

TR-G8261

「パケットネットワークにおけるタイミングと同期の外観（アスペクト）」の技術レポート

Technical Report on Timing and synchronization
aspects in packet networks

第1版

2014年11月20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タイミングと同期の外観（アスペクト）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	5
II. 概要説明	7
III. 調査対象勧告和訳	22

1. パケットネットワークにおけるタイミングと同期の外観（アスペクト） 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.8261/Y.1361 勧告「パケットネットワークにおけるタイミングと同期の外観（アスペクト）」「Timing and synchronization aspects in packet networks」の調査結果を報告する。

2. 調査報告概要

本勧告はパケットネットワークにおける周波数同期に関する概観を定義し、主に下記の項目を規定している。

- 満足すべきジッタおよびワンドの最大ネットワーク制限の規定
- パケットネットワークの境界における TDM や同期インタフェースで提供されるべきジッタとワンドの最小機器耐力の規定
- ネットワーク構成要素の同期機能に対する最小要件の略述

また、本勧告ではパケットネットワーク(Packet Network Timing(PNT) Domain)上での同期ネットワーククロック信号の分配およびパケットネットワーク(Circuit Emulation Service(CES) Domain)上でのサービスクロック信号の分配に対する課題についても示す。本勧告で規定されるジッタ特性とワンド特性に対する要件は、異なるベンダが製造した機器の相互接続性と満足なネットワーク特性を保証するために遵守されるべきものである。

第 1 章から第 5 章までは本勧告のスコップ、引用している標準文章、定義、略語、慣例などを規定している。

第 6 章では、パケットネットワークにおける同期に関する概説を行っている。まず、パケットネットワークにおいて回線エミュレーションサービス(CES)が導入されたことを背景としたパケットネットワークにおける同期の必要性を説明し、パケットネットワークにおける同期要件、パケットネットワーク上での各種 TDM 信号(PDH、同期インタフェース、SDH)を伝送する際のタイミング要件を記載している。また、パケットネットワークにおける参照タイミング信号の分配方法、エッジでのタイミング要件とコアネットワークでのタイミング要件、PNT ドメインと CES ドメインについて説明している。

第 7 章では、PNT ドメインにおける参照タイミング信号の分配方法として同期物理層を用いたネットワーク同期方法、および、パケットで運ばれたタイミング情報を用いた同期方法の 2 方式について概説している。

第 8 章では、CES ドメインにおけるタイミングリカバリに関してプライマリ・リファレンス・クロックまたはサービスクロックを用いて完全ネットワーク同期を行うネットワーク同期運用、リファレンスクロックとサービスクロックの差分を符号化・転送と受信端でのリファレンスクロックとの差分分からサービスクロックを復元する差分法、パケットの到着時間差やジッタバッファの位置を元にサービスクロックを復元する適応法、サービスを提供する TDM 終端システムリファレンスクロックに直接アクセス可能な運用方法、以上 4 つの運用方法について説明している。

第 9 章では、ジッタ特性やワンド特性のネットワーク制限を規定している。CES 対しては 3 つのネットワークモデルの規定とそれに対するネットワーク制限を規定し、PNT に対しては synchronous Ethernet Equipment Clock(EEC)および Packet-based Equipment Clock(PEC)のネットワークモデルの規定とそれに対するネットワーク制限を規定している。

第 10 章では、パケットネットワークにおけるトラヒックとそのタイミング情報に影響を与える様々な障害として、パ

ケットの伝搬遅延と遅延変動、パケットのエラーレート、パケットの損失率などパケット障害による影響について説明、また、第 11 章では、基準クロックの劣化がサービスクロックのリカバリに対して与える影響について、サービス同期動作方式の場合と差分法の場合について説明している。

第 12 章では、PNT ドメインと CES ドメインにおけるタイミングリカバリの各シナリオが見たすべき要件が示された既存の勧告との関連が示されている。

付属資料 A では同期物理層として同期イーサネットを想定したネットワークアーキテクチャの説明、付属資料 B として TDM ベースネットワークからパケットベースネットワーク、または、その逆の場合において同期に関する情報を変換する機能である Interworking Function (IWF)の機能およびネットワークの例の説明、付属資料 C として CES 向け IWF の要件に関する説明、付属資料 D には ITU-T G.8262/Y.1362 勧告で規格化されたクロックのネットワークアプリケーションとその要件について説明している。

付属資料 D 以降は Appendix I～XII が示されているが、勧告としての強制力を持たないため、本文では和訳は提供せず ITU-T G.8261/Y.1361 勧告の原文のままを示している。

3. 今後の進め方

モバイル通信網のバックボーン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.8261/Y.1361 勧告はパケットネットワークにおける周波数同期技術に関する概観を示しているが、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、は ITU-T G.8261(08/2013)を調査したものである。

(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	2014 年 11 月 20 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。

TR-G8261

「パケットネットワークにおけるタイミングと同期の外観（アスペクト）」
の技術レポート

(Technical Report on timing and synchronization aspects in
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)

2014/11/20

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する複数の勧告⁽¹⁾を発行している。これらの勧告で標準化される同期技術は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注目されている
- TTCにおいては、これらの勧告による技術の概要と翻訳を国内に広め、本分野での産業界への貢献を目指している
- これまでにITU-T G.8260勧告⁽²⁾「パケットネットワークにおける同期に関する定義と用語」(Definitions and terminology for synchronization in packet networks)の技術レポートをTR-G8260として発行。
- 本技術レポートでは、パケットネットワークにおける周波数同期技術の基本勧告であるITU-T G.8261/Y.1361勧告⁽²⁾「パケットネットワークにおけるタイミングと同期の外観（アスペクト）」(Technical Report on timing and synchronization aspects in packet networks)の調査結果を報告する

⁽¹⁾ 2014年8月時点での勧告はITU-T G.8260, G.8261/Y.1361, G.8261.1/Y.1361.1, G.8262/Y.1362, G.8263/Y.1363, G.8264/Y.1364, G.8265, G.8265.1, G.8271/Y.1366, G.8271.1/Y.1366.1, G.8272/Y.1367, G.8273/Y.1368, G.8273.2/Y.1368.2, G.8275/Y.1369, G.8275.1/Y.1369.1
詳細は本資料の3頁を参照

⁽²⁾ 調査対象とした勧告はITU-T G.8261/Y.1361 (08/2013)

	定義と用語集 G.8260 パケット網における同期の定義と用語	勧告化済	勧告化作業中
	周波数同期技術 (G.826x) 本レポート	時刻・位相同期技術 (G.827x)	
基本	G.8261/Y.1361 パケット網におけるタイミングと同期	G.8271/Y.1366 パケット網における時刻・位相同期	
ネットワーク要求	同期イーサネットに対するジッタ・ワンド (G.8261) G.8261.1/Y.1361.1 遅延揺らぎネットワーク制限	G.8271.1/Y.1366.1 ネットワーク要求	
仕様	G.8262/Y.1362 同期イーサネット装置従属加算のタイミング特性 G.8263/Y.1363 パケットネットワークの装置とサービスのタイミング特性	G.8272/Y.1367 プライマリ・リファレンス・タイムに対するタイミング特性 G.8273/Y.1368 位相と時刻クロックのフレームワーク G.8273.1 パケット・マスター・クロックのタイミング G.8273.2 テレコム・バックグリッドクロックのタイミング G.8273.3 テレコム・トランスパレント・クロックのタイミング	
方式	G.8264/Y.1364 パケット網上でのタイミング情報分配 G.8265 パケットネットワークの周波数分配アーキテクチャと要求	G.8275/Y.1369 パケットベースの時刻と位相の分配	
プロファイル	G.8265.1 PTPテレコムプロファイル	G.8275.1 PTPテレコムプロファイル #1 G.8275.2 PTPテレコムプロファイル #2	

3

TR-G8261の要旨

- ITU-T G.8261/Y.1361勧告に相当するTR-G8261では下記に示すパケットネットワークにおける周波数同期の概観を定義
 - ジッタとワンドの最大ネットワーク制限の規定
 - パケットネットワークの境界におけるTDMや同期インターフェースに対するジッタとワンドの最小機器耐力の規定
 - ネットワーク要素の同期機能に対する最小要件
- 異なるベンダが製造した機器の相互接続性とネットワーク特性を保証するため、本勧告で規定するジッタ特性とワンド特性は遵守されなければならない

4

TR-G8261 目次構成 (1)

TR-G8261目次構成		(参考) ITU-T G.8261/Y.1361 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	一般事項	6	General
7	パケットネットワーク上での参照タイミングの分配方法 (PNT domain)	7	Reference timing signal distribution over packet networks (PNT domain)
8	パケットネットワーク上での固定ビットレートサービス伝送におけるタイミング再生方法 (CES domain)	8	Timing recovery for constant bit rate services transported over packet networks (CES domain)
9	ネットワーク制限 (ジッタ/ワンダリミット値)	9	Network limits
10	パケットネットワーク上でのタイミング分配およびサービスクロック再生の阻害要因	10	Impact of impairments in the packet network on timing distribution and service clock recovery
11	サービスクロック再生に対する参照クロックの阻害要因	11	Impact of the reference clock impairment on the service clock recovery
12	パケットネットワーク参照モデル上で異なる同期方法をとる場合の結論	12	Results and consequences of the different synchronization methods over packet network reference models

5

TR-G8261 目次構成 (2)

TR-G8261目次構成		(参考) ITU-T G.8261/Y.1361 Table of contents	
章	タイトル	Clause	Title
Annex A	同期イーサネットに対して提案されたネットワークアーキテクチャ	Annex A	Proposed network architecture for synchronous Ethernet
B	IWFの機能的分割とネットワークの例	B	IWF functional partitioning into CES and PNT IWF and network examples
C	CES IWF同期に関連した要件	C	CES IWF synchronization related requirements
D	ITU-T G.8262で規定されたクロックに対するアプリケーションと要件	D	Network applications and requirements for clocks specified in ITU-T G.8262/Y.1362
		Appendix I	Characteristics of Ethernet switches, Ethernet networks, routers and access technologies
		II	Stabilization period
		III	Considerations on packet-based methods
		IV	Applications and use cases
		V	Packet networks reference models
		VI	Measurement guidelines for packet-based methods
		VII	Wander limits in Deployment Case 1
	注) ITU-T G.8261/Y.1361勧告のAppendixは参考情報であり勧告とはみなされないため本TRの報告の対象外とした	VIII	Synchronization status messaging in synchronous Ethernet PHY
		IX	IWF examples
		X	Considerations on measurement of synchronous Ethernet according to ITU-T methodologies in comparison with IEEE jitter measurements
		XI	Relationship between requirements contained in this Recommendation and other key synchronization related Recommendations
		XII	Basic principles of timing over packet networks
		XIII	Evaluation of the packet delay variation generation in a network node
			Bibliography

6

パケットネットワークにおいて周波数同期（シンクロナイゼーション）を実現するためのクロック信号分配方法、ジッタ/ワンダ要求、などを提供

- 本勧告はパケットネットワークにおける**周波数**シンクロナイゼーションに関する
- 仕様化項目:
 - ✓ 最大出力ジッタ/ワンダ
 - ✓ 最小ジッタ/ワンダ耐力
- その他の目的:
 - ✓ ネットワークエレメントのシンクロナイゼーション機能のアウトラインの提供
- 2つの課題:
 - ✓ パケットネットワーク（PNT domain）上での同期ネットワーククロック信号の分配
 - ✓ パケットネットワーク（CES domain）上でのサービスクロック信号の分配
- 対象とするパケットネットワーク：
 - ✓ Ethernet [IEEE 802.3, 802.1DTM, 802.1QTM, 802.1QayTM]
 - ✓ MPLS [IETF RFC 3031], [ITU-T G.8110]
 - ✓ IP [IETF RFC 791, RFC2460]

CES: Circuit Emulation Services, PNT: Packet Network Timing

7

パケットネットワークにおける同期技術を用いたアプリケーションの概説と、CESとPNT domainのそれぞれに対する同期関連の要件を示す

- TDMサービスのトランスポートやパケットネットワーク上でのタイミング分配のような新しいアプリケーションには厳格な同期要件が検討される必要がある。
 - 本勧告の目的は、CESとPNTドメインそれぞれに同期関連要件を得るための異なる方法を提供することである。
1. パケットネットワークにおける同期要件
 - ✓ パケットネットワーク上でCESを提供する場合などに必要
 - ✓ 特にパケットネットワークの境界での要件は、ネットワーク上で提供されるサービスに依存
 2. TDMタイミング要件
 - ✓ トラフィック、または、同期インタフェースにおけるジッタおよびワンダリミット
 - ✓ 長期の周波数精度（スリップ性能に影響を及ぼし得る）
 - ✓ 総遅延（リアルタイムサービス、例えば、音声サービスにとって重要）

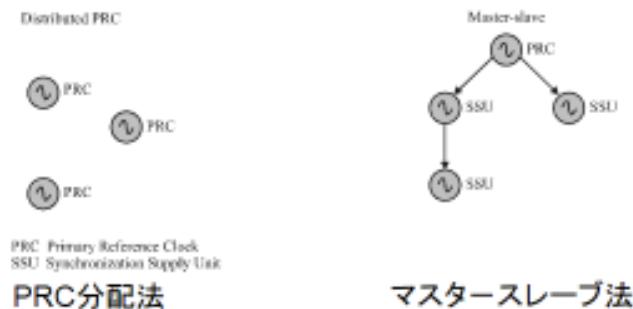
8

3. パケットネットワーク上での同期ネットワーク設計
 オペレータはアプリケーションを処理するネットワーク要素に適切な品質を有する参照タイミング信号を分配しなければならない。2つの方法が考えられる。
 - ✓ 分配されたPRC戦略(例えばGPS技術による)に従う
 - ✓ マスタ・スレーブ戦略に基づく
4. エッジ部とコア部のタイミング要件の違い
 パケット網がアクセスネットワークの一部であるか基幹回線網の下位層であったときのために異なった性能を要求できる。
 - ✓ コア部 - 厳しいタイミング要件
 - ✓ エッジ部 - エンドノードに必要な十分なタイミング要件を満たせばよい
5. PNTドメインとCESドメインそれぞれの問題
 - ✓ パケットネットワーク(PNT domain)上での同期ネットワーククロック信号の分配
 - ✓ パケットネットワーク(CES domain)上でのサービスクロック信号の分配

CES: Circuit Emulation Services, PNT: Packet Network Timing
9

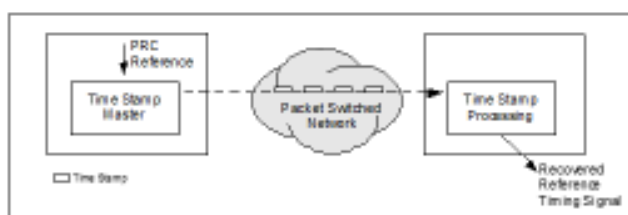
第7章 パケットネットワーク上での参照タイミング信号の分配 (PNT domain)

- 旧同期(Plesiochronous)およびネットワーク同期とパケットをベースの同期を定義
- 旧同期およびネットワーク同期方法
 - ✓ PRC分配法：PRCをそれぞれの装置に分配する方法 (GPSがその一例)
 - ✓ マスタースレーブ方法：同期物理層を使用した分配方法 (STM-Nがその一例)



第7章 パケットネットワーク上での参照タイミング 信号の分配 (PNT domain)

- パケットをベースとした同期方法
パケットで運ばれてきたタイミング情報を使用する。



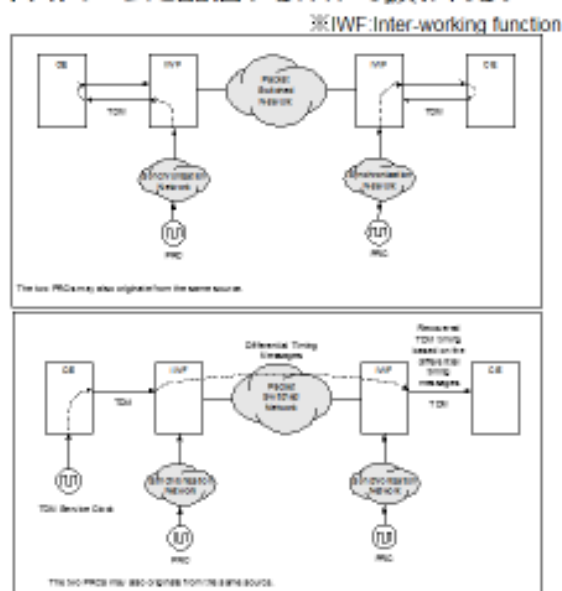
- 上に図示したように、タイミングは専用のタイミングスタンプメッセージにより運ばれる。
- タイムスタンププロトコル例
 - ✓ PTP : Precision Time Protocol. マスタースレーブ階層のネットワークでの同期クロックにタイムスタンプを使用する。(周波数および/または時刻情報を分配する)
 - ✓ NTP : Network Time Protocol. 時刻情報を分配することに使用する。(簡易版NTPとして、SNTPが存在する)
- パケットをベースにした同期方法では、**ネットワークでのパケット遅延変動は性能に影響を与える。**
- **精度要求に応じてクライアント側に特殊なアルゴリズムを実装する必要がある。**

11

第8章 パケットネットワーク上を伝送する固定ビット レートサービスのためのタイミング再生 (CES domain)

- 固定ビットレートサービスは、下記のことを要求する。
 - ✓ 信号のタイミングはパケットネットワークの両端で同じである。
 - ✓ 信号のタイミングは**固定ビットレート**ストリームを配信するIWFで扱われる。
- 4つの運用方法を定義する。

1. ネットワーク同期運用
ネットワーク派生クロックに追従可能なPRCもしくはサービスクロックのような局所PRCを使用する運用方法
2. 差分法
サービスクロックとリファレンスクロックの差分を符号化し、パケットネットワークへ送信する。受信側では、共通リファレンスクロックを使用してサービスクロックを復元する。
同期残余タイムスタンプ法はその一例である。

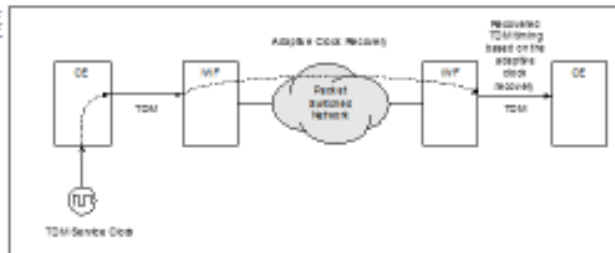


12

第8章 パケットネットワーク上を伝送する固定ビットレートサービスのためのタイミング再生 (CES domain)

3. 適応法

タイミングはパケットの到着時間差もしくはジッタバッファの目印を基にして復元される。
(クロックリカバリ方式)



4. TDM終端システムにおいてリファレンスクロックの利用が可能となる方法

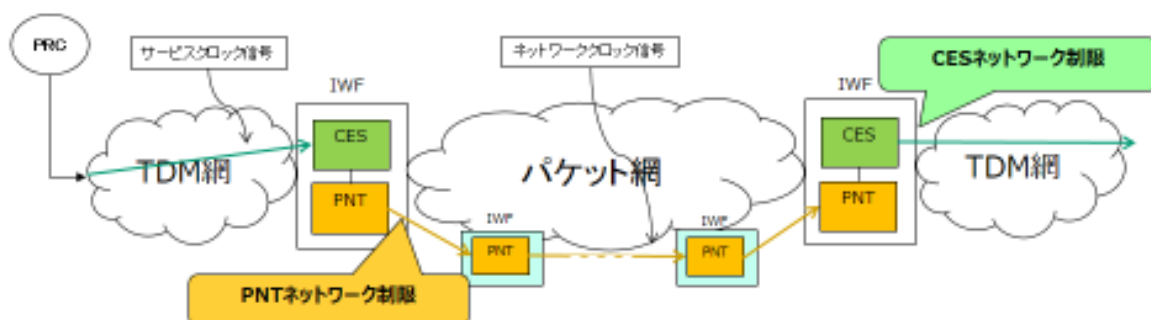
リファレンスクロックが互いのTDM終端システムで利用可能な時、両端システムはリファレンスクロックに直接アクセスできるので、信号を復元することができる。タイミングを復元する必要はない。



13

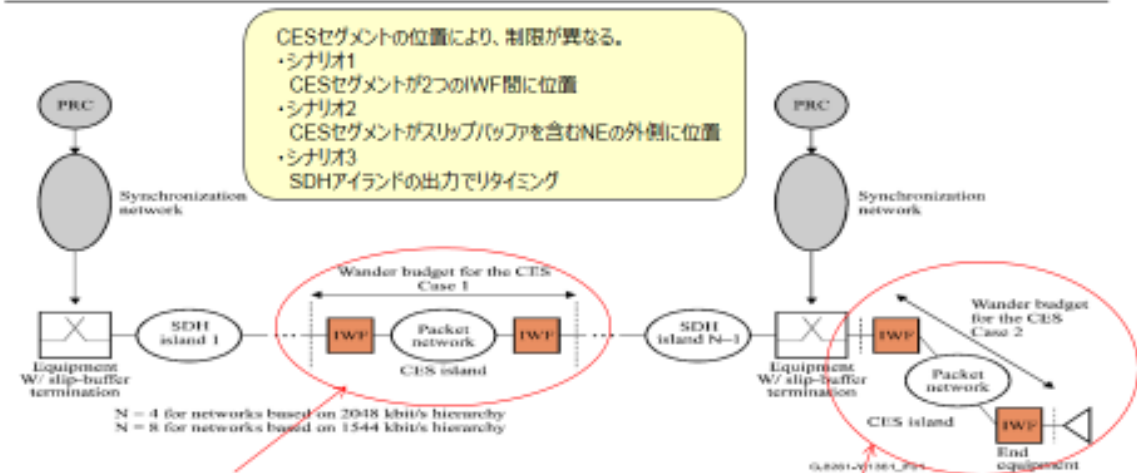
第9章 ネットワーク制限

- ネットワークに許容されるジッタ/ワンド制限を規定する。
 - ✓ CESネットワーク制限
CESIWFの出力でTDMリンクのネットワーク制限（最大ワンド値及びジッタ値）を規定
→ CESセグメントの場所に依存して、異なるワンド要求
 - ✓ PNTネットワーク制限
IWF間のネットワーク制限（最大ワンド値及びジッタ値）を規定
→ EEC出力（SyncEther）/PEC出力（パケットベース）でネットワーク制限を定義



14

[参考] CESネットワーク制限



2048 kbit/s 送信インタフェースワンド制限

Observation interval, τ [s]	MRTIE requirement [μ s]
$0.05 < \tau \leq 0.2$	10.75τ
$0.2 < \tau \leq 32$	$9 * 0.24 = 2.15$
$32 < \tau \leq 64$	0.067τ
$64 < \tau \leq 1000$	$18 * 0.24 = 4.3$

NOTE - For the asynchronous configuration, the maximum observation interval to be considered is 80 s.
 The specification between 80 s and 1000 s for the asynchronous interfaces is for further study.

2048 kbit/s インタフェース 出力ワンド制限

Observation interval, τ [s]	MRTIE requirement [μ s]
$0.05 < \tau \leq 0.2$	40τ
$0.2 < \tau \leq 32$	8
$32 < \tau \leq 64$	0.25τ
$64 < \tau \leq 1000$ (Note)	16

NOTE - For the asynchronous configuration, the maximum observation interval to be considered is 80 s.
 The specification between 80 s and 1000 s for the asynchronous interfaces is for further study.

15

[参考] PNTネットワーク制限

□ EEC(Synchronous Ethernet Equipment Clock)インタフェースネットワーク制限

✓ EEC-Option1及びEEC-Option2インタフェースネットワークワンド制限

• EEC-Option1

- 2048kbit/s階層構造ネットワークに対応
- MTIE及びTDEVを使って、インタフェースネットワークワンド制限を規定(下表)

EEC-Option 1 interfaces expressed in MTIE

Observation Interval τ (sec)	MTIE requirement (ns)
$0.1 < \tau \leq 2.5$	250
$2.5 < \tau \leq 20$	100τ
$20 < \tau \leq 2000$	2000
$\tau > 2000$	$433 \tau^{0.2} + 0.01 \tau$

EEC-Option 1 interfaces expressed in TDEV

Observation Interval τ (sec)	TDEV requirement (ns)
$0.1 < \tau \leq 17.14$	12
$17.14 < \tau \leq 100$	0.7τ
$100 < \tau \leq 1000000$	$58 + 1.2 \tau^{0.5} + 0.0003 \tau$

• EEC-Option2

- 1544kbit/s階層構造ネットワークに対応
- TDEVを使って、インタフェースネットワークワンド制限を規定(下表)

Observation interval, τ (seconds)	TDEV (ns)
$0.05 < \tau \leq 10$	10
$10 < \tau \leq 1000$	$3.1623 \tau^{0.5}$

16

[参考] PNTネットワーク制限

□ 同期イーサネットジッタ制限

表 7a – 同期イーサネットネットワークインタフェースにおける最大許容ジッタ

インタフェース	Measurement bandwidth, -3 dB frequencies	Peak-to-peak amplitude (UIpp)
1 G (注 1, 2, 4)	2.5 kHz to 10 MHz	1.5
10 G (注 1, 3, 4)	20 kHz to 80 MHz	1.5

注 1 – 同期イーサネットに対し、特定の高バンドジッタ要件はない。この表に規定された特定の同期イーサネット広帯域ジッタ要件に加えて、関連する[IEEE 802.3]ジッタ要件が満足されるべきである。

注 2 – 1 G には 10GBASE-KX, -SX, -LX を含む; マルチレーンインタフェースは今後の検討課題

注 3 – 10 G には 10GBASE-SR/LR/ER, 10GBASE-LRM, 10GBASE-SW/LW/EW を含む; マルチレーンインタフェースは今後の検討課題

注 4 – 1 G 1 UI = 0.8 ns
10 G (10GBASE-SR/LR/ER, -LRM) 1 UI = 96.97 ps
10 G (10GBASE-SW/LW/EW) 1 UI = 100.47 ps

17

第10章 パケットネットワーク上でクロックを配信 する際の課題要素

□ パケットの伝搬遅延と遅延変動

- ✓ ランダムな遅延変動 (キューイング遅延など)
- ✓ 低周波数遅延変動 (昼夜のパターン変動など)
- ✓ システムに固有の遅延変動 (ストア-フォワード処理など)
- ✓ ルーティング変更/トポロジー依存性
- ✓ 輻輳による影響

□ パケット障害による影響

- ✓ パケットネットワーク上で生じるパケット損失に対するTDM回線の脆弱性
- ✓ パケット障害に対する今後の研究課題など

課題提起のみ

□ まとめ

- ✓ パケットの伝搬遅延変動を考慮した実装を行う必要がある
- ✓ IWFにおいてパケット障害 (パケット損失・順序逆転) に対処するために今後更なる研究が必要

18

第11章 サービスクロック再生における基準クロック劣化の影響

- ネットワーク同期動作における劣化
 - ✓ CE-IWF間ループによる信号劣化
 - ⇒ IWFにおける基準クロックが必要

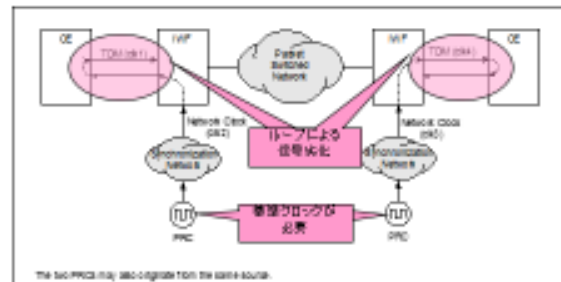


Figure 24 – Clocks involved in the transport of TDM signals through a packet network for network synchronous operation

- 差分法による劣化
 - ✓ 位相雑音により信号劣化
 - ⇒ IWFにおける基準クロックが必要

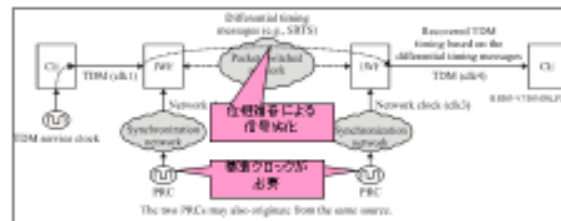


Figure 25 – Clocks involved in the transport of TDM signals through a packet network for differential method

第12章 パケットネットワーク参照モデル上での異なる同期方法の結果と結論

- CESドメイン、PNTドメインにおける今後の課題
- CESドメイン
 - ✓ CESネットワーク制限の範囲内でのタイミング再生における課題
 - アダプティブ法での課題
 - 導入ケース1、2、3
 - ネットワークモデルB（付録V）の構成の場合は課題

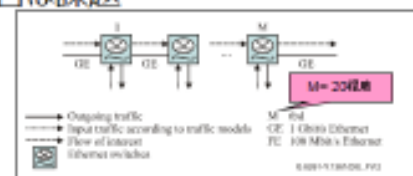


Figure V.2 – Packet network reference model B (switched Ethernet network)

- PNTドメイン
 - ✓ PNTネットワーク制限の範囲内での参照タイミングの課題
 - 同期イーサネットでの参照タイミング信号分配
 - ITU-T G.8262モデルのオプション2の条件の場合は課題
 - 異なるネットワークオペレータドメインでの同期信号分配は課題
 - パケット上での参照タイミング信号分配
 - ネットワーク構成を含め課題

付属資料A 同期イーサネットに対して提案される ネットワークアーキテクチャ

- Annex Aでは、同期イーサネットのネットワークアーキテクチャについての提案を記載している。

1. PRCの配置

PRCの配置は、コアノード(Case A)、マルチサービスアクセス(Case B)、IWF(Case C)のいずれか。その際、タイミングはコア側からIMF側に提供される。

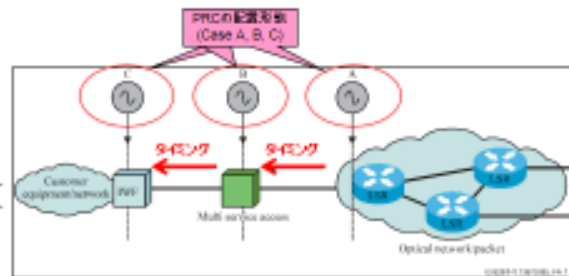


Figure A.1 - Reference clock location

2. 同期イーサネットのジッタとワンダの制限

同期イーサネットのスイッチのクロックがITU-T G.8262に準拠することで、ネットワーク間(TDMとパケットネットワーク)のインターワーキングが可能となることを説明。

3. 同期イーサネットをベースとした同期ネットワークの設計

メッシュ構成や非同期イーサネット機器を、設計上の留意点として記載。

付属資料A 同期イーサネットに対して提案される ネットワークアーキテクチャ

4. 同期イーサネットを介したタイミング配信

タイミングは、PRCからIWFに配信される(図A.2に例示)。

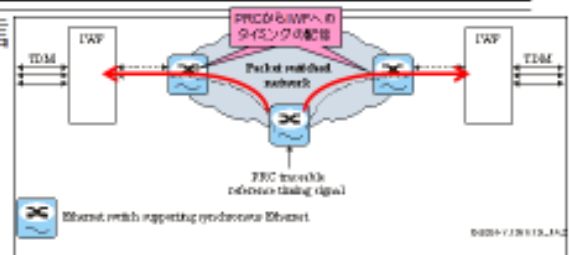


Figure A.2 - Example of timing distribution via synchronous Ethernet

5. イーサネットと同期イーサネットのインターフェースのインターワーキング

- ✓ 同期メッセージングチャンネル(ESMC)を介しての、品質レベル(QL)メッセージ送受信の有無を、各オペレーション・モードごとに規定。
- ✓ 送信専用、並びに、受信専用に機能限定された同期イーサネットポートを規定。
- ✓ イーサネットと同期イーサネット間のインターワーキングを規定(Table A.5.3)。
- ✓ 同期イーサネットのホールドオーバー時の最大周波数オフセットは±4.6ppm。
- ✓ ジッタに関する参照先として、IEEEのEthernet規定、ITU-T G.8261, G.8262を記載。

Interface type	Operation mode	Traffic interworking		Network synchronization interworking	
		Ethernet	Synchronous Ethernet port	Ethernet	Synchronous Ethernet port
		Non-synchronous mode	Synchronous mode	Non-synchronous mode	Synchronous mode
Ethernet	Non-synchronous mode	✓	✓	✗	✗
Synchronous Ethernet	Non-synchronous mode	✓	✓	✗	✗
Synchronous Ethernet	Synchronous mode	✓	✓	✗	✓

✓ Interworking is possible
✗ Interworking is not possible

【D-ラックの保護】
インダフェースタイプ モードの組み合わせがイーサネット/同期イーサネットのいずれの場合でも、OK。

【ネットワークの間隔】
インダフェースタイプ モードの組み合わせが同期イーサネットかつ同期モードの場合のみOK。

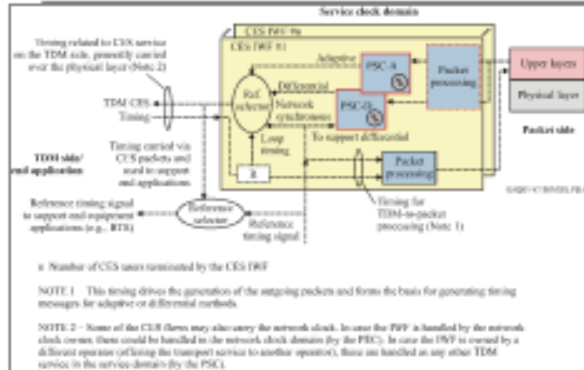
- IWFの機能
 - ✓ CES IWF：サービスクロックドメインにおける同期処理機能
 - ✓ PNT IWF:同期ネットワークのクロックドメインにおける同期処理機能
 - ✓ 以下の処理法によって異なるタイプのクロックがCES IWFに実装される
 - ・ ネットワーク同期処理法
 - ・ 差分法
 - ・ 適応法
 - ・ TDMネットワークのエンドシステムにおいて利用可能な参照クロック
- IWFクロック
 - ✓ パケットベースクロックアダプティブ(PSC-A)
 - ⇒ 適応法によりトラフィックパケットからサービスクロックをリカバリするクロック
 - ✓ パケットベースクロック差分(PSC-D)
 - ⇒ 差分法によりトラフィックパケットからサービスクロックを再生するクロック
- ネットワークの例
 - ✓ ネットワーク同期法に基づくタイミングリカバリの例
 - ✓ 差分法に基づくタイミングリカバリの例
 - ✓ 適応法に基づくタイミングリカバリの例
 - ✓ IWF-PNT間における参照タイミング分配

付属資料B.1 一般事項

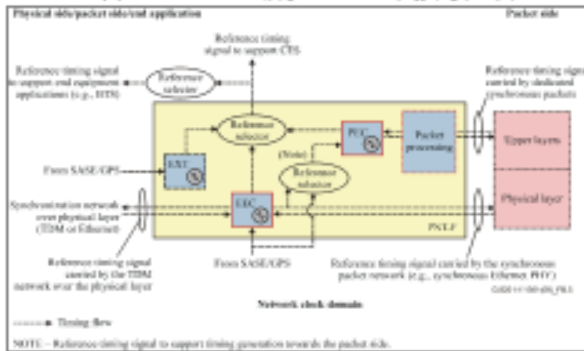
<p style="text-align: center;">図 B.1-ネットワークにおけるIWF TDM網-パケット網間のデータ変換のための機能ブロック</p>	<p>CES IWF：サービスクロックドメインにおける同期処理機能</p> <p>PNT IWF：同期ネットワークのクロックドメインにおける同期処理機能</p>
<p style="text-align: center;">図 B.2- IWFがタイミングが搬送されるレイヤへ及ぼす変化 APIによってIWFはタイミングが搬送されるレイヤに変化を及ぼす</p>	<p>以下の処理法によって異なるタイプのクロックがCES IWFに実装される</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ネットワーク同期処理法 ・ 差分法 ・ 適応法 ・ TDMネットワークのエンドシステムにおいて利用可能な参照クロック
<p style="text-align: center;">図 B.3- IWFにおけるCES及びPNT</p>	<p>PNT IWFへ、或いはPNT IWFからのタイミング分配 TDMネットワーク（例えば、SDH）側から、或いはパケットネットワーク（例えば、同期イーサネット、或いは専用パケットに基づく新たな手段）側からの同期ネットワークタイミングをリカバリ可能</p> <p>PNTへ、或いはPNTからのタイミング分配が可能なケースの例</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 専用外部参照（例えば、SASEからの参照） ・ 同期物理レイヤ経由（例えば、SDH、同期イーサネット）。パケットによって搬送されるタイミング（すなわち、[b-IEEE 1588], NTP)

図 B.3- IWFにおけるCES及びPNT IWF は二つのドメイン構造により定義される

付属資料B.2 IWF クロック



図B.4-CES IWF及びPNT IWFにおけるクロック



図B.5-PNT-ECにおけるクロック

図B.4はCES IWFに実装されるクロックで、以下その例

- ・パケットベースクロックアダプティブ(PSC-A)
⇒適応法によりトラフィックパケットからサービスクロックをリカバリするクロック
- ・パケットベースクロック差分(PSC-D)
⇒差分法によりトラフィックパケットからサービスクロックを再生するクロック

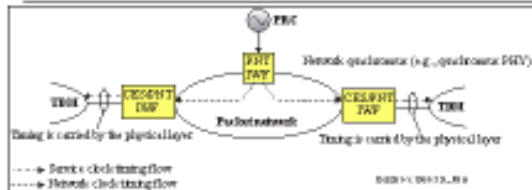
これらのクロックは、CES IWFのタイミング機能（自走、同期維持、フィルタリング、選択を含む）を担う

図B.5PNTクロック(同期網のクロック)定義

- ・PEC: 専用パケットを通じて、ネットワークタイミングをリカバリして、送出するためのパケット
- ・EEC: 同期イーサネット経由で搬送されるクロックをサポートするためのクロック ([ITU-T G.8262])を参照
- ・EXT: 外部専用タイミング信号からのタイミング(例えば、SASE/GPS))

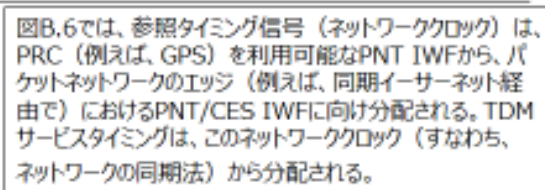
25

付属資料B.3 ネットワークの例

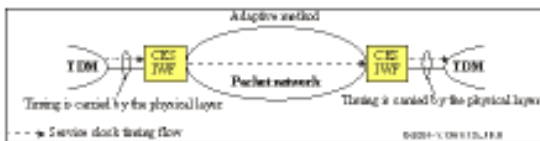


図B.6-ネットワーク同期法に基づくタイミングリカバリの例

図B.7では、差分法に基づくサービスクロックのリカバリを示す。この例では、PNT IWFは、参照タイミング信号を、差分法を実施するために参照タイミング信号を必要とするCES/PNT IWFに分配する(左側のIWFから右側のIWFへのフローは、タイミングメッセージを介した差分情報の分配を表す)。



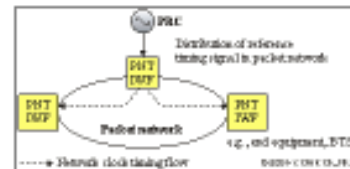
図B.7-差分法に基づくタイミングリカバリの例



図B.8-適応法に基づくタイミングリカバリの例

図B.9で示されるPNT IWFは、パケットネットワーク（例えば、同期イーサネット経由で）上でのエッジにおける他のPNT IWF に向けて参照信号を分配するPRC（主参照クロック）を利用可能である。

図B.8では、適応法に基づくサービスクロックのリカバリを示す。この場合には、タイミング信号は不必要となる(実際、PNT IWFは図に示されていない)。



図B.9-IWF-PNT間における参照タイミング分配

26

- CES IWF同期に必要なとなるITU-T勧告との対応関係を明示
- トラヒックインタフェース
 - ✓ SDHインタフェース(物理・電気・光学的特性、ジッタ、ワンドラ)は言及されているが、パケットネットワーク上でのSDH信号の伝送は検討中
- 同期インタフェース
 - ✓ 物理・電気・光学的特性I、ジッタ、ワンドラはTU-T G.703等に準拠
- IWF同期機能
 - ✓ 整定時間の要求事項は検討中。付録Ⅱにより提供
 - ✓ トータル遅延の中のIWFに関するの要求条件は検討中
 - ✓ CESセグメントにより取り込まれるトータルノイズの特性は9.1節で定義

27

付属資料D G.8262で規定されたクロックに対するアプリケーションと要件

- Annex Dではネットワーク中にパケットスイッチNEが含まれた場合とハイブリッドNEが含まれた場合に対するクロック要件について規定
- パケットスイッチNE (下図 Eの○の囲み)
 - ✓ NEは同期Ethernetをサポートし、タイミング情報とSDH NEとの相互作用を伝送しなければならない
- ハイブリッドNE (下図 Hの○の囲み)
 - ✓ SDH-VCクロスコネクタ機能を持つSTM-Nインタフェースとパケットスイッチの持つ同期Ethernetインタフェースの両方を提供

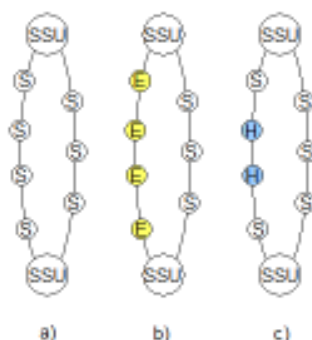


Figure D.1 – Synchronization chains implemented with different types of NEs

28

- 本勧告は、パケットネットワーク上で周波数同期を行うための同期クロックを分配する方法、およびサービスクロックを伝達する方法について、パケットネットワークへの要求事項と課題を記述
- 要求事項については、パケットネットワークの入り口と出口でそのパケットネットワークに接続されるサービスに依存し、それぞれ他のITU-T勧告で規定されるジッタワンドの要件を記載

- パケットネットワークにおける同期技術に関しては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注目され重要な技術となっている
- しかし、国内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。
- 一方、上記のとおりモバイル通信領域において注目された技術であるので、国内へ情報展開、および、今後の動向監視のために技術レポート化することにした。

III. 調査対象勧告和訳

ITU-T G.8261/Y.1361勧告

パケットネットワークにおけるタイミングと同期の外観（アスペクト）

概要（ITU-T G.8260 (2012)向け）

ITU-T 勧告 G.8261/Y.1361 は、パケットネットワークにおける周波数同期の概観を定義する。それは超えるべきでないジッタとワンダの最大ネットワーク制限を規定する。それはパケットネットワークの境界において TDM や同期インタフェースで提供されるべきジッタとワンダの最小機器耐力を規定する。ネットワーク要素の同期機能に対する最小要件も略述する。

