TC の利用は今後の研究課題である。

下記の図はネットワークからのタイミングサポートでのパケットベース方式を通した位相/時刻同期分配の一例を示している。T-GM(テレコム・グランドマスター) 中の PRTC 制限に準拠したタイミング信号基準にアクセスするパケット・マスター・クロックパケット・マスター・クロック機能はパケットタイミング分配を起点にし、全トランスポートノードは T-BC を実装する。

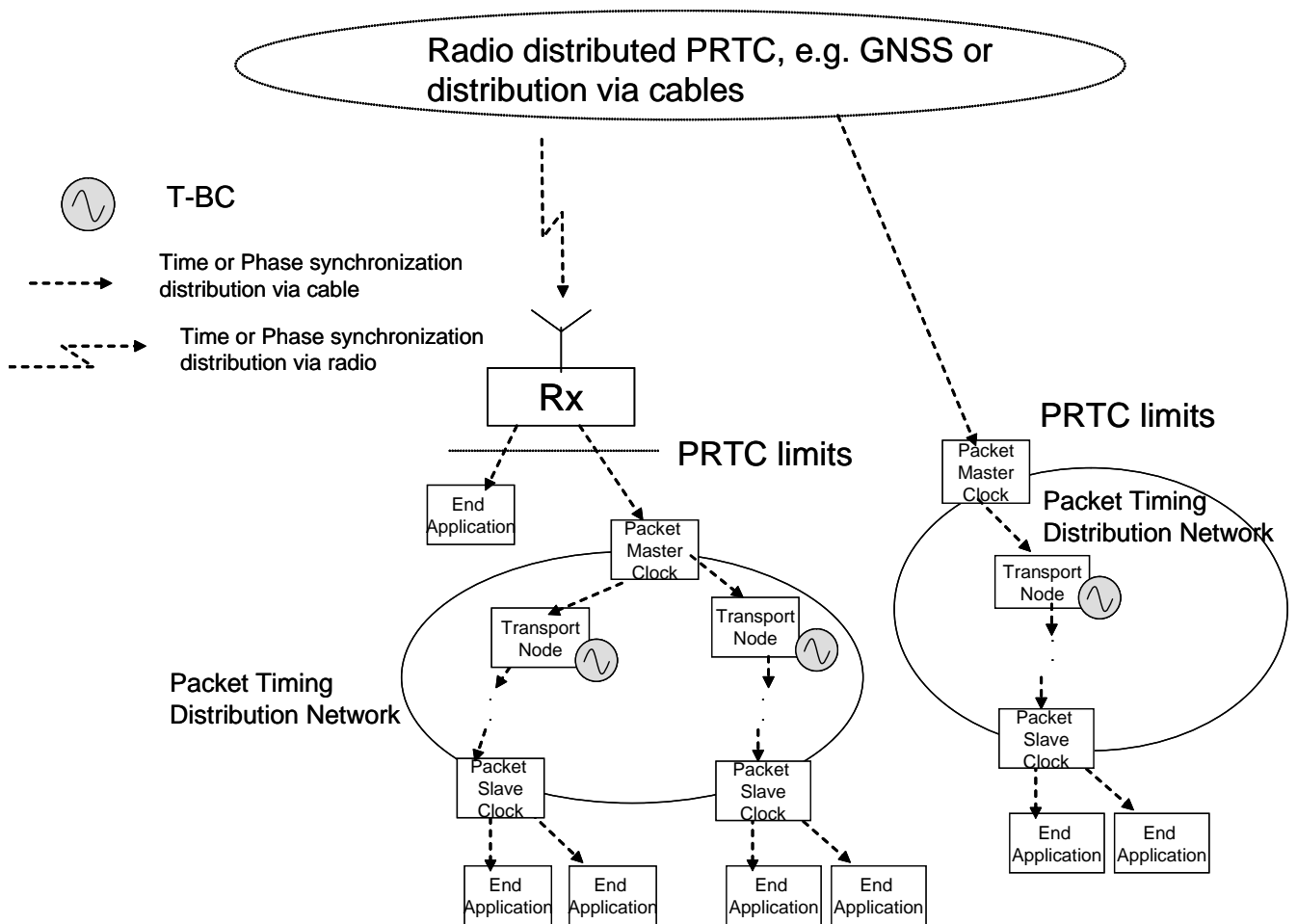


図3/G.8271 パケットベース方式を介した時刻同期分配の例

### 主特性

パケットを用いた時刻同期分配手法の主な利点は GNSS 受信機の数を大幅に削減できることである。もし PRTC が GNSS をベースにするならば、PRTC の配置場所で GNSS 受信機が必要になるかもしれないことを意味する。

欠点については、ネットワークプランニングはこのケースではより複雑になると言える (例えば、タイミングループのリスク)。更に、ノイズの累積についても考慮されるべきである。最後に、本方法における別の問題はネットワークにおける非対称性に起因する時間誤差であり、これは管理される必要がある (例えば、ファイバ長の較正を暗に意味する)。

## 8 ネットワーク参照モデル

図 4/G.8271 は時刻と位相同期性能目標を定義するために使用するネットワーク参照モデルを記述している。

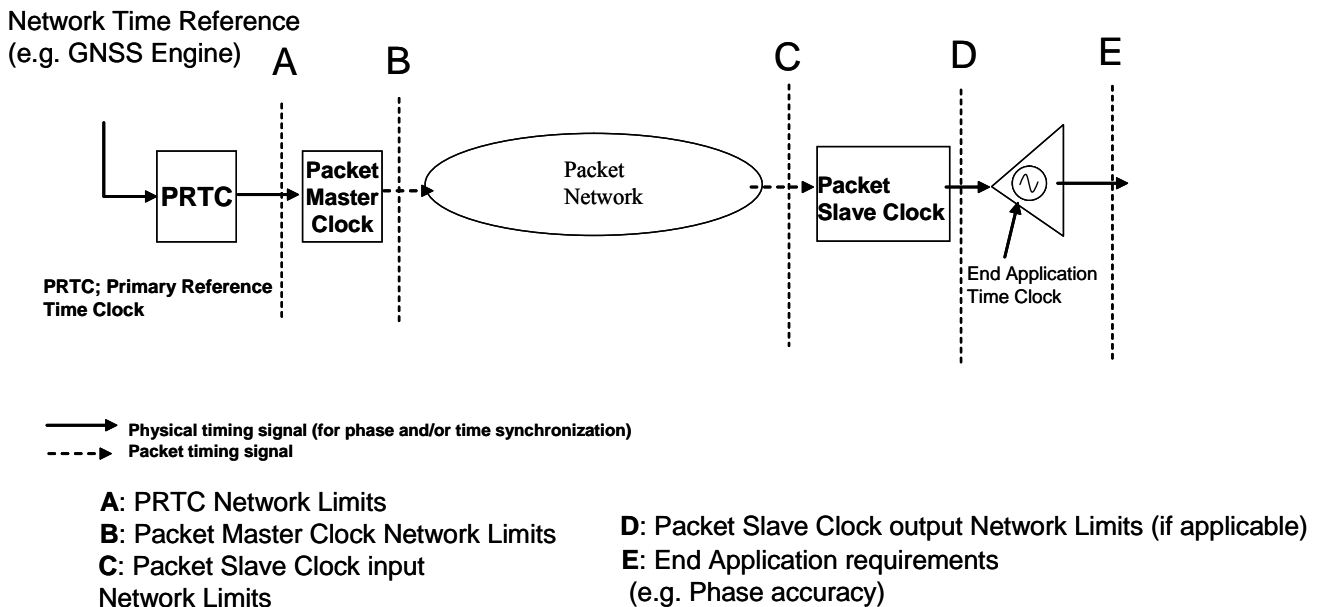


図4/G.8271 ネットワーク参照モデル

以下に参照点が定義されている。これらの参照点に関するすべての要求条件は、共通時刻参照、すなわち、GPS 時刻のようすべての認められた時刻参照について定義する。

- ・ A: PRTC ネットワーク限界、すなわち PRTC の出力が適用できるネットワークの限界である。この場合、要求条件は、(例えば、ToD 情報と統合される 1PPS のような) 専用のタイミング信号インタフェースに適用される。
- ・ B: パケット・マスタ・クロックネットワーク限界、すなわち、パケット・マスタ・クロックの出力が適用できるネットワークの限界である。この場合、要求条件はパケットタイミング信号に適用される。
- ・ C: パケットスレーブ入力ネットワーク限界。この場合、要求条件はパケットタイミング信号に適用される。
- ・ D: パケットスレーブ出力ネットワーク限界。この場合、要求条件は復元された参照タイミング信号に適用される。この参照点はエンドアプリケーションで統合されたパケット・スレーブ・クロックの場合には適用されない。
- ・ E: エンドアプリケーション出力要求条件、例えば、ベースステーションの場合の無線インタフェース。

注: 図 4/G.8271 において、パケット・マスタ・クロックは T-GM に該当し、パケット・スレーブ・クロックは T-TSC (Telecom Time Slave Clock) に該当する

注: 開発中の特性研究は、物理レイヤ周波数同期サポート (例えば同期イーサネットサポート) の有無にかかわらず、ハードウェアタイムスタンプ (例: IEEE1588-2008 における T-BC 全ノード) をもつネットワークにおいてフルタイミングサポートを基準としている。

これらの部分的なタイミングサポートの場合は今後の研究課題である。

すべてのバジェットは測定点「E」に関係がある。(すなわち、共通時刻参照に関しては「E」点での時刻エラーとなる。)

A、B、C と D は他の関連する測定参照点を定義し、ネットワーク限界に関係し、関連するネットワーク部分 (セグメント) (例えば A から C、A から D 等) に割り当てることができるノイズバジェットを示す。

注: ある特定のアクセス技術はある場合においてはネットワーク参照モデルが検討される必要がある。

例えば、B 点と C 点の間のパケットネットワークは時として、トランスポートとアクセス部分から構成される。それぞれの部分はそれぞれの位相/時刻バジェットをもっているはずである。別のシナリオ (筋書き、概要) では、アクセス部分はパケット・スレーブ・クロックとエンドアプリケーションの間の「D」点置かれている。アクセス技術が考えら

れるネットワーク参照モデルの定義は今後の研究課題である。

特定のアプリケーションの興味深い測定点はネットワーク管理ドメイン境界が適用される場所に依存する。

上記で述べたように、双方向タイミング信号を測定する必要がある場合の測定方法は、特定の測定方法と測定基準が要求される。

測定試験機で加えられる雑音と同様に、双方向タイミング信号の測定は、今後の研究課題である。

他の可能性は、IPPS インタフェースのような専用の外部の位相/時刻参照出力を用いた測定である。この勧告の付属資料 A でこのタイプのインタフェースのガイダンスを提供する。

## 9 位相/時刻同期インタフェース

位相/時刻同期インタフェースは以下の目的で必要である

### 1) 測定インタフェース

ネットワークオペレータが、同期チェーンに沿って分配された位相/時刻同期の品質の測定を出来る様にするため、全ての PRTC、T-GM、T-BC と T-TSC は専用の外部位相/時刻同期インタフェースを持つ必要がある。

1 秒間当たりのパルス (IPPS) インタフェースは適切な測定インタフェースであり、この勧告の付属資料 A において規定されるインタフェースインタフェースのひとつとして実装されなければならない。さらなる測定インタフェースは今後の研究課題である。

### 2) 配信インタフェース

位相/時刻同期インタフェースは、ときどき、位相/時刻同期配信チェーンに沿っているシステムに接続する必要がある。典型的なアプリケーションは、IPPS インタフェースの入力が装備されたベースステーションのようなエンドアプリケーションが T-TSC に接続される場合である。配信インタフェースの詳細は今後の研究課題である。

図 5/G.8271 は位相/時刻同期インタフェースの両タイプ、測定インタフェース (参照点 1) と配信インタフェース (参照点 2) の例を示している。異なる要求条件はこれらの点に適用されてもよい。