この勧告で規定されるジッタ特性とワンダ特性に対する要件は、異なるベンダが製造した機器の相互接続性と満足なネットワーク特性を保証するために守られなければならない。

History

Edition	Recommendation	Approval	Study Group
1.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2006-05-22	15
1.1	ITU-T G.8261/Y.1361 (2006) Cor. 1	2006-12-14	15
2.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2008-04-29	15
2.1	ITU-T G.8261/Y.1361 (2008) Amd. 1	2010-07-29	15
3.0	ITU-T G.8261/Y.1361	2013-08-29	15

目次

1	スコープ	27
2	参考文献	27
3	定義.....	29
3.1	他で定義された用語	29
3.2	本勧告で定義される用語	29
4	略語と頭字語	30
5	慣例.....	32
6	一般事項	32
6.1	パケットネットワーク同期要件	33
6.2	TDM タイミング要件	33
6.2.1	PDH タイミング要件	33
6.2.2	同期インタフェース要件	34
6.2.3	SDH タイミング要件	34
6.3	パケットネットワークにおける同期ネットワークエンジニアリング	34
6.4	エッジでのタイミング要件とコアネットワークでのタイミング要件	34
6.5	PNT ドメインと CES ドメイン	35
7	パケットネットワーク上の参照タイミング信号分配(PNT DOMAIN).....	35
7.1	旧同期およびネットワーク同期方法	35
7.1.1	同期イーサネットネットワーク	36
7.2	パケットベース方法	36
8	パケットネットワーク上を伝送される固定ビットレートサービス(CES ドメイン)に対するタイミングリカバリ	37
8.1	ネットワーク同期運用.....	38
8.2	差分法.....	38
8.3	適応法.....	39
8.4	TDM 終端システムで利用可能な参照クロック	39
9	ネットワーク制限	40
9.1	CES ネットワーク制限	40
9.1.1	ネットワーク制限の基礎となるネットワークモデル	40
9.2	PNT ネットワーク制限	45
9.2.1	EEC インタフェースネットワーク制限	45
9.2.2	PEC インタフェースネットワーク制限	49
10	タイミング配信とサービスクロックリカバリへ影響を及ぼすパケットネットワークの障害.....	51
10.1	パケットの伝搬遅延と遅延変動	53
10.1.1	差分法	53
10.1.2	適応法	53
10.2	パケット障害による影響.....	56
10.2.1	パケットエラーとパケット損失	56

10.2.2	パケットの著しい損失箇所による影響.....	57
11	サービスクロックのリカバリに対する基準クロック劣化の影響.....	58
11.1	ネットワーク同期動作方式の劣化.....	58
11.2	差分法による劣化.....	59
12	パケットネットワーク参照モデルにおける異なる同期方法での結果と結論.....	59
12.1	CES ドメインの勧告.....	60
12.1.1	TDM サービスのタイミング回復のための勧告（導入ケース 1）.....	60
12.1.2	TDM サービスのタイミング回復のための勧告（導入ケース 3）.....	60
12.1.3	TDM サービスのタイミング回復のための勧告（導入ケース 2 アプリケーション A）.....	60
12.1.4	TDM サービスのタイミング回復のための勧告（導入ケース 2 アプリケーション B）.....	61
12.2	PNT ドメイン要件.....	61
12.2.1	同期イーサネットの上の参照タイミング信号分配のための勧告.....	62
12.2.2	パケット上のリファレンスタイミング信号分配の対する要件.....	62
付属資料 A	同期イーサネットのための提案されたネットワークアーキテクチャ.....	64
A.1	PRC の配置.....	64
A.2	同期イーサネットのジッタとワンダの制限.....	64
A.3	同期イーサネットをベースとした同期ネットワークの設計に関する考察.....	65
A.4	同期イーサネットを介したタイミング配信の例.....	66
A.5	イーサネットと同期イーサネットのインタフェースのインターワーキング.....	66
A.5.1	インタフェース・タイプとオペレーション・モードの定義.....	66
A.5.2	インターワーキングの要件.....	67
A.5.3	周波数インターワーキング.....	68
A.5.4	雑音インターワーキング.....	69
A.5.5	関連するジッタ測定.....	69
A.5.6	関連するワンダ測定.....	70
付属資料 B	CES 及び PNT への IWF の機能的分割及びネットワークの例.....	71
B.1	一般事項.....	71
B.2	IWF クロック.....	72
B.3	ネットワークの例.....	75
付属資料 C	要件に関連する CES IWF 同期.....	77
C.1	トラフィックインタフェース.....	77
C.1.1	物理的、電気的と光学的性能.....	77
C.1.2	ジッタとワンダの耐力.....	77
C.2	同期インタフェース.....	77
C.2.1	物理と電気インタフェース.....	77
C.2.2	ジッタとワンダ耐力.....	77
C.3	IWF 同期機能.....	78
付属資料 D	G.8262/Y.1362 で規格化されたクロックの ネットワークアプリケーションと要求.....	79
APPENDIX I CHARACTERISTICS OF ETHERNET SWITCHES, ETHERNET NETWORKS, ROUTERS AND		

ACCESS TECHNOLOGIES	80
I.1 CHARACTERISTICS OF ETHERNET SWITCHES AND NETWORKS	80
I.1.1 Delay characteristics of Ethernet switches	80
I.1.2 Characteristics of switched Ethernet networks	83
I.2 DELAY CHARACTERISTICS OF ROUTERS	84
I.3 DELAY CHARACTERISTICS OF ACCESS TECHNOLOGIES (MICROWAVE NODES, PON, DSL)	84
APPENDIX II STABILIZATION PERIOD	85
APPENDIX III CONSIDERATIONS ON PACKET-BASED METHODS	86
APPENDIX IV APPLICATIONS AND USE CASES	87
IV.1 BACKGROUND	87
IV.2 WIRELESS	87
IV.2.1 Applications	87
IV.2.2 Examples	87
IV.2.3 Remarks	89
IV.3 INFRASTRUCTURE	89
IV.4 MEDIA GATEWAY	89
APPENDIX V PACKET NETWORKS REFERENCE MODELS	90
V.1 ETHERNET NETWORKS MODELS	90
V.2 OTHER NETWORK MODELS	92
APPENDIX VI MEASUREMENT GUIDELINES FOR PACKET-BASED METHODS	96
VI.1 MEASUREMENT REFERENCE POINTS	96
VI.2 INPUT TRAFFIC CHARACTERISTICS	97
VI.2.1 Network Traffic model 1	98
VI.2.2 Network Traffic model 2	98
VI.3 TEST TOPOLOGIES FOR ADAPTIVE METHODS	99
VI.3.1 Baseline test	99
VI.3.2 Performance test	99
VI.4 TEST TOPOLOGIES FOR DIFFERENTIAL METHODS	105
VI.4.1 Test Case 9	106
VI.4.2 Test Case 10	106
VI.4.3 Test Case 11	106
VI.5 TEST FOR TWO-WAY PROTOCOLS	106
VI.5.1 Baseline test	106
VI.5.2 Performance test	107
VI.5.2.4 Test Case 14	110
APPENDIX VII WANDER LIMITS IN DEPLOYMENT CASE 1	114
VII.1 LIMITS FOR THE 2048 KBIT/S INTERFACE	114
VII.2 LIMITS FOR THE 1544 KBIT/S INTERFACE	115
APPENDIX VIII SYNCHRONIZATION STATUS MESSAGING IN SYNCHRONOUS ETHERNET PHY	116

APPENDIX IX	IWF EXAMPLES	117
APPENDIX X	CONSIDERATIONS ON MEASUREMENT OF SYNCHRONOUS ETHERNET ACCORDING TO ITU-T METHODOLOGIES IN COMPARISON WITH IEEE JITTER MEASUREMENTS	120
APPENDIX XI	RELATIONSHIP BETWEEN REQUIREMENTS CONTAINED IN THIS RECOMMENDATION AND OTHER KEY SYNCHRONIZATION RELATED RECOMMENDATIONS	121
APPENDIX XII	BASIC PRINCIPLES OF TIMING OVER PACKET NETWORKS	124
XII.1	GENERAL	124
XII.2	PACKET DELAY VARIATION MITIGATION BY PACKET SELECTION.....	126
XII.3	COMPARISON OF PACKET-BASED AND SYNCHRONOUS PHY METHODS.....	127
XII.4	EXISTING STANDARDS.....	127
APPENDIX XIII	EVALUATION OF THE PACKET DELAY VARIATION GENERATION IN A NETWORK NODE	
	129	
XIII.1	INTRODUCTION.....	129
XIII.2	GENERAL CONSIDERATIONS	129
XIII.3	GENERAL CONFIGURATION	129
XIII.3.1	General description of the PDV generation tests for a single node.....	129

パケットネットワークにおけるタイミングと同期の外観（アスペクト）

1 スコープ

この勧告はパケットネットワークにおける周波数シンクロナイゼーションに関する。この勧告は超えてはならない最大のジッタ、ワンダを仕様化する。機器の最少のジッタ、ワンダ耐力は TDM とシンクロナイゼーションインタフェースでのこれらパケットネットワークの境界において規定されなければならない。また、ネットワークエレメントの最小のシンクロナイゼーション機能のアウトラインも記述する。

特に、この勧告では2つのメインの課題について記述する。パケットネットワーク（PNT domain）上での同期ネットワーククロック信号の分配と、パケットネットワーク（CES domain）上でのサービスクロック信号の分配。

注 - パケットネットワーク上の SDH 信号転送のアプリケーションは一部のみが考慮され、いくつかの外観は今後の検討課題である。

本勧告で対象とするパケットネットワークを現在のところ下記のシナリオに限定する。

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

この勧告に関連する物理レイヤは IEEE802.3 で定義されているイーサネットメディアタイプである。その他の物理レイヤは後のバージョンの本勧告で関連または記述される。

2 参考文献

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.691] Recommendation ITU-T G.691 (2006), *Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.*
- [ITU-T G.702] Recommendation ITU-T G.702 (1988), *Digital hierarchy bit rates.*
- [ITU-T G.703] Recommendation ITU-T G.703 (2001), *Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.*
- [ITU-T G.705] Recommendation ITU-T G.705 (2000), *Characteristics of pliesochronous digital hierarchy (PDH) equipment functional blocks.*
- [ITU-T G.781] Recommendation ITU-T G.781 (2008), *Synchronization layer functions.*
- [ITU-T G.803] Recommendation ITU-T G.803 (2000), *Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [ITU-T G.811] Recommendation ITU-T G.811 (1997), *Timing characteristics of primary reference clocks.*
- [ITU-T G.812] Recommendation ITU-T G.812 (2004), *Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks.*
- [ITU-T G.813] Recommendation ITU-T G.813 (2003), *Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC).*
- [ITU-T G.822] Recommendation ITU-T G.822 (1988), *Controlled slip rate objectives on an international digital connection.*

- [ITU-T G.823] Recommendation ITU-T G.823 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy.*
- [ITU-T G.824] Recommendation ITU-T G.824 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 1544 kbit/s hierarchy.*
- [ITU-T G.825] Recommendation ITU-T G.825 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [ITU-T G.957] Recommendation ITU-T G.957 (2006), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- [ITU-T G.959.1] Recommendation ITU-T G.959.1 (2008), *Optical transport network physical layer interfaces.*
- [ITU-T G.8010] Recommendation ITU-T G.8010/Y.1306 (2004), *Architecture of Ethernet layer networks.*
- [ITU-T G.8110] Recommendation ITU-T G.8110/Y.1370 (2005), *MPLS layer network architecture.*
- [ITU-T G.8110.1] Recommendation ITU-T G.8110.1/Y.1370.1 (2006), *Architecture of Transport MPLS (T-MPLS) layer network.*
- [ITU-T G.8260] Recommendation ITU-T G.8260 (2010), *Definitions and terminology for synchronization in packet networks.*
- [ITU-T G.8261.1] Recommendation ITU-T G.8261.1/Y.1361.1 (2012), *Packet delay variation network limits applicable to packet-based methods (Frequency synchronization).*
- [ITU-T G.8262] Recommendation ITU-T G.8262/Y.1362 (2010), *Timing characteristics of synchronous Ethernet equipment slave clock.*
- [ITU-T G.8263] Recommendation ITU-T G.8263/Y.1363 (2012), *Timing characteristics of packet-based equipment clocks.*
- [ITU-T G.8264] Recommendation ITU-T G.8264/Y.1364 (2008), *Timing distribution through packet networks.*
- [ITU-T G.8265] Recommendation ITU-T G.8265/Y.1365 (2010), *Architecture and requirements for packet-based frequency delivery.*
- [ITU-T G.8265.1] Recommendation ITU-T G.8265.1/Y.1365.1 (2010), *Precision time protocol telecom profile for frequency synchronization.*
- [ITU-T G.8271] Recommendation ITU-T G.8271/Y.1366 (2012), *Time and phase synchronization aspects of packet networks.*
- [ITU-T O.171] Recommendation ITU-T O.171 (1997), *Timing jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the plesiochronous digital hierarchy (PDH).*
- [ITU-T O.172] Recommendation ITU-T O.172 (2005), *Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [ITU-T Y.1411] Recommendation ITU-T Y.1411 (2003), *ATM-MPLS network interworking – Cell mode user plane interworking.*
- [ITU-T Y.1540] Recommendation ITU-T Y.1540 (2002), *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters.*
- [ITU-T Y.1561] Recommendation ITU-T Y.1561 (2004), *Performance and availability parameters for MPLS networks.*
- [ITU-T Y.1731] Recommendation ITU-T Y.1731 (2006), *OAM functions and mechanisms for Ethernet based networks.*
- [IEEE 802] IEEE 802-2001, *IEEE standard for local and metropolitan area networks: Overview and architecture.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/802.html>>
- [IEEE 802.1D] IEEE 802.1D-2004, *IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges.*
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1D-2004.pdf>>

- [IEEE 802.1Q] IEEE 802.1Q-2011, *IEEE Standard for local and metropolitan area networks: Virtual bridged local area networks*.
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2011.pdf>>
- [IEEE 802.3] IEEE 802.3-2008, *Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications*.
<<http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>>
- [IETF RFC 791] IETF RFC 791 (1981), *Internet Protocol (IP)*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791>>
- [IETF RFC 2460] IETF RFC 2460 (1998), *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460>>
- [IETF RFC 3031] IETF RFC 3031 (2001), *Multiprotocol Label Switching Architecture*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031>>

3 定義

3.1 他で定義された用語

この勧告では他で定義された以下の用語を使用する。

- 3.1.1 adaptive clock recovery: [ITU-T G.8260]を参照
- 3.1.2 asynchronous interface: [ITU-T G.823]を参照
- 3.1.3 interworking function (IWF): [ITU-T Y.1411]を参照。更なる詳細と例は Annex B および Appendix IX において示される。
- 3.1.4 packet-based method: [ITU-T G.8260]を参照
- 3.1.5 packet-based method with timing support from the network: [ITU-T G.8260]を参照
- 3.1.6 packet-based method without timing support from the network: [ITU-T G.8260]を参照
- 3.1.7 packet network timing function (PNT-F): [ITU-T G.8260]を参照
- 3.1.8 synchronous interface: [ITU-T G.823]を参照
- 3.1.9 traffic interface: [ITU-T G.823]を参照

3.2 本勧告で定義される用語

本勧告では以下の用語を定義する。

- 3.2.1 CES IWF: 回線エミュレーションサービス (CES) インタワーキング機能 (IWF) はサービスクロックドメイン (図 B.3 参照) をサポートする IWF 内の機能セット。サービスクロックタイミングのリカバリ機能を含む。
- 3.2.2 circuit emulation services (CES) island: CBR サービス (例:E1) を搬送するために、回線スイッチネットワークと PDH/SDH トランスポートネットワークいずれかの特性をエミュレートする、パケットスイッチ技術をベースとしたネットワークのセグメント。
- 3.2.3 frequency source traceability: 周波数ソース追従能力はシステム内全クロックの周波数が単一の物理クロックを参照する関係である。通常の運用環境下では、ソース追従システムの全てのクロックは同じ平均周波数である。それゆえ、そのようなシステムにおけるすべてのクロック間の位相誤りや最大タイムインターバルエラー (MTIE) は制限される。

注 - これと異なるケースとしては、クロックが正確なマスタークロックに向かう周波数追従能力を持つ場合（必ずしも同じ機器である必要はない）。これは、ITU-T G.810 で定義された旧同期のコンセプトと関連する。例として、PRC 分配構成をベースとしたシンクロナイゼーションネットワークにおいてクロックが PRC 追従能力（すなわち、ITU-T G.811 クロックへの追従能力）を持つ場合がある。

3.2.4 network clock: ネットワーククロック信号を生成するクロック

3.2.5 network clock domain: シンクロナイゼーションネットワーク（ネットワーククロック）をサポートするための機能セット

3.2.6 network clock signal: 主にネットワークの入出力部でサービスクロックのマッピングとデマッピングを許可するためのリファレンスとして使われるタイミング信号。いくつかのアプリケーションにおいて、周波数精度を要求しないフリーランニングクロックによって生成される、非同期の信号（たとえばイーサネット。物理レイヤは ± 100 ppm まで動作する）。また、他のアプリケーションでは高精度の周波数タイミングシグナルが必要。この場合、通常の運用環境下では信号は常に PRC に追従可能である。そして、ネットワークに分配された信号はシンクロナイゼーションネットワークによって確立される。

注 - この勧告の目的に対し、正確な高精度信号は常に存在すると仮定される。このため、ネットワーククロック信号の定義はシンクロナイゼーションネットワーククロック信号の定義と同時に考慮される、そして2つの用語はこの勧告を通して交換可能に用いられる。

3.2.7 network-synchronous operation: 物理レイヤの同期（主にプライマリ・リファレンス・クロック (PRC) に追従するタイミング信号の分配による、[ITU-T G.811]を参照）。

3.2.8 service clock: サービスクロック信号を生成するクロック

3.2.9 service clock domain: CES タイミング機能をサポートするために用意された機能セット

3.2.10 service clock signal: ネットワークでサポートされる特別なサービスに関連するタイミング情報。一例として、E1 TDM サービスでは $2048 \text{ kbit/s} \pm 50 \text{ ppm}$ 。

3.2.11 synchronization network clock: 同期化ネットワークでタイミング信号を提供する設備。

3.2.12 synchronization network clock signal: 同期化ネットワークによって分配された参照タイミング信号。この信号は正確なマスタ（例えば、PRC）に追従する。

3.2.13 time division multiplex (TDM): 慣習的に電話網で使われる一定の転送量を確保されたビットストリームを示す用語。特に[ITU-T G.705]で説明されるように、従来のデジタル同期ハイアラキー (PDH) に属すもの。世界の様々な領域で伝統的に使用されるビット伝送速度は、[ITU-T G.702]に詳述される。TDM 定義でカバーされた信号の例は、PDH と SDH ハイアラキーに属する。

3.2.14 stabilization period: 有効なタイミングソースが IWF によって選択された時から始まり、出力タイミングの特性が出力ジッタとワンドの要求条件を満たすまでの期間。

3.2.15 wander budget (of a network island): このネットワーク区間の最初のネットワーク要素に対し、理想的な参照タイミング信号が入力されたときの、ネットワーク区間の出力点で発生したワンド。

4 略語と頭字語

以下の略語と頭字語を使用する。

3GPP	Third Generation Partnership Project
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BS	Base Station

CBR	Constant Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CE	Customer Equipment
CES	Circuit Emulation Service
DUT	Device Under Test
EEC	synchronous Ethernet Equipment Clock
ESMC	Ethernet Synchronization Messaging Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FE	Fast Ethernet
GE	Gigabit Ethernet
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
IP	Internet Protocol
IP DSLAM	IP Digital Subscriber Line Access Multiplexer
IWF	Interworking Function
MAC	Medium Access Control
M-CMTS	Modular Cable Modem Termination System
MPEG	Moving Picture Experts Group
MRTIE	Maximum Relative Time Interval Error
MSAN	MultiService Access Node
MTIE	Maximum Time Interval Error
NTP	Network Time Protocol
OLT	Optical Line Termination
OTN	Optical Transport Network
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PDV	Packet Delay Variation
PEC	Packet-based Equipment Clock
PHY	PHYSical (layer)
PNT	Packet Network Timing
PNT-F	PNT-Function
PRC	Primary Reference Clock
PSC-A	Packet-based Service Clock-Adaptive
PSC-D	Packet-based Service Clock-Differential
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTP	Precision Time Protocol
QL	Quality Level
SASE	Stand Alone Synchronization Equipment
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SEC	SDH Equipment Clock

SLA	Service Level Agreement
SNTP	Simple Network Time Protocol
SRTS	Synchronous Residual Time Stamp
SSM	Synchronization Status Message
SSU	Synchronization Supply Unit
STM	Synchronous Transfer Mode
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDEV	Time DEVIation
TDM	Time Division Multiplex
TDM PW	TDM PseudoWire
ToD	Time of Day
UI	Unit Interval
UTC	Coordinated Universal Time
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

5 慣例

パケットとフレームはこの勧告を通して同意に使用される。

この勧告の中で、“イーサネット”は[IEEE802.3]で定義されたインタフェースとして参照される。また、この勧告および [ITU-T G.8262]、[ITU-T G.8264]内で定義されるようにシンクロナスイーサネットの追加タイミング要求には準拠しないものである。

6 一般事項

パケットスイッチはもともと非同期データを取り扱うために導入された。

しかしながら、時分割多重(TDM)サービスのトランスポートやパケットネットワーク上でのシンクロナイゼーションの分配のような新しいアプリケーションのためには、厳格なシンクロナイゼーション要求が検討されなければならない。

テレコミュニケーションにおける進行中の発展は音声と音声帯域データサービスのためにハイブリッドパケット/サーキット環境の可能性を広げる。これらの環境はパケット技術（例えば、非同期転送モード(ATM)、IP、イーサネット）と伝統的な TDM システムを融合する。これらの条件下で、合格水準の品質（例えば、スリップ率の上限等）が、維持されていることを保証するのは、重要である。

TDM ネットワークにおける同期は、よく理解されて、実装されている。通常、TDM 回線サービスプロバイダーはプライマリ・リファレンス・クロック（すなわち、[ITU-T G.811]準拠クロック）に追従した同期システムを提供することにより、タイミング分配ネットワークを維持する。

この勧告で扱うタイミングと同期の外観は、初めは、[IEEE 802.3]で定義されるようなイーサネットメディアタイプに基づく物理層によるネットワークに関係する（Scope および第 1 節参照）。

イーサネットネットワークのための機能的構成は[ITU-T G.8010]で定義される。

この勧告の文脈では、最上位層（例えば、オープンシステムインタコネクション(OSI)モデルの第 7 層）はパケット網の上で輸送されたアプリケーションを参照する。リアルタイムアプリケーションは、遅延と遅延変化に関する比較的きついタイミング要件がある。いくつかのアプリケーションは上位層（例えば、MPEG-2）の中でそれらのタイミング問題を解

決している。他のアプリケーションは下層（例えば、物理的な層）の1つ以上によって提供されたタイミングサポートに依存する。

この勧告は同期関連の要件を得るための異なった方法を説明することを目的とする。回線エミュレーションサービス(CES)とパケットネットワーク・タイミング(PNT)ドメインの両方が考慮され、そして、異なった要件が説明される。

さらに、イーサネットと同期イーサネットネットワークの一部であるインタフェースと機器のための要件が説明される。また、それは、異なったタイプの同期方法をいつ適用するか勧告する。

パケットベースのネットワークにおける適切な同期要件に関するいくつかの考慮が以下の節に要約される。

この勧告は主に公衆通信回線環境でのCESを取り扱う。回線エミュレーションを要するいくつかのプライベート・ネットワーク・アプリケーションでは、プライマリ参照クロック(PRC)でない品質水準の一般的なクロックをCESインタワーキング機能(IWF)ノードに向かって分配することで十分かもしれない。しかしながら、PRC品質水準以下の同期タイミングの使用は結果的に、複数の公衆通信回線プロバイダーにかかわる相互接続などのように異なったネットワークドメインの間の協調の難しさを生じさせることになり得る。

非PRCの品質水準の一般的なクロックの使用は今後の検討課題である。

6.1 パケットネットワーク同期要件

パケット指向のトランスミッション技術（例えば、ATMネットワーク・ノード）にかかわるノードはパケット交換機能の実現のためのなんらかの同期を必要としない。実際、パケット交換機の任意の入力点では、個々のデバイスが内部のタイミングへ入って来る信号のパケットタイミング・アダプテーション（例えば、ATMスイッチの場合のセルタイミング・アダプテーション）を提供するに違いない。例えば、ATMネットワークの場合では、周波数差に対して対応する第一の方法は、アイドルセルのスタッフィングを使用することである。したがって、トランスミッションリンクは、原理的にお互いに同期される必要はない。

しかしながら、パケットネットワークの上で固定ビットレート(CBR)のストリームを輸送するときや、公衆交換電話網(PSTN)ネットワークとの協調時など、TDMベースのアプリケーションを統合するために発展するにつれ、パケットネットワークはトラフィックインタフェースにおける正しいタイミングを提供しなければならない。

これは、パケットネットワークにおける同期機能に関する要件が、特にパケットネットワークの境界においてネットワークの上に提供されたサービスに依存していることを意味する。TDMベースのサービスのために、IWFは許容性能を提供するためにネットワーク同期操作を必要とするかもしれない。

6.2 TDM タイミング要件

パケットネットワークを通じたTDM信号の伝送には、パケットネットワークの出力信号がTDMタイミング要件に従う必要がある。これは、TDM機器との協調を可能とするために重要である。

これらの要件はTDM信号によって伝送された情報の種類(音声かデータ)には依存しない。

パケットネットワークへのTDM信号のアダプテーションは回線エミュレーションサービス(CES)と呼ばれる。

適切なタイミング要件は以下の通りである。トラフィックにおけるそして/または、同期インタフェースにおけるジッタおよびワンダリミット。長期の周波数精度(スリップ性能に影響を及ぼし得る)、および総遅延(これはリアルタイムサービス、例えば、音声サービスにとって重要である)。

6.2.1 PDH タイミング要件

トラフィックインタフェースのための旧同期デジタルハイアラキー(PDH)タイミング要件は、主にジッタ/ワンダ/スリッ

性能に関連する。

パケットネットワークの境界におけるネットワーク要素の入力において、ジッタおよびワンダ耐力の要求が適用される。

パケットネットワークの出口にあるネットワーク要素の出力においてジッタとワンダ生成要件が適用される。

これらの値は 2048kbit/s 階層構造に基づくネットワークに関し[ITU-T G.823]に、1544kbit/s 階層構造に基づくネットワークに関しては[ITU-T G.824]で仕様化される。

さらに、[ITU-T G.822]は適切なスリップレートオブジェクトを仕様化する。これは、TDM 信号を生成する機器のクロックとパケットから TDM 信号を再生する機器で使用されるクロックが異なっていて、アプリケーションでスリップバッファが必要とされる場合である。

6.2.2 同期インタフェース要件

PDH 信号が同期インタフェースと定義される場合では、同期要件は 2048kbit/s と 1544kbit/s トラフィックインタフェースのための要件より厳しい。また、PDH インタフェースのための同期インタフェース要件は[ITU-T G.823]と[ITU-T G.824]で定義される。

6.2.3 SDH タイミング要件

どんな同期転送モード(STM)-N 信号も[ITU-T G.825]に準拠しなければならない。関連要件は、STM データを受信するパケットネットワークの境界にあるネットワーク要素の入力に適用されるジッタおよびワンダ耐力について言及して、パケットネットワークのもう一方の端で STM-N 信号を生成するネットワーク要素の出力に適用されるジッタ/ワンダ生成について言及する。

STM-N 信号の場合には、すべての STM-N 信号が同期インタフェースと定義されるとき、トラフィックと同期インタフェースの間には、区別が全くない。

6.3 パケットネットワークにおける同期ネットワークエンジニアリング

この仕事の大部分に対する推進力は、アプリケーションの同期ニーズを満たすこと、また、一般に、(大規模移動通信システム(GSM)や広帯域符号分割多重アクセス(WCDMA)ネットワークの基地局のような)ある技術のニーズを満たすことである。そのような目標を達成するために、オペレータはアプリケーションを処理するネットワーク要素に適切な品質を有する参照タイミング信号を分配しなければならない。

1つのアプローチは、分配された PRC 戦略(例えば全地球測位システム(GPS)技術による)に従うことである。代替的アプローチはマスタースレーブ戦略に基づいている。Underlying なパケット・トランスポート(例えば、イーサネットフレーム)が、既存の同期技術(PDH か同期デジタルハイアラキー(SDH)ネットワーク)の上を流れる場合には、同期ネットワークを設計するための工学的ルールは、よく理解され、明文化されている(例えば[ITU-T G.803]参照)。一方、Underlying な伝送が非同期の技術(すなわち、イーサネット)に基づいているとき、代替的アプローチが考えられねばならない。これは第7節でさらに分析される。

6.4 エッジでのタイミング要件とコアネットワークでのタイミング要件

パケットネットワークがアクセスネットワークの一部であるか基幹回線網の下位層であったときのために異なった性能を要求できる。

基幹回線網の一部での同期参照の分配は厳しいジッタ/ワンダ要件に従う必要がある(すなわち、[ITU-T G.823]、同期インタフェースへの[ITU-T G.824]、および[ITU-T G.825])。

他方、アクセスネットワークでは、要件は、エンドノード（例えば、基地局、または ITU-T V.90 モデム）のタイミングに関する必要条件をサポートするに十分な性能のタイミング参照信号の分配（例えば、PRC より低品質水準）を許容できる程度に緩和されるかもしれない。付録 IV に詳しい情報を提供する。

6.5 PNT ドメインと CES ドメイン

この報告は 2 つの主な別問題を扱う：

- 1) パケットネットワーク上で同期化ネットワーククロック信号を運ぶための方法:
 - この問題は、PNT ドメインに関連する。そして、ネットワーククロックを参照しなさい(定義参照)。
 - この問題に関するガイダンスを第7節に提供する。
- 2) サービスクロック信号を運ぶ方法:
 - この問題は、CES ドメインに関連する。そしてサービスクロックを参照しなさい (定義参照)。
 - この問題に関するガイダンスを第8節に提供する。

PNT ドメインと CES ドメインに関する詳細を付属資料 B に提供する。

7 パケットネットワーク上の参照タイミング信号分配(PNT domain)

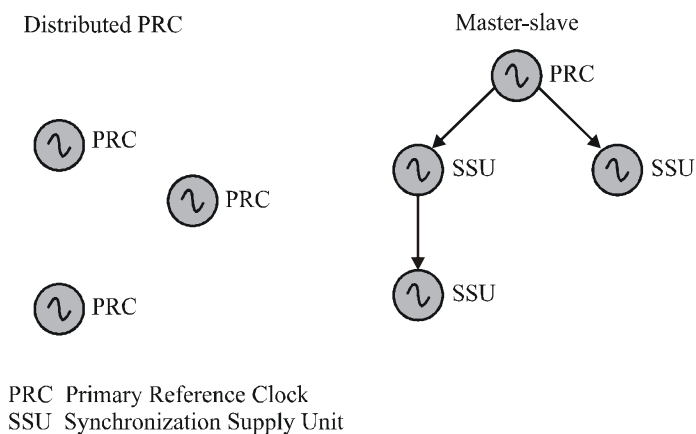
適切な同期要求を満たすために、適当な位相安定性と周波数精度特性を持つ参照タイミング信号を分配することは可能であるべきである。

本標準では、二大分類方法を定義する。

- 1) 従来の同期およびネットワーク同期方法（それは、同期物理層上に分配された参照タイミング信号）
- 2) パケットをベースにした方法

7.1 旧同期およびネットワーク同期方法

最初の分類方法は、PRC 分配方法を（例えば、GPS をベースとした）、もしくは、同期物理層を使用したマスタースレーブ方法（例えば、STM-N）を参照する。図 1 を参照。これらの方法は、TDM ネットワークを同期するために広く実装されている。



G.8261-Y.1361(08)_F01

図 1 – PRC 分配方法とマスタースレーブ法

イーサネットネットワークは自走（±100ppm）である。しかしながら、同期イーサネットの場合、物理層にてマスタース

レーブ同期構造を設計することが可能である。この場合、基幹系からアクセス系まで、物理層は、パケットネットワーク上で参照タイミング信号分配に使われている。この方法は、パケットネットワーク上を伝送する CBR サービスの IWF(ネットワーク同期操作)でのタイミングリカバリにも使われている。それは、同期イーサネットをサポートしている純イーサネットネットワークのエッジアクセス装置までの参照タイミング信号を与えることにも使用されている。

7.1.1 節は同期イーサネットネットワークを実現する高水準の方法について詳しく述べる。

7.1.1 同期イーサネットネットワーク

同期イーサネットネットワーク上でのイーサネットスイッチから物理層クロックを搬送する一般概念を図 2 に示す。

PRC へ追従可能である参照タイミング信号は、外部クロック端子を使用しているイーサネットスイッチに入力される。この信号は、イーサネットビットストリームに参照信号を入力する前に、同期機能部を介して抽出され、処理される。同期機能部はフィルタリングを提供し、ホールドオーバを要求する可能性がある。同期イーサネットネットワークをサポートするクロックは、同期イーサネット装置クロック(EEC)と呼ばれる。[ITU-T G.8262]を参照せよ。

図で示されるように、参照タイミング信号を分配するイーサネットスイッチがいくつか存在する。その場合、これらのイーサネットスイッチを持つ同期機能部は入力ビットストリームから同期“ラインタイミング”を復元できなければならない。

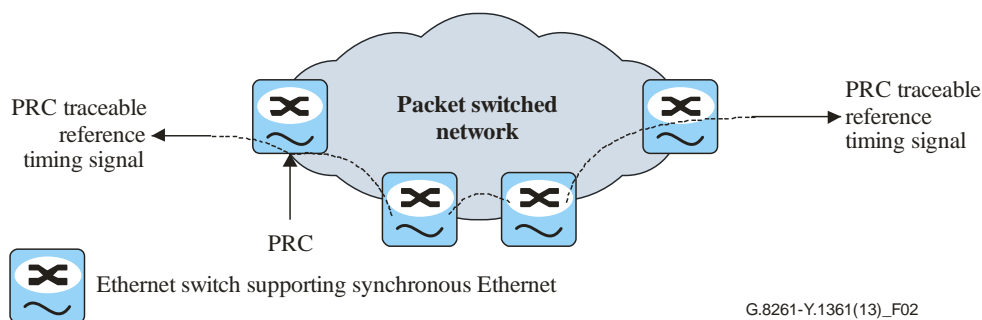


図2- 同期イーサネット上のマスターレーブ同期ネットワークの例

構造の一部として、以下に記載されているように、ネットワーククロックとサービスクロック間で違いが作られる。

同期イーサネットという語はイーサネットスイッチから出力されるビットレートを制御するネットワーククロックに適用する。このクロックは[ITU-T G.8262]に準拠するだろう。

既存のイーサネット技術内では、サービスは事実上非同期である。同期イーサネットでは、既存のイーサネットサービスはサービスクロックから発生するような適切なレートでイーサネット物理層の中や外に位置づけられる。

同期イーサネットをベースにした同期ネットワークに対して提案する構造は、付属資料 A に記述する。

注-同期イーサネット装置は、同期層を仕様化した[ITU-T G.781]、同期イーサネットの同期状態メッセージ(SSM)を仕様化した[ITU-T G.8264]に準拠しなければならない。

7.2 パケットベース方法

2 番目の方法は、パケットで運ばれたタイミング情報を用いる。この場合、図 3 で示されるように、タイミングは専用のタイムスタンプメッセージによって運ばれる。物理層が非同期である場合、これが PRC 配信方法に対する唯一の代替となる。そのような方法の基本的な原理は、付録 XII にて要点を述べている。

タイムスタンプは、いくつかのプロトコルに基づく。プロトコルの例は、ネットワーク時刻プロトコル(NTP)、高精度時刻プロトコル(PTP)である。

PTP プロトコルは、マスタースレーブ階層のネットワークでの同期クロックにタイムスタンプを使用する。周波数および/または時刻情報(ToD)を分配することに使われる。PTP は、初めは工業オートメーションおよび検査・測定産業に導入された。しかしながら、新しいバージョン (XII.4 節参照) は、電気通信に使用するために更新した。

NTP とシンプルネットワーク時刻プロトコル(SNTP)は、時刻情報を分配することに伝統的に使われているプロトコルである。さらに、同じパケットは周波数情報を分配することに利用できるかもしれない。

パケットを基にした方法は、ネットワーク範囲の同期参照のサポートを必要としないので、本来、適応的である。それゆえに、ネットワークでのパケット遅延変動は性能に影響を与える。(第 10 節参照) PTP もしくは NTP パケットのいずれかを使用したパケットネットワークから影響を最小化するために、精度要求に応じて、クライアント側に特殊なアルゴリズムを実装する必要がある。(付録 III および IV 参照)

ネットワークの中間ノードに対する追加要件は、これらの方法の性能を高めると考えることができる。特にレガシー装置が使われる場合、これが適しているとは限らないことに注意すべきである。

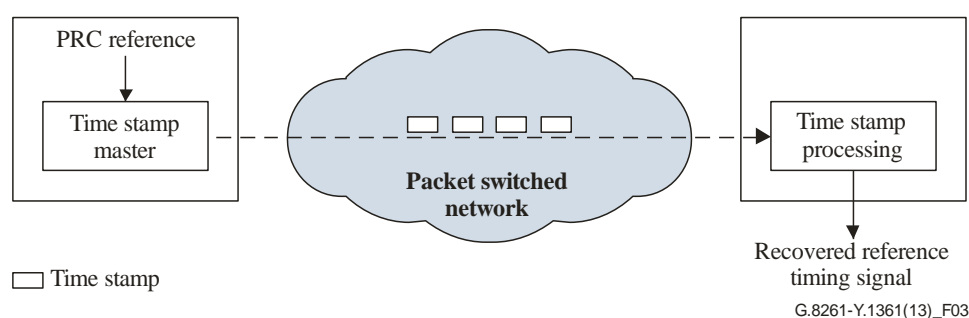


図3- タイムスタンプを介したリファレンス時刻信号の
タイミング分配を行うパケットベースの方法の例

注-パケットを基にした方法の詳細については、[ITU-T G.8261.1]、[ITU-T G.8263]、[ITU-T G.8265]、[ITU-T G.8265.1]を参照せよ。パケットを基にした方法の詳細と関連勧告は 12.2.2 節で書かれている。

パケットを基にした方法をサポートするクロックは、パケットを基にした装置クロック(PEC)と呼ばれている。(付属資料 B 参照)。

8 パケットネットワーク上を伝送される固定ビットレートサービス(CES ドメイン)に対するタイミングリカバリ

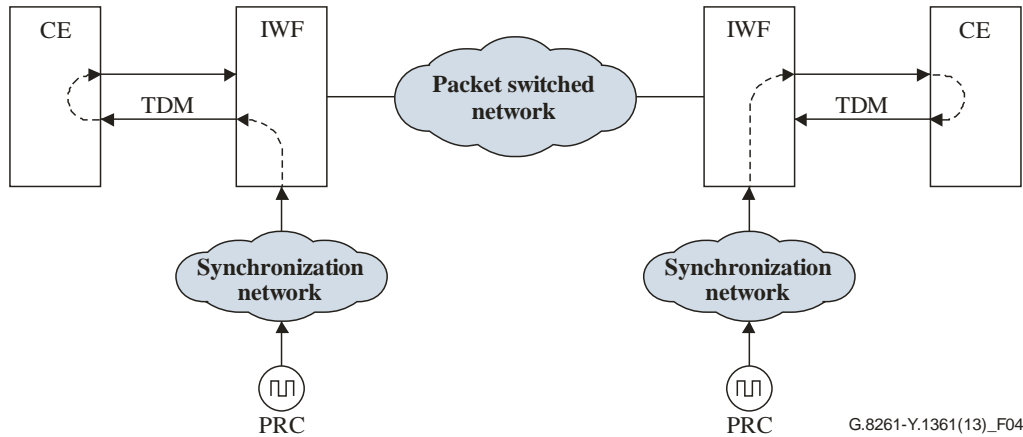
CBR サービス(例えば、TDM 信号をエミュレートした回線)は、信号のタイミングはパケットネットワークの両端(CES ドメイン)で同じであり、定ビットレートストリームの搬送に責任のある IWF によって扱われることを要求する。サービスクロック保存の概念は、長期間にわたる平均として考えた時、入力サービスクロック周波数は出力サービスクロック周波数として複製されるべきであるということである。入力 TDM 信号のワンダが出力 TDM 信号に複製されるべきという意味ではない。

本標準で確認する 4 つの運用方法を下記の節で記述する。

- 1) ネットワーク同期運用
- 2) 差分法
- 3) 適応法
- 4) TDM 終端システムで利用可能なリファレンスクロック

8.1 ネットワーク同期運用

この方法は、追従可能なネットワーク派生クロックである PRC もしくはサービスクロックのような局所 PRC（例えば、GPS）を使用することによる完全ネットワーク同期運用を参照する。（図 4 参照）これは、PRC リファレンスの有効性を意味する。この方法はサービスタイミングを維持しない。



G.8261-Y.1361(13)_F04

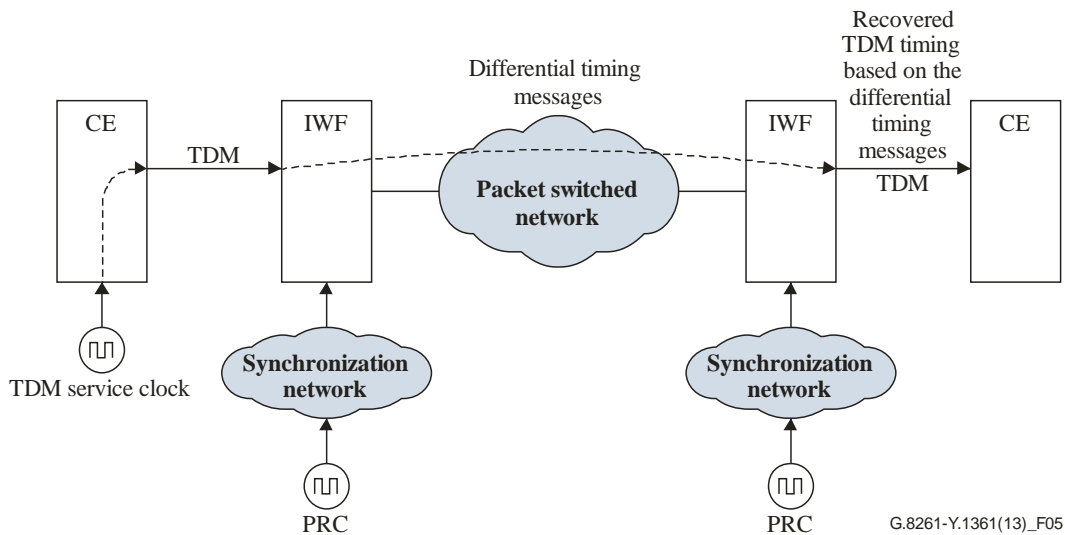
The two PRCs may also originate from the same source.