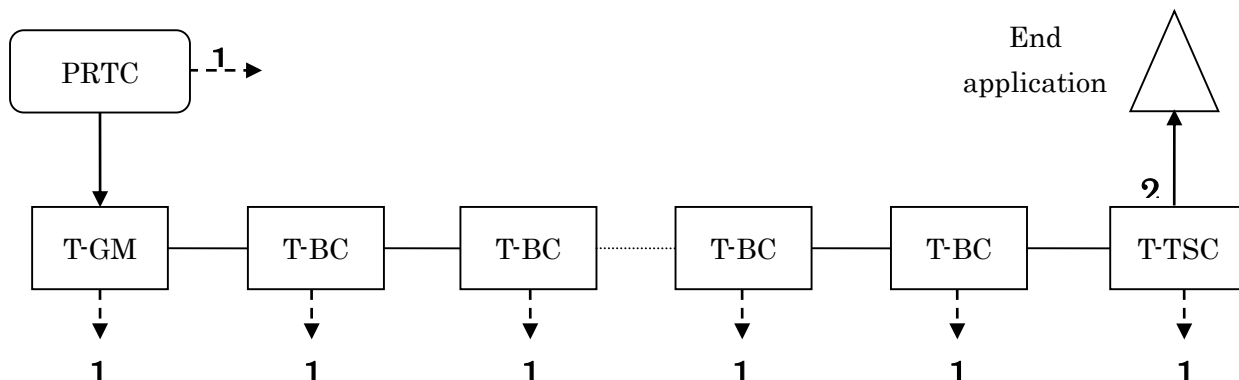


図5/G.8271 テレコム・バウンダリ・クロック・チェーンの  
外部位相/時刻インタフェースとして考えられる位置

## 付属資料 A

### 1PPS 位相及び時刻同期インタフェース仕様

(本付属資料は、本勧告と不可分である)

#### A.1 ITU-T V.11 インタフェース

1 PPS 時刻/位相インタフェースは [ITU-T V.11] で規定される V.11 インタフェースに 1 PPS 信号の立ち上がり/立ち下がり時間の必要条件を追加して使用している。これは 1PPS 信号の要求される精度を提供するために必要とされる。

このインタフェースは時刻測定だけでなく時刻同期配信にも使用できる。

インタフェースは大きなコモンモード雑音を許容できる平衡形インタフェースである。

##### A.1.1 インタフェース信号

- ・ 1PPS\_OUT+/1PPS\_OUT-: この出力信号対は信号の立ち上がりエッジで有意な事象が起こっていることを表し、時刻マスタによって発生される。
- ・ 1PPS\_IN+/1PPS\_IN-: この入力信号対は信号の立ち上がりエッジで有意な事象が起こっていることを表し、時刻スレーブによって使用される。
- ・ TX+/TX-: この出力信号対は時刻マスタと時刻スレーブとの間で時刻メッセージ及びステータスメッセージの転送のためのシリアル通信チャネルとして使用される。
- ・ RX+/RX-: この入力信号対は時刻マスタと時刻スレーブとの間で時刻メッセージ及びステータスメッセージの転送のためのシリアル通信チャネルとして使用される。

シリアル通信チャネルで使用されるプロトコルは今後の研究課題である。

接続は表 A.1/G.8271 で規定されるように信号対を接続するクロスケーブルを使用する必要がある。

表 A.1/G.8271 ケーブル接続関係

コネクタ A	コネクタ B
1PPS_OUT+/1PPS_OUT-	1PPS_IN+/1PPS_IN-
1PPS_IN+/1PPS_IN-	1PPS_OUT+/1PPS_OUT-
TX+/TX-	RX+/RX-
RX+/RX-	TX+/TX-

注: 表 A.1/G.8271 のすべての信号が同時に必要であるとは限らない (例えば、1 方向のみで十分なケースもある)。メッセージを発信するチャネルの逆方向は今後の研究課題である。

##### A.1.2 1 PPS 立ち上がり及び立ち下がり時間仕様

V.11 第 5.3 節で規定される出力ポートにおける 1PPS\_OUT 信号対の最大立ち上がり立ち下がり時間は今後の研究課題である。

##### A.1.3 信号タイミング

時刻マスタは、筐体の出力端においてシステムの変化点で発生する V.11 差動信号の立ち上がりエッジの中間点のような正パルスを 1PPS 信号上に発生させなければならない。正パルス幅は 200 ns と 500 ms との間でなければならない。

注: 装置の内部遅延は表 A.2 で明記される 1 PPS 信号出力タイミング精度条件が満たされることを確実にするために送信及び受信の両側で補正される必要がある。

表 A.2 で明記される必要条件を満たすために、1 PPS 信号のケーブル遅延は制御されなければならない。必要な場合は受信側で補正されなければならない。これはネットワークオペレータによって手動で行われることもあれば、装置によって自

動的に行われることもある。

表 A.2/G.8271 : 通常の1 PPSインタフェースのタイミングバジェット配分

パラメータ	許容値	参照
タイミングマスタの1PPS信号発生精度	+/- FFS ns	
ケーブル遅延補正精度	+/- FFS ns	V.11パルスのコネクタ-コネクタ間
スレーブでの1PPS信号検出精度	+/- FFS ns	

## A.2 1PPS 50Ω 位相同期測定インタフェース

### A.2.1 導入

1 PPS インタフェースは、測定器と接続するために用いられる不平衡 50Ω1PPS 信号により構成される。

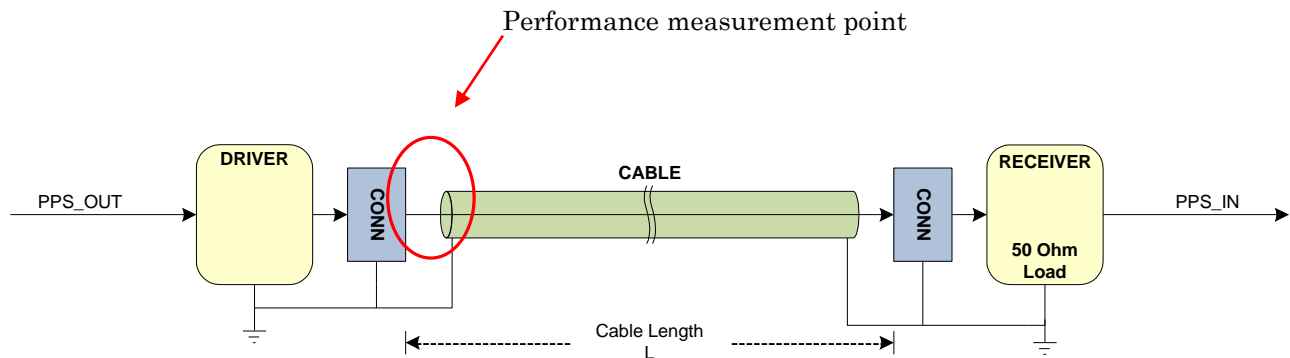


図 A.1/G.8271 – 不平衡1PPS 50Ω 測定インタフェース

### A.2.2 性能詳細

信号は、信号の立ち上がりにおける中点で生じる重要なイベントを示す。

システムは、筐体の出力端における立ち上がりパルスの中点がシステムの 1 秒のロールオーバーに来るように、正極性パルスを 1PPS 信号上で生じなければならない。

パルス幅は 100ns より大きく 500ms 未満でなければならない。

1PPS パルスの立ち上がり時間 (波高の 10%~90%までの) は 5ns 未満である必要がある。

システムでは、1PPS 信号のタイミングが装置の端点で合致することを保証するために、内部遅延時間に対する補償がなされなければならない。

計測機器には、1PPS インタフェースの接続に起因する遅延を補償することが求められる。

本インタフェースは、遅延と立ち上がり時間を低くするために 50ohm に調整された最大でも 3m のケーブルの使用が求められる。

表A.3/G.8271-1 PPS測定インタフェースのタイミング性能

パラメータ	トレランス	参照
タイミングマスタの1PPS信号生成確度	+/- 5 ns	50%振幅レベルでの測定において
最大ケーブル長	3 m	遅延及び立ち上がり時間性能



### A.2.3 追加情報

表 A.4 に、情報としてインタフェースに対する電圧レベルを示す。

表A.4/G.8271: 出力電圧レベル

Interface	VOH(max)	VOH(min)	VOL(max)	VOL(min)
1PPS (50ohm single-ended)	5.5V	1.2V	0.3V	-0.3V

注：グラウンドに対する50Ω抵抗により測定

## 付録 I

### 時刻配信チェーンにおける時刻・位相ノイズ源

(本付録は本標準に必要不可欠な部分ではない)

時刻配信チェーンにおけるエラー源の定量化はネットワーク参照モデルにおけるノイズバジェットを定義する過程において不可欠である。

本付録に挙げられるエラー源は T-BC によるフルタイミングサポートを伴ったネットワークに基づく。

一部、或いは全ノードにおいてタイミングサポートがない場合に付加されるノイズ源は、検討されなければならない。これは、今後の研究課題である。

テレコム・トランスペアレント・クロックによるタイミングサポートに起因するノイズ源についても今後の研究課題である。

#### I.1-プライマリ・リファレンス・タイム・クロック (PRTC) に誘起されるノイズ

下記表は、PRTC におけるエラー源を与える。

	エラー源	説明/仮定
1	参照時刻エラー	付録I.7.1を参照

#### I.2-パケット・マスタ・クロック機能により誘起されるノイズ

下記表は、パケット・マスタ・クロック機能におけるエラー源を与える。パケットマスタークロック機能は T-GM、或いは T-BC の一部となりうる。

	エラー源	説明/仮定
1	ノードに対する潜在的PHY遅延非対称性	付録I.7.2を参照

#### I.3-パケット・スレーブ・クロック機能により誘起されるノイズ

下記表は、パケット・スレーブ・クロック機能におけるエラー源を与える。パケット・スレーブ・クロック機能は T-TSC、或いは T-BC の一部となりうる。

	エラー源	説明/仮定
1	局発振位相ノイズ	付録I.7.4を参照
2	ノードに対する潜在的PHY遅延非対称性	付録I.7.2を参照
3	タイムスタンプ粒度	付録I.7.3を参照
4	周波数参照位相エラー	付録I.7.5を参照
5	時刻の過渡応答	付録I.7.6を参照