図4- ネットワーク同期運用の例

注-IWFへ入力されるリファレンスタイミング信号は、[ITU-T G.823]と[ITU-T G.824]で定義される同期インタフェースに従う。

8.2 差分法

差分法によれば、サービスクロックとリファレンスクロックの差分を符号化し、パケットネットワークへ送信する。（図 5 を参照）パケットネットワークの遠端で、共通リファレンスクロックを使用してサービスクロックを復元する。同期残余タイムスタンプ法[b-ITU-T I.363.1]は、一例である。この方法がサービスタイミングを維持できることは強調されるべきである。



The two PRCs may also originate from the same source.

図5 - 差分法に基づくタイミングリカバリ運用の例

注1-差分法は、追従可能なPRCではないIWFリファレンスクロックを扱うかもしれない。非追従可能なPRCクロックはアプリケーションに依存し、本標準の範囲外とする。

注2-IWFの入力でのリファレンスタイミング信号は、[ITU-T G.823]と[ITU-T G.824]で定義する同期インタフェースに従う。

8.3 適応法

適応法では、タイミングはパケットの到着時間差もしくはジッタバッファの目印を基にして復元される。この方法がサービスタイミングを維持できることは強調されるべきである (図6参照)。

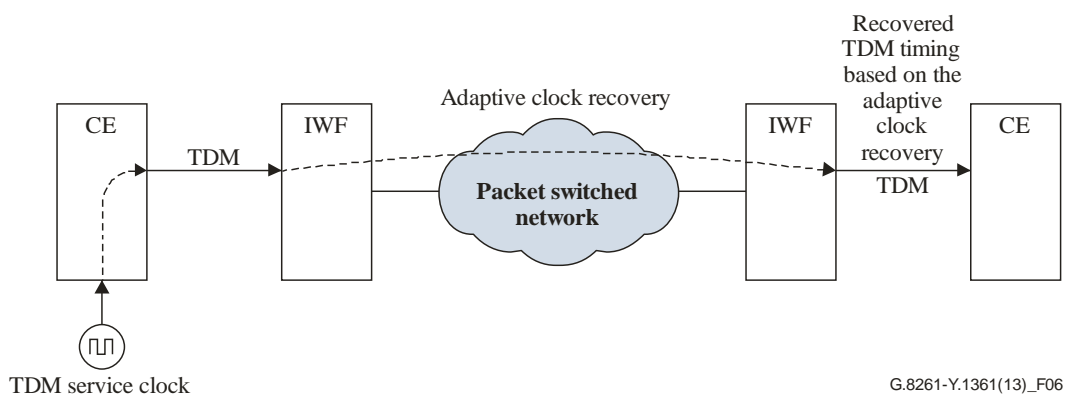


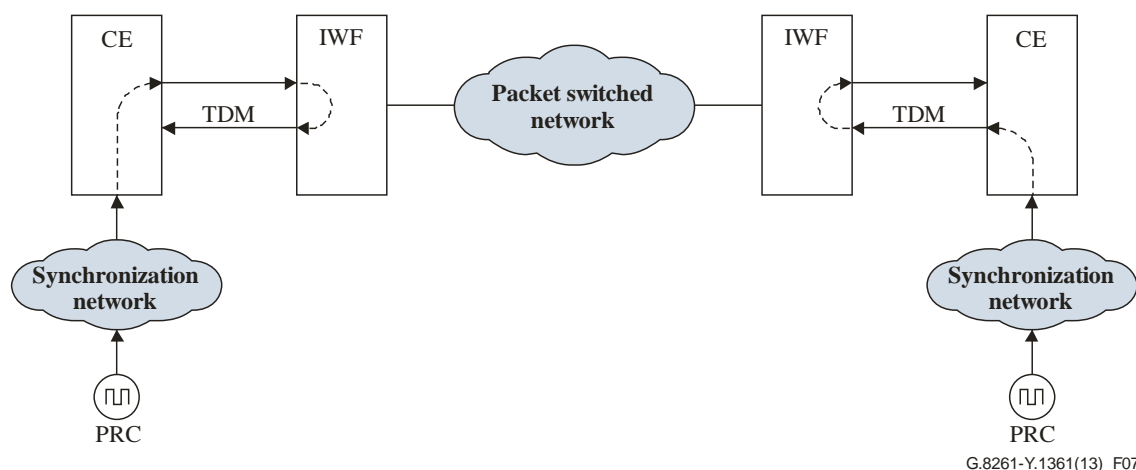
図6 - 適応法の例

8.4 TDM 終端システムで利用可能な参照クロック

リファレンスクロックを各 TDM 終端システムで利用可能な時、これは自明なケースだが、両端システムはリファレンスクロックに直接アクセスできるので、IWF から出力される信号を復元できる。それゆえ、タイミングを復元する必要がない。

TDM インタフェースでの IWF 内のループタイミングの使用は、この方法の実装の一例である (図7参照)。例として、このシナリオが適用されるのは、2つの PSTN 領域がパケットネットワークを通して接続される時である。この場合、送

信器と受信器の両方はデジタルスイッチであり、スリップを制御することが必要である。



The two PRCs may also originate from the same source.

図7 - TDM終端システムで利用可能なPRC参照タイミング信号の例

9 ネットワーク制限

9.1 CES ネットワーク制限

この節では、CESIWF の出力点 (図 B.4 の CESIWF 中の参照セレクタの出力) における TDM リンクのネットワーク制限を定義する。

ITU-T 勧告(すなわち [ITU-T G.823] と [ITU-T G.824])で現在特定されたジッタおよびワンダネットワーク制限は、本標準に関連のある全てのシナリオで満足されなければならない。

この節では、CES セグメントやアイランドに関して3つの異なる導入シナリオを提示する。これらのシナリオ各々の CES セグメントに渡って運ばれる (STM-N 信号を除いた) TDM トラフィックインタフェースのジッタおよびワンダは本節で定義される。

([ITU-T G.823] や [ITU-T G.824] の6節で規定されるような) 同期インタフェースとパケットネットワークで運ばれる STM-N 信号に適用可能なネットワーク制限は今後の検討課題である。

ある場合には、[ITU-T G.823] の5章と [ITU-T G.824] の5章によれば、品質を伴う信号は、PRC まで遡れる場合、この信号を許容でき、正しく動作することのできる端局装置に向けた参照タイミング信号として利用できる (導入ケース2に対するモデルは本シナリオの一例である)。

注 - この章で与えられたネットワーク制限は、正常な条件下 (例えば、故障条件やメンテナンス行為がない場合) で有効である。これらの制限が適用される時間間隔の割合を特定することは、この勧告のスコープ外である。

9.1.1 ネットワーク制限の基礎となるネットワークモデル

PDH 信号の伝送に関して、[ITU-T G.823] の図 A.1 のモデルと [ITU-T G.824] の図 A.1 のモデルは、CES セグメントの挿入を検討する出発点である。CES セグメントに対するワンダ配分は、全体のワンダバジェットは残りのネットワークで共用されなければならないので、[ITU-T G.823] や [ITU-T G.824] に規定されるように全体のワンダバジェットの一部でなければならない。

CES セグメントの場所に依存して、異なるワンダ要件が適用される。CES 導入のモデルがいくつか識別されてきた。これらのモデルを 9.1.1.1 節、9.1.1.2 節および 9.1.1.3 節で定義する。

注 1-この節の図は IWF によるタイミングの回復方法、あるいはパケットネットワークでのタイミング配信の方法に関しての詳細を示してはいない。さらなる詳細は 7 章および 8 章を参照のこと。

注 2-これらのモデルでは、ただ一つの CES アイランドが示されている。この CES 技術セグメントに対してのみワンダバジェットを配分することを目的としているからである。累積ワンダ生成が CES に配分されたバジェット以内である限り、複数の CES システムがあるかもしれない。

複数のアイランドを通じたワンダ累積は今後の検討課題である。

9.1.1.1 導入ケース 1

CES セグメントが[ITU-T G.823]の参照モデルの 2 つのスイッチ間のアイランドにあるとき、ワンダバジェットは図 8 のモデルに基づいて計算される。このモデルは、[ITU-T G.823]の図 A.1 および[ITU-T G.824]の図 A.1 に基づいている。複数の SDH アイランドのうち 1 つが CES ネットワークで置換されている場合である。

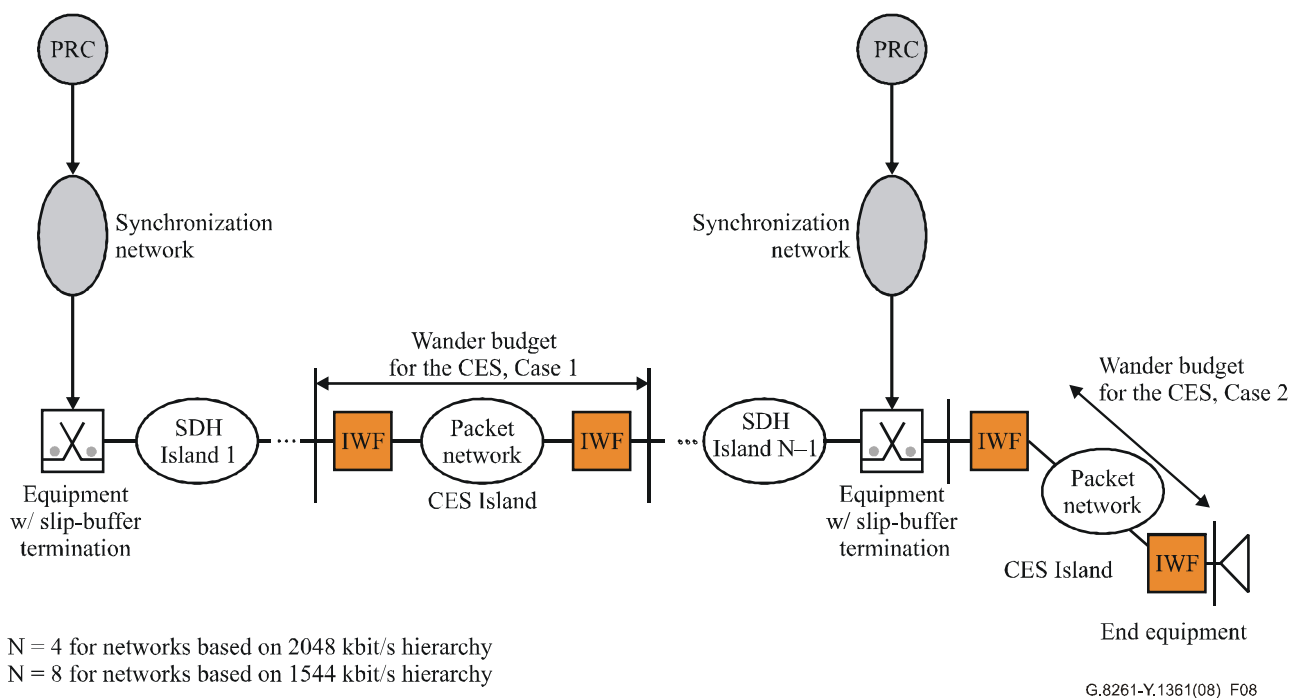


図8-導入ケース 1と2におけるトラフィックとクロックのワンダ累積に対するネットワークモデル

2048 kbit/s 信号に関するワンダバジェットを最大相対時刻間隔誤差(MRTIE)で表し、表 1 に示す。結果として生じる総合的な仕様を図 9 に図示する。

表 1 – 導入ケース 1: 2048 kbit/sインタフェースに対するワンダバジェット

測定間隔 τ (s)	MRTIE要求 (μ s)
$0.05 < \tau \leq 0.2$	10.75τ
$0.2 < \tau \leq 32$	$9 \times 0.24 = 2.15$
$32 < \tau \leq 64$	0.067τ
$64 < \tau \leq 1000$	$18 \times 0.24 = 4.3$

非同期構成に対して、考慮可能な最大測定間隔は80sであることに注意する。
非同期インタフェースに対する80sから100s間の規格は今後の検討課題である。

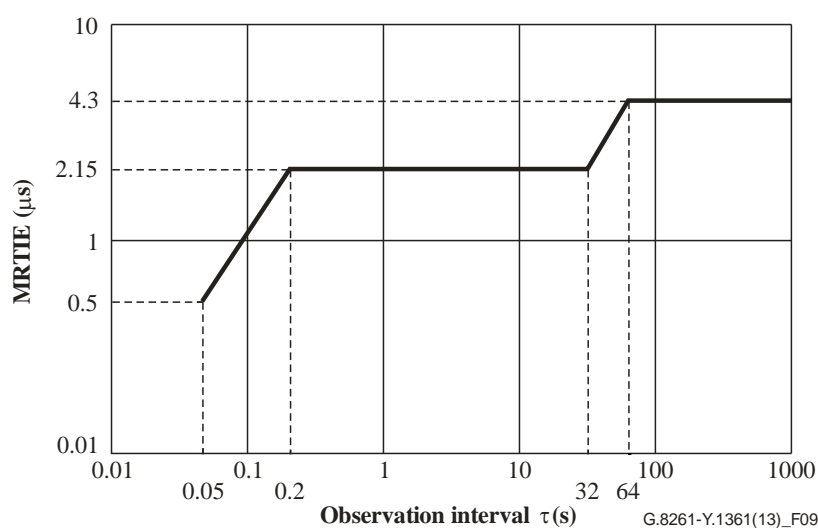


図9 – 導入ケース 1: 2048 kbit/sインタフェースに対するワンダバジェット

2048 kbit/s 信号のジッタネットワーク制限は[ITU-T G.823]の 5.1 節を満足すべきである。

1544 kbit/s 信号に関するワンダバジェットを最大時刻間隔誤差(MTIE)で表し、表 2 に示す。結果として生じる総合的な仕様を図 10 に図示する。

表2 – 導入ケース 1: 1544 kbit/sインタフェースに対するワンダバジェット

測定間隔 (τ) 単位は秒	MTIE 単位は μ s
$\tau \leq 0.1$	No Requirement (see Note)
$0.1 < \tau \leq 0.47$	4.5τ
$0.47 < \tau \leq 900$	2.1
$900 < \tau \leq 1930$	$2.33 \times 10e-3 \tau$
$1930 < \tau \leq 86'400$	4.5

注 – 本領域はジッタ要求によりカバーされる。

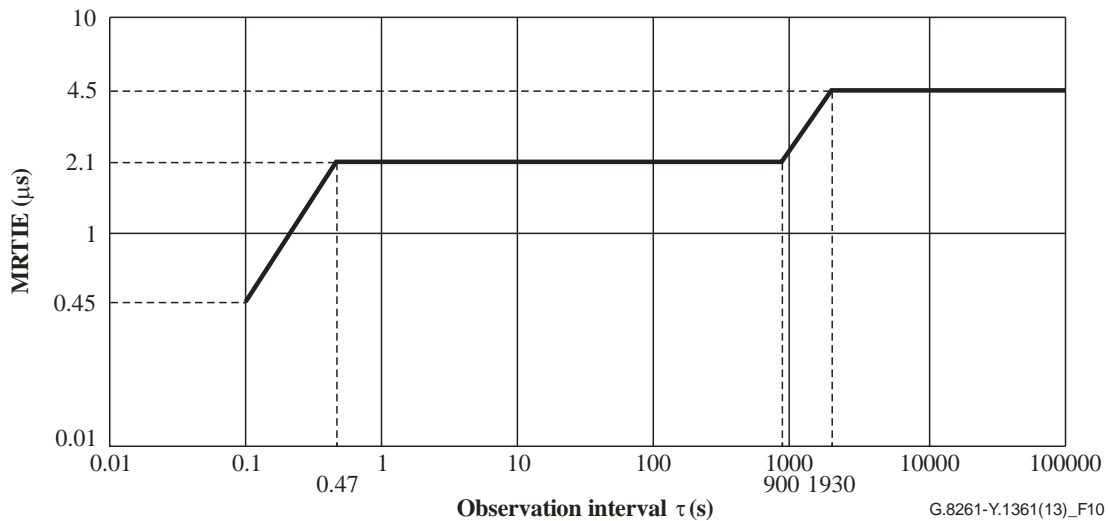


表10 – 導入ケース 1: 1544 kbit/sインタフェースに対するワンダバジェット

1544 kbit/s 信号のジッタネットワーク制約は、[ITU-T G.824]の 5.1 節を満足すべきである。

注-CES セグメント上で運ばれるその他の PDH 信号（34'368 kbit/s、44'736 kbit/s および 139'264 kbit/s 信号）に対するネットワーク制限は、今後の検討課題である。

9.1.1.2 導入ケース 2

アプリケーション A

CES セグメントがスリップバッファを含む装置の外にある場合（図 8 参照）、スイッチのリタイミング効果が検討されなければならない。この装置の出力で、トラヒック信号のタイミングは、トラヒック信号に対する制約よりも厳しい同期信号に対するネットワーク制限を満足するだろう。

この場合の CES セグメントのジッタバジェットおよびワンダバジェットは、2048 kbit/s ネットワーク制限 ([ITU-T G.823] の図 1 参照) と 2048 kbit/s 同期インタフェースネットワーク制限 ([ITU-T G.823] の図 10 参照) との差である。この制約を MRTIE で表し、表 3 に示す。結果として生じる総合的な仕様を図 11 に図示する。

表3 – ケース2A: 2048 kbit/sインタフェースに対するワンダバジェット

測定間隔 τ (s)	MRTIE 要求 (μ s)
$0.05 < \tau \leq 0.2$	40τ
$0.2 < \tau \leq 32$	8
$32 < \tau \leq 64$	0.25τ
$64 < \tau \leq 1000$ (Note)	16
非同期構成に対して、考慮可能な最大測定間隔は80sであることに注意する。 非同期インタフェースに対する80sから100s間の規格は今後の検討課題である。	

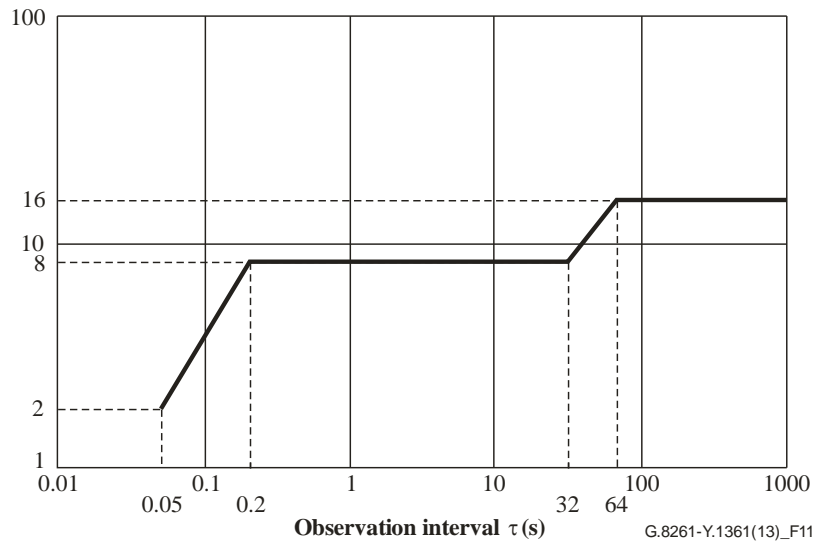


図11 – ケース2A: 2048 kbit/sインタフェースに対するワンダバジェット

1544 kbit/s インタフェースの場合、ケース 1 の要求はケース 2 のアプリケーションにも適用する。

注 1- CES セグメント上で運ばれるその他の PDH 信号 (34'368 kbit/s、44'736 kbit/s および 139'264 kbit/s 信号) に対するネットワーク制限は、今後の検討課題である。

アプリケーション B

この場合、アプリケーションは TDM 信号を通じてタイミングを再生する。よって、クロックとデータは同一信号から抽出されるので、クロックリカバリの帯域内以外には、クロックとデータの間には差分のジッタやワンダはない。CES セグメントのワンダバジェットは、アプリケーション(例えば、基地局要件)で要求されるタイミング品質によってのみ制限され、[ITU-T G.823]によっては必ずしも制限されない。

注 2-このアプリケーションは、単一の信号を持つアプリケーションに対してのみ有効である。2 つの信号が受信されると、これらのうちの一方の信号に対するジッタやワンダは、他方の信号から抽出されたクロックのジッタやワンダと異なるかもしれない。

9.1.1.3 導入ケース Case 3

図 12 に示すように、SDH アイランドの出力でリタイミングが実装されているとき、PDH 出力の雑音振幅は、同期インタフェースの雑音振幅である。このため、いくつかの構成では、導入ケース 2 のアプリケーション A までワンダバジェットが増大してもかまわない。この場合、サービスクロックはエンド・エンドで保存されないことに注意が必要である。

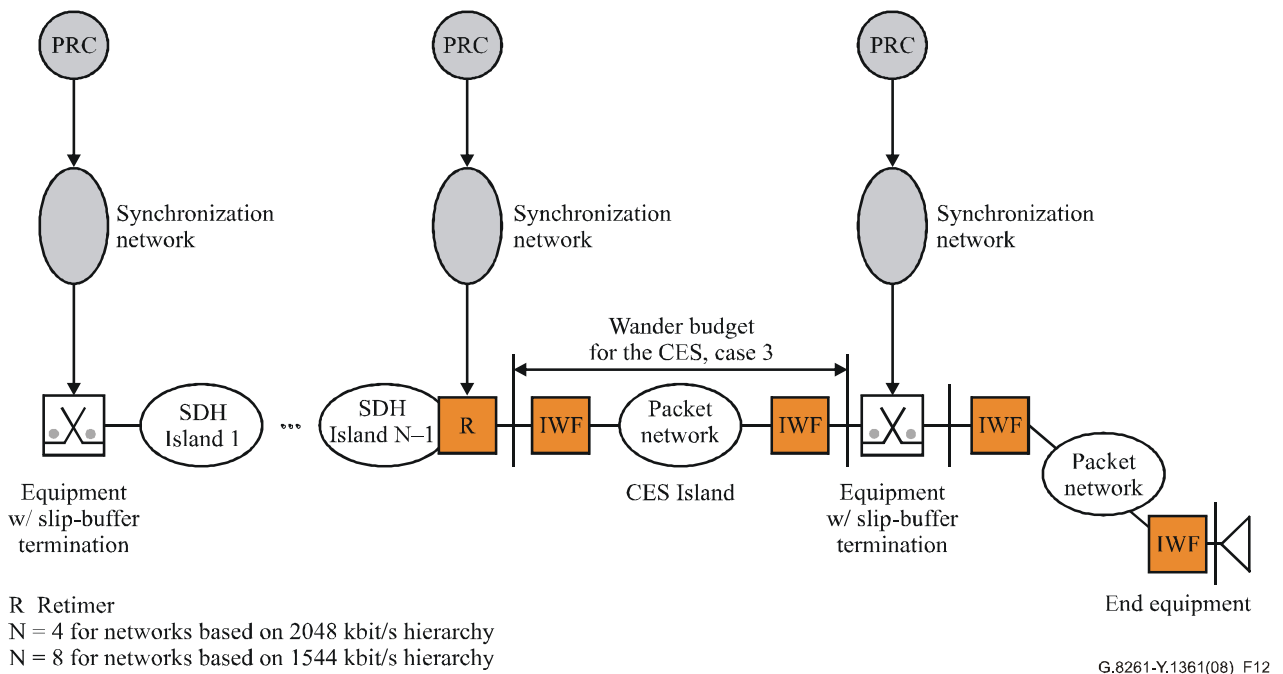


図12- 導入ケース 3シナリオ

9.2 PNT ネットワーク制限

同期イーサネット（EEC インタフェース）の場合とパケットベースのクロック（PEC インタフェース）の場合とでは、ネットワークモデルと関連したネットワーク制限は別々に定義される。

特に、同期イーサネットに基づく同期チェーンの詳細（例えば、同期チェーンにおけるクロックの数、など）は、[ITU-T G.803]、[ITU-T G.823]および[ITU-T G.824]のモデルによる。

図 D.1 に例を示す。この例に示すように、SDH が同期イーサネットと混在されるハイブリッドの実装も同様にサポートするため、ネットワーク制限が定義される。

注-この章で与えられたネットワーク制限は、正常な条件下（例えば、故障条件やメンテナンス行為がない場合）で有効である。これらの制限が適用される時間間隔の割合を特定することは、この勧告のスコップ外である。

9.2.1 EEC インタフェースネットワーク制限

この節では、同期チェーンにおける EEC の出力でのネットワーク制約を定義する。

注-これらの制限は一般的に同期ネットワークにおけるすべての点で適用できる。いくつかのアプリケーションの場合、主としてアクセスネットワークの場合、接続される装置（関連するアプリケーションの例は付録 IV 参照）の許容特性によってジッタとワンダを発生するイーサネット信号からタイミングをリカバリすることが可能かもしれない。この節で定義された制限を満足しないイーサネットリンクの利用は、オペレータ責任である。

9.2.1.1 EEC-オプション1 インタフェースネットワークワンダ制限

EEC-1 の出力インタフェースでのワンダに対するネットワーク制限を、MTIE に換算し表 4 に示す。結果として生じる総合的な仕様を図 13 に図示する。

注-値は協定世界時(UTC)に対するものである。すなわち、数値は PRC のワンダを含む。

表 4 – MTIEで表現されたEEC-オプション1インタフェースでの
ワンダに対するネットワーク制限

測定間隔 τ (s)	MTIE 要求 (ns)
$0.1 < \tau \leq 2.5$	250
$2.5 < \tau \leq 20$	100τ
$20 < \tau \leq 2000$	2000
$\tau > 2000$	$433 \tau^{0.2} + 0.01 \tau$

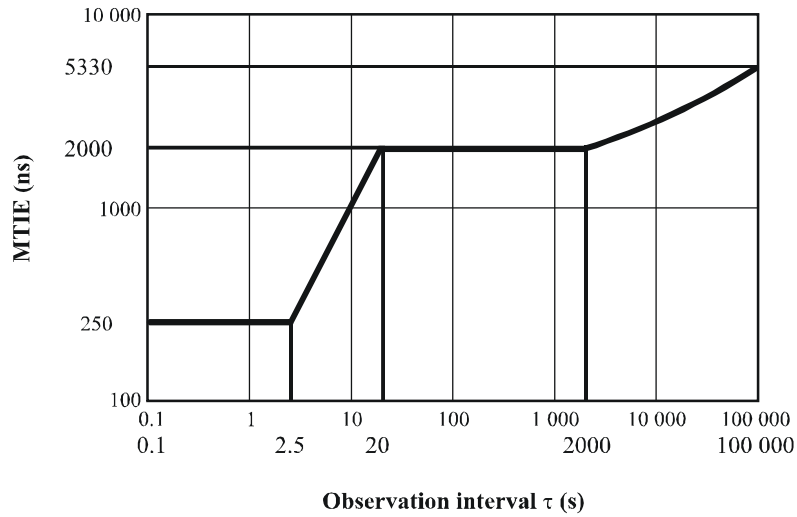
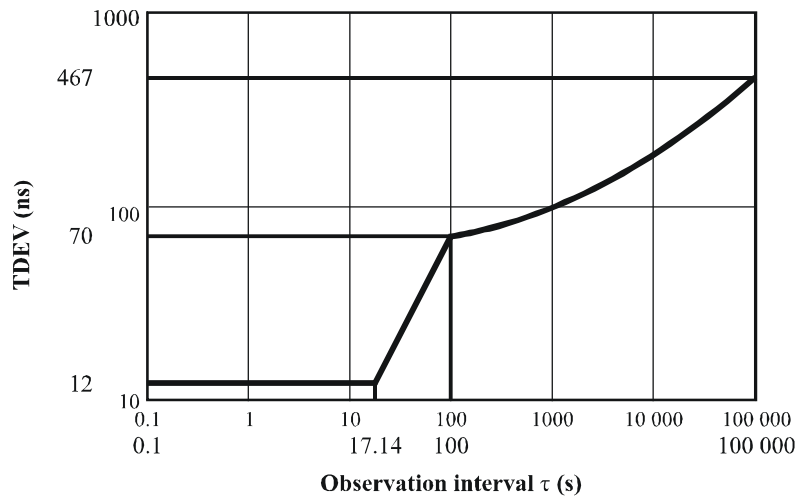


図13 – EEC-オプション1インタフェースでのワンダ(MTIE)
に対するネットワーク制限

EEC オプション1 の出力インタフェースでのワンダに対するネットワーク制限を、時刻偏差(TDEV)に換算し表5に示す。
結果として生じる総合的な仕様を図14に図示する。

表5 – TDEVで表現されたEEC-オプション1インタフェースでの
ワンダに対するネットワーク制限

測定間隔 τ (s)	TDEV要求 (ns)
$0.1 < \tau \leq 17.14$	12
$17.14 < \tau \leq 100$	0.7τ
$100 < \tau \leq 1'000'000$	$58 + 1.2 \tau^{0.5} + 0.0003 \tau$



G.8261-Y.1361(08)_F14

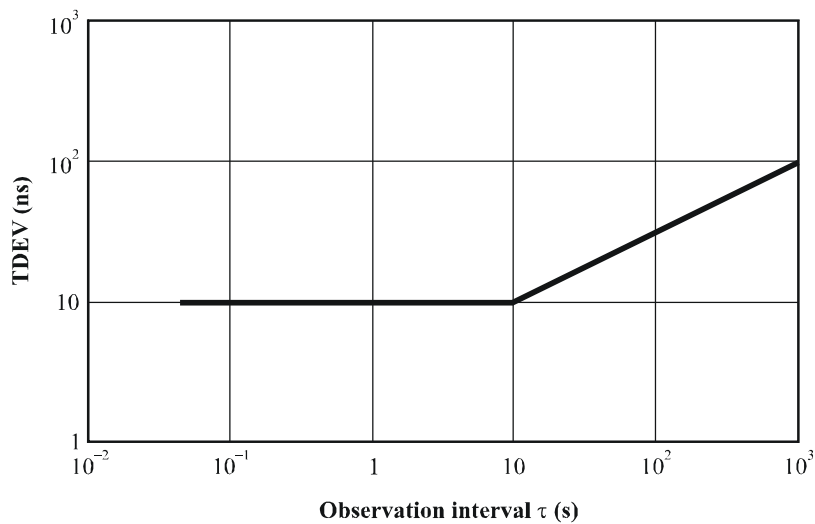
図14 – EEC-オプション1インタフェースでのワンダ(TDEV)に対するネットワーク制限

9.2.1.2 EEC-オプション2 インタフェースネットワークワンダ制限

EEC オプション2 の出力インタフェースでのワンダに対するネットワーク制限を、TDEV で表現したものを表6に示す。結果として生じる総合的な仕様を図15に図示する。

表6 – EECオプション2でのワンダに対するネットワーク制限(TDEV)

測定間隔, τ (s)	TDEV (ns)
$0.05 < \tau \leq 10$	10
$10 < \tau \leq 1000$	$3.1623 \tau^{0.5}$



G.8261-Y.1361(08)_F15

図15 – EECオプション2でのネットワーク制限 (TDEV)

図15のマスクは[ITU-T G.824]の図5よりとっている。このマスクは、オプション2 ネットワークワンダ制限に対して、[ITU-T G.813]の図I.1にもある。

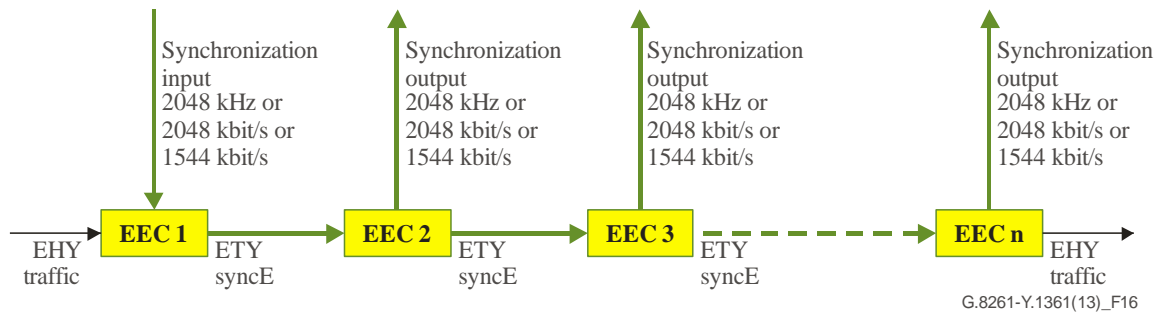


図16 – EECチェーン

9.2.2 PEC インタフェースネットワーク制限

この節では、PEC の出力（図 B.5 参照）でのネットワーク制限を定義する。

この節では、パケットベースの装置クロック（複数の PEC）を伴う PNT セグメント/アイランドに対して 2 つの異なる導入シナリオを提示する。PEC インタフェースに対するジッタ/ワンド制限は、各々のシナリオに対して、この節で定義される。PEC の入力で適用可能なネットワーク制限は[ITU-T G.8261.1]を参照せよ。

9.2.2.1 PEC ネットワーク制限の基礎となるネットワークモデル

参照タイミング信号の伝送に関して、[ITU-T G.803]の図 8-5 のモデルと[ITU-T G.823]の図 B.3 のモデルは、PNT セグメントの挿入を検討する出発点である。

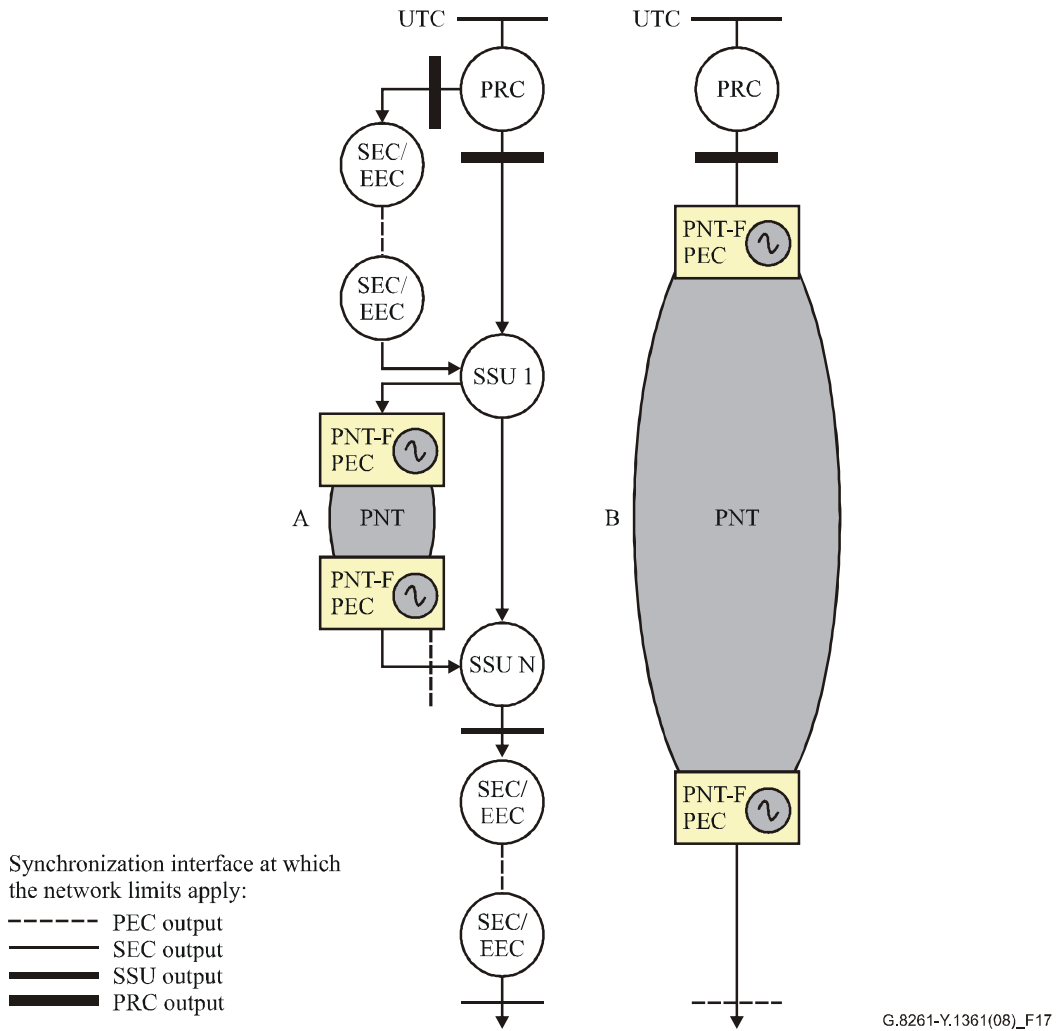
PNT セグメントの場所に依存して、異なるワンド要件が適用される。PNT 導入のモデルがいくつか識別される。これらのモデルをこの節で定義する。

注-この節の図はパケットネットワークでのタイミング配信の方法に関する詳細を示してはいない。さらなる詳細は 7 章を参照のこと。

PNT 導入ケース 1

PNT 導入ケース 1 に関するモデルを図 17 に示す。このケースは、TDM 関連の技術（例えば、SDH や PDH）を使用するかわりにパケットベースのネットワーク技術の上に実装されるマスタースレーブ同期ネットワークに関連する。

左図（モデル A）は、同期ネットワークの一部が PNT セグメントで置換された例を示す。また、右図（モデル B）は、PNT セグメント上に完全に実装された同期ネットワークを表す。



NOTE – The PEC is the PNT-F clock that is relevant in this model. The deployment of other clocks in the network (e.g., deployment of part of the PNT segment based on EEC and part on PEC) is for further study.

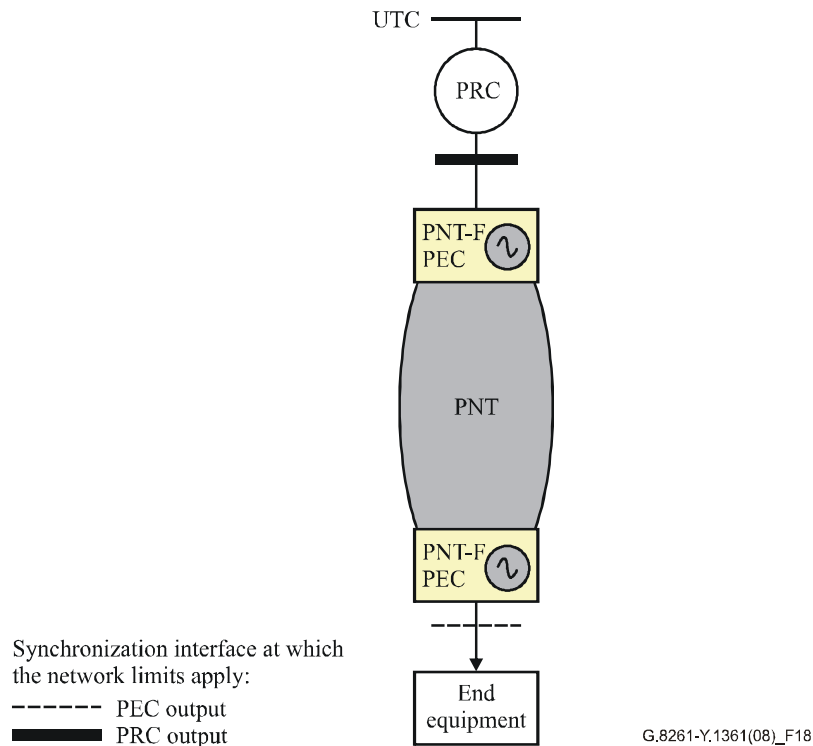
図17 – TDMベースの同期ネットワークの
PNTセグメント置換部 (モデルA) または全て (モデルB)

9.2.1 節 (EEC ネットワーク制限) に定義されるように、ネットワーク制限は、モデル A とモデル B の両方に適用される。

PNT 導入ケース 2

PNT 導入ケース 2 に関するモデルを図 18 に示す。

このケースは、端局アプリケーション (例えば無線基地局装置(BTS)、付録 IV 参照) に向けてタイミングを配信することに関連する。



NOTE – The PEC is the PNT-F clock that is relevant in this model. The deployment of other clocks in the network (e.g., deployment of part of the PNT segment based on EEC and part on PEC) is for further study.

図18 – 端局アプリケーションに向けたPNTタイミング配信

導入ケース 2 では、要求は端局によって設定される。これらは、正しく動作するためにアプリケーションが要求する耐力と精度により表現される。

従って、導入ケース 2 における PNT セグメントは、端局アプリケーションで許容される制限（例えば、[ITU-T G.823]の 5 章や[ITU-T G.824]の 5 章で定義されるようなトラヒックインタフェースに対するネットワーク制限）までジッタやワンダを生成することが許容される。

無線アプリケーションに限定して適用可能なネットワーク制限に関する更なる例は IV.2.3 節に記載する。

10 タイミング配信とサービスクロックリカバリへ影響を及ぼすパケットネットワークの障害

本節では、パケットネットワークにおけるトラヒックとそのタイミング情報に影響を与える様々な障害について議論する。9 節で具体的に述べられているエミュレートされた回線及びリカバリされたクロックへの要求条件が、動作環境下で満たされなければならないことは理解されているものとする。

基本的に、網同期はレイヤ 1 ネットワークにおいてバッファを管理するために必要となる。今日の PDH、SDH や光トランスポートネットワーク (OTN) ネットワークのようなレイヤ 1 のバッファと、その適応機能は単純な構造である。つまり、ネットワークへの流入伝送速度及びネットワークからの流出伝送速度の公称値は、ある特定のネットワーク境界内部で制御されており、これは TDM ネットワークに関連するネットワーキング標準で与えられている。システムクロックに加えて、スタック同期のためのバイトやポイントなどのメカニズムは、バッファの管理と様々なクロックドメインの調節のために用いられる手法である。ネットワーク設計では、伝搬遅延時間を最小化するために、バッファサイズが抑制される。SDH のようなレイヤ 1 ネットワークでは、ネットワーククロックとクライアントからの信号に重畳されたワンダ或いはジッタレベルとの間に直接的な関係がある。

パケットデータネットワークでの伝送において、データは固定ビットレートを持つ連続的なストリームとして運搬されるのではなく、ブロック単位（パケット、フレーム）でネットワーク上を伝送される。パケットは、統計多重され、パケットスイッチを経由して方路決定がなされる。パケットは、パケットスイッチにおける交換処理、バッファリング、そして再送により遅延を受ける。単一スイッチ内では、パケット多重されたストリームは、単一の出力バッファに集中することになる。このことより、バッファに関する論点に、変動する遅延を加える必要性が生じる。パケットはバッファで欠落する場合もある。レイヤ1の伝送リンクで使用されるクロックは、スイッチ内部で用いられるクロックに同期していない可能性もある。パケットベースでの伝送速度、実際の伝送速度の間の違いは、パケット間にパディングを施すこと、或はパケットを破棄することにより吸収される。

パケットは、異なる経路を伝送されるため、入力部から出力部までのパケットストリームは、著しい遅延変動を受ける可能性がある。さらに、パケットの順序逆転が不要なバッファリング処理をもたらす可能性がある。パケットネットワークで運用されるサービスでは、このような弊害を考慮する必要がある。パケットネットワークに対して、大型のバッファにはパケットレベルでの処理が要求される。このような場合、大概のサービスを運用するために必要な同期の精度のみが要求される。

SDHのようなレイヤ1ネットワークと異なり、ネットワーククロックとパケット処理のためのバッファ間に直接的な連携はない。したがって、ネットワークタイミングは、これらのネットワークにおいて、パケットの遅延変動を制御するために使用されない。パケットスイッチ網で要求される網同期は、TDMに関するインタフェースの要求に応じて、一般的にスイッチの物理レイヤのインタフェースに対する同期のための条件を満たすことが要求されるのみである。網同期への要求条件は、SDH/PDHのような特定のネットワーク標準により与えられる。

レイヤ2ネットワークより上位レイヤで搬送されるサービス（IPTV、MPEG-4など）のタイミング要件は、既存のパケットネットワークの多様性を享受するために規定される。どのようなサービスに特有なタイミングも、サービスレイヤ（H.264、MPEG-4など）で符号化される。

しかしながら、パケットネットワークの物理レイヤが同期網（SDHなど）であり、アダプテーションレイヤなどが利用される可能性がある。

殆どの場合で、情報はパケットネットワークを通じて搬送される。つまり、タイミング情報を含まない固有情報である。これは、正確なタイミング情報の伝達を必要とするサービスに対して、ある種の情報の分断となりうる。エンド-to-エンドのサービスにとって、サーバレイヤのタイミング特性は、クライアントの同期要求をサポートする必要がある。伝統的なレイヤ1（PDH、SDH及びOTN）の制御手順において、ネットワーククロックへの適応方法は、クライアント信号のタイミング要求と互換性を持つように具体的に設計される。サーバレイヤがクライアントのタイミングをサポートできない場合には、クライアントのタイミング情報を付与する別の手段が必要となりうる。これは、ネットワークに対するアダプテーションレイヤで実現される。ATM AAL1がその例である。

パケットネットワークでの障害は、適応的手法を用いるサービスクロックの抽出に対して悪影響を及ぼす。本節では、そのような障害の程度と、この障害に対してクロック抽出処理に要求される対障害耐性を述べる。クロック抽出処理は、適切な設計下ではクロック同期を維持する。

The following performance parameters relating to packet network impairments are defined in [ITU-T Y.1540] (for IP networks) and [ITU-T Y.1561] (for MPLS networks). Similar performance measures for Ethernet networks are also defined in [ITU-T Y.1731].