#### I.4-テレコム・トランスペアレント・クロックにより誘起されるノイズ

テレコム・トランスペアレント・クロックによるタイミングサポートにおけるノイズ源に関しては今後の研究課題である。

## 1.5 - リンクにより誘起されるノイズ

下記表はリンク中のエラー源について提供する。

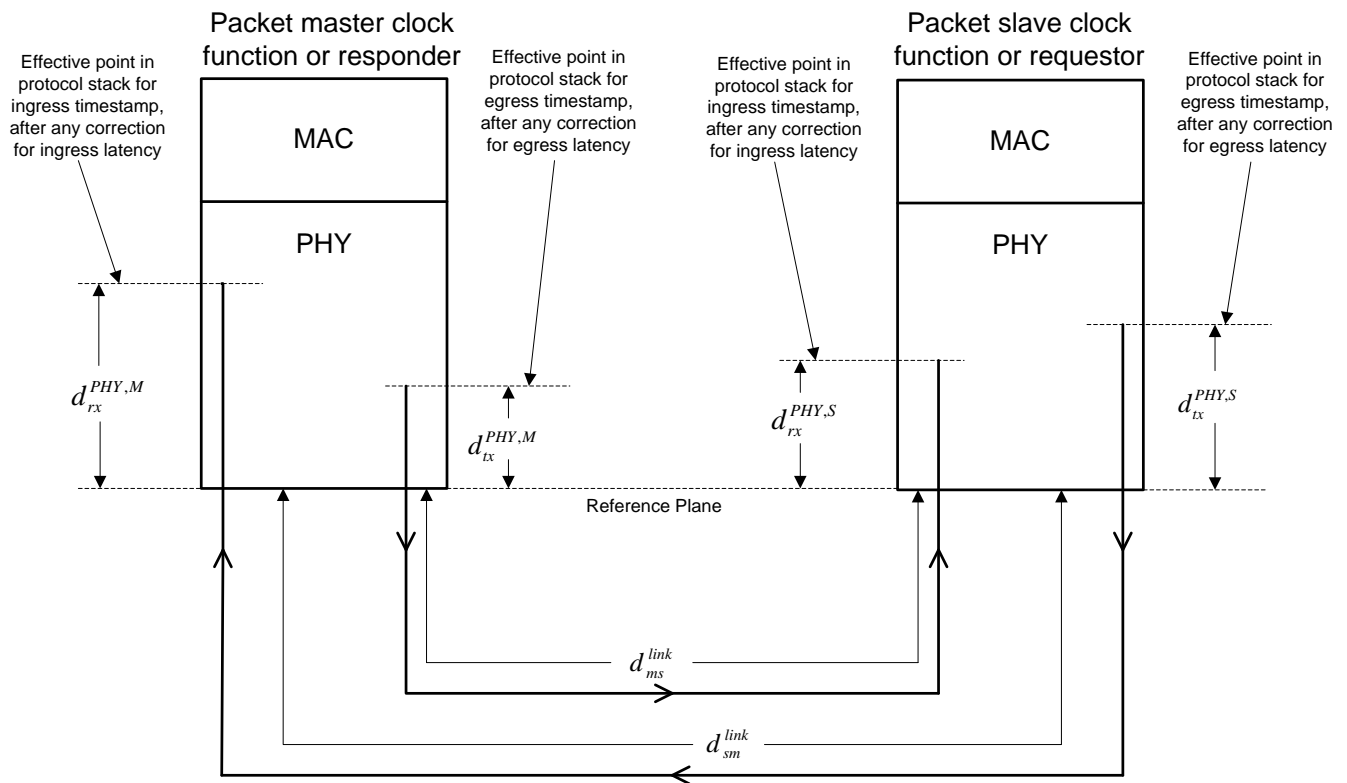
	エラー源	説明/仮定
1	リンク非対称性	付録I.7.7を参照

## 1.6 – 遅延非対称性の導出

図 I.1/G.8271 はパケットのスレーブクロック機能あるいは（この節を通してスレーブと記される）要求側とパケットのマスター・クロック機能あるいは（この節を通してマスターと記される）応答側の間の遅延を示す。平均伝播遅延はイベントメッセージの交換後、スレーブで測定される。遅延要求/応答メカニズム（[IEEE 1588<sup>™</sup> - 2008] 参照）が利用されると、スレーブは Delay\_Req を送信し、マスターは Delay\_Resp を送信する。また別に、Sync と Follow\_Up を送信する。（すなわち、Sync と Follow\_Up の送信は Delay\_Req/Delay\_Resp の交換の一部ではない。Follow\_Up メッセージはクロックがツーステップの場合に限って送信される。）Peer Delay メカニズム（[IEEE 1588<sup>™</sup> - 2008] 参照）が利用される場合、スレーブは Pdelay\_Req を送信し、マスターは Pdelay\_Resp を送信するとともに、クロックがツーステップの場合は Pdelay\_Resp\_Follow\_Up を送信する。

この図は、入力および出力レイテンシーに対する補正が実施された後、各クロックのプロトコルスタックにおいてタイムスタンプが生成される有効な点を示す（[IEEE 1588<sup>™</sup> - 2008] の 7.3.4 と 図 19 参照）。これらの点は、理想的には参照プレーンすなわち、物理とネットワーク物理媒体との境界点に存在するだろう。しかし実際には入力および出力レイテンシーに対する補正は完全ではなく、タイムスタンプが生成される有効点は参照プレーンとは異なる。タイムスタンプが受け取られる有効点と参照プレーンとの遅延は、マスターでは出力および入力のそれぞれについて dtxPHY,M および drxPHY,M と記され、スレーブではそれぞれ dtxPHY,S および drxPHY,S と記される。この記法では、出力では添え字 t (transmit) が入力では添え字 r (receive) が使用される。一般に、この 4 つの量がすべて異なることがある。

この図はまたリンク遅延も示し、あるクロックの参照プレーンから他のクロックの参照プレーンまで測定される。マスターからスレーブまでの遅延は dmslink と記され、スレーブからマスターまでの遅延は dsmlink と記される。



図I.1/G.8271 -パケット・スレーブ・クロック機能とパケット・マスタ・クロック機能の間の遅延の例

マスタからスレーブまでの総遅延 $t_{ms}$ はその方向の遅延の和で、

$$t_{ms} = d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S} \quad (I-1)$$

同様に、スレーブからマスタまでの総遅延 $t_{sm}$ はその方向の遅延の和で、

$$t_{sm} = d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M} \quad (I-2)$$

遅延非対称に関する符号の慣例として、[IEEE 1588™ - 2008] の7.4.2と同じ慣例を採択する。 $D_{mean}$  は測定された平均パス遅延 (すなわちDelay\_Req と Delay\_Respの交換またはPeer Delayメッセージの交換の測定結果) を示す。また、 $D_{asym}$  は遅延非対称の総量を示す。このとき、 $D_{asym}$  は、マスタからスレーブの遅延がスレーブからマスタへの遅延より大きいときに正と定義される。同様に、 $D_{asym}$  はマスタからスレーブへの遅延がスレーブからマスタへの遅延より小さいときに負と定義される。

$$\begin{aligned} t_{ms} &= D_{mean} + D_{asym} \\ t_{sm} &= D_{mean} - D_{asym} \end{aligned} \quad (I-3)$$

方程式 (I-3) は以下を意味する。

$$D_{mean} = \frac{t_{ms} + t_{sm}}{2}, \quad (I-4)$$

方程式 (I-1) と (I-2) を方程式 (I-4) に代入すると、以下を得る。

$$D_{mean} = \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \quad (I-5)$$

部品遅延の観点から遅延非対称を得るため、(I-3) のどちらの方程式も方程式 (I-4) と利用される。方程式 (I-3) の第一式を使って、

$$\begin{aligned}
D_{asym} &= t_{ms} - D_{mean} \\
&= (d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) - \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \\
&= \frac{d_{tx}^{PHY,M} - d_{rx}^{PHY,M}}{2} + \frac{d_{ms}^{link} - d_{sm}^{link}}{2} + \frac{d_{rx}^{PHY,S} - d_{tx}^{PHY,S}}{2} \\
&= e_{phy}^M + e_{link-asym} - e_{phy}^S
\end{aligned} \tag{I-6}$$

ここで

$$e_{phy}^M = \frac{d_{tx}^{PHY,M} - d_{rx}^{PHY,M}}{2} \tag{I-7}$$

$$e_{link-asym} = \frac{d_{ms}^{link} - d_{sm}^{link}}{2} \tag{I-8}$$

$$e_{phy}^S = \frac{d_{tx}^{PHY,S} - d_{rx}^{PHY,S}}{2} \tag{I-9}$$

方程式 (I-7) と (I-9) はそれぞれマスタとスレーブのPHYレイテンシー非対称性による誤差である。方程式 (I-8) はリンク非対称性による誤差である。方程式 (I-6) は、非対称性の総量を計算する際に、マスタでのPHYレイテンシーとリンクによる誤差が加算され、一方でスレーブでのPHYレイテンシーによる誤差は差し引かれる。

リンク遅延非対称を補正するため、自動のリンク非対称補正方法を採用することが望ましい。これは、トラヒックで利用されるファイバ上で行われる双方向測定の手段により伝播遅延を計算することに基づいてもよい。

この方法は、上り伝播遅延 $d_r$ と下り伝播遅延 $d_f$ を生み出す（上り行きで使われるファイバと下り向きで使われるファイバの）双方のファイバで別々に行われなければならない。（図 I.2/G.8271参照）

注：図 I.1/G.8271に示されるようにマスタとスレーブの結合の場合、次式が適用される。

$$d_f = d_{ms}$$

$$d_r = d_{sm}$$

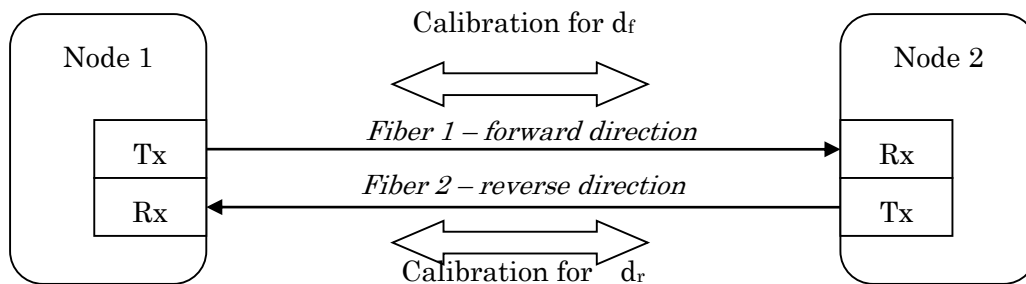


図 I.2/G.8271 - リンク非対称補正過程

このリンク非対称補正メカニズムは、 $d_f$  と  $d_r$  の推定精度目的に合わなければならない。この制限は今後の研究課題である。

いくつかの実装が可能である。例えば、光スイッチや固定・可変合分波フィルタなどに基づくものがありうる。実装に依存して、補正の過程の間にトラヒックを制限することは要求されないかもしれない。よってインサービスで運用が可能である。しかし、非対称の補正は、使用開始時またはネットワークでの再配置の間にのみ要求される過程である。

この測定は (OTN を含む) WDM システムや非 WDM システムに適用できる。WDM システムの場合、この測定は DCF

(分散補償ファイバ) により発生しうる遅延も考慮に入れるべきである。

注：WDM システムの場合、双方向で異なる波長を使うことによる非対称性は考慮されなければならない。実際、2本のファイバ（もしくは1芯の伝送システムの場合は1本のファイバ）で異なる波長を利用すると、2ファイバが同じ長さであっても異なる遅延となる。リンク非対称補正過程で使われる波長がトラヒックで使われる波長と異なる場合、同じ側面に関連した補償が要求される。この点を解決するために適した方法論が付録 III で導入される。

この差分 ( $d_f - d_r$ ) は、時刻復元過程で使用される遅延非対称性の評価において利用される。特に、[IEEE 1588<sup>m</sup> - 2008] の 7.4 節で定義される `delayAsymmetry` パラメータはその差分の半分であろう。

注：T-BC が全ノードに実装されるなら、直接 T-BC によって補償が引き起こされ、それは差分 ( $d_f - d_r$ ) を知るだろう。そうでなければ、PTP メッセージが処理されるネットワーク上の点で差分 ( $d_f - d_r$ ) を利用可能にするために何らかの手段が使われなければならない。これは今後の研究課題である。

## 1.7-ノイズ源の特性

これまでの節で確認された各ノイズ源は、モデリングと累積の面で異なる特性を有する。例えば、従属接続された T-BC は、ITU-T に従い、クロックチェーンの為の伝統的なアプローチにより解析することができる。

以降のセクションでは、上記の表のノイズ源を分析する。

### 1.7.1-参照時刻エラー

T-GM のパケット・マスタ・クロック機能は、参照時刻を受信し、分配する。エラーは、以下に帰属することができる：

1. GNSS タイムエラー。異なる GNSS システムを用いる（時刻）配信システム（例えば、GPS と将来の Galileo の双方）では、システムを駆動させる原子時計群の間で、固有時刻が異なることによるエラーが発生するかもしれない。
2. GNSS 実装限界。GNSS 受信機は、同じ衛星システムを使用する他の GNSS 受信機に対し、オフセットを有する時刻信号を生成するかもしれない。

このノイズ源は、PRTC にのみ適用可能である。

ノイズ源 `eref` のモデル化法については、今後の研究課題である。

### 1.7.2-PHY 遅延揺らぎと遅延非対称性

このノイズ源は、ハードウェアのタイムスタンプ機能、即ちタイムスタンプ測定点と媒体インタフェースの間の差分に関連している（例えば、802.3bf では、802.3bf をサポートする PHY ごとに可能な最大ならびに最小の送受信の値を規定している）。適切な実装の為には、これは通常ナノ秒の範囲となるであろう。PHY 遅延非対称性 (PHY delay asymmetry) は、送信パス遅延 (the delay on the transmit path)  $d_{tx}$ 、受信パス遅延 (the delay on the receive path)  $d_{rx}$  において、 $(d_{tx}-d_{rx})/2$  にて定義されており、セクション I.6 並びに図 I.1/G.8271 にて示される通りである。

このノイズ源は、(T-GM または T-BC の) パケット・マスタ・クロック機能、および、(T-BC または T-TSC の) パケット・スレーブ・クロック機能に当てはまる。

雑音源 `ephy` のモデル化法については、今後の研究課題である。

### 1.7.3-タイムスタンプ粒度

タイムスタンプの粒度は、サンプリングレートに依存する。

このノイズ源は、パケットマスタとパケットスレーブに当てはまる。

ノイズ源 `ets` のモデル化法については、今後の研究課題である。

### 1.7.4-局発位相ノイズ

パケット・スレーブ・クロック機能は、マスタタイミングデータをリファレンスとして使用し、タイムエラーをできる

だけ小さくするためにローカルリファレンスの位相ノイズを除去する。局発が特性向上すれば、位相ノイズは少なくなる。位相ノイズは全てを除去することはできない。

このノイズ源は、PTP メッセージにより周波数が回復した状況（即ち、物理層での周波数同期が無い）における（T-BC または T-TSC の）パケット・スレーブ・クロック機能に当てはまる。