以下のパケットネットワークの障害に関連する性能に関するパラメータは、IPネットワークの場合に[ITU-T Y.1540]で、MPLSネットワークの場合には[ITU-T Y.1561]で定義される。イーサネットネットワークに対する同様の性能に関するパラメータは、また[ITU-T Y.1731]で定義される。

- 1) パケットの伝搬遅延と、遅延変動

- 2) パケットエラーレート
- 3) パケット損失率
- 4) 損失が激しいパケットの部位

10.1 パケットの伝搬遅延と遅延変動

10.1.1 差分法

ネットワークの参照クロックがエンド-エンドで参照可能であり、差分法が使われている場合には、パケットの伝搬遅延と遅延変動はクロック抽出の性能に影響を与えてはならない。

10.1.2 適応法

固定ビットレートのパケットストリームからの適応的なクロック抽出、或いはタイミングデータ抽出は、一般的に宛先ノードでの到着率、或いは到着時刻を計算する何らかの機能により実現される。

パケットネットワーク全体で遅延が一定であるならば、ネットワーク自体は宛先ノードにおけるパケット到着率に何ら悪影響を与えない。ネットワークを通じ、被抽出クロックに遅延による位相ずれが発生しうが、周波数や位相揺らぎはあってはならない。

遅延が変動する場合には、この根源はマスタークロックの位相或いは周波数変動として、クロック抽出過程で認識される可能性がある。したがって、クロック抽出機能の設計では、遅延変動を注意深く検討する必要がある。

パケットネットワークには、いくつかの遅延変動の原因がある。これらは下記を含む。

- ランダムな遅延変動（キューイング遅延など）
- 低周波数遅延変動（昼夜のパターン変動など）
- 系統的な遅延変動（トランスポートレイヤにおけるストア-フォワード処理など）
- ルーティング変更
- 輻輳による影響

10.1.2.1 不規則な遅延変動

不規則な遅延変動は、パケットネットワークにおけるスイッチやルータの振る舞いに起因する。この主たる原因は、出力でのキューイング遅延である。これは、スイッチやルータにパケットが到着した際に、出力ポートが他のトラフィックにブロックされている場合は、そのパケットはキュー内で待機状態となるためである。付録 I に記載されるように、スイッチやルータの内部処理により引き起こされる他の要因もパケット遅延を引き起こす。

スイッチやルータを通過する如何なるパケットの遅延も、的確に予想することは不可能である。しかし、デバイスの負荷状況により、遅延の増加を予測できる可能性はあると考えられる。したがって、ネットワークにおいて、連続するパケット間での遅延とトラフィック負荷に何らかの相関があると考えられる。

10.1.2.2 低周波数遅延変動

以上で述べられたように、パケットネットワークを通じた遅延は、予測不可能であるが、ネットワーク負荷の周期的変動と相関がある。負荷は、動的な量であり、極めて低い周波数成分を含む。例えば、夜間より昼間のトラフィックが極端に多い場合、24 時間周期で変動する負荷成分を含むことになる。

パケットネットワークから抽出されたクロックは、この極めて低い周波数変動と同一周期を持った位相揺らぎを引き起こす。クロックに対する信頼性に関する多くの仕様は、24 時間、或いはそれ以上の周期を持った位相揺らぎに対して耐

性上の制限があるため、クロックリカバリ機構の設計段階においてこの制限を補完する必要がある。

10.1.2.3 規則的な遅延変動

ある種のトランスポートネットワークでは、長期間の規則的なパケット遅延を引き起こす可能性がある。例えば、ある伝送方式では、ウィンドウが開放されるまでパケットを保持するトランスミッションウィンドウやタイムスロットが用いられる。これらの例として、受動素子光アクセスネットワーク(PON)、各種デジタル加入者線(xDSL)や無線アクセスの世界規模の相互接続性(WiMAX)が挙げられる。

トランスミッションウィンドウによる影響は、パケットストリームに小刻みの規則的な変動を与えることである(図 19 参照)。一定速度のパケットストリームに対して(例えば、定ビットレートのパケットストリーム)、トランスミッションウィンドウのサイズは、長期的な遅延変動を引き起こし、パケットレートに影響を及ぼす。これらの影響は、TDM 28 ITU-T 勧告 G.8261/Y.1361 (04/2008) のネットワークにおいて、待ち時間ジッタと同様の影響となる。TDM ネットワークでは、パケットネットワークと異なり、待ち時間ジッタを制御することは可能である。

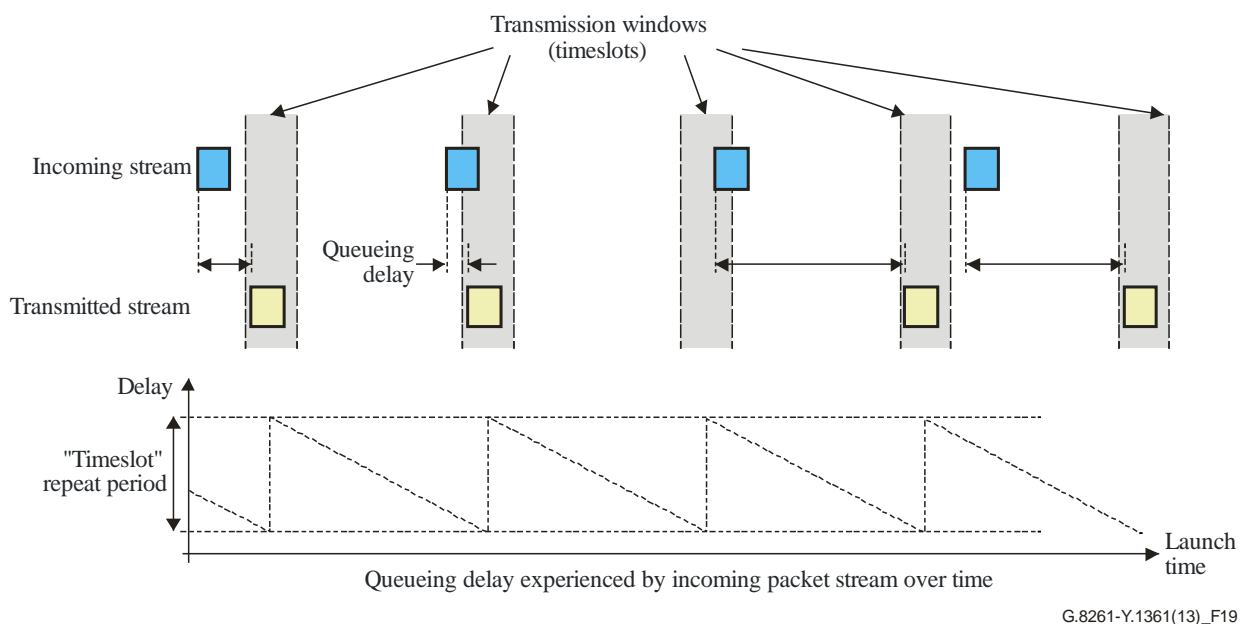


図19- タイムスロットを持つネットワークに起因する規則的な遅延変動

一定速度のパケットストリームが受けるその他の規則的な遅延変動は、他の定速度パケットストリームとのビートである。図 20 は、二つのほぼ同一の周波数をもったパケットストリームが一つのリンクへ、スイッチ或いはルータを介して合流する際に起こる現象を示している。

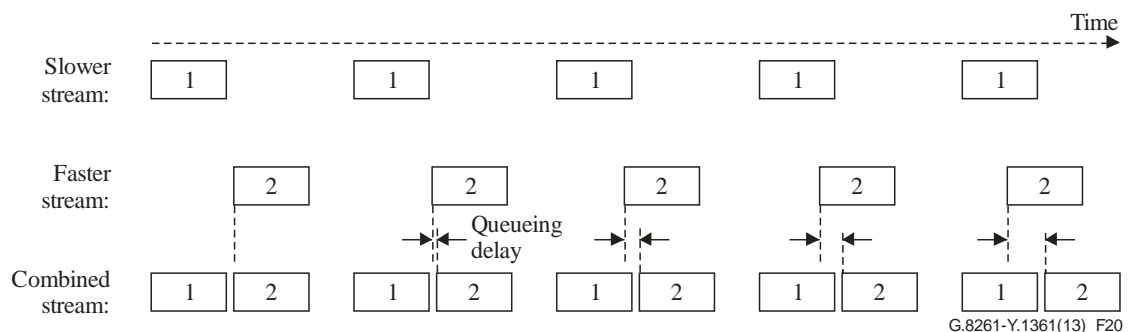


図20- 一定レートのパケット列間のビート

ストリーム 1 の方が低速なストリームであり、しばらくはストリーム 2 よりもストリーム 1 のパケットが先にスイッチ
或いはルータに到着する。しかし、ストリーム 2 のパケットがこれに追従することになる。一度にパケット 1 つのみがパ
ケットリンクへ出力されるため、ストリーム 2 のパケットはキューイング遅延を受け始める(図 21 参照)。この遅延は、
リンク上でのパケット転送時間と等しくなるまで蓄積される。

最終的に、ストリーム 2 のパケットは、ストリーム 1 のパケットよりも早くスイッチ或いはルータに到着し始め、キュー
イング遅延は無くなる。この時点で、ストリーム 1 が代わりにキューイング遅延を受け始める。

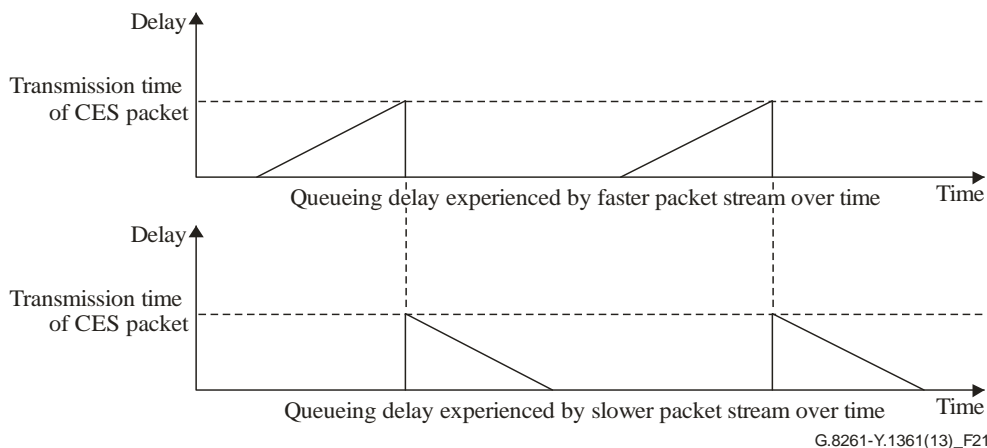


図21 - ビートしたパケット列の影響を受けた遅延特性

パケットストリームがキューイング遅延を受ける時間は（すなわち図 21 の三角形の幅）は、二つのパケットストリーム
間での伝送速度の違いに応じて逆転する。速度がほぼ同一の場合には、キューイング遅延の持続時間は極めて長くなりう
る。この遅延の長期変動は、ゆっくりとした位相揺らぎを引き起こし、二つのうちの片方のパケットストリームからのク
ロック抽出に影響を及ぼす可能性がある。

複数の非同期の定ビットレートストリームが同一パケットリンクを共有する場合には、この影響は累積的となる。複数
のビットストリームが組み合わさった場合に発生するビート周波数は、ストリームの数に応じて小さくなるが、最悪の場
合、正確に重なり合い、キューイング遅延を最大化させる。

10.1.2.4 ルーティングの変更

パケットネットワークを通してパケットストリームが採る経路は、ある瞬間に変化する。これは、ネットワーク障害
（障害・輻輳リンクを迂回するルーティングなど）、代替経路を使用するためのスイッチングプロテクションやネットワ
ークの再配置に起因する。

この影響は、ネットワークを通して、遅延を段階状に変化させる。なんら補償がなされない場合には、クロック抽出に際
して位相変化と認識される可能性がある。このような遅延変化は、クロック抽出過程で検出され、補償されなければなら
ない。一般的に大きな遅延変化は、比較的容易に検出され、補償をすることが可能であるが、小さな遅延変化は、原因が
特定できない漠然とした遅延変動やクロックリカバリ装置の局所発振器のドリフトに埋もれる可能性がある。

10.1.2.5 輻輳による影響

輻輳は、トラフィック負荷の一時的な増加によりネットワーク全体、或いは局所で起こる。これにより、ネットワークは高
負荷状態に陥る可能性があり、パケットは極端な遅延を受け欠落する。輻輳のきっかけとなるイベントは断続的であり、
数秒或いは数分継続する可能性もある。ネットワークで 5 分以上続く重度の輻輳が頻繁に起きる場合、回線エミュレーシ
ョンの運用が適切でない。

10.1.2.6 パケットネットワークにおけるブロッキングのトポロジ依存性

ネットワークトポロジーや、とりわけ、パケットネットワークにおけるフロー同士の相互作用は、パケットフローの遅延に悪影響を及ぼす。これは、異なる大きさの packets が異なる伝送速度でネットワークを横断することに起因する。大きなパケットサイズの packets は、次ホップへの転送処理のためにネットワークエレメントでパケット全体が読み込まれ、ネットワークの導通時間は増大する。CES と タイミング packets は 大概の場合短く、ネットワークを通じた導通時間は短い。

図 22 に示されたような経路トポロジが共有されたネットワークでは、トラフィック総量が少なくても、遅延を増加させる可能性がある。

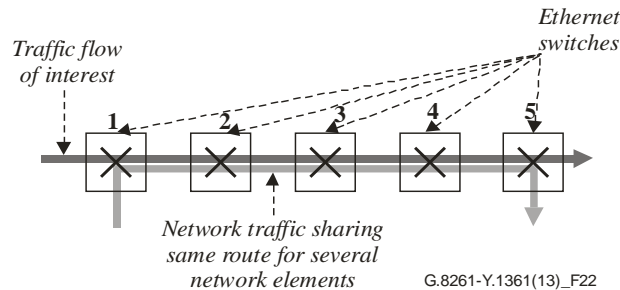


図22 – 共有経路トポロジ

大きなパケットによるフローがパスとして二つ或いはそれ以上の連結したリンクを共有する場合には、短パケットに対して障害となる可能性がある。これは、短パケットはより早くネットワークを導通するために、短パケットの処理が大きなパケットの処理に追いつく状況で起こる。図 23 はこの効果を示す。

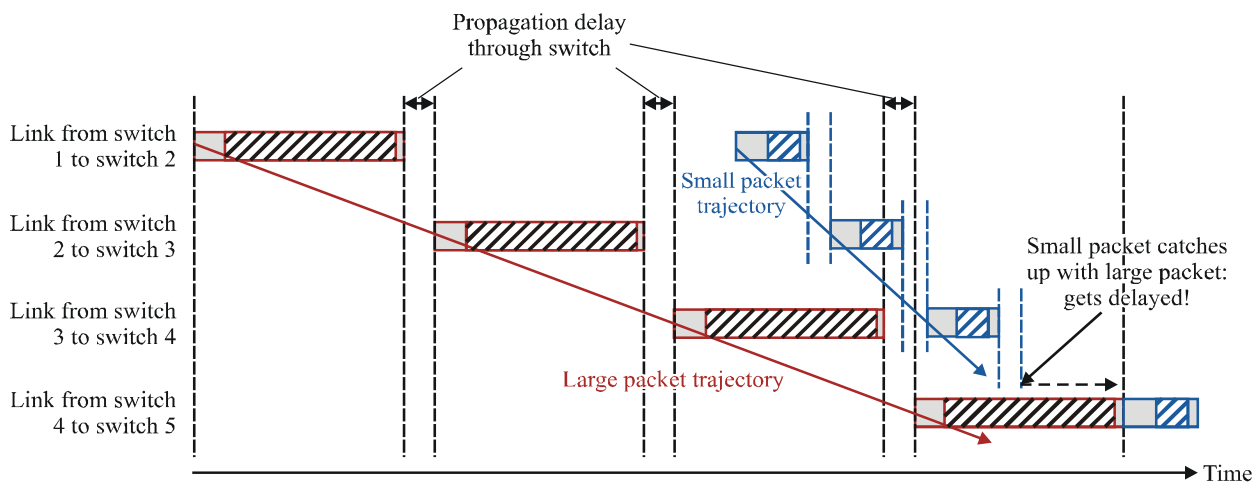


図23 – 共有経路に沿ったラージパケットブロッキング

この効果により、大きなパケットの負荷が極めて大きい場合、短パケットはネットワーク内のノードにおいて遅延を受けうる（これは短パケットの大きなパケットに対する相対的なサイズに依存することを銘記せよ）。この負荷を越えた割合に応じて、ネットワークを通じた短パケットの最小遅延は増加する。

10.2 パケット障害による影響

10.2.1 パケットエラーとパケット損失

パケットネットワーク内での障害は、伝送パス内部の異なる 3 つの要素に影響を及ぼす。これらは、IWF クロック抽出処

理（これは検出できない可能性があることを銘記せよ）、サービスクロックの抽出と TDM サービスである。パケット損失、パケットの順序逆転に果たされる制約条件やこれらがサービスおよびクロック抽出処理へ与える影響は更なる研究が必要となる。

信頼性に関する問題を議論するための部分は、以降のサブクラスに与えられる。

本勧告で与えられる如何なる手法に対しても、パケットロスとパケットの順序逆転は IWF のクロック抽出性能に深刻な悪影響を与えない。具体的には、TDM のトランスポートサービスが使用できる限り、パケット損失（一様の或いは突発的）やパケットの順序逆転の影響は IWF のクロック抽出性能に対して無視可能である。

10.2.1.1 TDM サービスへの影響

パケットネットワーク上で運用される TDM 回線は、パケットロスにより生ずるビットエラーに対して極めて脆弱である。この理由のひとつとして、ビットエラーは、パケットの伝送により拡大するためである。パケット内部の 1 つのビットエラーは、そのパケット全体が破棄される事態を引き起こし、パケット伝送方式から復元された TDM ストリームにおいてビットエラーを突発させる。したがって、比較的低いパケットロス（従来のパケットネットワークの観点から）により、TDM 回線が利用できなくなることもありうる。

注—TDM 回線の脆弱性は、主に特定の IWF の特性に依存する。ある IWF は、パケット損失からアプリケーションを保護するために、複数の異なるパケット損失隠蔽技術を採用している可能性がある。

10.2.1.2 IWF クロックリカバリ処理に対する影響

IWF のクロック抽出は、パケットとクロック抽出アルゴリズム、使用される内部クロックとタイミング抽出手法との連携により行われる。IWF のクロック抽出処理は、パケットネットワークの負荷とネットワーク負化を抑えるために使用されるアルゴリズム、IWF の内部クロックと使用されるタイミング抽出方法の組み合わせとなる。

注—IWF のクロック抽出とサービスクロックの抽出を可能にするために、パケットロスと順序逆転に関して、何らかの制約条件が必要となる。この条件は、起こりうる全てのパケット損失を特徴づけられなければならない。このような制約条件の具体化には、更なる研究が必要となる。

10.2.1.3 サービスクロックリカバリへの影響

サービスクロックの抽出処理に関して、クロック抽出は TDM 回線自体で損失するデータ損失よりもさらに多いパケット損失に対応できなければならない。これは、仕様の範囲内で、データが利用できないことが周知となる状況になるまで、サービスクロックは抽出可能である必要があることに相当する。IWF のクロック抽出は、サービスクロックの抽出性能に直接影響を与える。

10.2.2 パケットの著しい損失箇所による影響

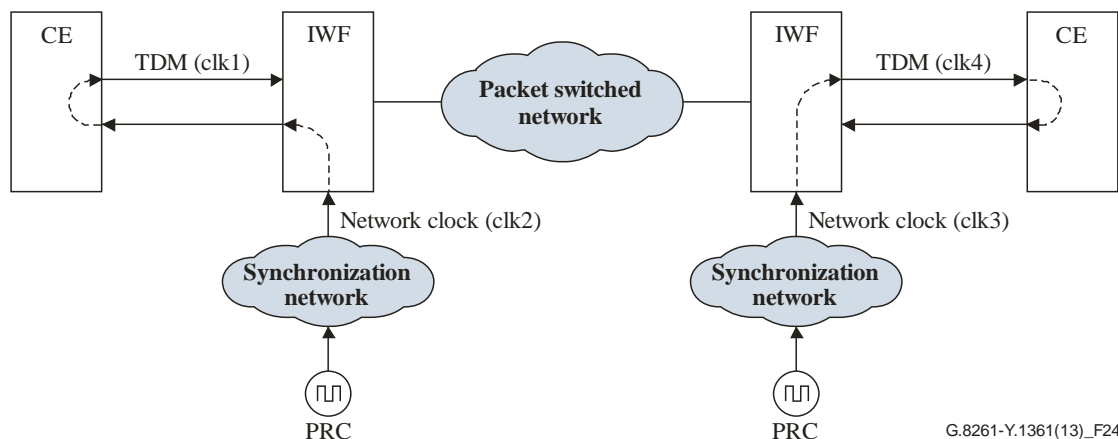
[ITU-T Y.1540]及び[ITU-T Y.1561]はパケットの入力インタフェースで、時間間隔 T で観測されるあるパケットのブロックに対し、その合計数に対する損失パケット数の割合がある閾値を超えることとして著しいブロック損失と定義している。同様の効果はイーサネットネットワークでも期待される。

10.2.1 節で議論されたように、これらの障害の間、タイミング抽出機構は全てのパケット損失に対して対処できなければならない。この課題は、今後の検討課題である。

11 サービスクロックのリカバリに対する基準クロック劣化の影響

11.1 ネットワーク同期動作方式の劣化

パケットネットワークを通じた TDM 信号の伝送に関するクロックを図 24 に示す。



The two PRCs may also originate from the same source.

図24 – ネットワーク同期動作におけるパケットネットワークを通じた
TDM信号とクロックの関係

クロックは以下のとおり

- TDM信号を生成するクロック (図中のclk1)
- 左側に位置するIWFでの非パケット化に用いられるネットワーク基準クロック (図中のclk2)
- 右側に位置するIWFでの非パケット化に用いられるネットワーク基準クロック (図中のclk3)
- パケットネットワーク後でTDM信号を生成するクロック (図中のclk4の図)

clk1 は図 24 に示すようなループタイミング、又は他の方法で PRC にさかのぼり得る必要がある。 そうしなければ、抽出値 (clk3 の数値) におけるネットワーククロックとの関連付けに重大な問題を引き起す。

出力 TDM 信号で正しいタイミングを得るために、クロック (clk1) を生成し、TDM 信号の再同期 (clk4) は同じ長期周波数 (または PRC 制限内) を持たなければならない。 さもなければ、生成されたスリップ率は許容できない。(短期ノイズは有効範囲内に保持されるべきである)

通常運用において、TDM ソース (clk1) のネットワーク基準クロックと抽出値のネットワーク基準クロックは、共に PRC にさかのぼる参照タイミング信号に固定される。 しかし、同期ネットワークの障害状態の間でこれらのクロックは、ホールドオーバーモードの中で運用されるクロックにさかのぼる参照タイミング信号に固定されるかもしれない。 障害状態の間においても、これらのクロックは、[ITU-TG.822]に示すスリップ性能目標に基づく適切なホールドオーバーを提供することとする。

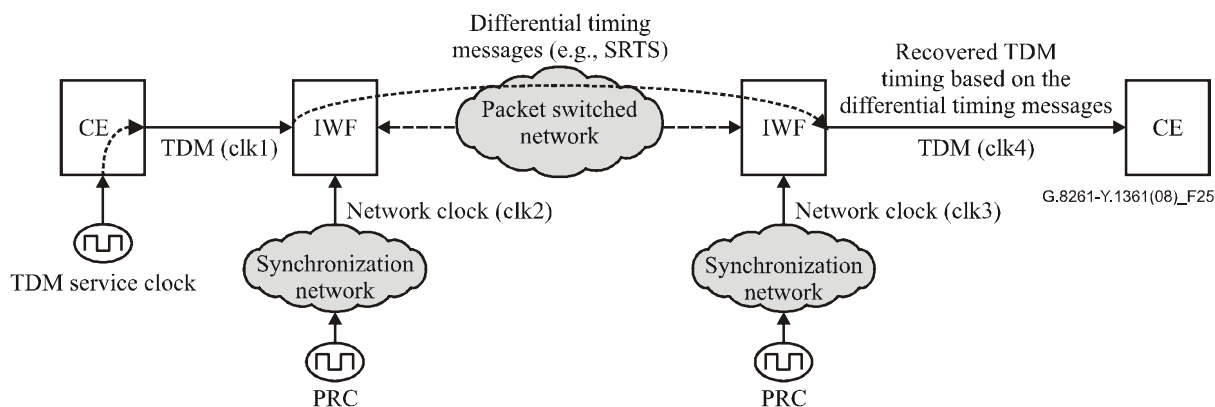
同期ネットワークでの障害の間、このホールドオーバー機能を提供するクロックは、機器自身での供給又は供給可能なサイト (送信ネットワーク要素またはスタンドアロンの同期装置(SASE)に統合された) において供給可能かもしれない。 最も適切なネットワークを提供することはネットワーク設計者の責務である。

要約すると、ネットワーク同期モードの動作は IWF 中の正確なクロックの導入、又は同期損失の場合にネットワーククロック (PRC) から別の適当なクロックに切り換えることが可能なシステムのどちらかを必要とする。

同期損失の期間を検出するために、追跡性の何らかの管理は必要である。(例えば SSM)

11.2 差分法による劣化

パケットネットワークを通した TDM 信号の伝送に関わるクロックを図 25 に示す。



The two PRCs may also originate from the same source.

図25 – 差分法に対するパケットネットワークを通した
TDM信号の伝送に関わるクロック

ここで以下のとおりになる。

- TDM信号、PDHまたはSDHを生成するクロック（図中のclk1）
ほとんどの信号が現在同期であることが考えれるが、本クロックは旧同期かもしれない。
- タイミングメッセージの差分生成に用いられるネットワーククロック（図中のclk2）
- タイミングメッセージの差分に基づくTDMクロック（図中のclk4）を再生するために用いられるネットワーククロック（図中のclk3）

これらのクロック上のどのような位相雑音でも TDM 信号出力時の位相雑音を引き起こす。

TDM 信号出力で正しいタイミングを取得するために生成した（すなわち clk1）と、TDM 信号の再同期クロック（すなわち clk4）は同じ長期周波数（または PRC 範囲内）を持たなければならない。さもなければ、生成されたスリップ率は許容できない。（短周期ノイズは有効範囲内に保持されるべきである）

通常運用において、差分タイミングメッセージを生成し、TDMクロックを再生するネットワーククロック（clk2 と clk3）は PRC に遡れる参照タイミング信号にロックされる。しかし、同期ネットワークでの障害状態の間に、これらのクロックはホールドオーバーモードで動作するクロックに遡れる参照タイミング信号にロックされるであろう。障害状態の間においても、これらのクロックは[ITU-T G. 822]に示すスリップ性能目標に基づく適切なホールドオーバを提供することとする。

同期ネットワーク中の転送機能障害間でこのホールドオーバー機能を供給するクロックは、IWF 自身での供給又は供給可能なサイト（例えば、送信ネットワーク要素中または SASE）において供給可能かもしれない。最も適切な解を提供することはネットワーク設計者の責務である。

同期損失の期間を検出するために、追跡性の何らかの管理は必要である。（例えば SSM）

12 パケットネットワーク参照モデルにおける異なる同期方法での結果と結論

同期参照を分配する方法（PNT ドメイン）と TDM サービス（CES ドメイン）のタイミングを回復する方法に関する勧告は、特定のアプリケーションに関連するネットワークシナリオや同期要件により異なる。

12.1 CES ドメインの勧告

以下のシナリオはこの勧告（9.1 節のネットワークモデル参照）の範囲中で規定されている。

12.1.1 TDM サービスのタイミング回復のための勧告（導入ケース 1）

この PDH 信号に対するネットワーク制限は導入ケース 1 として第 9.1 において定義される。

パケットネットワーク上で転送される PDH の信号のタイミング回復は以下の手段により実行される。

- PRCに遡る信号がIWFで入手可能で、それがサービスクロックを守るために必要とされていない時に、ネットワーク同期が動作する。
- PRCに遡る参照がIWFで入手可能な差分法。この方法によって、サービスクロックを守ることが可能となる。
- ネットワーク中の遅延変動が制御可能な適応法。この方法によって、サービスクロックを守ることが可能となる。

注 – これらのシナリオで、ネットワーク制限は厳密に規定される。しかし、ネットワークがモデルA（少なくとも付録Vに見られるシナリオ2、シナリオ3）に従ってモデル化される場合、適応法は9.1節で定義されるようなネットワーク制限に準拠することを許容することが仮定される。

適応法がモデルB（付録V参照）に従ってモデル化されたネットワークに使用できるかどうかは、今後の検討課題とする。

このシナリオ中の SDH 信号伝送は今後の検討課題とする。2048 kbit/s 階層に基づくネットワーク [ITU-T G.823] と 1544 kbit/s 階層に基づくネットワーク [ITU-T G.824] に応じた同期インタフェースに従った SDH 信号のためのクロック回復が果たすべき品質レベルに注目するべきである。ネットワーク同期動作をサポートするために 7.1 節中で説明されるような方法の使用は、これらの要件が満たされることを保証できる。

12.1.2 TDM サービスのタイミング回復のための勧告（導入ケース 3）

この場合の PDH 信号のためのネットワーク制限は 9.1 節のケース 3 で定義される。パケットネットワークの上で伝送される PDH 信号のタイミング回復は以下の手段により実行される：

- PRCに遡る信号がIWFsで入手可能で、それがサービスクロックを守るために必要とされていない時にネットワーク同期が動作する。
- PRCに遡る参照がIWFで入手可能な差分法。この方法によって、サービスクロックを守ることが可能となる。
- ネットワーク中の遅延変動が制御可能な適応法。この方法によって、サービスクロックを守ることが可能となる。

注 – これらのシナリオで、ネットワーク制限は12.1.1節のシナリオにて一部に規定される。適応法は9.1節での定義が準拠されたネットワーク制限で許可され、ネットワークがモデルAと一致する場合に仮定される。

適応法がモデルBに従い作成されネットワークを使用する場合は、今後の検討課題とする。

このシナリオ中の SDH 信号伝送は今後の検討課題とする。2048 kbit/s 階層に基づくネットワーク [ITU-T G.823] と 1544 kbit/s 階層に基づくネットワーク [ITU-T G.824] に応じた同期インタフェースに従った SDH 信号のためのクロック回復が果たすべき品質レベルに注目するべきである。ネットワーク同期動作をサポートするために 7.1 節中で説明されるような方法の使用は、これらの要件が満たされることを保証できる。

12.1.3 TDM サービスのタイミング回復のための勧告（導入ケース 2 アプリケーション A）

この場合の PDH 信号のためのネットワーク制限は 9.1 節中の導入ケース 2 アプリケーション A で定義される。

この場合にパケットネットワークの上で伝送される PDH 信号のタイミング回復は以下の手段により実行される：

- PRCにさかのぼることができる信号が複数のIWFで入手可能で、それがサービスクロックを守るために必要とされていない時に、ネットワーク同期が動作する。
- PRCにさかのぼることができるリファレンスがIWFで入手可能な差分法。この方法によって、サービスクロックを守ることが可能となる。
- ネットワーク中の遅延変動が制御可能な適応法。この方法によって、サービスクロックを守ることが可能となる。

注 - これらのシナリオで、ネットワーク制限は12.1.1節のシナリオにて一部に規定される。適応法は9.1節での定義が準拠されたネットワーク制限で許可され、ネットワークがモデルAと一致する場合に仮定される。

適応法がモデルBに従い作成されネットワークに使用する場合は、今後の検討課題とする。

このシナリオ中の SDH 信号伝送は今後の検討課題とする。 2048 kbit/s 階層に基づくネットワーク [ITU-T G.823] と 1544 kbit/s 階層に基づくネットワーク [ITU-T G.824] に応じた同期インタフェースに従った SDH 信号のためのクロック回復が果たすべき品質レベルに注目すべきである。ネットワーク同期動作をサポートするために 7.1 節中で説明されるような方法の使用は、これらの要件が満たされることを保証できる。

12.1.4 TDM サービスのタイミング回復のための勧告（導入ケース 2 アプリケーション B）

この場合の PDH 信号のためのネットワーク制限は 9.1 節中の導入ケース 2 アプリケーション A で定義される。この場合にパケットネットワークの上で伝送される PDH 信号のタイミング回復は以下の手段により実行される：

- PRCにさかのぼることができる信号が複数のIWFで入手可能で、それがサービスクロックを守るために必要とされていない時に、ネットワーク同期が動作する。
- PRCにさかのぼることができるリファレンスがIWFで入手可能な差分法。この方法によって、サービスクロックを守ることが可能となる。
- ネットワーク中の遅延変動が制御可能な適応法。この方法によって、サービスクロックを守ることが可能となる。

注 - これらのシナリオでネットワーク制限は、通常 [ITU-T G.823] と [ITU-T G.824] トラフィックインタフェース限界を許容することができる終端機器の特徴に依存しています。ネットワークがモデルAに従ってモデル化できる場合に、適応法は適切に [ITU-T G.823] または [ITU-T G.824] に準拠することを許容すべきであることが仮定される。

適応法がモデルBに従ってモデル化されるネットワークにおいて用いられる場合に関しては今後の検討課題である。

このシナリオ中の SDH 信号伝送は今後の検討課題とする。 2048 kbit/s 階層に基づくネットワーク [ITU-T G.823] と 1544 kbit/s 階層に基づくネットワーク [ITU-T G.824] に応じた同期インタフェースに従った SDH 信号のためのクロック回復が果たすべき品質レベルに注目すべきである。ネットワーク同期動作をサポートするために 7.1 節中で説明されるような方法の使用は、これらの要件が満たされることを保証できる。

12.2 PNT ドメイン要件

下記のシナリオが（第 9.2 節におけるネットワークモデルを参照する）本勧告の範囲として確認される。

12.2.1 同期イーサネットの上の参照タイミング信号分配のための勧告

この場合におけるリファレンスタイミング信号に対するネットワーク制限は第 9.2 節に置いて定義される。

7.1.1 節で説明された同期イーサネットなどのレイヤ 1 技術を使用した物理層の上の同期ネットワークの導入はどのようなパケットベースストレスも受けない同期伝送方法を提供する。(すなわち、パケット遅延変化に依存しない)

9.2 節で定義されたネットワーク制限は、同期ネットワークの設計が SDH に基づく同期ネットワークに対して既に定義されているものと同じ設計思想に従っていれば、満たされる。つまり、EEC [ITU-T G.8262]が SEC に代える[ITU-T G.803]の図 8-1 と 8-2 の同期ネットワーク参照点接続に準拠する。特に、このモデルに基づく、最長同期ネットワーク参照点接続は 10SSUs と 60EECs (オプション 1) を超えるべきではなく、そして任意の 2 点の SSUs 間における EECs の数も 20 を超えるべきではない。

注1- 「オプション2」のクロックに対する値は今後の検討課題である。

注2- そのような技術の利用は、プライマリ・リファレンス・クロックと同期化されるネットワーク装置 (例えば基地局) 間の同期接続する全てのネットワーク装置は同期イーサネットをサポートする。

レイヤ1の同期信号分配が1つのネットワークオペレータドメイン内で可能であることを注意する。異なるネットワークオペレータドメイン間の相互運用は今後の検討課題である。

12.2.2 パケット上のリファレンスタイミング信号分配の対する要件

[ITU-T G.8265]は、パケットベースの手法を用いる周波数分配の一般的なアーキテクチャを記述する。

パケットベース方法は適応的なクロック回復法に基づく、従って性能はネットワーク中のパケット遅延変動によって一般的な影響を与えられる (10 章参照)

そのため、このような技術を使う時にはパケットネットワーク劣化を最小にするチャネルでタイミングフローが伝送される、良く設計されたネットワーク上でタイミング伝送することが望ましい。このプロセスの一部はそのような伝送に最も高いプライオリティを割り当てることかもしれない。

伝送の共有された性質は、タイミングに関する優先度に依らず互いに干渉することを暗に意味することに注意すべきである。

何が伝送タイミングのよりよいネットワーク設計の構成かは現在研究段階である。特に、この研究の一部の項目でいくつかの測定基準が考慮されている。これらはパケット遅延とパケット遅延変動の両方に基づくこととする。

注1 - この勧告において使われた用語パケット遅延とパケット遅延変動(PDV)は[ITU-T G.8260]において規定された定義に基づく

端装置で実装する発信器の特徴は達成できる性能でのキ項目となる。従って、発振器の特徴は、回復タイミング信号によって実現される要件とネットワークにおける発生した雑音のレベル (パケット遅延変動) に依存することとなる。

パケットベース方法のクロック回復機能を実装したこのクロック仕様はこの勧告の範囲の外である。

実際のパケット構造はパケットベース方法での性能にまったく影響を与えない。タイム・スタンプ・データフォーマットでの適切な長さとは基本特性は使われるであろう。(PTPとNTPはタイム・スタンプフォーマットの2つの例である)

注2- パケット遅延変動から影響を減らすためにパケットネットワークでのノードのサポートに関する方法 (例えばパケットネットワーク中の各ホップにより追加されるパケット遅延変動を測定する方法)は研究段階にある。(例えば[b-IEEE 1588]テレコムプロファイル研究の一部) アーキテクチャ上、スケーラビリティ、クロック必要条件などは、研究段階である。

注3- 同期パスに関係するネットワーク機器のいくつかのハードウェアサポートを実施するために、このタイプの手法は示している。

12.2.2.1 導入ケース 1 に対する要件

この場合、リファレンスタイミング信号でのネットワーク制限は 9.2.2 節導入ケース 1 で定義される。

この場合の要件は、ネットワーク中で発生する非常に低いレベルのノイズ（ジッタ、ワンド）という用語で表現される。

この場合に、パケットベース方法はタイミング回復アルゴリズムによって選ばれたパケットネットワークによって発生するパケット遅延変動の低レベルの場合だけに適するかもしれない。

クロックの特徴、測定基準、ネットワーク制限下での導入ケース 1 に関連する制限は現在検討中である。

12.2.2.2 導入ケース 2 に対する要件

この場合、リファレンスタイミング信号でのネットワーク制限は第 9.2.2 節において導入ケース 2 に対して定義される。

この場合、生成されるノイズのレベルは最終的なアプリケーションの耐力に依存する。

例として、最終的なアプリケーションによって許容される典型的なワンドは [ITU-T G.823] と [ITU-T G.824] のトラフィックマスクという例として、最終的なアプリケーションによって許容される典型的なワンドは [ITU-T G.823] と [ITU-T G.824] のトラフィックマスクという用語で表現される。[ITU-T G.8261.1] は、パケットネットワークがパケットベース方法をサポートするのに適する条件を定義し、[ITU-T G.8263] は関連するクロック特性を仕様化する。

詳細は付録 III で提供する。

付属資料 A

同期イーサネットのための提案されたネットワークアーキテクチャ

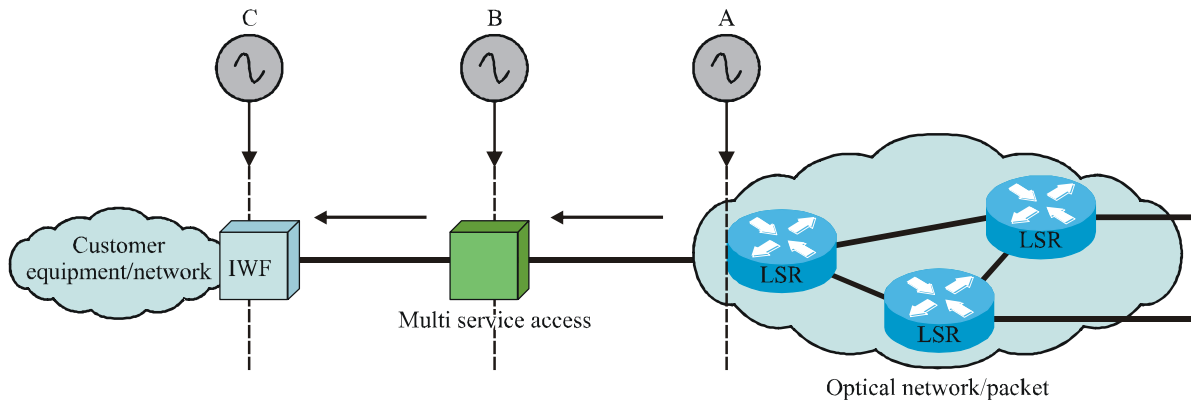
(この付属資料は本勧告の必須な部分を構成する)