ノイズ源  $e_{\phi}$  のモデル化法については、今後の研究課題である。

### 1.7.5 -周波数参照位相ノイズ

この（T-BC または T-TSC の）パケット・スレーブ・クロック機能は、時刻の再生をさせるために、局部発信器の代わりに外部の参照周波数を使用するかもしれない。参照周波数は、局部発信器よりも時刻に関する特性が良いかもしれないが、完全ではないだろう。

このノイズ源は、パケット・スレーブ・クロック機能に当てはまる。

このノイズ源  $e_{\text{syncE}}$  は、G.8261 の第 9.2 章のネットワーク制限により定義される。このノイズ源のモデル化法については、今後の研究課題である。

### 1.7.6 -時刻の過渡応答

リファレンスの切り替え、あるいは、短期の中断は、時刻の過渡応答を引き起こすかもしれない。グランドマスタ、あるいは、リンクの故障は、ネットワークの再編成を引き起こすかもしれない。このような間、ホールドオーバー機能の形により、時刻誤差が累積する。

このノイズ源は、パケット・スレーブ・クロック機能に当てはまる。

ノイズ源  $e_{\text{transient}}$  のモデル化法については、今後の研究課題である。

### 1.7.7 -リンク非対称性

パケットタイミングプロトコル（NTP や PTP など）では、ネットワークを通し往復伝搬遅延——即ち、サーバからクライアントへの遅延と戻り（あるいは、その逆）——を測定する。片道遅延は、ネットワークを介しての往路遅延と復路遅延が同じであるという仮定を用いて推定している。往路と復路の遅延の差異（遅延の非対称性として知られている）は、サーバに対するクライアントのクロックのオフセットを推定する際、エラーを発生させる。

フルタイミングサポート（各ノードが、T-BC または T-TSC のような場合）であれば、PDV や 2 方向で異なるトラフィック負荷に起因する非対称性や 2 方向でパケットが異経路を取ることに起因する非対称性を排除することができる（この場合でも、end-to-end のトランスペアレントクロックについては、課題は解決しない）。しかしながら、ネットワークの要素間の point-to-point のリンクについては、遅延の非対象を修正できない。この非対称性は、往路と復路のパスが、同じケーブルに収容された異なるファイバあるいは銅線ペアを通る際に発生する。これらのファイバあるいは銅線ペアは、遅延差を発生させるに十分なほど、異なる長さあるいは異なる電氣的／光学的特性を有しているかもしれない。

ファイバリンクによる遅延の非対称性は、それぞれの方向における差異により、メートルあたり数ナノ秒発生する。複数のファイバリンク上で使用された場合、この誤差の大きさは一部のアプリケーションで必要とされる非常に厳格な許容値に対し、かなり重大になる。

リンク非対称性（link asymmetry）は、マスタ・クロックまたはレスポnderからスレーブクロックまたはリクエスターまでのパスにおける遅延  $d_{ms}$ 、スレーブクロックまたはリクエスターからマスタ・クロックまたはレスポnderまでのパスにおける遅延  $d_{sm}$  において、 $(d_{ms}-d_{sm})/2$  にて定義されており、第 I.6 章 並びに図 I.1/G.8271 にて示される通りである。

このノイズ源は、リンクに当てはまる。

ノイズ源  $e_{\text{link-asym}}$  のモデル化法については、今後の研究課題である。

### 1.7.8-ノード内での時刻配信におけるエラー

このエラーは、ノードの集約点（例えば、システム・カード）からノードの他地点（例えば、ラインカード）に、基準時刻を配信する際に起こるさまざまな内部遅延が原因である。このエラーは、例えばバックプレーンの配線、コネクタ、およびさまざまな論理機能に原因を求めることができるかもしれない。注意すべきは、これらの遅延は無視できないかもしれないし、適切な設計と補償を行うべきかもしれない。

ノイズ源は `eintranode` として定義されており、今後の研究課題である。このノイズ源は、T-GM、T-BC ならびに T-TSC に当てはまる。



**付録Ⅱ**  
**エンドアプリケーションの時刻、位相の同期精度要求条件**

(この付録はこの勧告の主要な部分ではありません)

以下の表はアプリケーションの出力に適用可能な主要要求条件をまとめたものである。

(アプリケーションの出力とは、例えばワイヤレスアプリケーションでいえば無線インタフェースなどを指す。)

**表 II.1/G.8271 – 端末アプリケーションの時刻、位相の同期精度要求条件**

アプリケーション /技術	精度	諸元
CDMA2000	CDMAシステムの時刻に対して $\pm 3 \mu\text{s}$ (追跡可能でUTCに対して同期していること)  8時間以上の時間に渡って、CDMAシステムの時刻に対して $\pm 10 \mu\text{s}$ (CDMAシステムの時刻の外部入力 that 被除去されたとき)	3GPP2 C.S0002-E v2.0 (2010) 3GPP2 C.S0010-C v2.0 (2006)
TD-SCDMA (NodeB TDD mode)	重なるカバーエリアを持ち、同じ周波数で動作するいかなる基地局のペアの間においても、フレームのスタート時刻の変動が最大 $3 \mu\text{s}$	3GPP TS 25.123 Release 9 Section 7.2 (2009)
WCDMA-TDD (NodeB TDD mode)	TDDモードにおいて、セル間の同期と切り替えをサポートするために、それぞれのNodeBに共通の時刻基準が必要であり、また同期したエリアの中のいかなるNodeBの入力ポートにおいても、同期信号の相対的位相差は $2.5 \mu\text{s}$ を超えることはない。	ETSI TS 125 402 Section 6.1.2 and 6.1.2.1 (2009)
W-CDMA MBSFN	単一周波数ネットワークにおいてマルチメディアブロードキャスト・マルチキャストサービスを行うためには $12.8 \mu\text{s}$ が求められる。単一周波数ネットワークでは、共通の基準時刻に対して、基地局の送信が厳密に時刻同期される。	3GPP TS 25.346 Section 7.1A and 7.1B.2.1 (2009)
LTE MBSFN	(連続的な時刻スケールにおいて) 共通の時刻基準に対して、値として $< +/- 1 \mu\text{s}$ とされている。	Under study in 3GPP
W-CDMA (Home NodeB TDD mode)	マイクロセカンドレベルの精度 (ハード要求は不記載)	3GPP TR 25.866 Section (2009)
WiMAX	1. サービスを提供する基地局と隣接基地局によって送信される下りのフレームは、最低でもサイクリックプレフィックスの長さの1/8 (つまり $1.428 \mu\text{s}$ ) のレベルで同期されている。基地局では、送信される無線フレームは1 ppsのタイミングパルスによって時刻同期される。  2. 基準時刻を送信する基地局は、1ppsのパルスに対して、 $\pm 1 \mu\text{s}$ 精度で時刻を同期すべきである。	1. IEEE 802.16-2009  2. WiMAX Forum Mobile System Profile Specification WMF-T23-001-R015v01 (2009)