A.1 PRC の配置

典型的な同期イーサネットのアーキテクチャでは、ネットワーク事業者が従事したいと望む全体構成に依存した 3 つの位置のいずれかに配置された PRC を有するであろう。これらは、3 つの一般的な配置にまとめることができる。

図 A.1 を参照のこと。

- **Case A コア配置**—PRCは、コアノードに配置されるだろう。図A.1の”A”配置を参照されたい。このアーキテクチャは、いくつかのPRCノード、すなわち、IWFへ何らかの配信形態を有する中央に配置されたノード、を示唆している。
- **Case B アクセス配置**—PRCは、典型的にマルチサービスアクセスポイントであるネットワーク内の更なる後段(地理的にIWFと分離)のある地点に配置されるだろう。図A.1の地点”B”を参照。図A.1の”B”配置を参照されたい。このアーキテクチャは、ケースAに要求されるよりも、すなわち、PRCが中央に配置されIWFへ何らかの配信形態を有する場合にPRCノードの数が増えることを示唆している。
- **Case C IWF配置**—PRCは、地理的にIWFと一緒に配置され、IWFに直接同期の接続を持つであろう。図A.1の”C”配置を参照されたい。このアーキテクチャは、沢山のPRCノード、すなわち、1 IWFあたり 1 PRC、が必要であることを示唆している。



G.8261-Y.1361(08)_FA.1

図A.1— 参照クロックの配置

上図に記載のように、同期の流れはコアネットワーク側から IWF に提供される。タイミングが顧客機器 (CE) からコアネットワークに向けて配信することは意図していない。

A.2 同期イーサネットのジッタとワンダの制限

広域エリアネットワークの環境において、同期イーサネットソリューションのジッタとワンダの生成を制限することは、ネットワークの制限を満たすために必要である。

同期イーサネットをサポートするイーサネットスイッチ内の同期機能は、組み込まれたクロックのパフォーマンス特性に基づくべきである。このようなクロックは、クロックが他の同じような同期イーサネットクロックまたはより高い品質のクロックから同期されている場合、適切なネットワークオペレーションが発生したことを保証するために、[ITU-T G.8262]に準拠するべきである。同期イーサネットソリューションが[ITU-T G.812]の SSU または SASE と、[ITU-T G.811]の PRC をマスタースレーブ同期モードに指定して組み合わせた場合、このようなネットワーク・クロックを使用すること

は、同期インタワーキングの準拠を保証する。また、既存の TDM ネットワークと新規のパケットネットワークアーキテクチャとの間のインタワーキングを可能とする。

この働きは、周波数許容範囲など向けの既存の[IEEE802.3]仕様に影響を与えないが、新しく追加されたネットワーク要素のクロック機能を参照することにも、留意すべきである。

A.3 同期イーサネットをベースとした同期ネットワークの設計に関する考察

同期ネットワークの適切な設計は、参照タイミング信号が適切な品質と信頼性に従って分配されることを保証するための基本的な必要条件である。

これは、同期ネットワークが同期イーサネットに基づくものであっても適用可能である。

具体的には、同期イーサネットに基づく同期ネットワークのアーキテクチャは、SDH に基づく同期ネットワークよりも複雑であるかもしれないので（例えば、メッシュ構造に原因があったり、同期イーサネットをサポートしていない機器の潜在的な設置に原因があったりする）、同期の計画活動は一層重要である。

特に、設計においては、同期に関与するすべてのネットワーク要素を分析すべきである。

これらには、EEC、または、（2ポートデバイスなどのいくつかの単純なネットワーク要素の場合）最低限、SDH 再生器にて行ったのと同様の方法でスルータイミング機能を実装すべきである。

同期イーサネット機器に向けたスルータイミング機能は、今後の検討課題である。

注1—同期チェーンの末端に配置された機器に実装されたクロックの特性は、その機器内に実装された特定のアプリケーションに依存する。これらのクロックの特性は EEC 仕様から外れるかもしれない。これは今後の検討課題である。

もう一つの重要な考慮すべき側面は、同期チェーンの SSM の適切な取り扱いに関連している。

同期ステータス・メッセージは、PRC または利用できる最高品質のクロックへの同期配信機構のトレーサビリティを決定するために、同期ステータス・メッセージは、メカニズムを下流の EEC に提供する。同期機能は、SSM を処理する。アップストリームネットワークが故障した条件下では、同期機能は、SSM と予め設定された優先度に基づいて適切な行動を取り、代替の同期供給機能を選択する。これは、別のネットワークの同期供給機能または外部の同期供給機能であってもよい。

同期イーサネット・ネットワークにおける SSM の主な役割は、SDH ネットワークの場合と同様に、適切に障害状況に対処するために、同期ネットワークの設計においてサポートされなければならない。

注2—SSMはタイミング・ループの防止に役立たせることが可能であるが、それでも適切な計画がタイミングループを回避するために必須となる。

同期イーサネットネットワークの SSM は、リンクが同期イーサネットをサポートしていない機器（またはリンク）（それは、例えば、同期の列に誤って挿入され得る）から配信されているかどうかを検出できないかもしれない。既に述べたように、これは、適切な同期ネットワークデザインを通して防止しなければならない。

将来のより高度な SSM 機能の定義（例えば、完全な同期パスの情報の伝送）は、重要な利点を提供することができるかもしれない。

同期ネットワークをデザインする場合、SSM はタイミングフロー（例えば、ホールドオーバ状態に入っている内部クロックに起因する）を変更することができるすべてのネットワーク要素で処理されることを提供されるべきである。

また、タイミングは良い品質で配信されていることを避ける必要があるが、SSM がサポートされていない。

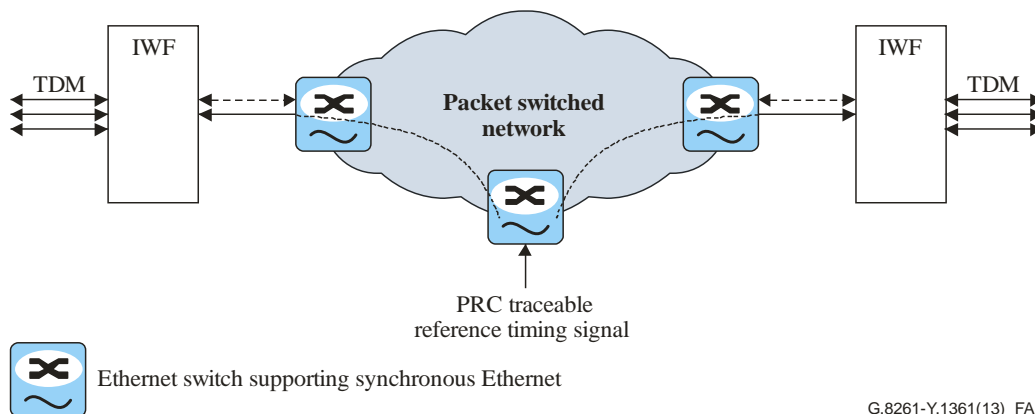
基準タイミング信号の受信装置における選択プロセスは、到着する SSM を使用するあるいはしないように構成することができる。

同期イーサネットに対するSSMの更なる詳細は [ITU-T G.8264]に提供されている。

注3—SSMに加え、[b-ITU-T G.781]では、タイミング基準を不適格と判定することに用いることができるかもしれない信号の損失など、他の劣化を示している。

A.4 同期イーサネットを介したタイミング配信の例

図A.2は、同期イーサネット経由でのタイミング配信の例を示している。タイミングは、パケット交換ネットワークを介してPRCからIWFに配信される。



G.8261-Y.1361(13)_FA.2

図A.2 – 同期イーサネットを介してのタイミング配信の例

A.5 イーサネットと同期イーサネットのインタフェースのインタワーキング

A.5.1 インタフェース・タイプとオペレーション・モードの定義

[IEEE802]に応じたイーサネットのインタフェースは、非同期である。同期イーサネットの導入により、異なる同期に関連したオペレーション・モードとともに、異なるイーサネット・ポートタイプを区別する必要がある。

以下のモードが定義される（[ITU-T G.8264]参照）：

- 非同期オペレーション・モード
- 同期オペレーション・モード

同期イーサネット・インタフェースの初期のモードは、非同期オペレーション・モードである。表A.1を参照されたい。

表A.1 – インタフェース・タイプとオペレーション・モードの定義

Interface type	Operation mode	QL process	ESMC process
Ethernet	Non-synchronous mode	No	No
Synchronous Ethernet	Non-synchronous mode	No	No
	Synchronous mode (QL-enabled mode)	Active, all values	Yes
	Synchronous mode (QL-disabled mode)	Inactive	Optional

同期イーサネットポートがタイミングの送信及び受信の両方が可能であることに加えて、機能限定された同期イーサネットを提供するポートを考慮することができる。機能限定された同期イーサネットとは、単一の方向のみにおいて同期をサポートする能力を意味する。機能限定された同期イーサネット・インタフェースには2つの有効なタイプが存在する。

- 1) 同期イーサネット送信専用ポート。このようなポートは、すべての同期イーサネットの送信機能（すなわち、同期メッセージングチャンネル(ESMC)を通じた品質レベル(QL)メッセージの送信や、イーサネット回線を経由した物理的なEECクロックの送信) を実行する。
- 2) 同期イーサネット受信専用ポート。このようなポートは、すべての同期イーサネットの送信機能（すなわち、ESMCを通じたQLメッセージの受信と処理や、物理的なイーサネット回線クロックの回復と同期候補としての提供) を実行する。

機能限定された同期イーサネットを備えたノードの使用については、同期ネットワークの計画において注意深く検討されなければならない。このようなノードは、同期チェーンの末端に使用されることが期待される。

表A.1a—QL許可時における同期イーサネットの限定された機能

Interface type	Operation mode	QL process	ESMC process
Synchronous Ethernet reduced functionality (QL enabled)	Synchronous mode (Tx only)	Active (Tx side only)	Tx side: Yes Rx side: Optional
	Synchronous mode (Rx only)	Active (Rx side only)	Rx side: Yes Tx side: Optional

表A.1b—QL不許可時における同期イーサネットの限定された機能

Interface type	Operation mode	QL process	ESMC process
Synchronous Ethernet reduced functionality (QL disabled)	Synchronous mode (Tx only)	Inactive	Optional
	Synchronous mode (Rx only)	Inactive	Optional

A.5.2 インタワーキングの要件

表 A.2 は、異なるインタフェース・タイプとオペレーション・モード間のネットワーク間要件を示している。任意の組み合わせも、イーサネットトラフィックの適切な伝送を可能とする必要がある。ネットワーク同期のために同期イーサネットを使用するには、同期パス内で必要とされる各同期リンクの両端において、同期モードにおける同期イーサネットポートが要求される。

表A.2—同期イーサネットとイーサネットポート間のインタワーキング

Interface type		Traffic interworking with			Network synchronization interworking with		
		Ethernet	Synchronous Ethernet port		Ethernet	Synchronous Ethernet port	
		Operation mode	Non-synchronous mode	Synchronous mode	Non-synchronous mode	Synchronous mode	
Ethernet	Non-synchronous mode	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Synchronous Ethernet	Non-synchronous mode	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Synchronous Ethernet	Synchronous mode	✓	✓	✓	✗	✗	✓
✓ Interworking is possible ✗ Interworking is not possible							

A.5.3 周波数インタワーキング

イーサネットは、最大周波数オフセット±100ppm で動作する。

同期モードでの同期イーサネットは、PRC から配信された網同期を使用する。最悪のケースは最大周波数オフセット±4.6 ppm のホールドオーバー状態である。

データ回復のためには、同期イーサネット周波数入力許容値は±100ppm とする必要がある。

表 A.3 は、周波数の見地からのインタワーキングするための要件である。

表A.3—周波数インタワーキング

Interface type	Operation mode	Frequency		
		Maximum output frequency deviation	Input tolerance	
			For data recovery	For clock recovery
Ethernet	Non-synchronous mode	±100 ppm	±100 ppm	n/a
Synchronous Ethernet		It might be locked to the EEC or, if not, be within ±100 ppm		
Synchronous Ethernet	Synchronous mode (Note)	Locked to the EEC (in the worst case ±4.6 ppm)		Max. ±4.6 ppm
NOTE – For QL-enabled and QL-disabled modes.				

A.5.4 雑音インタワーキング

IEEE を参照すると、イーサネットではジッタが規定されている。ワンドは、イーサネットトラフィックオペレーションの課題ではない。

同期インタフェースに対するジッタとワンドは ITU-T で規定されている。同期オペレーション・モードでの同期イーサネット・インタフェースに対しては、関連する要件が勧告 [ITU-T G.8261]と[ITU-T G.8262] で規定されている。

データ回復に対しては、同期イーサネット・インタフェースはイーサネット・インタフェースからのジッタを許容できなければならない。

表 A.4 は、詳細を示す。

表A.4—雑音インタワーキング

Interface type	Operation mode	Noise					
		Maximum output noise generation		Equipment input noise tolerance			
		Jitter	Wander	For data recovery		For clock recovery	
				Jitter	Wander	Jitter	Wander
Ethernet	Non-synchronous mode	According to IEEE	n/a	According to IEEE	n/a	n/a	n/a
Synchronous Ethernet							
Synchronous Ethernet	Synchronous mode	According to G.8261 (Network), G.8262 (Equipment)		According to IEEE	n/a	According to G.8262	

A.5.5 関連するジッタ測定

イーサネットポートのジッタ測定については、IEEE を参照されたい。IEEE のジッタ測定方法では、ストレスドアイやバスタブ図の手法を使用する。データ復旧インタワーキングでは、同期イーサネット・インタフェースは、同じ方法で測定されなければならない。

同期オペレーション・モードにおける同期イーサネット・インタフェースの同期インタワーキングに対しては、ジッタ仕様は勧告[ITU-T G.8261]と[ITU T G.8262]に含まれている。

同期オペレーション・モードでの同期イーサネット・インタフェースに対するジッタ測定は、今後の検討課題である。付録 X を参照されたい。

表 A.5 に概要を示す。

表A.5—ジッタ測定

Interface type	Operation mode	Jitter input tolerance	Jitter noise generation	Jitter noise transfer	Network limits
Ethernet	Non-sync mode	According to IEEE	According to IEEE	n/a	n/a
Synchronous Ethernet					
Synchronous Ethernet	Sync mode	For further study, see Appendix X for jitter measurements			

A.5.6 関連するワンダ測定

ワンダ要件は、イーサネット・インタフェースに対して規定されていない。

同期オペレーション・モードでの同期イーサネット・インタフェースに対するワンダ測定は今後の検討課題である。付録 X を参照されたい。

詳細は表の A.6 を参照されたい。

表A.6—ワンダ測定

Interface type	Operation mode	Wander input tolerance	Wander noise generation	Wander noise transfer	Network limits
Ethernet	Non-sync	n/a			
Synchronous Ethernet	mode				
Synchronous Ethernet	Sync mode	For further study; see Appendix X for jitter measurements			

注—制限された同期イーサネット機能のインタフェースと機器に関する考察は、[ITU-T G.8264]で提供されている。

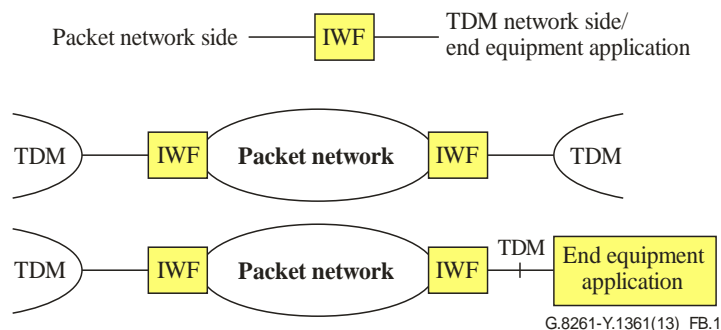
付属資料 B

CES 及び PNT への IWF の機能的分割及びネットワークの例

(この付属資料は本勧告の必須な部分を構成する)

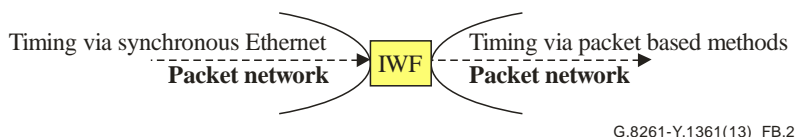
B.1 一般事項

IWF は、データを TDM ベースネットワークからパケットベースネットワークへの、或いはパケットベースネットワークから TDM ベースネットワークへデータを変換するための機能ブロックである (図 B.1 を参照)。



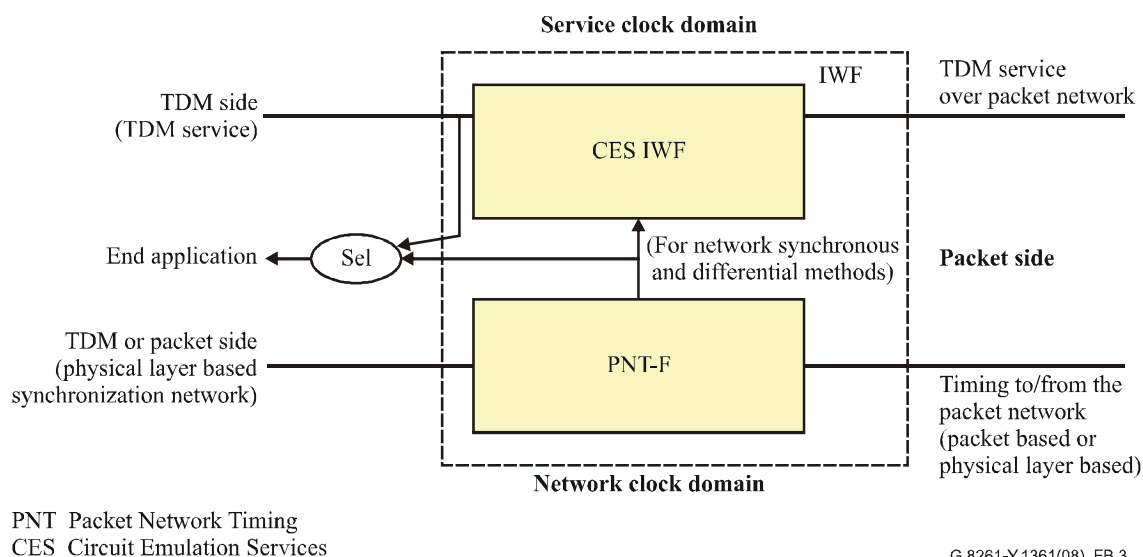
図B.1- ネットワークにおけるIWF

アプリケーションによって、IWF の機能は、タイミングが搬送されるレイヤに変化を及ぼす。(すなわち、パケットベースネットワークから物理ネットワークへ、或いは物理ネットワークからパケットベースネットワークへタイミングが搬送される場合)。図 B.2 を参照されたい。



図B.2- タイミングが運ばれるレイヤが変化する点でのIWF

IWF は二つのドメイン構造により定義される。B.3 を参照されたい。CES IWF は、サービスクロックドメインにおける同期処理を、PNT IWF は、同期ネットワークのクロックドメインにおける同期処理を担う。



図B.3 – IWFにおけるCESとPNTドメイン

特に、CES IWFは、パケットネットワークに向け、適切にCESパケットを生成するのみならず、パケットネットワーク上で配信されるサービスクロックをリカバリする（サービスクロック信号リカバリ）。

第8節に記載されている通り、以下の処理方法が可能である。

- ネットワーク同期処理
- 差分法
- 適応法
- TDMネットワークのエンドシステムにおいて利用可能な参照クロック

以上の利用可能な処理方法によって、異なるタイプのクロックがCES IWFに実装される必要がある。

これは、B.3節において詳述されている。

PNT IWFへ、或いはPNT IWFからのタイミング分配は、従来の、或いは新たな手段によりなされる。実際、このクロックは、TDMネットワーク（例えば、SDH）側から、或いはパケットネットワーク（例えば、同期イーサネット、或いは専用パケットに基づく新たな手段）側からの同期ネットワークタイミングをリカバリすることが可能である。

以下のリストは、PNTへ、或いはPNTからのタイミング分配が実施可能なケースの例である。

- 専用外部参照（例えば、SASEからの参照）
- 同期物理レイヤ経由（例えば、SDH、同期イーサネット）。パケットによって搬送されるタイミング（すなわち、[b-IEEE 1588], NTP)

場合によっては、PNT IWFは同期網から得られた正確な参照タイミング信号をCES IWFに配信する。実際、CES IWFは、クロック再生のための仕組みをサポートするために、この参照信号を必要とする可能性がある。このことは、網同期や差分法に適用される。更なる詳細は、B.2節に記されている。

B.2 IWFクロック

図B.4はCES IWFに実装され得るクロックを示す。次のものが挙げられる。

- パケットベースクロックアダプティブ(PSC-A):適応法によりトラフィックパケットからサービスクロックをリカバリするクロック
- パケットベースクロック差分(PSC-D):差分法によりトラフィックパケットからサービスクロックを再生するク

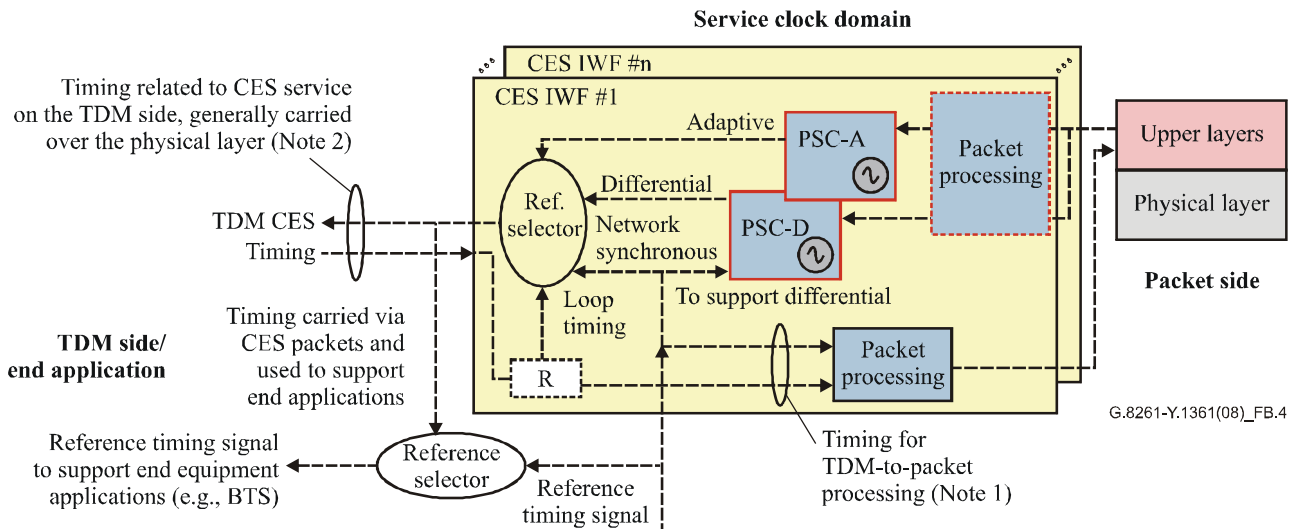
ロック

これらのクロックは、CES IWF のタイミング機能（自走、同期維持、フィルタリング、選択を含む）を担う。

クロック PSC-A と PSC-D は、各 CES ユーザーに対して固有である（すなわち、如何なるユーザーも専用のクロックを利用可能である）。同期維持は、必須であるべきではない（選択的に与えられることもあり得る）。実際、ある自走周波数の精度のみが、PDH 最小要求条件を満たすために必要となる（例えば、2048kbit/s の信号に対して 50ppm）。これらは、通常 TDM CES を担保するために、片方向パケットのみを処理する。

注1-専用タイミングパケットを分配する新たなサービスが定義される可能性があり(片方向及び両方向プロトコルを用いた)、そして異なるクロックが定義されるであろう。このことに関しては、更なる検討が必要である。

これらのクロックの詳細には、更なる検討が必要である。



n Number of CES users terminated by the CES IWF

NOTE 1 – This timing drives the generation of the outgoing packets and forms the basis for generating timing messages for adaptive or differential methods.

NOTE 2 – Some of the CES flows may also carry the network clock. In case the IWF is handled by the network clock owner, these could be handled in the network clock domain (by the PEC). In case the IWF is owned by a different operator (offering the transport service to another operator), these are handled as any other TDM service in the service domain (by the PSC).

図B.4 – CES IWF及びPNT IWFにおけるクロック

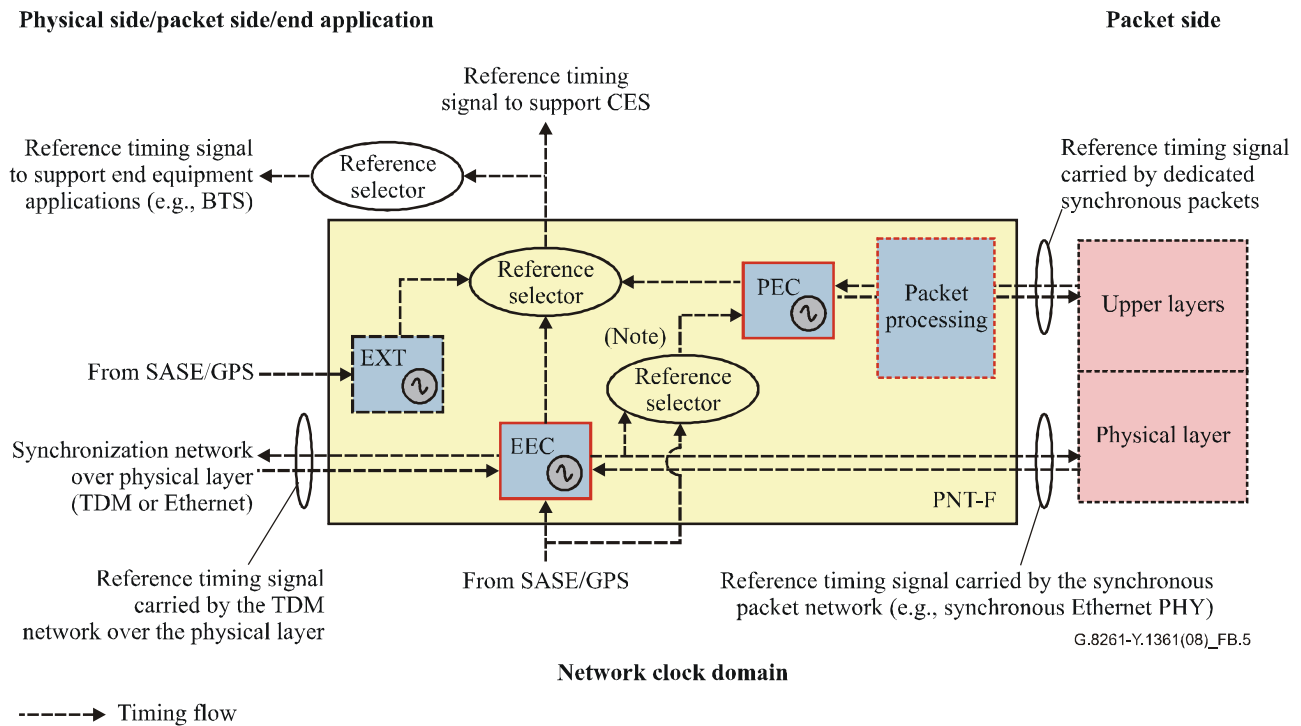
同期の観点からは、TDM 側の CES IWF は、定義された要件（例えば、ジッタ及びワンドラ限界）により、主に同期物理レイヤを生成することが要求され、また、適用可能なジッタ及びワンドラ耐力マスクにより、タイミングを再生することが要求される。

CES IWF パケット側において、同期機能は、ユーザーのデータパケットにとって重要である。例えば、TDM ネットワークへ向けたパケットかつ適応法の場合、TDM のタイミングは、パケットの相互生起時間に基づくフィルタリングアルゴリズムにより再生される（PSC-A はこの機能を担う）。

CES IWF における R ブロックは、TDM タイミングを生成するために用いられる。これは、ループタイミング機能の場合、ループバックされ、TDM ネットワークへ向けたパケット上のフローを制御する（例えば、差分法で用いられるタイミングメッセージの生成）。特に、Packet Processing ブロックは、差分法をサポートするタイミングメッセージの生成を担い(ネ

ネットワーククロックと TDM タイミングはこのサポートのために必要である)、そして、直接 TDM タイミング (全ての手法に有効な) に関するレートを持ったパケットの生成を担う。

図 B.5 はパケットネットワーク上でリファレンスタイミングの分配 (第 7 章を参照) をサポートする PNT-中のクロックを示している。



図B.5 – PNT-Fにおけるクロック

注2-PNTへの全てのブロック間における全ての相互の影響は図に示される。

注3-TDMのみ (例えば、SDH) による搬送されるタイミングの場合、PNTには、異なるクロックが実装されている可能性がある。このクロックは適用可能な勧告に基づく (例えば、[ITU-T G.813])。

図 B.5 によると、以下に、PNT クロック (同期網のクロック) が定義される。

- PEC:専用パケットを通じて、ネットワークタイミングをリカバリして、送出するためのパケット
- EEC:同期イーサネット経由で搬送されるクロックをサポートするためのクロック ([ITU-T G.8262]を参照)
- EXT:外部専用タイミング信号からのタイミング (例えば、SASE/GPS)

PEC の詳細は今後の検討課題である。

PEC 及び EEC はネットワーククロックを処理する。したがって、一つのネットワークに対して一つの周波数を処理する。装置単体に対して、一つのクロック/周波数が存在する。同期維持は、これらのクロックのために必要となる。

PEC は、双方向パケットを処理可能である(例えば、PTP, NTP)。

PSC-A 及び PEC は両者ともに適応法に基づくため、同様の実装に基づくことは注目すべきである。しかし、異なる要件が適用される。さらに、PSC-A はタイミング分配を終端のみすべきであるが(さらなる TDM フローの生成に対する TDM サービスタイミングを担う)、PEC は、原則として、同期分配チェーンの一部である。

クロック EXT は他の関連 ITU-T 勧告に基づく (例えば [ITU-T G.812]や[ITU-T G.813])。

ネットワークアプリケーションに基づき、図 B.4 及び B.5 に示される幾つかの機能(及び幾つかのクロックのみ)のみが

IWF に実装されなければならない。例えば、クロック EXT は、PNT において、他のクロックが実装(例えば、EEC)されているのであれば、必要ない。代わりに、それらは、システムで用いられる外部参照を受け取ることを担う。

図 B.5 に示されるように、参照タイミング信号は、エンド装置のアプリケーション (例えば BTS) をサポートするために利用可能にもなる。

図 B.4 に示される外部に向けた参照タイミング信号は、CES 信号によっても搬送される。リカバリされたタイミング信号は、外部インタフェース (例えば、[ITU-T G.703] に準拠) として利用可能になる。或いは、システムに対して内部インタフェースとなる (この場合、IWF は、このタイミング参照を使用するエンドアプリケーションに統合される)。

典型的な IWF アプリケーションは、付録 IX で与えられる。

ネットワークアプリケーションの例は、B.3 節に示される。

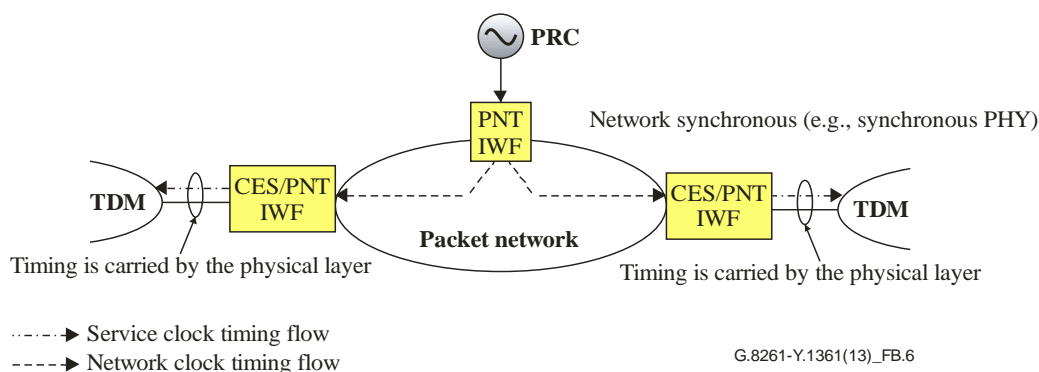
注4-IWFクロックに加え、パケットネットワークの他のネットワークエレメントに実装されたクロックがあり得る。典型的な例は、同期分配チェーンの一部であるイーサネットスイッチにおけるEECである。この場合、ネットワークエレメントは、PNTの機能のみを実施し、同期機能は利用可能なクロックにより担われる。(例えば、EEC)

より一般的には、CES 機能が無く、EEC が同タイプの物理レイヤ (例えば、同期イーサネット) の両側に接続されている場合には、IWF は存在しない。

B.3 ネットワークの例

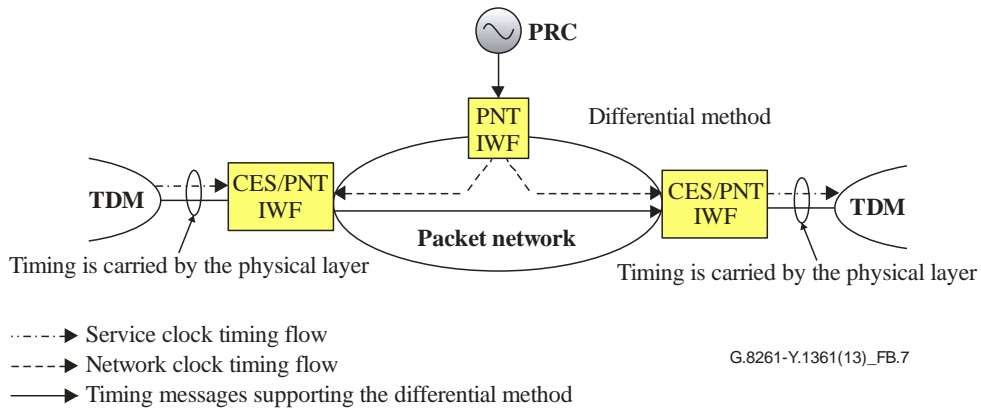
幾つかのネットワークの例が、図 B.1 及び図 B.2 に示されるモデルに対する理解の向上のために以下に示される。

図 B.6 は、ネットワーク同期手法に基づく TDM サービスクロックのリカバリを示す。この例では、参照タイミング信号 (ネットワーククロック) は、PRC (例えば、GPS) を利用可能な PNT IWF から、パケットネットワークのエッジ (例えば、同期イーサネット経由で) における PNT/CES IWF に向け分配される。TDM サービスタイミングは、このネットワーククロック (すなわち、ネットワークの同期法) から分配される。



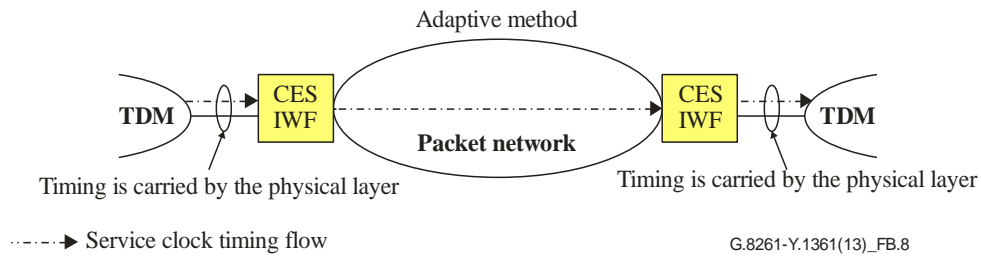
図B.6- ネットワーク同期法に基づくタイミングリカバリの例

図 B.7 は、差分法に基づくサービスクロックのリカバリを示す。この例では、PNT IWF は、参照タイミング信号を、差分法を実施するために参照タイミング信号を必要とする CES/PNT IWF に分配する(左側の IWF から右側の IWF へのフローは、タイミングメッセージを介した差分情報の分配を表す)。



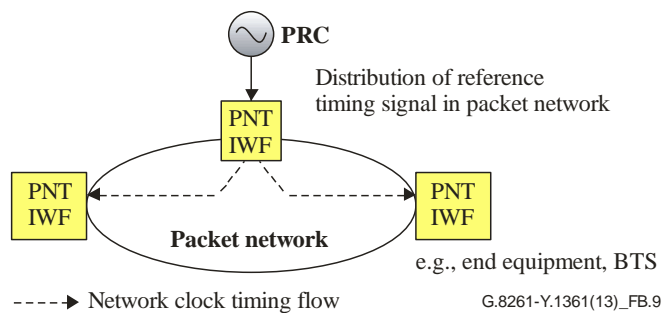
図B.7-差分法に基づくタイミングリカバリの例

図 B.8 は、適応法に基づくサービスクロックのリカバリを示す。この場合には、タイミング信号は不必要となる(実際、PNT IWF は図に示されていない)。



図B.8-適応法に基づくタイミングリカバリの例

最後に、図 B.9 で示される、PNT IWF は、パケットネットワーク（例えば、同期イーサネット経由で）上でのエッジにおける他の PNT IWF に向けて参照信号を分配する PRC（主参照クロック）を利用可能である。この例では、右側の IWF PNT はエンド装置のタイミング要求をサポートする。典型的な例は GSM BTS のタイミング要求をサポートすることである（例えば、無線インタフェースにおける 50 ppb）。



図B.9 – IWF PNT間における参照タイミング分配

付属資料 C

要件に関連する CES IWF 同期

(この付属資料は本勧告の必須な部分を構成する)

C.1 トラフィックインタフェース

以下の要求は実在する勧告（例えば ITU-T G.823、ITU-T G.824）に引用されている。

注 - パケットネットワーク上のSDH信号の伝送の情報提供の目的として、次節に述べられているSDHインタフェースは検討中である。

C.1.1 物理的、電氣的と光学的性能

E0 (64kbit/s)、E11 (1544kbit/s)、E12 (2048kbit/s) インタフェース、すべての PDH インタフェース、51840kbit/s (STM-0) と ES1 (STM-1) インタフェースの物理的、電氣的特性は[ITU-T G.703]の要求に準拠しなければならない。

STM-1、STM-4、STM-16 インタフェースの物理および光学特性は、例えば[ITU-T G.957]、[ITU-T G.691]、[ITU-T G.959.1]等の関連する物理インタフェース勧告に準拠しなければならない。

C.1.2 ジッタとワンダの耐力

E0、E12、E22、E31、E4 トラフィックインタフェースにおける 2048kbit/s ハイアラキを基にしたネットワークの入力ジッタとワンダの耐力は[ITU-T G.823]の 7.1 節の要求に準拠しなければならない。

E11、E21、32064kbit/s、E32、97728kbit/s トラフィックインタフェースにおける 1544kbit/s ハイアラキを基にしたネットワークの入力ジッタとワンダの耐力は ITU-T G.823 の 7.2 節の要求に準拠しなければならない。

STM-1e、STM-1、STM-4、STM-16 トラフィックインタフェースにおける SDH ベースネットワークの入力ジッタの耐力は [ITU-T G.825]の 6.1.2 節の要求に準拠しなければならない。51840kbit/s トラフィックインタフェースにおける入力ジッタ耐力は、[ITU-T G.703]の 16.3 節の要求に準拠しなければならない。

[ITU-T G.825]の 6.1.1 節によれば、51840kbit/s、STM-1e、STM-1、STM-4、STM-16 トラフィックインタフェースにおける SDH ベースネットワークの入力ワンダの耐力は[ITU-T G.812]の 8.1 節、[ITU-T G.813]の 9.1 節のいずれかに該当する要求に準拠しなければならない。これらの要求は、STM-N トラフィックインタフェースは同期インタフェースとみなしているため、同期インタフェース (SSU と SEC それぞれ) として定義される。

測定方法は、[ITU-T O.171]と[ITU-T O.172]で定義される。

C.2 同期インタフェース

以下の要求は既存の勧告（例えば[ITU-T G.703]）から受け継がれている。

C.2.1 物理と電気インタフェース

T12 (2048kHz) 同期インタフェースの物理的、電氣的特性は[ITU-T G.703]の 13 節の要求に準拠しなければならない。

E12 (2048kbit/s) 同期インタフェースの物理的、電氣的特性は、[ITU-T G.703]の 9 節の要求に準拠しなければならない。

E11 (1544kbit/s) 同期インタフェースの物理的、電氣的特性は、[ITU-T G.703]の 5 節の要求に準拠しなければならない。

C.2.2 ジッタとワンダ耐力

[ITU-T G.823]の 7.2 節によれば、T12、E12 同期インタフェースにおける入力ジッタ耐力は、SSU インタフェースの場合

は、[ITU-T G.812]の 9.2 節の Type I、SEC インタフェースの場合は、[ITU-T G.813]の 8.2 節オプション 1 のいずれかに該当している要求に準拠しなければならない。

[ITU-T G.824]の 7.3 節によれば、E11 の同期インタフェースにおけるジッタ耐力は、SSU インタフェースの場合、[ITU-T G.812]の 9.2 節の Type II と Type III、SEC インタフェースの場合は、[ITU-T G.813]の 8.2 節オプション 2 のいずれかに該当している要求に準拠しなければならない。

[ITU-T G.823]の 7.2 節によれば、T12、E12 の同期インタフェースにおけるワンダ許容範囲は、SSU インタフェースの場合は、[ITU-T G.812]の 9.1 節の Type I、SEC インタフェースの場合は、[ITU-T G.813]の 8.1 節オプション 1 のいずれかに該当している要求に準拠しなければならない。

[ITU-T G.824] の 7.3 節によれば、E11 の同期インタフェースにおけるワンダ耐力は、SSU インタフェースの場合は[ITU-T G.812]の 9.1 節の Type II と Type III、SEC インタフェースの場合は、[ITU-T G.813]の 8.1 節オプション 2 のいずれかに該当している要求に準拠しなければならない

C.3 IWF 同期機能

IWF 同期機能の詳細は付属資料 B に与えられる。

提供されるサービスに依存して、付属資料 B に述べられているタイミング機能の適切な部分集合は IWF によってサポートされなければならない。

図 B.4 の CES IWF を参考にして、バッファにおけるオーバー/アンダーフローを制御可能な TDM Tx 方向のスリップ制御をもつことを推奨する。スリップは $n \times 125$ マイクロ秒フレームの設定である。

TDM 送信および/または受信クロックがホールドオーバー状態にあるとき、または、ホールドオーバー状態のクロックに辿ることができるとき、かつ、同期クロックリカバリ手法（差分法またはネットワーク同期処理）が用いられているとき、スリップ（多くの場合制御できない）が発生するだろう。

新しいタイミング源を選択したとき、出力ワンダは一時的に出力ワンダ限界を超える。しかしながら、出力ワンダは「整定時間」と呼ばれる間隔端における出力ワンダ限界内に入っていなければならない。整定時間の要求事項は検討中であり、さらなる情報は Appendix II に提供されている。

IWF に関連する他の特性は遅延である。遅延の要求条件は、通常、エンド・ツー・エンド接続における全遅延によって明示されるネットワークレベルで定義される。全遅延において IWF が寄与する要求条件は今後の検討課題である。

CES セグメントに導入される全雑音の仕様は 9.1 節で定義される。これは、TDM フローをパケットネットワーク中に当てはめる IWF のペアを含む全 CES セグメントの雑音伝送特性も定義する。

付属資料 D

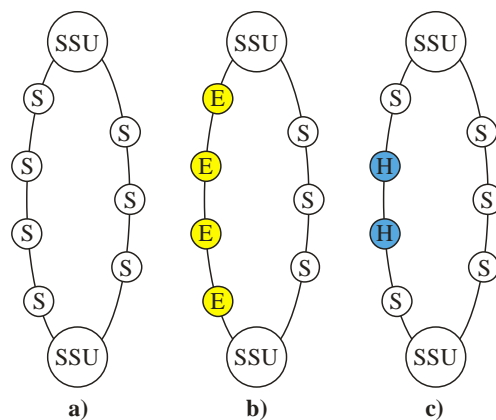
G.8262/Y.1362 で規格化されたクロックの ネットワークアプリケーションと要求

(この付属資料は本勧告の必須な部分を構成する)

ITU-T G.803 による同期ネットワークは、一つまたは複数の PRC、複数の SSU と複数の SEC を使用する。複数の SSU はしばしばスタンドアロン装置である。タイミング情報は SDH ネットワーク装置 (複数の NE) を経由して、PRC から SSU や SSU からより低い階層レベルの SSU へ転送される。2 つかそれ以上の経路が耐障害性のために用いられる。これは図 D.1-a で図示される。

パケットスイッチネットワーク (PSN) への同期の導入の場合、同期イーサネットをサポートする複数のパケットスイッチ NE は、タイミング情報、複数の SDH NE とのインタワーク (例えば、SEC を含んでいる) を送信することを可能とすべきである。EEC を含んでいるパケットスイッチネットワーク装置は PRC と複数の SSU の間の同期ラインの提供を可能とすべきであり、また、時刻精度に影響を受けやすいアプリケーションに同期を供給可能とすべきである。パケットスイッチネットワークを経由する新しいタイミングのリンクは、同期ネットワークをもつ相互運用性のために既存の SDH タイミングリンクに一致すべきである。図 D.1-b は 2 つの同期チェーンを示しており、ひとつは SDH NE (S の○囲み) を示し、他は同期イーサネット・インタフェースを使用した複数のパケットスイッチ NE (E の○囲み) により示される。複数のハイブリッド NE は [ITU-T G.8262] の Appendix I に述べられている。複数のハイブリッド NE は SDH-VC クロスコネクタ機能に関連づけられる STM-N インタフェースとパケットスイッチングを持つ同期イーサネット・インタフェース (ETY) 両方を提供する。同期チェーンにおけるいかなる場合においてもそのような複数のハイブリッド NE は使用可能であるべきである。1 例は図 D.1-c に説明されている。上位のハイブリッド NE (H の○囲み) は入口における STM-N インタフェースと出口における ETY インタフェースを使用している。下位のハイブリッド NE は、入口における ETY インタフェースと出口における STM-N インタフェースを使用している。タイミングはそれぞれ、STM-N から ETY、ETY から STM-N へ伝送される。

複数の EEC のクロック特性は、複数の SEC (図 D.1-b に示す) のチェーンとタイミング分配チェーンと同じ振る舞いで供給されるタイミング分配チェーンの構築をサポートする。



G.8261-Y.1361(13)_FD.1

図D.1 – 異なるタイプの複数のNEで実装された同期チェーン

Appendix I

Characteristics of Ethernet switches, Ethernet networks, routers and access technologies

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

I.1 Characteristics of Ethernet switches and networks

I.1.1 Delay characteristics of Ethernet switches

I.1.1.1 Functional operations within an Ethernet switch

From a "black box" perspective, an Ethernet frame passes through four functional operations in a typical Ethernet switch. These are shown in Figure I.1:

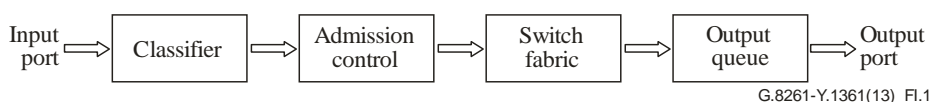


Figure I.1 – Typical functions within an Ethernet switch

- classification – identification of the flow to which the frame belongs, and determination of the output port and priority.
- admission control – application of traffic management for the flow (policing, shaping, marking).
- switching – forwarding to the appropriate output port.
- output queue – waiting for a transmission slot on the output port. Typically, queuing policies, such as strict priority, weighted fair queuing (WFQ) or round robin are applied.