アプリケーション /技術	精度	諸元
LTE-TDD (Wide-Area Base station)	(半径3km未満の) 小さいセルに対しては3 usec  (半径3kmより大きい) 大きなセルに対しては10 usec  重なるカバーエリアを持ち、同じ周波数で動作する全ての基地局のペアの間での、フレームのスタート時刻の最大絶対差	3GPP TS36.133 (2010)
LTE-TDD (Home-Area Base station)	1. (半径500 m未満の) 小さなセルに対しては3 $\mu$ s。 (半径500 mより大きい) 大きなセルに対しては、基地局の間の時刻差は $1.33 + T_{propagation}$ $\mu$ s。ここで $T_{propagation}$ はHome基地局と、ネットワークから受信可能な同期基準として選ばれたセルとの間の遅延である。 ネットワークから受信可能な同期基準の選択に関しては、GNSSに対して最も正確に同期した同期基準が選ばれるべきである。もしHome基地局がネットワーク受信を用いずに同期できる場合には、小さいセルの要求が適用される。  2. 要求は3.475 $\mu$ sであるが、多数のシナリオにおいては3 $\mu$ sの同期要求が適用される。	1. 3GPP TS36.133 (2010) 2. 3GPP TR36.922 (2010)
LTE-TDD to CDMA 1xRTT and HRPD handovers	eNodeBはGPSの時刻に対して同期しているべきである。 CDMAシステムの外部入力切断された場合には、eNodeBは少なくとも8時間にわたって、CDMAシステムの時刻に対して、 $\pm 10$ $\mu$ s以内の時刻同期精度を保つべきである。	TS36.133 (2010)
LTE-Advanced	下に挙げられたアプリケーションに対する位相/時刻の要求は現在議論されている：  <ul style="list-style-type: none"> <li>• キャリアアグリゲーション</li> <li>• (ネットワークMIMOとして知られている) 協調多地点送信</li> <li>• 中継機能</li> </ul>	TR36.814 (2010)
IP Network delay Monitoring	要求はモニタされる質のレベルに影響される。例として共通の時刻基準 (例えばUTC) に対して $\pm 100$ $\mu$ sが要求されるかもしれない。 $\pm 1$ msもまた言及されている。	注：標準の要求はまだない。要求はオペレータによる (アプリケーションにもよる)。
Billing and Alarms	共通の時刻基準 (例えばUTC) に対して $\pm 100$ ms。	

注：モバイルアプリケーションの場合、要求は一般的に、基地局間の位相のずれに対して表現されている。中央集中型のマスタの場合、要求は、特定の技術に対して適用可能な精度の要求の $\pm 1/2$ として表現することができる。

注：要求は一般的に、正常状態に対して有効である。故障状態に対して適用可能な要求は今後の研究課題である。

### 付録Ⅲ

#### 異なる波長の利用に対する非対称補正

(この付録はこの勧告の主要な部分ではありません)

異なる波長を使うための非対称の補正は、上り、下り方向において用いる波長に適用される群遅延を計算することで得られる。

非対称値を  $A$  で表すと、以下が成り立つ：

$$A = d_r - d_f = L * (n_r - n_f)/c,$$

ここで  $L$  は距離、 $c$  は光速、 $d_f$  と  $d_r$  はそれぞれ上り、下りにおける伝搬遅延、 $n_r$  と  $n_f$  はそれぞれ上り、下り方向で用いる波長に適用される群屈折率を表す。

屈折率の算出は（例えば光ファイバのデータシートから）知られている波長分散のデータを使うことで、また分散が知られていない場合には、3つの異なる波長において直接遅延を測定することで得られる（そしてある任意の波長に対する屈折率は、2次補間によって得られる）。

これらのデータにより、任意の波長の群遅延を求めることができる。特に G.652 に適合したファイバを使う場合には、適用する波長における群遅延は ref. [b-ITU-T G.652] に示されている Sellmeier 方程式を用いることで計算することができる。

## Bibliography

- [b-ETSI TS 125 402] ETSI TS 125 402 (in force), Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Synchronization in UTRAN Stage 2  
<[http://webapp.etsi.org/workprogram/Report\\_WorkItem.asp?WKI\\_ID=22972](http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=22972)>.
- [b-3GPP2 C.S0010-B] 3GPP2 C.S0010-B (in force), Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Base Stations  
<[http://www.3gpp2.org/Public\\_html/specs/C.S0010-B\\_v2.0\\_021704.pdf](http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0010-B_v2.0_021704.pdf)>.
- [b-3GPP2 C.S0002-C] 3GPP2 C.S0002-C (2002), Physical layer standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems  
<[http://www.3gpp2.org/Public\\_html/specs/C.S0002-C\\_v1.0.pdf](http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-C_v1.0.pdf)>.
- [b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), Node B synchronization for TDD  
<<http://www.3gpp1.com/ftp/Specs/html-info/25836.htm>>.
- [b-3GPP TS 36.133] 3GPP TS 36.133 (2011), Requirements for support of radio resource management.
- [b-3GPP TS 25.123] 3GPP TS 25.123 (2011), Requirements for support of radio resource management (TDD).
- [b-3GPP TR 36.922] 3GPP TR 36.922 (2011), TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis.
- [b-IEEE 802.16] IEEE 802.16-2009, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems.
- [b-3GPP TR 25.866] 3GPP TR 25.866 (2009), 1.28Mcps TDD Home NodeB (HNB) study item technical report.
- [b-3GPP TR 36.814] TR 36.814 (2010), Further advancements for E-UTRA physical layer aspects.
- [b-3GPP TS 25.346] 3GPP TS 25.346 (2011), Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2.
- [b-ITU-T G.652] Recommendation ITU-T G.652 (2009), Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
-