The following clauses discuss the delay properties of the various functions within a switch.

I.1.1.2 Input stage delay

The time required for the classification and admission control stages should be approximately constant in most cases. However, depending on the switch design and the traffic loading on the switch, the delay through these functions may vary. For example, in some switches, both classification and admission control may be performed in software on a network processor. At full load, the software may not be able to keep up with the number of frames to be processed, hence the delay may increase, and some frame dropping may occur. The same may also be true of some hardware-based designs.

Figure I.2 shows a simplistic view of the variation of input stage delay with switch loading. Under low traffic loads, the switch can cope with the number of frames passing through it without adding to the delay. As the frame rate increases, while the overall processing capacity of the switch is not exceeded, the instantaneous frame rate may exceed the available processing rate. This will cause frames to be buffered awaiting processing, and some extra delay to be incurred. Finally, at some point, the mean incoming frame rate may exceed the processing capacity, causing the delay to be increased further, and, in some cases, frames to be dropped due to lack of buffering capacity.

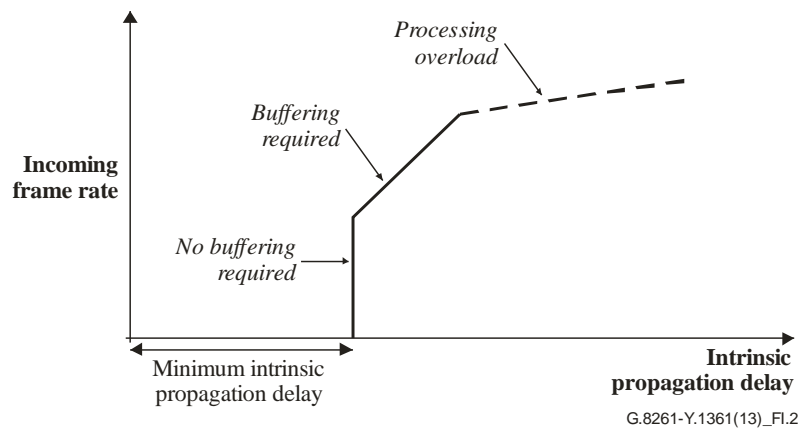


Figure I.2 – Variation of input stage delay with loading

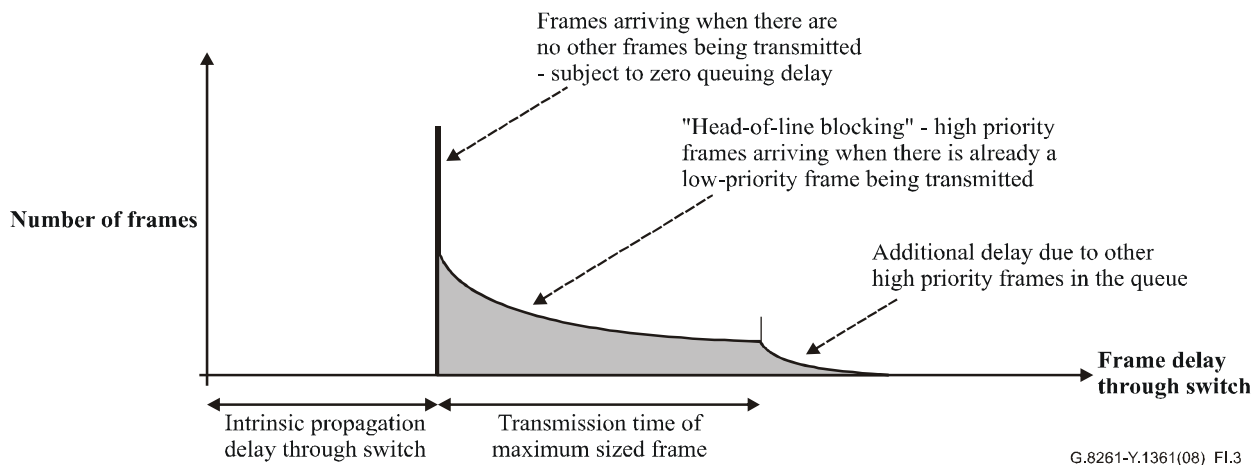
I.1.1.3 Switch fabric delay

The delay through the switch fabric itself is also dependent on both switch architecture and traffic loading. For example, many switches operate scheduling algorithms for switching of frames from input ports through to output ports, and this may cause a small variation in delay to the frames, depending on their arrival time relative to the scheduler "tick". However, in most cases, this variation in delay is small due to the high frequency at which the scheduler works.

At very high incoming data rates, the switch fabric itself may be overloaded, and unable to cope with the full volume of traffic requiring switching. This will result in frames being dropped.

I.1.1.4 Output queuing delay

The amount of delay added by the output queue will depend on the queuing policy employed, and the priority of the traffic flow. For example, a high priority flow (such as might be used for a packet timing flow) in conjunction with a strict priority policy might experience "head-of-line blocking" delay. This is where, although a frame has highest priority, it arrives at the output port just after a low-priority frame has started to be transmitted. The high priority frame then has to wait until the other frame has finished transmitting. Figure I.3 shows the delay profile experienced by a population of high priority frames in conjunction with a strict priority queuing policy. For the purposes of simplicity, this diagram assumes frames experience an approximately constant delay through the other switch functions, here termed "intrinsic propagation delay through switch". A proportion of frames arrive at the output queue at a time when there are no other frames currently being transmitted. These frames are transmitted immediately. The remainder has to wait in the queue while the current transmission completes. There may also be an additional delay, due to other high priority packets also in the queue.



G.8261-Y.1361(08)_FI.3

Figure I.3 – Strict priority queuing: Head of line blocking

I.1.1.5 Typical delays in the Ethernet switches

Based on the model described in clause I.1, it is possible to provide a simplified modelling of the delays caused by an Ethernet switch, identifying two main contributions.

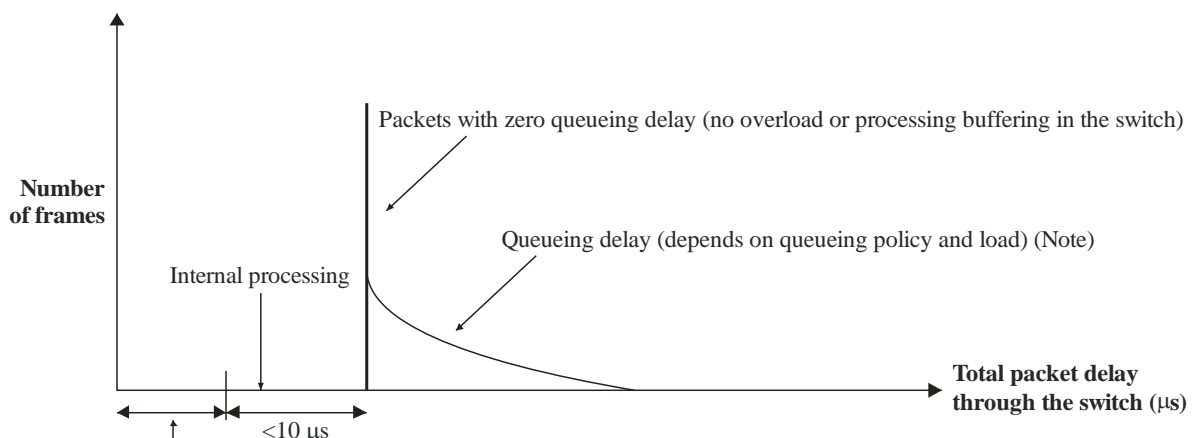
The first type of contributions is related to the classification, admission control and switching operations; the second type of contribution is related to the output queue and transmission.

The first type of the delay is then mainly related to the processing capacity of the switch, while the second one depends on the bit rate of the outgoing line (e.g., 1 Gbit/s) and on the queuing policy/priorities that are implemented.

Assuming that the design of the Ethernet network will not implement Ethernet switches where the bottleneck is the processing capacity of the Ethernet switch, one could assume that the processing capacity should contribute with values below 10 microseconds (in fact a 1500 bytes packet in the output queue takes 12 microseconds on 1 Gbit/s link), and, in addition, the processing overload or processing buffering should not be an issue (see Figure I.2).

With respect to the second type of delay, these can be calculated according to the model provided in Appendix V.

The simplified model is shown in Figure I.4.



Fixed delay depends on output bit rate and packet size (e.g., 12 µs for 1500 bytes packet over 1 Gbit/s)

NOTE – Slope may vary depending on distribution of traffic in network.

G.8261-Y.1361(13)_FI.4

Figure I.4 – Simplified model of the delays in the Ethernet switch

Referring to Figure I.4, it shall be noted that the queue processing may also impact the shape of the delay distribution.

I.1.2 Characteristics of switched Ethernet networks

I.1.2.1 Topology of Ethernet networks

Although there are many different possible network topologies, for the purpose of considering a particular flow through a network, it can be modelled as a chain of Ethernet switches as shown in Figure I.5. At each switch in the chain, an Ethernet frame has the potential to be delayed due to the mechanisms described in clause I.1. This delay will be affected by the other traffic flowing through the switch. Traffic directed to the same output port will affect the output queuing delay, while the sum total of all traffic flowing through the switch (including that flowing to other ports) will affect the processing and switch fabric delays.

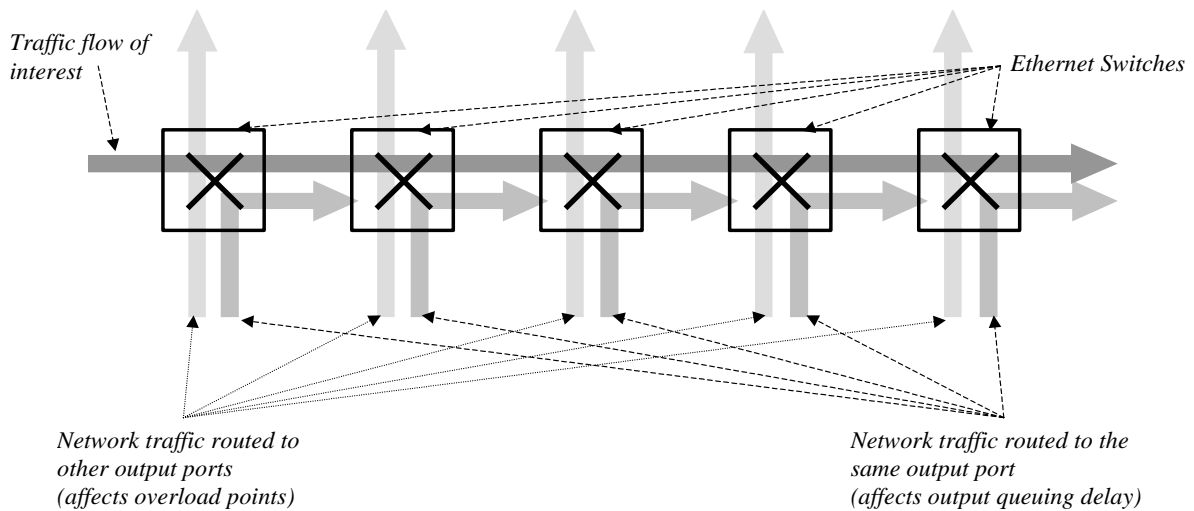


Figure I.5 – Data flows within an Ethernet network

The length of the chain affects the total delay of the system; clearly the more switches there are, the greater the total delay, also the greater the delay variation. However, in many Ethernet networks, the length of the chain may be quite small. For example, in a hierarchical network, there may often be only two or three levels of hierarchy, yielding a chain length of up to five switches.

In some instances, a ring topology may be employed. Typically, these may contain around ten switches, giving a maximum "distance" around the ring of five switches. Occasionally, interconnected rings may be used, which could double the "distance" to around ten.

I.1.2.2 Traffic patterns and levels

With the exception of constant bit rate and real-time traffic, most network traffic is extremely bursty in nature. It has been observed that on almost any level one cares to look, traffic variation can be observed. For example, at a very small level there is bursting due to the opening and closing of the transmission control protocol (TCP) window size. At a larger level, there may be bursting due to the nature of the application (e.g., downloads of large files), while at a larger level still there may be bursting due to the time of day (e.g., higher activity levels during the day than at night).

When considering the delay performance of a TDM transport flow, the effects of other traffic in the network have to be considered. For example, in Figure I.5, each of the network traffic flows may be varying in some form, independently of the other flows.

[b-ITU-T G.1020] proposes the use of four-state Markov models for modelling packet loss distribution. A similar technique could be applied to burst lengths in each flow, allowing bursts and groups of bursts to be modelled. The longer term (e.g., diurnal variation)

could then be applied as a gradual variation in burst densities.

I.1.2.3 Disruptive events in Ethernet networks

There are several types of "disruptive events" that may cause sudden changes in delay in an Ethernet network. The resulting delay changes may be permanent or temporary. These disruptive events include:

- routing change, causing a permanent step change in delay
- temporary network overload, causing a significant but temporary delay change
- temporary loss of service, causing all packets to be lost for a period.

I.2 Delay characteristics of routers

This clause describes the delay characteristics of routers. Similarities exist with Ethernet switches described in previous clauses.

In order to identify the potential sources of delays in a router, it could be useful to describe the path that a timing packet uses when being carried across a network node.

A network node can be generically modelled with three main segments:

- 1) ingress segment: corresponds to all the functions that the timing packets may use in the network node from the ingress physical port to the entry to the forwarding engine of the node.
- 2) forwarding segment: corresponds to the forwarding engine of the network node.
- 3) egress segment: corresponds to all the functions that the timing packets may use in the network node from the exit of the forwarding engine of the node to the egress physical port.

The following figure illustrates these three main segments:

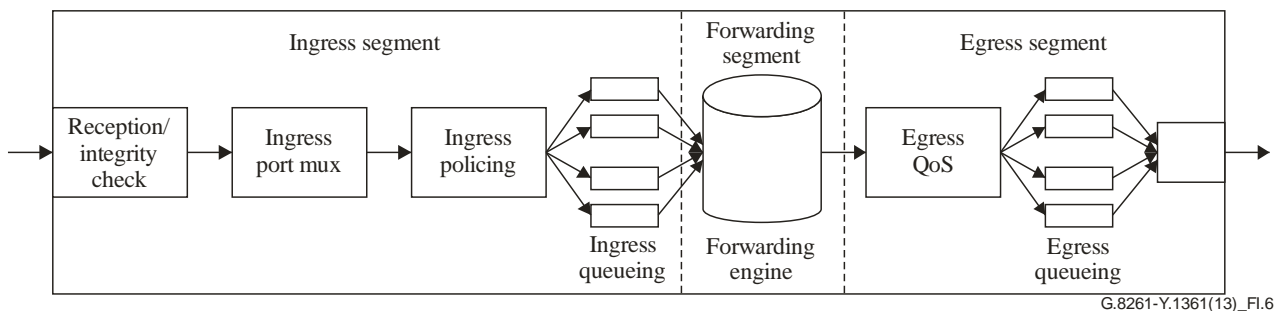


Figure I.6 – Illustration of the three main segments of a router

The models characterizing each of these segments are for further study.

I.3 Delay characteristics of access technologies (Microwave nodes, PON, DSL)

The delay characteristics of access technologies (microwave nodes, PON, DSL) are for further study.

Appendix II

Stabilization period

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

The stabilization period is a parameter that may be important during the start-up phase (in order to get a quick installation of the equipment), or when switching between timing references (in order to limit the phase transient). In case the equipment has been operating in holdover mode for long periods (e.g., hours), the phase error, when selecting a new clock reference, would be largely dominated by the phase error caused by the frequency error of the clock in holdover.

In case the adaptive method is used, the requirement on the stabilization period may depend on the actual phase noise in the packet network. In fact, a high packet delay variation in the packet network may require a long period before the clock can lock to the timing reference.

The filter implementation and the characteristics of the internal oscillator are important as well. In fact, depending on the holdover characteristics (e.g., [ITU-T G.812] Type II vs. Type III), longer time could be accepted when switching from a reference to a second reference, as a good holdover can allow longer locking periods (the main requirement is to limit the total phase error during reference switching).

The requirements on the stabilization period are under study.

For the purpose of the tests detailed in Appendix VI, a stabilization period of at least 900 s is proposed for the adaptive methods as, in order to properly characterize the packet delay variation statistics in a network, a sufficiently long period might be required.

Appendix III

Considerations on packet-based methods

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

In some applications, it is required to recover reference timing signals that comply with wander that can be expressed in terms of [ITU-T G.823] and [ITU-T G.824] traffic masks. Under certain circumstances, these network limits are within the achievable performances of the packet-based methods in packet networks properly designed (e.g., networks that can be modelled as network presented in model A, see Appendix V). What constitutes a properly designed packet network is currently under study, see also clause 12.2.2.

For the case of mobile backhauling, the use of packet-based method to synchronize the BTS/Node B will depend on a number of complex issues significantly determined by the embedded functionality of the BTS/Node B.

The following needs to be considered:

- 1) stability of the oscillator in the BTS/Node_B
- 2) physical layer interface to the BTS/Node_B (e.g., TDM or Ethernet)
- 3) tolerance specification at the input of the BTS/Node_B (specified in terms of [ITU-T G.823]/[ITU-T G.824] traffic interface masks by Third Generation Partnership Project (3GPP) in case of TDM interfaces).

With respect to point 1), when frequency accuracy is the only concern, a stable oscillator could allow to relax the requirements on the packet delay variation in the network as longer filtering period could be designed. It shall be noted that stable oscillators are normally implemented in the base stations, due to short-term stability required on the radio interface and holdover requirements. This area is for further study (e.g., time to meet a specific requirement after the oscillator has been powered on).

Appendix IV

Applications and use cases

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

IV.1 Background

The purpose of this appendix is to provide some explanatory information related to three use case categories. Special consideration is given to situations where the transport network supporting the use-case is changed from PDH/SDH to Ethernet.

There are three principal types of synchronization that are of importance. Each particular application may have different needs, and it is necessary to ensure that the transport network is capable of providing this functionality or the network operator must provide for alternate methods. The three synchronization categories are:

- 1) frequency synchronization
- 2) phase synchronization
- 3) time synchronization.

Frequency synchronization relates to the alignment of clocks in frequency, a process that is also referred to as syntonization. Phase synchronization and time synchronization are defined in [ITU-T G.8260]. For some applications frequency synchronization may be adequate; for others a combination of frequency and time/phase may be required. For some applications, the source of time/timing may be specified, and for others the source could be any one of a set of (master) clocks.

For additional details on phase and time synchronization aspects see [ITU-T G.8271].

The three use case categories considered here are:

- 1) wireless
- 2) infrastructure
- 3) media gateway.

IV.2 Wireless

IV.2.1 Applications

Within this general use case category, there are several applications of importance. Some of these require just frequency information, and others require time-of-day, and others require phase. The application, from the viewpoint of timing, is to deliver the appropriate timing information to a base station (e.g., Node B).

IV.2.2 Examples

IV.2.2.1 GSM base station (frequency synchronization)

The timing requirement applicable to the GSM radio interface can be found in [b-ETSI TS 145 010]. The radio interface requirement for a GSM base station is frequency accuracy of ± 50 ppb. In case of Pico base stations, the accuracy can be relaxed to ± 100 ppb. The need for this requirement stems primarily from the need to support handover of mobiles between base stations. It should be noted that relevant requirements documents do not directly address the (wireline) network interface. Nevertheless in case of TDM networks, the synchronization requirements on input signals are normally expressed in terms of output wander masks presented in [ITU-T G.823] and [ITU-T G.824], and traceability to a PRC source.

It should be noted that in case of GSM radio access network, there are not so strict frequency accuracy requirements related to limit the slip rate. In fact, in these cases, the data of a single user is stored in relatively large buffer (from 10 to 30 ms) and also assuming 50 ppb frequency accuracy the data would be lost (buffer empty or full) after long times, much longer if compared with classical switching network elements where buffers handling the data are much smaller (125 μ s).

IV.2.2.2 UMTS FDD base station (frequency synchronization)

The timing requirement applicable to the WCDMA frequency division duplex (FDD) radio interface can be found in [b-ETSI TS 125 104].

The radio interface requirement for universal mobile telecommunications systems (UMTS) FDD base stations is a frequency accuracy of ± 50 ppb; for the FDD mode, there are no phase alignment requirements.

As for the case of GSM networks, there are not so strict frequency accuracy requirements related to limit the slip rate because of the large buffer used to store data of a single user.

IV.2.2.3 UMTS TDD base station (frequency and phase synchronization)

The timing requirement applicable to the WCDMA time division duplex (TDD) radio interface can be found in [b-ETSI TS 125 105].

The radio interface requirement for UMTS TDD base stations is a frequency accuracy of ± 50 ppb; for the TDD mode, there is the additional requirement for the phase alignment of neighbouring base stations to within 2.5 μ s.

As for the case of GSM networks, there are not so strict frequency accuracy requirements related to limit the slip rate because of the large buffer used to store data of a single user.

IV.2.2.4 3GPP2 CDMA2000 base station (frequency and time synchronization)

The relevant CDMA2000 standards are the [b-3GPP2 C.S0010-B] and [b-3GPP2 C.S0002-C].

According to the CDMA2000 specifications, the average frequency difference between the actual CDMA transmit carrier frequency and specified CDMA transmit frequency assignment shall be less than ± 50 ppb.

In the CDMA2000 specifications, it is also specified that each base station shall use a time base reference that is time-aligned to CDMA System Time. CDMA System Time is synchronous to UTC time (except for leap seconds) and uses the same time origin as GPS time. All base stations use the same System Time (within a small error tolerance). For all base stations, the pilot time alignment error should be less than 3 μ s and shall be less than 10 μ s.

Because of the above requirements, it is a common practice to equip CDMA base stations with GPS receivers.

IV.2.2.5 TD-SCDMA base station (frequency and phase synchronization)

The timing requirement applicable to the TD-SCDMA radio interface can be found in [b-3GPP TR 25.836].

The radio interface requirement for TD-SCDMA base stations is a frequency accuracy of ± 50 ppb; there is the additional requirement for the phase alignment of neighbouring base stations to within 3 μ s (this requirement is then measured comparing the phase between adjacent base stations).

Because of the above requirements, it is a common practice to equip TD-SCDMA base stations with GPS receivers.

IV.2.3 Remarks

The requirements listed in the previous clauses apply to the radio interface. When time or frequency reference is carried by the network, other requirements apply. These depend on several factors such as radio base station oscillator characteristics, filter capability of the radio base station, etc. As an example, a long-term frequency accuracy significantly better than 50 ppb may be required for the reference timing signal carried over the network in case of 50 ppb frequency accuracy requirement shall be fulfilled on the radio interface. The value of 16 ppb ([ITU-T G.812] Type II frequency accuracy) has sometimes been mentioned.

In general, in the long term, the reference timing signal may be allowed to drift n ppb provided that this is sufficiently below the maximum allowed deviation (i.e., n ppb \ll 50 ppb \ll 100 ppb, or \ll 250 ppb for the different cases). This would result in a tolerance MTIE mask where the limits on the short term are set by the [ITU-T G.823] and [ITU-T G.824] traffic masks and in the long term by an n ppb line (where n shall be below the applicable requirement on the radio interface).

NOTE – It has been reported that there are cases of base stations that are less tolerant to wander in the short term than what is specified by [ITU-T G.823] and [ITU-T G.824] traffic masks.

Similarly, in case accurate time and/or phase shall be distributed to the radio base stations, the budget to be allocated to the network might be much smaller than the requirements defined by the wireless standards to be fulfilled on the radio interface. These aspects are for further study.

In several cases, such as the GSM base station situations, such equipment is deployed and working and capable of deriving its timing needs from the traffic interface to the (wireline) network, such as PDH or SDH. If the PDH/SDH link is replaced by an Ethernet or synchronous Ethernet link, the needs of the base station shall still be met.

Distribution of phase/time is not common in the case of PDH/SDH links. Accurate phase and time is commonly distributed via GPS. Depending on the accuracy requirements and on the network conditions, methods based on time stamps (see clause 7.2) may be also appropriate for this purpose. In some implementations, two-way protocols are used.

IV.3 Infrastructure

There are several applications in this use case category including IP digital subscriber line access multiplexer (IP DSLAM), modular cable modem termination system (M-CMTS), multiservice access node (MSAN), optical line termination (OLT), etc. This area is for further study.

IV.4 Media gateway

For further study.

Appendix V

Packet networks reference models

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

The packet network reference models that have been used to characterize the performance of packet networks, in terms of packet delay variations, are shown in Figures V.1 and V.2: model A in Figure V.1 is related to applications with very strict delay and delay variation requirements, model B in Figure V.2 refers to scenarios with less strict packet delay variation requirements.

These models do not describe how packet networks have to be designed. The purpose of these models is purely to provide a general understanding of the characteristics of typical packet networks.

V.1 Ethernet networks models

The following models have been defined for the case of Ethernet networks (Figures V.1 and V.2).

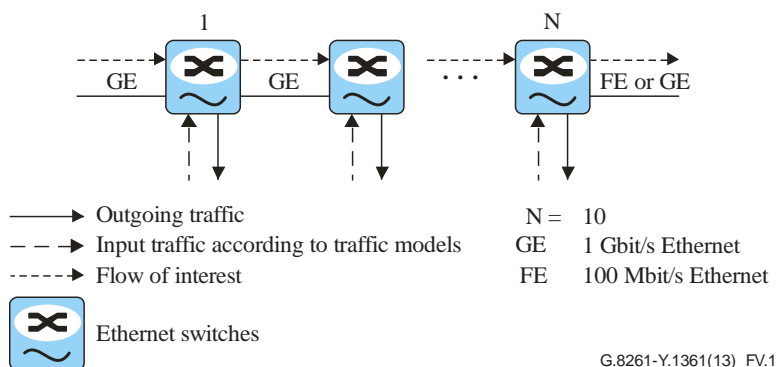


Figure V.1 – Packet network reference model A (switched Ethernet network)

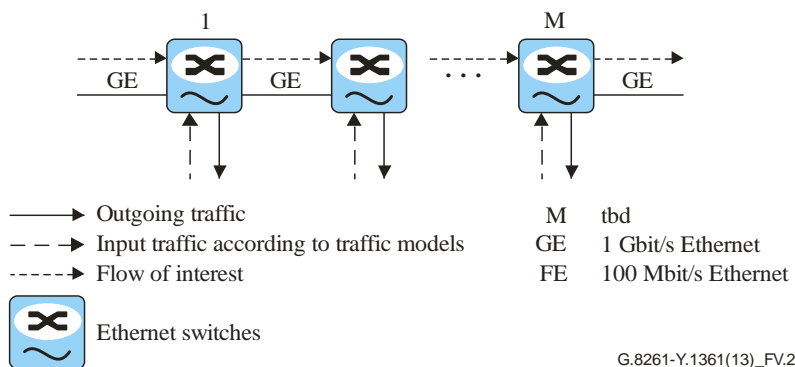


Figure V.2 – Packet network reference model B (switched Ethernet network)

NOTE 1 – With respect to the number of Ethernet switches ("M") in Figure V.2, there is a common agreement that 20 is a reasonable number. This has to be confirmed.

NOTE 2 – 10 Gbit/s links could be considered in new models.

The following cases have been considered:

- scenario 1: switched Ethernet network, best effort with over-provisioning (single queue);
- scenario 2: switched Ethernet network, quality of service according to [IEEE 802.1Q], [b-IEEE 802.1p] (at least two queues, with one dedicated queue for handling real-time data and WFQ discipline);

- scenario 3: switched Ethernet network, quality service according to [IEEE 802.1Q], [b-IEEE 802.1p] (with one queue dedicated for the handling of data used for timing recovery, e.g., time stamps).

NOTE 3 – In order to understand the applicability of the models in Figures V.1 and V.2, a simple approach could be to define two main classes of network scenarios: a backbone network, that can also be used to carry services in the access network (e.g., leasing bandwidth), and a dedicated access network. Model B (Figure V.2), could be the reference model mainly applicable for the first type of packet network (backbone), while model A (Figure V.1) could be the reference model mainly applicable to an access network (e.g., wireless access network).

Referring to the models described in clause 9, this means, that in general (most of the cases), the CE island in Case 1 and Case 3 could be characterized by packet network reference model B, while the CE island in Case 2 could be characterized by packet network reference model A. A third case is when bandwidth is leased by an operator to connect two end points connected via Ethernet switches (e.g., 100 Mbit/s guaranteed bandwidth over 1 Gbit/s transport). Also in this case, models in this appendix could be used. With a proper service level agreement (SLA) between the customer and the Ethernet network operator, one could assume that the interfering traffic in the intermediate nodes could be considered as traffic with lower priority. The SLA in this case could guarantee bandwidth and increase priority, since both will be key elements of a premium SLA, such as, for instance, the cellular operators will require from their Ethernet providers. This could then be considered as a scenario with traffic handling characteristics between scenario 2 and scenario 3. With respect to the expected result, when leasing bandwidth in a packet network, better performance could then normally be achieved if compared with scenarios 1 and 2.

The following are the conditions considered as a basis for the characterization of a packet network:

- traffic load: 60% static;
- packet rate: 10 packets per second;
- observation intervals: 60 minutes;
- traffic models: according to Appendix VI;
- packet length: 90 octets.

With respect to the conditions listed above, the characteristics of 2 Mbit/s signals may also be considered, i.e., packets with a payload of 256 octets and a packet rate of 1000 p/s.

Based on the above models, the following parameters describe the typical behaviour of the packet network in the different cases:

Table V.1 – Parameters for the relevant network models

Network model		Average delay (μs)	min delay + Threshold (Note) (x%) (μs)
Model A	Scenario 1	1400	800 + 1700 (95%) 800 + 800 (50%) 800 + 20 (10%) 800 + 1 (1%)
	Scenario 2	For further study	For further study
	Scenario 3	For further study	For further study
Model B	Scenario 1	For further study	For further study
	Scenario 2	For further study	For further study
	Scenario 3	For further study	For further study
NOTE – This value is the maximum delay variation for x% of the packets (95%, 50%, 10% and 1% are the reference values).			

NOTE 4 – The values are based on a configuration with only 100 Mbit/s links. This provides a conservative scenario, especially for packets with higher delay variation. Further work is needed in order to confirm and complete the table.

Details on the test cases that are needed to test the network in non-static or failure conditions are also provided in Appendix VI.

Different packet rates may be used in order to test different applications and to improve the performance of the filtering algorithms (this is relevant for adaptive methods, or more, in general, when the synchronization is carried over packets).

V.2 Other network models

Other network models can be defined based on the considerations provided by this clause.

In particular, this clause emphasizes the compound networks that may support circuit emulation services, showing that the various network designs may introduce new variables to timing transmission, performance and test scenarios.

NOTE 1 – The TDM pseudowire (TDM PW) terminology is used in other contexts to describe the transmission of TDM over packet network, and will be used in this clause as a different way to address the CES aspects.

In particular, the network scenarios presented here show that:

- TDM PW may go over a unique domain made of a unique transport technique (Ethernet, IP or MPLS);
- TDM PW may go over a unique domain made of diverse transport techniques;
- TDM PW may go over different domains made of unique or diverse transport techniques;
- TDM PW crossing different domains or transport techniques may imply modifying the IWF packet layers (e.g., IP to MPLS).

For TDM PW timing using adaptive clock recovery model, the diversity of equipment, policy (e.g., QoS) and transmission methods may impact the recovered timing quality.

The examples given in this clause are the most common, that are expected to be deployed. However, these do not intend to cover any possible scenarios, such as when using traffic engineering tunnelling (stacking MPLS labels or [b-IEEE 802.1ah]) or layering (generic framing procedure (GFP), T-MPLS).

Deployed networks are made of different technologies. Considering a TDM PW for instance, a TDM service set-up between two IWFs may go over multiple transmission technologies and network domain.

Some examples are provided below.

At access, it may be an Ethernet network made of Ethernet switches only, as described in Figure V.3.

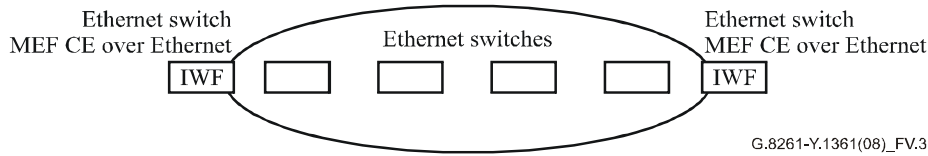


Figure V.3 – Ethernet switches only network

NOTE 2 – The scenario shown in this figure can be modelled with the reference models shown in Figures V.1 and V.2.

It could also be an MPLS network with P devices and IWF at PE (provider edge), as shown in Figure V.4.

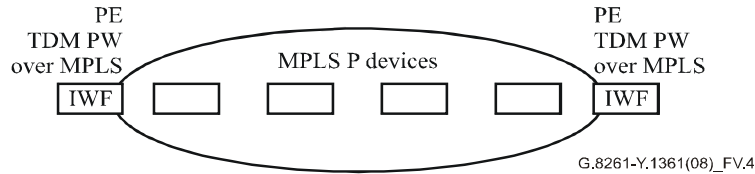


Figure V.4 – MPLS PE/P only network

It could also be an IP network with IP routers and IWF in routers as shown in Figure V.5.

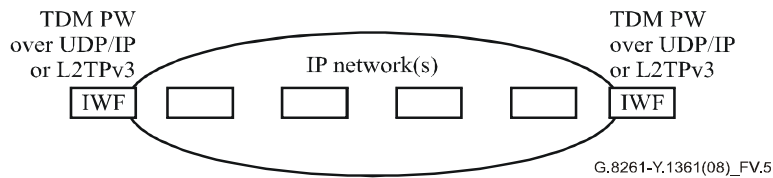


Figure V.5 – IP routers only network

NOTE 3 – The network characteristics in terms of packet delay variation of the scenarios shown in Figures V.4 and V.5 (except when a software-based forwarder is used) can be based on the results from the models shown in Figures V.1 and V.2.

However, current networks are often more complex; they may consist of different transport technologies even within one domain or operator. A TDM PW may also cross different domains.

Five examples are given below.

- 1) TDM MPLS PW crossing 3rd party MPLS carrier (Figure V.6)

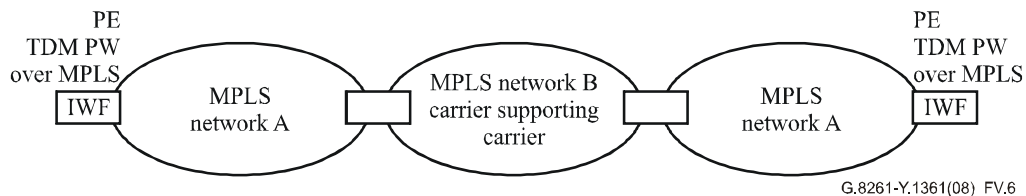


Figure V.6 – MPLS network over MPLS network

- 2) TDM MPLS PW terminated on distinct carrier IWF devices (Figure V.7)

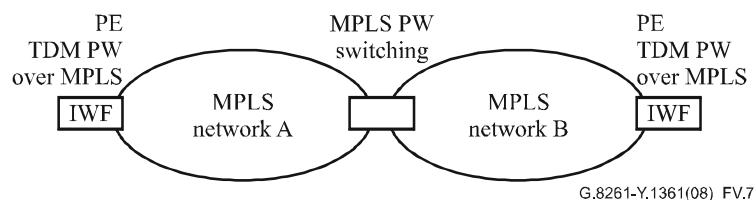


Figure V.7 – Crossing distinct MPLS networks or domains

NOTE 4 – Such a scenario may also depict a change in transport layer as shown in Figure V.8, where the TDM PW moves from MPLS to IP. In this case, the TDM packet encapsulation payload is not changed; only the PSN layer changes.

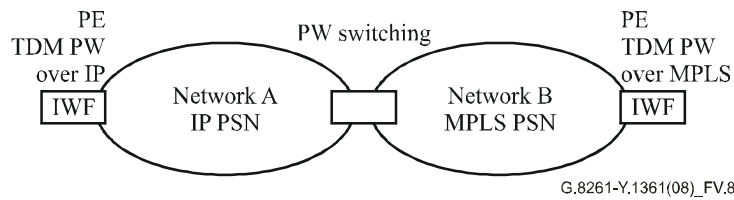


Figure V.8 – Swapping the PSN layers

NOTE 5 – It may be possible that the TDM stream may have to be recovered at an interconnect point between two domains or operators, either because the previous scenario is not possible (different TDM PW encapsulations), or because operators do not agree on the interconnection method (can be with respect to location or management of the switching node, the encapsulation or control plane). This is shown in Figure V.9.

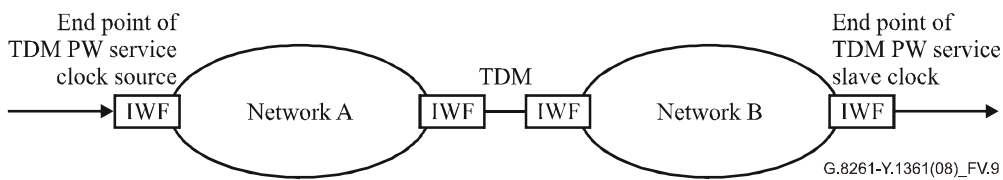


Figure V.9 – Crossing distinct operator networks with no PW switching function

3) TDM IP PW using MPLS network, optionally using a L3VPN service (Figure V.10)

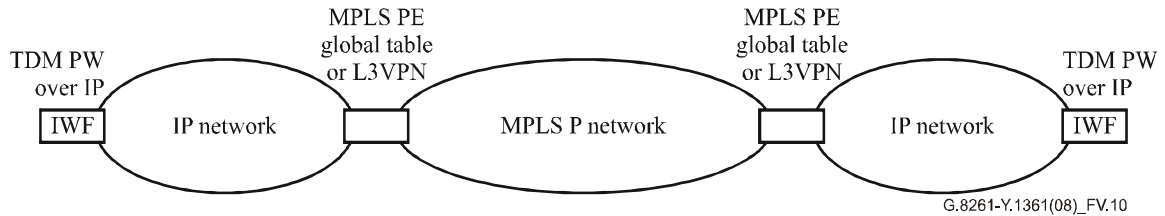


Figure V.10 – IP over MPLS network

4) TDM Ethernet PW using MPLS network for transmission (Figure V.11)

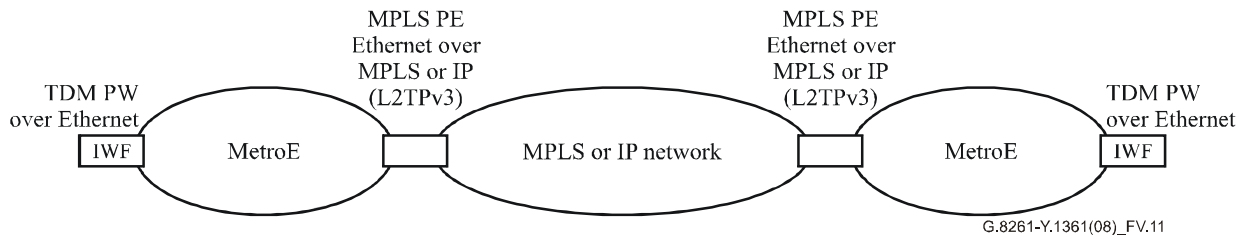


Figure V.11 – Ethernet over MPLS or IP network

5) TDM IP PW using Ethernet PW service over MPLS network (Figure V.12).

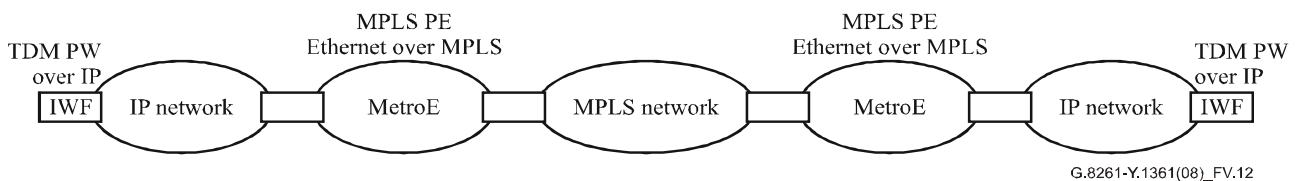


Figure V.12 – IP over Ethernet over MPLS network

Some key aspects of such compound networks include:

- network equipments will have different characteristics;
- network policy (e.g., QoS) may be different if crossing different domains;
- timing architecture may be different.

Appendix VI

Measurement guidelines for packet-based methods

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

The guidelines in this appendix are intended to assist in the acquisition of performance characteristics used to establish benchmarking results.

It is important to consider that, when doing performance comparisons, the configurations of the systems being compared be as similar as possible.

Results from the test cases provided in this appendix provide no guarantee that equipment will perform as expected in a complex network situation under a range of complex and changing load conditions.

Although test cases in this appendix provide a useful guidance on the performance of Ethernet-based circuit emulation techniques, evaluation in complex network scenarios that mimic the deployment profile is strongly recommended.

VI.1 Measurement reference points

The measurement reference points are provided in Figure VI.1 (differential clock recovery method) and Figure VI.2 (adaptive clock recovery method). The two figures of this clause provide two of the most relevant test scenarios. Additional scenarios may be identified in future versions of this Recommendation.

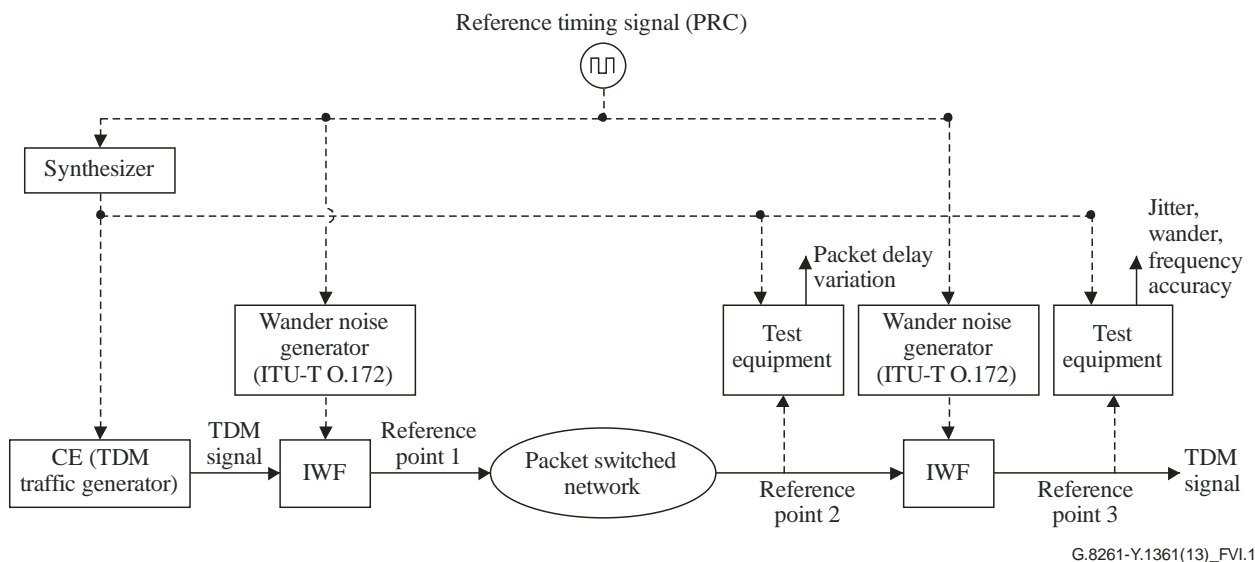
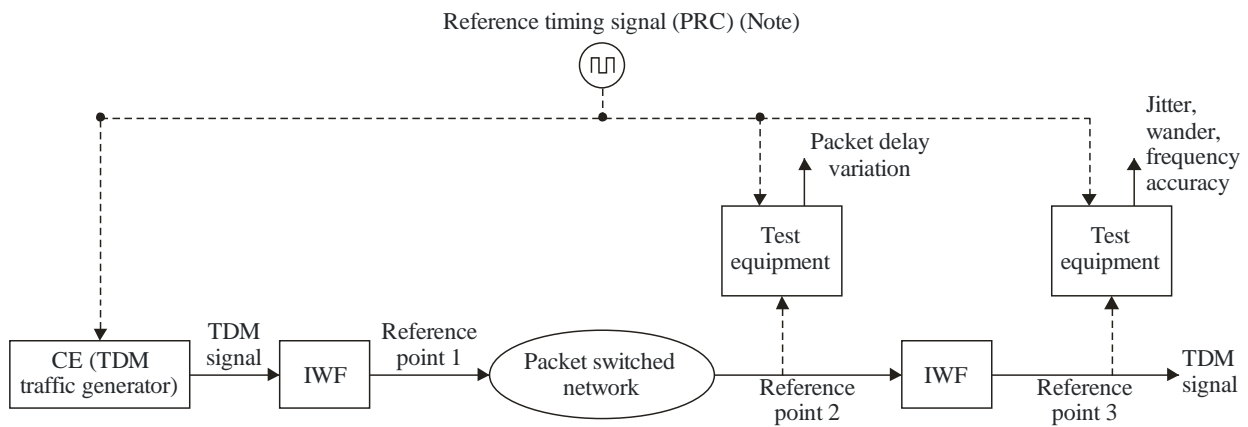


Figure VI.1 – Measurement reference points in the differential clock recovery method



G.8261-Y.1361(13)_FVI.2

NOTE – The reference timing signal (PRC) is used to represent the TDM service clock.

Figure VI.2 – Measurement reference points in the adaptive clock recovery method

NOTE 1 – The "Wander noise generator" in Figure VI.1 is inserted to simulate the noise generated by the synchronization network (as specified in [ITU-T O.172]). The output of the wander noise generation should comply with the synchronization interface as specified in [ITU-T G.824] and [ITU-T G.823].

NOTE 2 – The synthesizer in Figure VI.1 is needed to change the frequency of the asynchronous TDM signals (within the [ITU-T G.703] limits).

NOTE 3 – This appendix contains a suite of tests to evaluate the performance of clock recovery under different kinds of network topologies, traffic characteristics and impairments. However, the tests defined here are not exhaustive, and do not cover all possible impairments that may be caused by the packet network. Further tests may be defined in the future, for example:

- clock recovery under the presence of link aggregation, such as [IEEE 802.1ad];
- clock recovery under the presence of QoS;
- clock recovery under the presence of flow control, such as [b-IEEE 802.3x] pause frames.

NOTE 4 – Measurement methodologies for the asynchronous signals are provided in Appendix II of [ITU-T G.823].

VI.2 Input traffic characteristics

To be able to account for different traffic types in the network, two types of disturbance traffic models are defined as described in clauses VI.2.1 and VI.2.2 below.

The Network Traffic model 1 is intended to model the traffic in the access network where the majority of the traffic is voice. The Network Traffic model 2 is intended to model the traffic on networks where the majority of the traffic is data.

It should be noted that the CES traffic is in addition to the disturbance traffic.

NOTE 1 – The details on how traffic is injected have to be provided when performing the tests. The details should cover aspects such as how the traffic is mixed, which Ethernet switches are receiving the traffic, the packet rate for the CBR flows, etc. As an example for details on how the traffic is mixed, the following approach could be followed:

- the different packet size profiles will appear in a random manner with probability 0.8, 0.15 and 0.05 respectively. The random generation process will be identically independent distributed (uncorrelated) based on some pseudo-random binary sequence (PRBS) with a minimal period of 223-1 frames.

Maximum size packets will occur in bursts lasting between 0.1 s and 3 s. For each burst event, the burst length will be selected randomly using an identically independent uniformly distributed random generator between 0.1 s to 3 s.

NOTE 1A – Different interpretations, on how the traffic bursts are generated in the following network traffic models, have been proposed. The test result may depend on the specific interpretation that has been adopted.

NOTE 2 – The traffic can be injected in serial (into one port of the Ethernet switch) or in parallel (into multiple ports of the Ethernet switch) and, in general, different behaviour is expected. However, similar statistical properties of the packet delay variation at the output of the packet network have been observed for the serial and parallel cases when the statistics of the packets with minimum delay were not significantly impacted by the load conditions. The following are some of the aspects that may impact the statistics of the packets with minimum delay:

- queuing strategy in the switches
- number of switches in chain
- static vs. non-static load.

The traffic inserted into the packet-switched network in some of the test cases (such as case 2, 3, 13 and 14) may lead to very low frequency variation on the timing information carried by the timing packets. In this case, in order to attenuate, filter or suppress such low frequency effects the CES slave, PSC-A or PEC-S may require a low frequency filtering capability.

VI.2.1 Network Traffic model 1

According to 3GPP, the access traffic is composed by conversational (voice), streaming (audio-video), interactive (e.g., http) and background (sms, e-mail). It is known that in wireless network 80% to 90% of the traffic is conversational, with the average call lasting from 1 minute to 2 minutes. To be able to model this traffic, 80% of the load should be based on packets of fixed small-size constant bit rate, and 20% based on packets with a mix of medium and maximum size.

The packet size profile is:

- 80% of the load must be minimum size packets (64 octets)
- 15% of the load must be maximum size packets (1518 octets)
- 5% of the load must be medium size packets (576 octets).

Maximum size packets will occur in bursts lasting between 0.1 s and 3 s.

VI.2.2 Network Traffic model 2

Bigger packets compared with the Network Traffic model 1 compose the networks that handle more data traffic. To be able to model this traffic, 60% of the load should be based on packets of maximum size, and 40% on packets with a mix of minimum and medium size.

The packet size profile is:

- 60% of the load must be maximum size packets (1518 octets)
- 30% of the load must be minimum size packets (64 octets)
- 10% of the load must be medium size packets (576 octets).

Maximum size packets will occur in bursts lasting between 0.1 s and 3 s.

NOTE – Traffic model 1 is based on the typical traffic characteristics of wireless access networks that are based on the first generations of mobile technologies (e.g., GSM, WCDMA 3GPP releases up to Rel. 4). However, there are cases when, in order to optimize the bandwidth usage during the traffic peak hours, the packets to/from base stations with Ethernet interface can be bundled in packets of larger size resulting in traffic characteristics pertaining to those of Traffic model 2 instead. In this case, the traffic models characteristics may change over time.

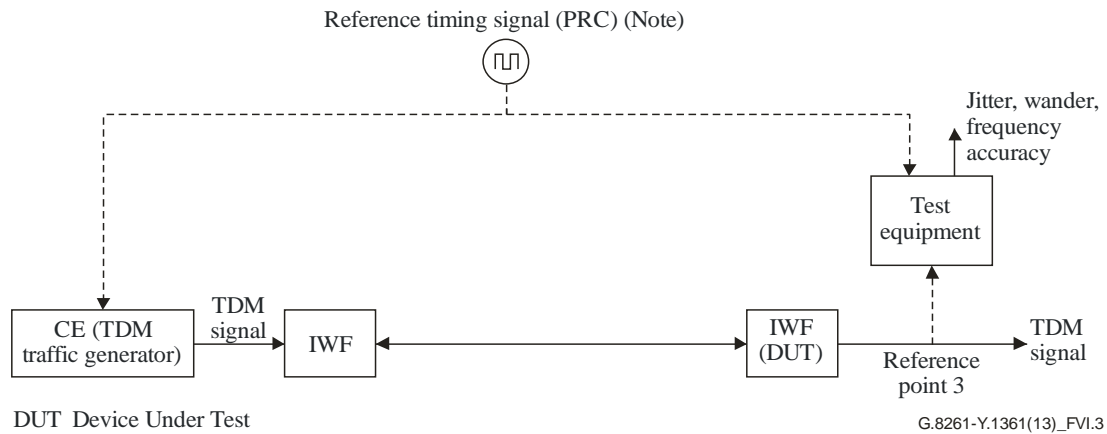
VI.3 Test topologies for adaptive methods

The testing topologies described herein include methods for testing the synchronization methods applicable to this Recommendation. These tests have been defined in a controlled environment (i.e., not in the field).

NOTE – The test cases presented in this clause address the test of the CES domain. The test of the PNT domain when adaptive clock recovery methods are used could be done using the same approach. Some adaptation of the test cases set-up might be needed for this purpose. This is for further study.

VI.3.1 Baseline test

Baseline test topology is shown in Figure VI.3.



DUT Device Under Test

NOTE – The reference timing signal (PRC) is used to represent the TDM service clock.

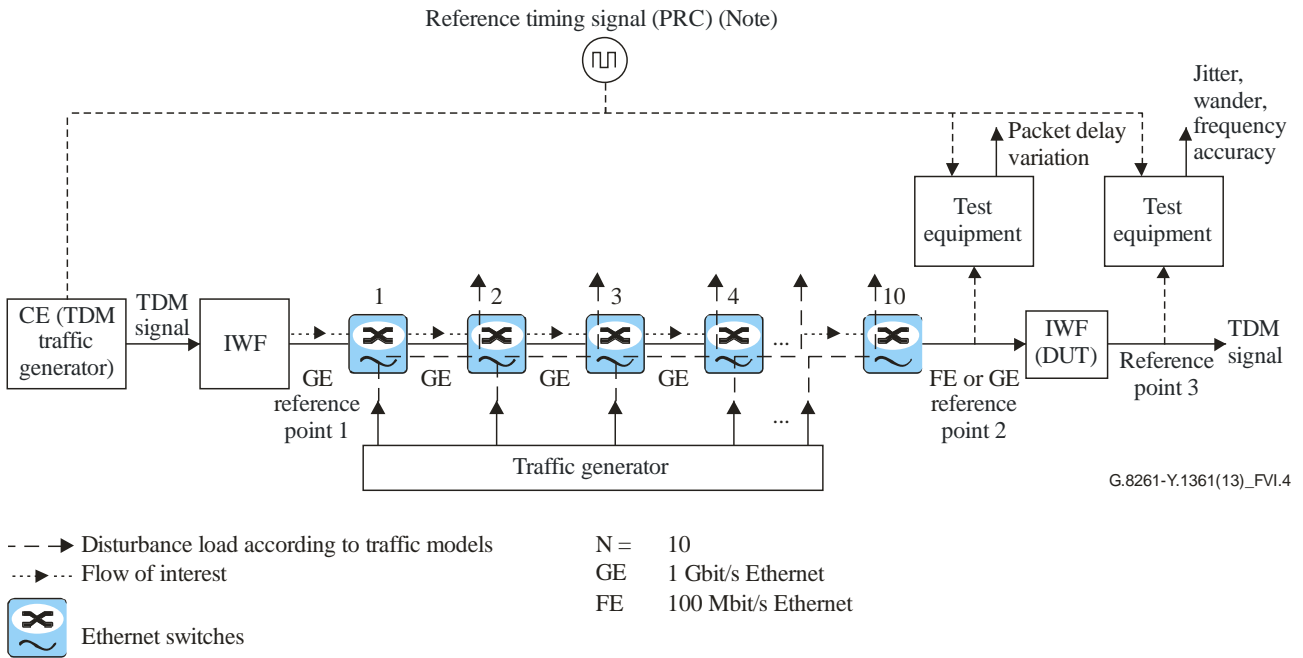
Figure VI.3 – Baseline test topology

The baseline test should be done under the following conditions:

- no packet load
- test measurements
 - measure TIE, MTIE, and MRTIE (as described in [ITU-T G.823] and [ITU-T G.824])
 - measure frequency accuracy (the value for the frequency accuracy measurement integration-time is dependent upon the relevant end equipment)
 - performance should meet the network limits for the relevant cases as defined in clause 9.

VI.3.2 Performance test

The performance test is equivalent to model A in Appendix V, composed with either 10 gigabit Ethernet switches or 9 gigabit Ethernet (GE) switches and 1 fast Ethernet (FE) switches. The test topology is shown in Figure VI.4.



NOTE – The reference timing signal (PRC) is used to represent the TDM service clock.

Figure VI.4 – Performance test topology

A specific test topology shown in Figure VI.5 is needed to perform the test case on traffic concentration forming bottleneck. This kind of configuration creates the beating effect (see Figures 20 and 21).

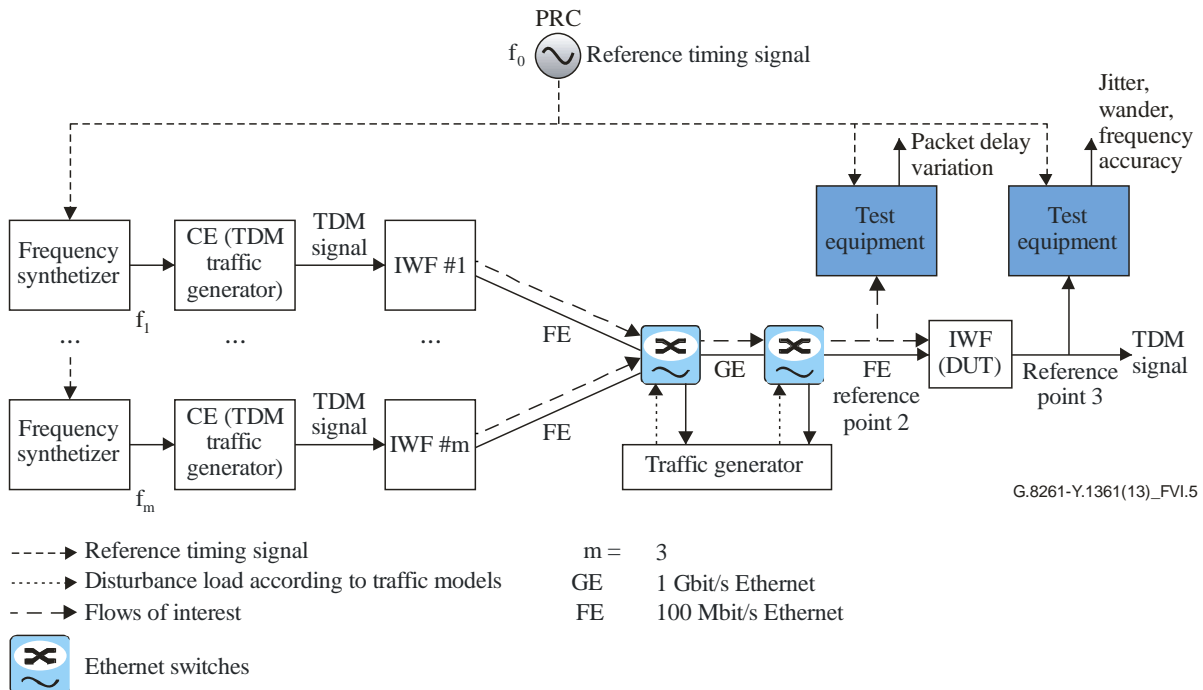


Figure VI.5 – Performance test topology for traffic concentration test case

The device under test (DUT) must be tested for stability of operation under disruptive events that may cause the synchronization to fail or go out of specification. Test cases described in this clause are performed to test the DUT under load variation, network changes and packet loss.

For each of the test cases described in this clause, the following measurements should be performed:

- measure TIE, MTIE, and MRTIE (as described in [ITU-T G.823] and [ITU-T G.824]);
- measure frequency accuracy (the value for the frequency accuracy measurement integration-time is dependent upon the relevant end equipment);
- measure packet delay variation;
- performance should meet the network limits for the relevant cases as defined in clause 9.

NOTE 1 – The test set-up, as described in Figure VI.4, provides the starting point towards a common test scenario.

However, in order to get a test environment that will be simpler to be implemented and in order to remove any risk for getting different results when using Ethernet switches of different technologies, a proposal is under discussion to replace the specification as defined in Figure VI.4 with a new test set-up, where in place of the Ethernet switches and the traffic generator, the delay variation could be created by a test equipment with a delay variation profile as input.

This delay variation profile could be expressed in terms of delay variation "test vectors" (test sequence) of duration 15 min, 60 min, and 24 hours. The delay variation shall be expressed with the proper timing resolution.

The test sequences would be based on the results from the tests performed using the tests topology as described in Figure VI.4.

NOTE 2 – Deterministic test cases may also be considered in addition to the test cases described in this clause. This is for further study.

VI.3.2.1 Test Case 1

Test Case 1 models the "static" packet load. Test Case 1 must use the following network conditions:

- network disturbance load with 80% for 1 hour. The test measurements should start after the clock recovery is in a stable condition. Guidance on stabilization period is provided in Appendix II. The disturbance background traffic to load the network must use network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2.

VI.3.2.2 Test Case 2

Test Case 2 models sudden large and persistent changes in network load. It demonstrates stability on sudden large changes in network conditions, and wander performance in the presence of low frequency PDV.

Test Case 2 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
- allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize before doing the measurements.
- start with network disturbance load at 80% for 1 hour, drop to 20% for 1 hour, increase back to 80% for 1 hour, drop back to 20% for 1 hour, increase back to 80% for 1 hour, drop back to 20% for 1 hour (see Figure VI.6).

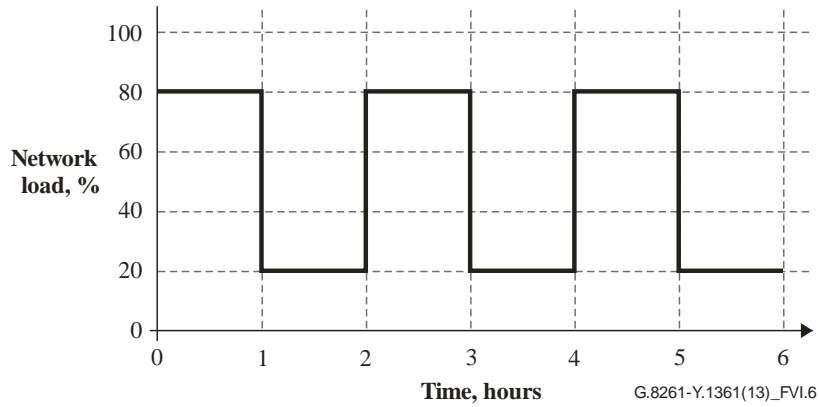


Figure VI.6 – Sudden network disturbance load modulation

- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

VI.3.2.3 Test Case 3

Test Case 3 models the slow change in network load over an extremely long timescale. It demonstrates stability with very slow changes in network conditions, and wander performance in the presence of extremely low frequency PDV.

Test Case 3 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
- allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize before doing the measurements.
- vary network disturbance load smoothly from 20% to 80% and back over a 24-hour period (see Figure VI.7).

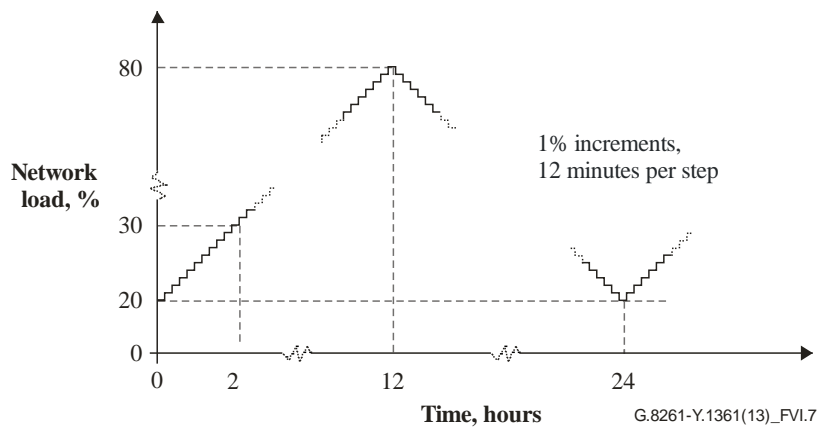


Figure VI.7 – Slow network load modulation

- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

VI.3.2.4 Test Case 4

Test Case 4 models temporary network outages and restoration for varying amounts of time. It demonstrates ability to survive network outages and recover on restoration. It should be noted that MTIE over the 1000 s interruption will largely be governed by the quality of the local oscillator, and should not be taken as indicative of the quality of the clock recovery process.

Test Case 4 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.

- start with 40% of network disturbance load. After a stabilization period according to Appendix II, remove network connection for 10 s, then restore. Allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize. Repeat with network interruptions of 100 s.
- repeat the test using Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

VI.3.2.5 Test Case 5

Test Case 5 models temporary network congestion and restoration for varying amounts of time. It demonstrates the ability to survive temporary congestion in the packet network.

Test Case 5 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
- start with 40% of network disturbance load. After a stabilization period according to Appendix II, increase network disturbance load to 100%, (inducing severe delays and packet loss) for 10 s, then restore. Allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize. Repeat with a congestion period of 100 s.
- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

VI.3.2.6 Test Case 6

Test Case 6 models routing changes caused by failures in the network.

Test Case 6 must use the following network conditions:

- change the number of switches between the DUTs, causing a step change in packet network delay.
 - the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
 - start with 40% of network disturbance load. After a stabilization period according to Appendix II, re-route the traffic to bypass one switch in the traffic path. This shall be done by updating the test set-up in Figure VI.4 adding a cable from switch in position "n" to switch in position "n+2", and either using a fibre spool or adding an impairment box able to simulate different cable lengths (10 μ s and 200 μ s can be simulated as typical examples). The configuration shall be done so that the traffic flow under test is routed directly from switch in position "n" via the new link to switch in position "n+2".

After disconnecting the cable from switch "n" to switch "n+2" (so that traffic under test will then be routed from switch in position "n" to switch in position "n+1"), allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize, and then reconnect the link that was disconnected in order to restore the traffic on the original path.
 - start with 40% of network disturbance load. After a stabilization period according to Appendix II, re-route the traffic to bypass three switches in the traffic path. This shall be done by updating the test set-up in Figure VI.4 adding a cable from switch in position "n" to switch in position "n+4", and either using a fibre spool or adding an impairment box able to simulate different cable lengths (10 μ s and 200 μ s can be simulated as typical examples). The configuration shall be done so that the traffic flow under test is routed directly from switch in position "n" via the new link to switch in position "n+4".

After disconnecting the cable from switch "n" to switch "n+4" (so that traffic under test will then be routed from switch in position "n" to switch in position "n+1"), allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize, and then reconnect the link that was disconnected in order to restore the traffic on the original path.

- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

VI.3.2.7 Test Case 7

Test Case 7 models the beating effect due to traffic concentration with TDM sources of different frequency. In particular, this test case is referring to CES TDM flows associated with a 2048 Mbit/s or 1544 Mbit/s bitstream. The test set-up is shown in Figure VI.5 and must use the following network conditions:

- network disturbance load with 60% for the entire test period. The test measurements should start after the clock recovery is in a stable condition and should run over 24 hours. Guidance on stabilization period is provided in Appendix II. The disturbance background traffic to load the network must use Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2.

- apply the following frequencies with the frequency synthesizers to test the case of asynchronous services:

$$f_1 = f_0$$

$$f_2 = f_0 + 1 \text{ ppm}$$

$$f_3 = f_0 - 50 \text{ ppm (2048 kbit/s signals) or } f_0 - 32 \text{ ppm (1544 kbit/s signals)}$$

- at the output of the IWF on the right (reference point 3), select the TDM output signal sent by IWF #0 for measurement of the applicable jitter and wander limits and the TDM output signal sent by IWF #3 for measurement of the asynchronous service clock.

- run the test again with the following frequencies to test the case of clocks in holdover mixed with asynchronous services:

$$f_1 = f_0$$

$$f_2 = f_0 + 16 \text{ ppb}$$

$$f_3 = f_0 - 50 \text{ ppm (2048 kbit/s signals) or } f_0 - 32 \text{ ppm (1544 kbit/s signals)}$$

NOTE 1 – Packet size must be the same for all CES packet streams.

NOTE 2 – The same test scenario can be also used to test different CES TDM bitstreams (e.g., DS3 CES).

NOTE 3 – Other test cases based on this test case (e.g., non-static tests where the frequency offset drifts over time) are for further study.

VI.3.2.8 Test Case 8

Test Case 8 models a topology-dependent mechanism in packet networks that can delay packets by more than would be expected from volume-of-traffic considerations alone (see clause 10.1.2.6).

The test network is as given in clause VI.3.2, Figure VI.4, with the following change: there is just one source of "disturbance traffic", which is injected at switch 1, and traverses the entire network exiting at switch 10 on a separate port to the time-sensitive traffic.

- test Case part A
 This test case is similar to Test Case 3 (clause VI.3.2.3). It tests for gradual increases and decreases in traffic load in the presence of the blocking effect as described in clause 10.1.2.6. It is not thought necessary to go to the same extremely low frequency, and hence long test runs as Test Case 3 in order to demonstrate resilience to this particular effect.
 Using network traffic model 2, start with 0% disturbance traffic load. Allow an initial stabilization period, according to Appendix II. Then increase the traffic load in 1% increments every minute up to 50% load. Reduce the load again in 1% increments back down to 0%.
- test Case part B
 This test case is similar to Test Case 2 (clause VI.3.2.2). It tests for sudden increases and decreases in traffic load in the presence of the blocking effect as described in clause 10.1.2.6.
 Using network traffic model 2, start with 0% disturbance traffic load. Allow an initial stabilization period, according to Appendix II. Then increase the traffic load up to 50% for 1 hour. Repeat three times.

VI.4 Test Topologies for differential methods

The test topology is shown in Figure VI.8.

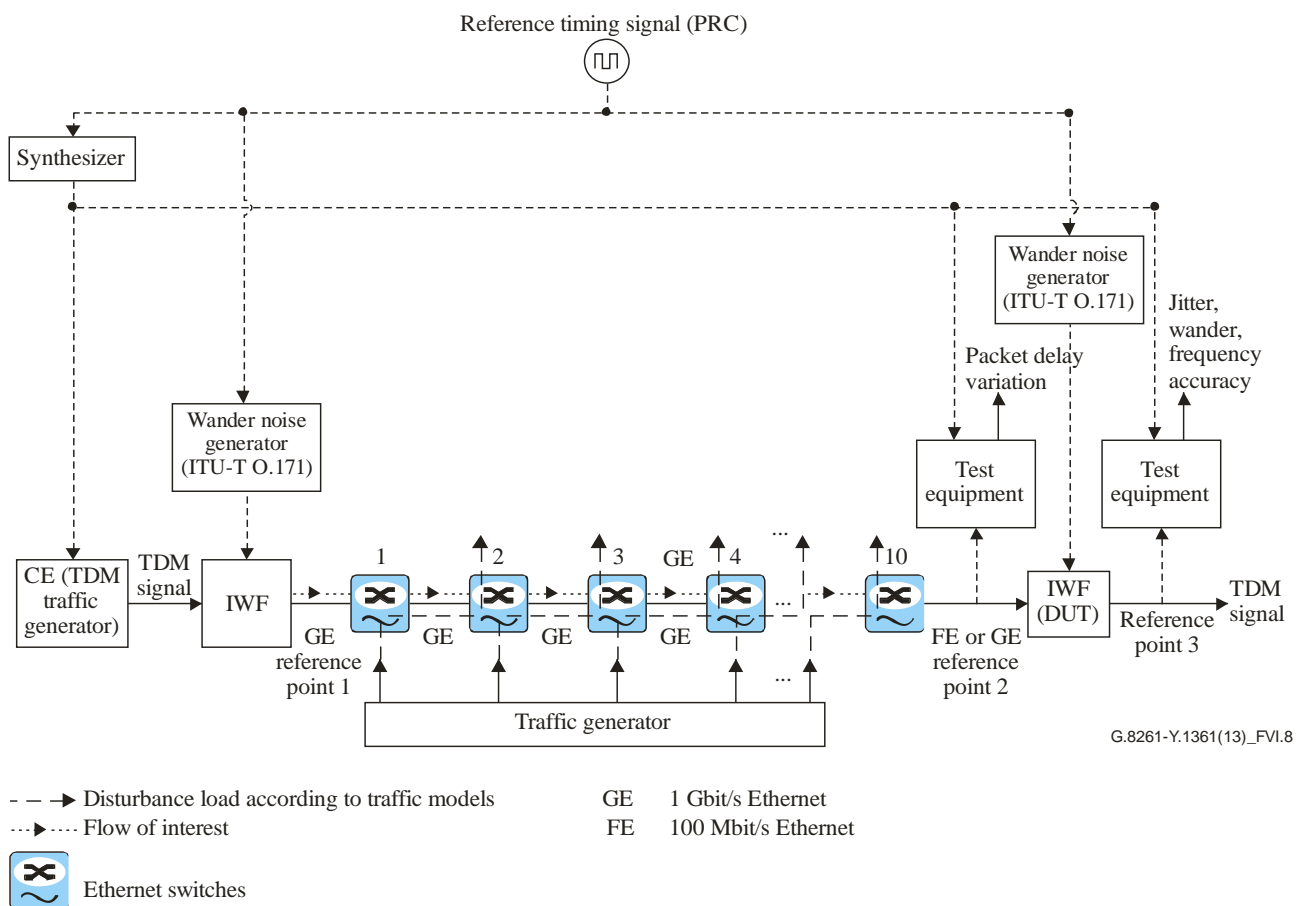


Figure VI.8 – Performance test topology for differential clock recovery method

NOTE – The frequency offset from the PRC introduced by the synthesizer should be + (or –) 50 ppm (2048 kbit/s) and + (or –) 32 ppm (1544 kbit/s) for all the test cases.

VI.4.1 Test Case 9

Test Case 9 models the performance of the differential clock recovery method under the "static" packet load. Test Case 9 must use the following network conditions:

- network disturbance load with 80% for 1 hour. The test measurements should start after the clock recovery is in a stable condition. Guidance on stabilization period is provided in Appendix II. The disturbance background traffic to load the network must use Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2.

VI.4.2 Test Case 10

Test Case 10 models the performance of the differential clock recovery method with noise added into the reference timing signal into the IWF. It is used to simulate the noise generated by the Synchronization Network (as specified in [ITU-T O.172]).

Test Case 10 must use the following network conditions:

- inject wander noise according to Annex C of [ITU-T O.172] to simulate the wander noise generated by the synchronization network. The actual values for the wander noise depend on the application (e.g., E1, DS1). The applicable wander noise masks are for further study.
- network disturbance load with 80% for 1 hour assuming that the clock recovery is in a stable condition. Allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize before doing the measurements. The packets to load the network must use Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2.

VI.4.3 Test Case 11

Test Case 11 models the performance of the differential clock recovery method with temporary network congestion and restoration for varying amounts of time. It demonstrates the ability to survive temporary congestion in the packet network.

Test Case 11 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
- start with 40% of network disturbance load. After a stabilization period according to Appendix II, increase network disturbance load to 100% (inducing severe delays and packet loss) for 10 s, then restore. Allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize. Repeat with a congestion period of 100 s.

NOTE – For the differential method, the following test cases have also been identified as relevant: Holdover (reference timing signal loss); different QoS cases. These are for further study.

VI.5 Test for two-way protocols

The testing topologies described herein include methods for testing two-way synchronization methods (e.g., time distribution protocols) applicable to this Recommendation.

These tests have been defined in a controlled environment (i.e., not in the field).

VI.5.1 Baseline test

Baseline test topology is shown in Figure VI.9.

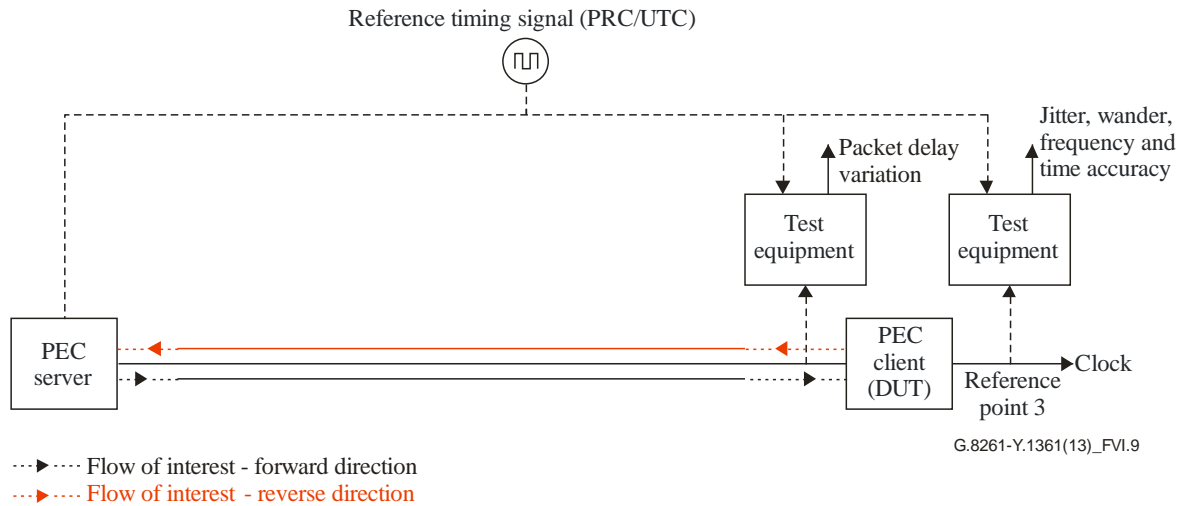


Figure VI.9 – Two-way baseline test topology

The baseline test should be done under the following conditions:

- no packet load
- test measurements:
 - measure TIE, MTIE, and MRTIE (as described in [ITU-T G.823] and [ITU-T G.824]);
 - measure frequency accuracy (the value for the frequency accuracy measurement integration-time is dependent upon the relevant end equipment);
 - measure peak-to-peak TOD accuracy;
 - performance should meet the network limits for the relevant cases as defined in clause 9.

VI.5.2 Performance test

The performance test is equivalent to model A in Appendix V, composed with either 10 GE switches or 9 GE switches and 1 FE switches. The test topology is shown in Figure VI.10.

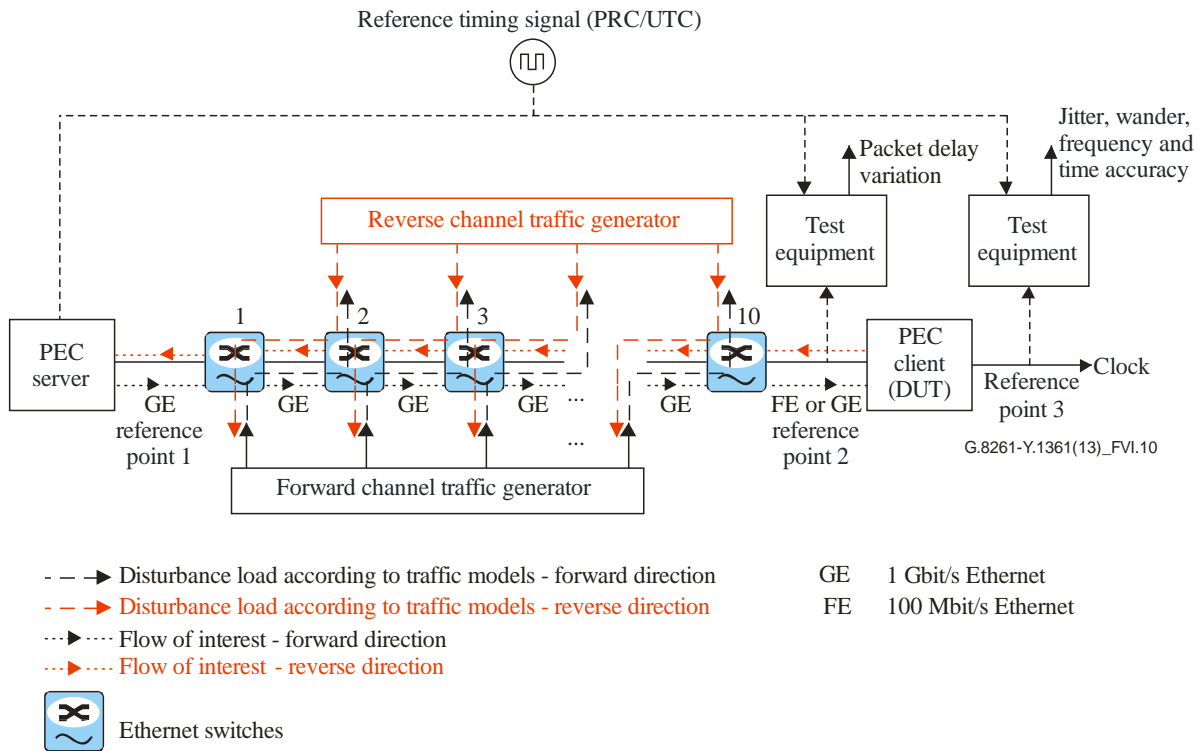


Figure VI.10 – Performance test topology for testing two-way protocols

The DUT must be tested for stability of operation under disruptive events that may cause the synchronization to fail or go out of specification. Test cases in this clause are performed to test the DUT under load variation, network changes and packet loss.

For each of the test cases described in this clause, the following measurements should be performed:

- measure TIE, MTIE, and MRTIE (as described in [ITU-T G.823] and [ITU-T G.824]);
- measure frequency accuracy (the value for the frequency accuracy measurement integration-time is dependent upon the relevant end equipment);
- measure packet delay variation;
- measure peak-to-peak TOD accuracy;
- performance should meet the network limits for the relevant cases as defined in clause 9.

NOTE 1 – The test set-up, as described in Figure VI.10, provides the starting point towards a common test scenario.

However, in order to get a test environment that will be simpler to be implemented, and in order to remove any risk for getting different results when using Ethernet switches of different technologies, a proposal is under discussion to replace the specification as defined in Figure VI.10, with a new test set-up where in place of the Ethernet switches and the traffic generator, the delay variation could be created by a test equipment with a delay variation profile as input.

This delay variation profile could be expressed in terms of delay variation "test vectors" (test sequence) of duration 15 min, 60 min, and 24 hours. The delay variation shall be expressed with the proper timing resolution.

The test sequences would be based on the results from the tests performed using the tests topology as described in Figure VI.10.

NOTE 2 – Deterministic test cases may also be considered in addition to the test cases described in this clause. These are for further study.

VI.5.2.1 Input traffic characteristics

The same Traffic Models 1 and 2 defined in clauses VI.2.1 and VI.2.2 will be reused here for the two-way test cases.

NOTE – The definition of specific conditions to test for asymmetry is for further study. A simple test set-up could also consider constant delay in one direction.

VI.5.2.2 Test Case 12

Test Case 12 models the "static" packet load. Test Case 12 must use the following network conditions:

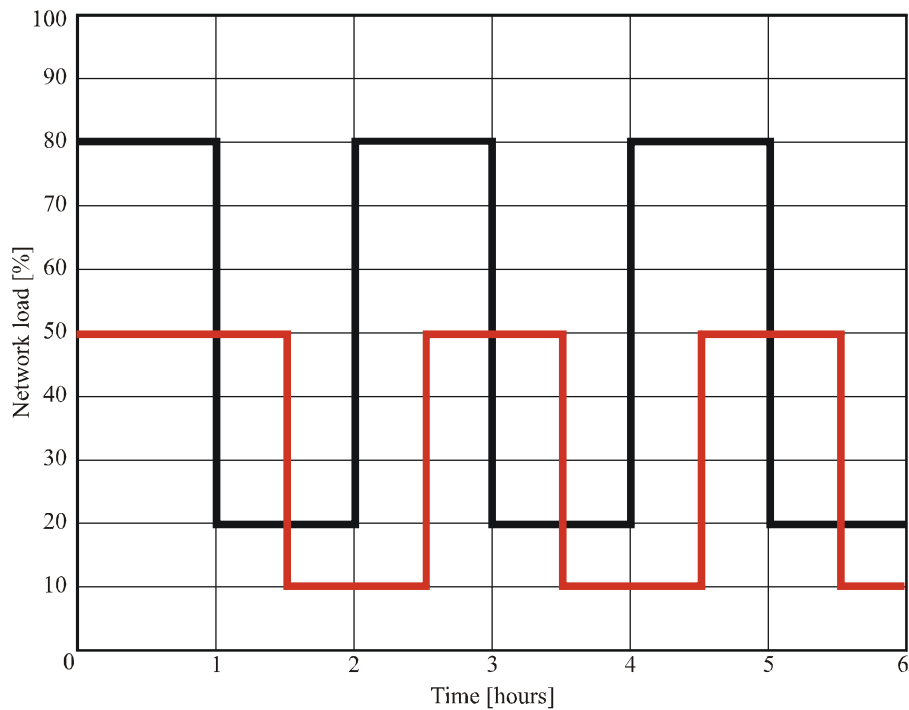
- network disturbance load with 80% for the forward direction (Server to Client) and 20% in the reverse direction (Client to Server) for 1 hour. The test measurements should start after the clock recovery is in a stable condition. Guidance on stabilization period is provided in Appendix II. The disturbance background traffic to load the network must use Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2.

VI.5.2.3 Test Case 13

Test Case 13 models sudden large, and persistent, changes in network load. It demonstrates stability on sudden large changes in network conditions, and wander performance in the presence of low frequency PDV.

Test Case 13 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
- allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize before doing the measurements.
- in the **forward** direction: Start with network disturbance load at 80% for 1 hour, drop to 20% for 1 hour, increase back to 80% for 1 hour, drop back to 20% for 1 hour, increase back to 80% for 1 hour, drop back to 20% for 1 hour. Simultaneously, in the **reverse** direction: Start with network disturbance load at 50% for 1.5 hours, drop to 10% for 1 hour, increase back to 50% for 1 hour, drop back to 10% for 1 hour, increase back to 50% for 1 hour, drop back to 10% for 0.5 hour (see Figure VI.11).



G.8261-Y.1361(08)_FVI.11

Figure VI.11 – Sudden network disturbance load modulation for 2-way

- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

NOTE – The traffic generators in the test set-up are independent, because of this the shape of the traffic shown in Figure VI.11 may drift over time.

VI.5.2.4 Test Case 14

Test Case 14 models the slow change in network load over an extremely long timescale. It demonstrates stability with very slow changes in network conditions, and wander performance in the presence of extremely low frequency PDV.

Test Case 14 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
- allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize before doing the measurements.
- in the **forward** direction: Vary network disturbance load smoothly from 20% to 80% and back over a 24-hour period. Simultaneously, in the **reverse** direction: Vary network disturbance load smoothly from 10% to 55% and back over a 24-hour period (see Figure VI.12).

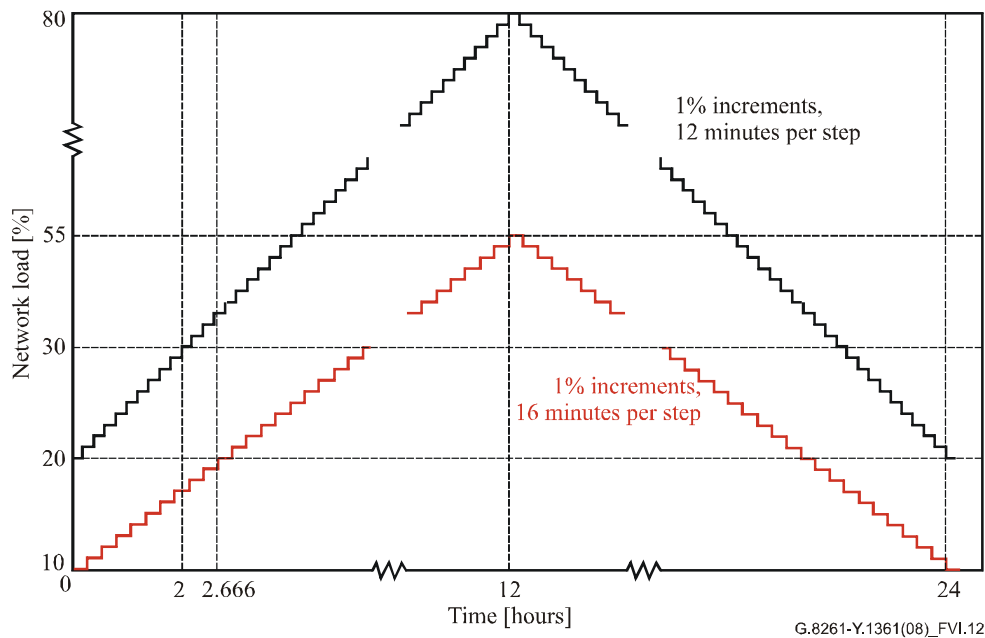


Figure VI.12 – Slow network load modulation for two-way

- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

VI.5.2.5 Test Case 15

Test Case 15 models temporary network outages and restoration for varying amounts of time. It demonstrates the ability to survive network outages and recover on restoration. It should be noted that MTIE over the 1000 s interruption will largely be governed by the quality of the local oscillator, and should not be taken as indicative of the quality of the clock recovery process.

Test Case 15 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
- start with 40% of network disturbance load in the **forward** direction and 30% load in the **reverse** direction. After a stabilization period according to Appendix II, remove network connection for 10 s, then restore. Allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize. Repeat with network interruptions of 100 s.
- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

VI.5.2.6 Test Case 16

Test Case 16 models temporary network congestion and restoration for varying amounts of time. It demonstrates the ability to survive temporary congestion in the packet network.

Test Case 16 must use the following network conditions:

- the packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1.
- start with 40% of network disturbance load in the **forward** direction and 30% load in the **reverse** direction. After a stabilization period according to Appendix II, increase network disturbance load to 100% in both directions (inducing severe delays and packet loss) for 10 s, then restore. Allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize. Repeat with a congestion period of 100 s.
- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

VI.5.2.7 Test Case 17

Test Case 17 models routing changes caused by failures in the network.

Test Case 17 must use the following network conditions:

- change the number of switches between the DUTs, causing a step change in packet network delay. The packets to load the network must use Network Traffic model 1 as defined in clause VI.2.1:
 - update the test set-up in Figure VI.10 adding a cable from switch in position "n" to switch in position "n+2" (Figure VI.13 shows an example where n=1 and switch 2 is bypassed). In this way, the traffic is re-routed (in both directions) to bypass one switch in the traffic path. This shall be done using either a fibre spool or adding an impairment box able to simulate different cable lengths (10 μ s and 200 μ s can be simulated as typical examples). The configuration shall be done so that the traffic flow under test is routed directly from switch in position "n" via the new link to switch in position "n+2".
 - start with 40% of network disturbance load in the forward direction and 30% load in the reverse direction.
 - after a stabilization period according to Appendix II, disconnect the cable from switch "n" to switch "n+2", so that traffic under test will then be forced to go through switch in position "n+1" (Figure VI.14 shows an example where n=1, the cable from switch 1 to switch 3 is removed, and the connection to switch 2 is restored in order for the traffic to go through switch 2).
 - allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize, and then reconnect the link that was disconnected in order to restore the traffic on the original path.
- repeat the test in order to create a larger phase step:
 - update the test set-up in Figure VI.10 adding a cable from switch in position "n" to switch in position "n+4". In this way the traffic is re-routed (in both directions) to bypass three switches in the traffic path. This shall be done either using a fibre spool or adding an impairment box able to simulate different cable lengths (10 μ s and 200 μ s can be simulated as typical examples). The configuration shall be done so that the traffic flow under test is routed directly from switch in position "n" via the new link to switch in position "n+4".
 - apply 40% of network disturbance load in the forward direction and 30% load in the reverse direction.
 - after a stabilization period according to Appendix II, disconnect the cable from switch "n" to switch "n+4" (so that traffic under test will then be forced to go through switch in position "n+1").
 - allow a stabilization period according to Appendix II for the clock recovery process to stabilize, and then reconnect the link that was disconnected in order to restore the traffic on the original path.

- repeat the test using the Network Traffic model 2 as defined in clause VI.2.2 to load the network.

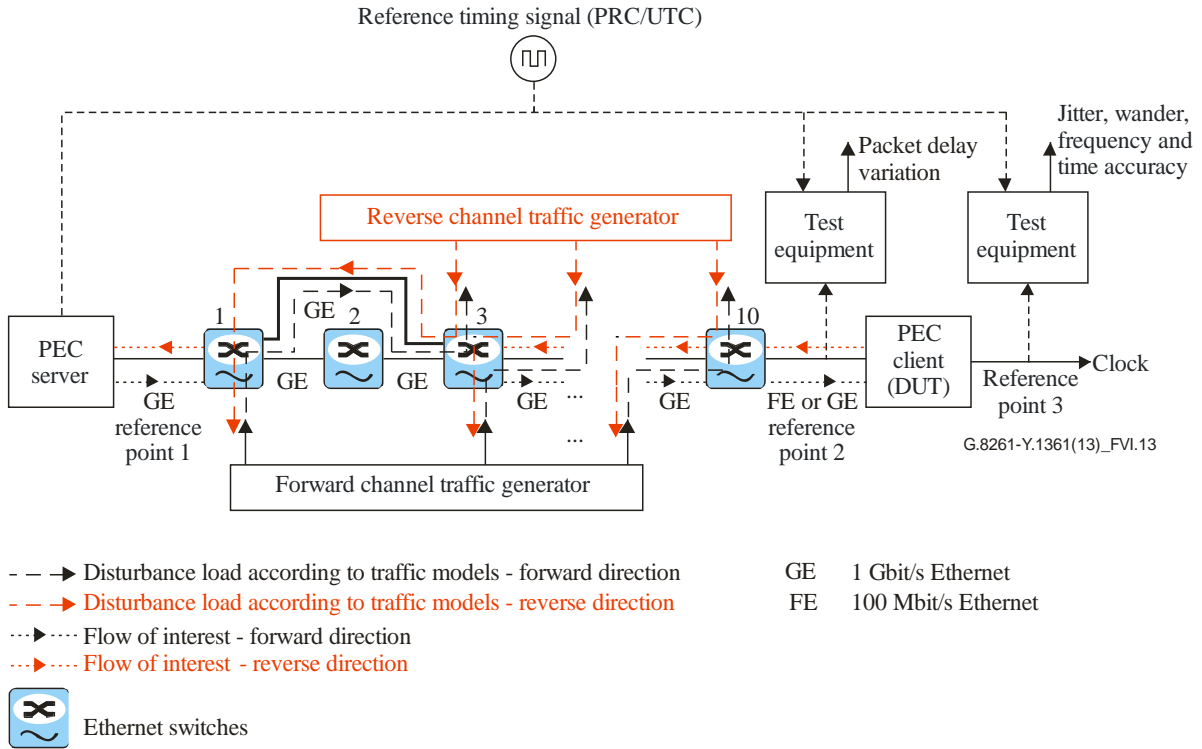


Figure VI.13 – Details of Test Case 17

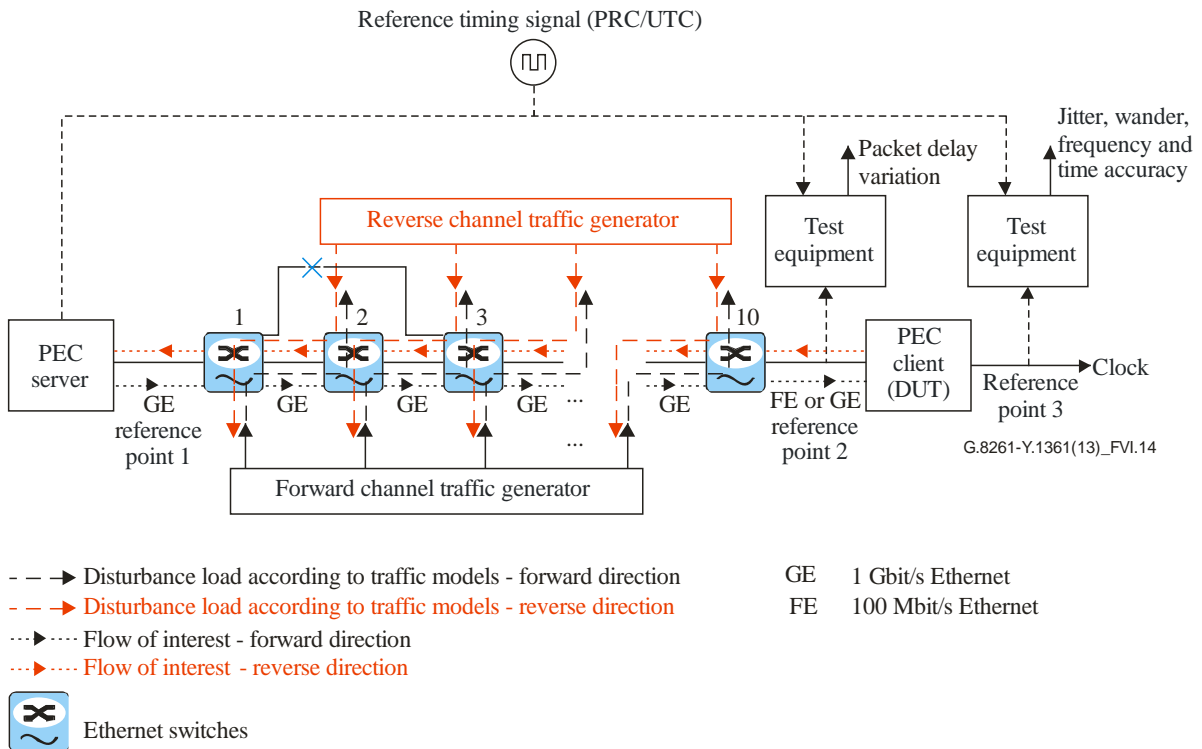


Figure VI.14 – Details of Test Case 17

Appendix VII

Wander limits in Deployment Case 1

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

VII.1 Limits for the 2048 kbit/s interface

Table 1 has been calculated based on the following considerations with reference to Annex A in [ITU-T G.823].

The wander budget can be split into three main components:

- diurnal wander
- asynchronous mapping of 2048 kbit/s
- wander caused by clock noise and transients.

Diurnal wander

There is no reason to change it, and its amplitude is small: 1 μ s.

Asynchronous mapping of 2048 kbit/s

A root mean square (RMS) law has been used to calculate the accumulation of the 2UI per island, three island will accumulate $\sqrt{3}$ * 2UI, i.e., 1.7 μ s, instead of 2 μ s in the original network model.

Wander caused by clock noise and transients

According to clause I.1.5 of [ITU-T G.823], the accumulation process may be different, depending on the magnitude of frequency offset, which may result in correlated or uncorrelated effects. It has been agreed an RMS noise accumulation. This means that each of the four islands is responsible for half of the wander budget, as currently indicated in this Recommendation. In the new network model, the three SDH islands are responsible for $\sqrt{3}$ of one SDH island budget according to the RMS accumulation law.

The total amount of wander allocated by [ITU-T G.823] is 15 μ s, and simulations reported 12.6 μ s.

The accumulation law between SDH and CES is different from that between SDH islands.

The noise generated in the SDH island is the result of VC-12 pointer events, which are infrequent, at least for a frequency offset in the range of 10^{-9} to 10^{-10} , as stated in clause I.1.5 of [ITU-T G.823]; this results in a very low probability that pointers occur at the same time in several islands.

As for the noise in a CES island, it looks very different from the one observed in SDH islands. This noise results from PDV.

As it has not been demonstrated that the RMS accumulation law applies between CES and SDH islands, it is proposed that the new model is assumed to have an RMS accumulation law for the three SDH island and a linear accumulation for the CES.

Thus, the wander budget that can be allocated to CES would be:

$$18 - (1(\text{diurnal wander}) + \sqrt{3} * 2\text{UI}(3 \text{ VC-12 mapping}) + 12.6/2 * \sqrt{3}(3 \text{ SDH islands})) = 4.3 \mu\text{s}$$

A wander of 4.3 μ s is then allocated to the CES for a period of 24 hours, and the wander template is reduced by a factor of 4.3/18 (0.24), for the other plateau derived from Table 2 of [ITU-T G.823].

VII.2 Limits for the 1544 kbit/s interface

The wander reference model and budget for 1544 kbit/s is specified in [ITU-T G.824] and consists of eight SDH islands. The wander budget components include switch synchronization, DS1 to DS3 mapping, DS1 to VC-11 mapping, diurnal wander (temperature effects on fibre), NE synchronization noise and wander due to random pointers. The total budget of 18 microseconds (over 24 hours) allows 14.3 microseconds of wander between switches (refer to Figure A.1 of [ITU-T G.824]), and this has been subdivided to accommodate the replacement of one SDH island with a CES island. The procedure followed assumes that accumulation of mapping wander, synchronization noise and wander due to pointers is based on RMS addition. Based on RMS addition, the portion of the 18 microseconds available (i.e., 12.7, see Table VII.1) to each of eight islands is now 4.5 microseconds ($12.7/\sqrt{8}$).

Table VII.1 – 1544 kbit/s wander budget component allocation

Budget component	Allocation	Portion available for subdividing
Switch Synchronization	3.7	
E11-E31 mapping	0.3	
E11 to VC-11 mapping	2.6	2.6
Diurnal wander (Temp)	1.3	
NE sync noise/pointers	10.1	10.1
Total	18.0	12.7

The resulting wander for each island in terms of MTIE over all observation times up to 24 hours is given in Table 2. This table is based on a uniform reduction of the interface specification in Table 2 of [ITU-T G.824]. Note that this table also considers the mapping jitter requirements for a single VC-11 island, 0.7 UIpp as specified in [b-ITU-T G.783], (see Table 15-3 of [b-ITU-T G.783]).

The wander accumulation studies that were performed to derive the SDH wander components were based on extensive simulations to verify that the 18-microsecond requirement could be met over the SDH reference model. Future simulation work may be required when the CES network models and mappings are specified in greater detail. These numbers may be revised based on the results of that work.

Appendix VIII

Synchronization status messaging in synchronous Ethernet PHY

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

Details on SSM for synchronous Ethernet are defined in [ITU-T G.8264].

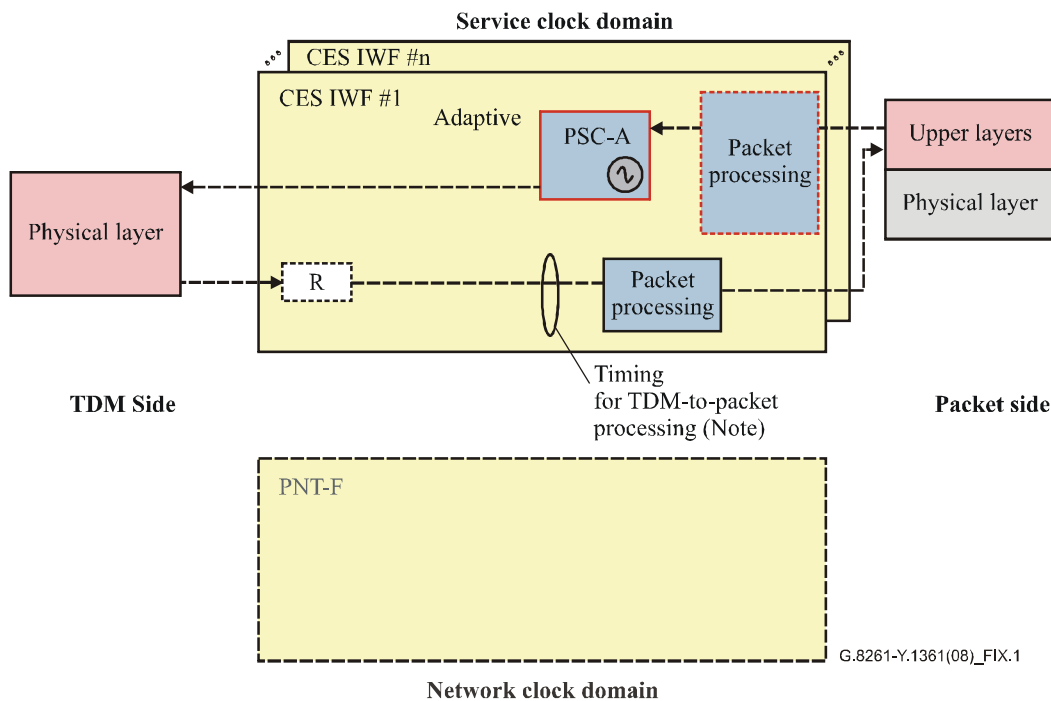
Appendix IX

IWF examples

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

Examples of typical IWF applications are provided below.

Figure IX.1 shows the case when the service clock timing is handled via adaptive method and there is no PNT function implemented (no access to network clock).



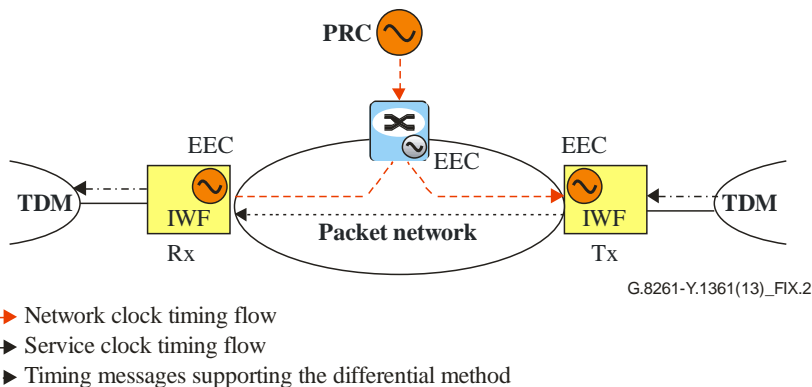
G.8261-Y.1361(08)_FIX.1

-----> Timing flow
 n Number of CES users terminated by the CES IWF

NOTE – This timing drives the generation of the outgoing packets and forms the basis for generating timing messages for adaptive methods.

Figure IX.1 – Adaptive method in the CES IWF: no PNT functions

The following figures present an example of the service and network domains in case of the TDM clock recovery according to the differential method where the common reference is distributed via synchronous Ethernet.



G.8261-Y.1361(13)_FIX.2

Figure IX.2 – Example of differential method using common reference distributed over synchronous Ethernet

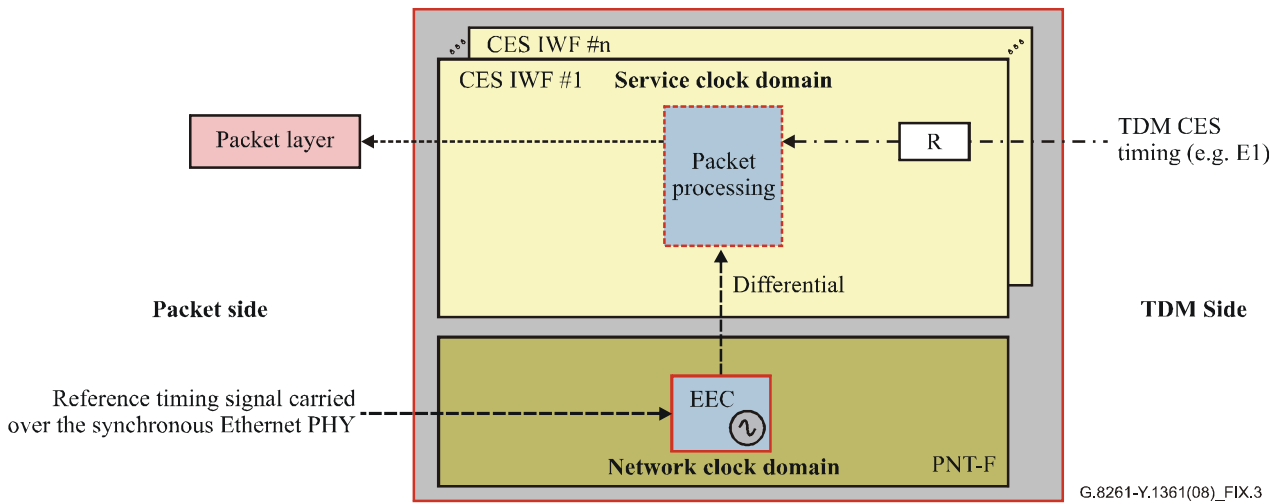


Figure IX.3 – Service and network clock domain in the IWF at the transmitting side (Tx)

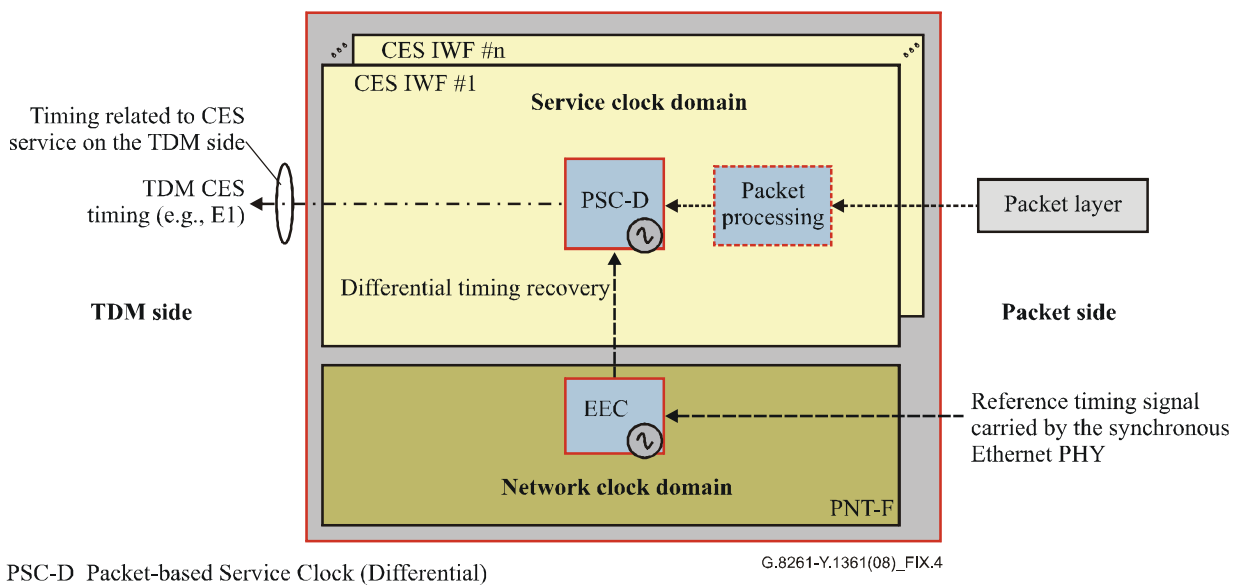
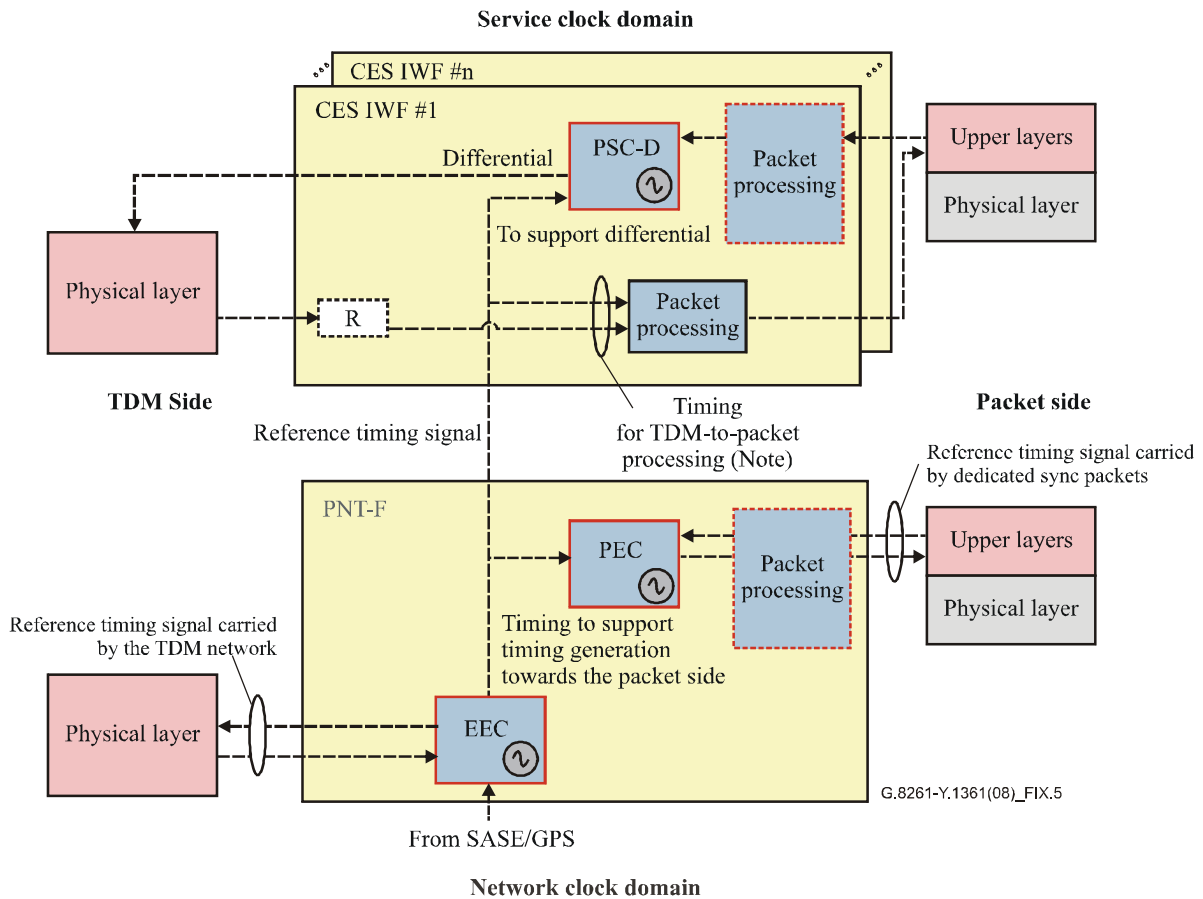


Figure IX.4 – Service and network clock domain in the IWF at the receiving side (Rx)

The next example shows the network timing carried by the TDM network. This timing is then used to support the differential operation in the CES IWF, and also to synchronize the PEC in order to generate the time stamps to be delivered over the packet network.



-----> Timing flow

n Number of CES users terminated by the CES IWF

NOTE – This timing drives the generation of the outgoing packets and forms the basis for generating timing messages for the differential methods. The reference timing signal generated by the PNT-F and the one that shall support the differential method may be driven by a clock different from EEC (e.g., SEC).

Figure IX.5 – Differential method in the CES IWF: EEC and PEC in the PNT

Appendix X

Considerations on measurement of synchronous Ethernet according to ITU-T methodologies in comparison with IEEE jitter measurements

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

The specifications and test methodologies for jitter on Ethernet differ from those for SDH because different timing methods are used. In synchronous systems such as SDH, the system components are synchronized to a common clock. In asynchronous systems such as Ethernet, component timing is provided either by distributed clocks or by clock signals recovered from the data. In this case, the jitter generated by components must be limited, but the jitter transferred from one component to another is less important than for synchronous systems where jitter can increase from component to component.

In SDH systems, three relevant measurements in different test configurations define jitter performance: band-limited jitter generation, sinusoidal jitter input tolerance, and jitter transfer.

Ethernet uses the approach that there are essentially two mechanisms that cause jitter, namely deterministic jitter and random jitter. Separate requirements are specified for transmitters and receivers.

Table X.1 – Comparison between ITU-T and IEEE jitter measurements

	SDH	Ethernet
Network standard	[b-ITU-T G.783], [ITU-T G.825]	[IEEE 802.3]
Test equipment standard	[ITU-T O.172]	
Jitter applications	Jitter generation Jitter input tolerance Jitter transfer	(Note 1) (Note 2) –
<p>NOTE 1 – There are three viable methodologies for measuring jitter output:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) time domain measurement using an oscilloscope to characterize the data eye. 2) time domain measurement using BERT scan by moving of the data sampling point within the data eye. 3) time interval analysis based on accurate measurement of the time interval between threshold crossings of the transmitter waveform. <p>NOTE 2 – A stressed receiver sensitivity (SRS) test is performed on receivers. The test is designed to verify that a receiver can operate at a BER of better than 10^{-12} when receiving the worst-case permitted signal. This test is analogous to jitter tolerance. The SRS test is also called a "stressed eye test" or "receiver tolerance test". A SRS test consists of two parts: an eye mask with combinations of impairments and a sinusoidal jitter template used for step-through measurements.</p>		

Appendix XI

Relationship between requirements contained in this Recommendation and other key synchronization related Recommendations

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

ITU-T has approved the following family of Recommendations (G-series), which describe several aspects of synchronization functions for TDM:

- ITU-T G.803 – Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH) – This Recommendation describes the functional architecture of transport networks, including network synchronization principles for networks that are based on the SDH.
- ITU-T G.810 – Definitions and terminology for synchronization networks – This Recommendation provides definitions and abbreviations used in timing and synchronization Recommendations.
- ITU-T G.823 – The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy – This Recommendation specifies the maximum network limits of jitter and wander that shall not be exceeded, and the minimum equipment tolerance to jitter and wander that shall be provided at any relevant transport or synchronization interfaces which are based on the 2048 kbit/s hierarchy.
- ITU-T G.824 – The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 1544 kbit/s hierarchy – This Recommendation specifies the maximum network limits of jitter and wander that shall not be exceeded at relevant transport or synchronization network interfaces, and the minimum equipment tolerance to jitter and wander that shall be provided at any relevant synchronization or transport interface.
- ITU-T G.825 – The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH) – This Recommendation specifies the maximum network limits of jitter and wander that shall not be exceeded, and the minimum equipment tolerance to jitter and wander that shall be provided at any relevant transport or synchronization interfaces which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).
- ITU-T G.812 – Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks – This Recommendation outlines minimum requirements for timing devices used as node clocks in synchronization networks. This Recommendation includes specifications for three types of clocks in the main body and three other clocks in Annex A.
- ITU-T G.813 – Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC) – This Recommendation outlines minimum requirements for timing devices, used in synchronizing network equipment, that operate according to the principles governed by the synchronous digital hierarchy (SDH).
- ITU-T G.781 – Synchronization layer functions – This Recommendation defines the atomic functions that are part of the 2 synchronization layers, the synchronization distribution (SD) layer and the network synchronization (NS) layer. It also defines some atomic functions, part of the transport layer, which are related with synchronization.
- ITU-T G.783 – Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks – This Recommendation specifies both the components and the methodology that should be used in order to specify SDH functionality of network elements.

ITU-T has been working on the following family of Recommendations (G.826x- and Y.136x-series), which describe several aspects of frequency synchronization functions for packet networks:

- ITU-T G.8261/Y.1361 – Timing and synchronization aspects in packet networks – This Recommendation defines synchronization aspects in packet networks. It specifies the maximum network limits of jitter and wander that shall not be exceeded. It specifies the minimum equipment tolerance to jitter and wander that shall be provided at the boundary of these packet networks at TDM and synchronization interfaces. It also outlines the minimum requirements for the synchronization function of network elements.
- ITU-T G.8261.1/Y.1361 – Packet delay variation network limits applicable to packet-based methods (Frequency synchronization) – This Recommendation is related to synchronization aspects in packet networks. In particular it specifies the hypothetical reference model and the PDV network limits applicable when frequency synchronization is carried via packets and is recovered according to adaptive clock recovery method as defined in Recommendations ITU-T G.8261 and [ITU-T G.8260]. It specifies the minimum equipment tolerance to packet delay variation in terms of the metrics defined in [ITU-T G.8260] at the boundary of these packet networks.
- ITU-T G.8262/Y.1362 – Timing characteristics of synchronous Ethernet equipment slave clock (EEC) – This Recommendation outlines the requirements for timing devices used in synchronizing network equipment that uses synchronous Ethernet.
- ITU-T G.8263/Y.1363 – Timing characteristics of packet based equipment clocks – This Recommendation outlines requirements for timing devices used in synchronizing network equipment that operates in the IWF and to other network elements as defined in Recommendation ITU-T G.8261/Y.1361. This Recommendation defines the requirements for packet-based clocks.
- ITU-T G.8264/Y.1364 – Distribution of timing information through packet networks – This Recommendation outlines the requirements on Ethernet networks with respect to frequency transfer. It specifies the SSM transport channel namely the Ethernet synchronization messaging channel, protocol behaviour and message format. This Recommendation also details the required architecture in formal modelling language.
- ITU-T G.8265/Y.1365 – Architecture and requirements for packet-based frequency delivery – This Recommendation describes the architecture and requirements for packet-based frequency distribution in telecom networks. Examples of packet-based frequency distribution include the network time protocol (NTP) and [b-IEEE 1588-2008], briefly described here. Details necessary to utilize [b-IEEE 1588-2008] in a manner consistent with the architecture are defined in other Recommendations.
- ITU-T G.8265.1/Y.1365.1 – Precision time protocol telecom profile for frequency synchronization – This Recommendation contains the ITU-T PTP Profile for frequency distribution without timing support from the network (unicast mode). It provides the necessary details to utilize [IEEE 1588-2008] in a manner consistent with the architecture described in [ITU-T G.8265]. This version of the Recommendation defines the PTP profile for unicast mode only. Future versions of the Recommendation will contain a separate profile for a mixed unicast/multicast case.

Table XI.1 shows the relationship between the TDM synchronization Recommendation family and the packet synchronization Recommendation family.

Table XI.1 – TDM synchronization Recommendation family versus
the packet synchronization Recommendation family

Requirements	TDM network	Packet network
Functional architecture and network synchronization requirements	G.803, G.810 G.823, G.824, G.825	G.8261/Y.1361 G.8261.1/Y.1361 G.8265/Y.1365
Equipment clock specification	G.812 (Type IV), G.813	G.8262/Y.1362 G.8263/Y.1363
Synchronization layer functions, functional blocks, timing flow, and SSM. Packet timing protocol	G.783, G.781	G.8264/Y.1364, G.781 G.8265.1/Y.1365.1

Appendix XII

Basic principles of timing over packet networks

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

XII.1 General

Consider the situation where a slave clock (aka client) derives its timing from a master clock (aka server). Packet exchanges between master and slave provide measurements of the transit delay and clock offset between the two. This is explained with respect to Figure XII.1. The principles of timing over packet networks described here are quite general. These are examples that are applicable to both one-way and two-way methods. The particular protocol (e.g., [b-IEEE-1588] or NTP) employed determines the details (method, and underlying conventions), whereby the measurements ("time-stamps") are communicated between the two entities. It should be noted that the number of packets transmitted in the two directions need not be equal and, further, there may be additional packets transmitted that carry information but whose transit delay is not measured.

A fundamental assumption is that packet paths (routes) can be viewed as static over some interval of time, with fundamental changes occurring infrequently. If the time interval between significant changes of the transmission path is much larger than the packet exchange interval, the path can be treated as constant for a given set of measurements. That is, the path taken by the packets is the same over the measurement interval.

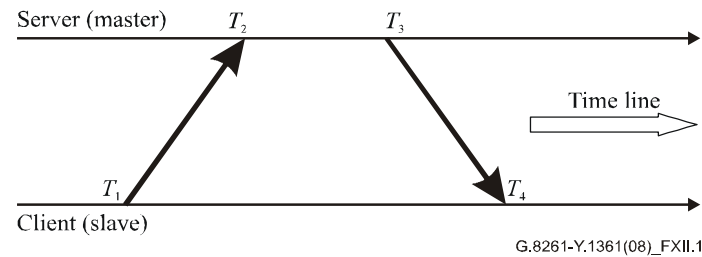


Figure XII.1 – Notion of time-stamps in packet exchange between a server and a client

Associated with the packets whose transit time is measured, there are four time-stamps which are defined as follows:

- T_1 : A time-stamp representing the best estimate of the transmit origination epoch of a packet or frame originating at the slave clock.
- T_2 : A time-stamp representing the best estimate of the receive termination epoch of packet or frame terminating at the master clock.
- T_3 : A time-stamp representing the best estimate of the transmit origination epoch of a packet or frame originating at the master clock.
- T_4 : A time-stamp representing the best estimate of the receive termination epoch of a packet or frame terminating at the slave clock.

A complete representation of a generic time-stamp value can be constructed as:

$$T_{TS}(n) = T(n) + e_{TS}(n) + e_{CLK}(n) \quad (\text{XII-1})$$

Equation XII-1 reflects the fact that the time-stamp (numerical value) associated with a packet, T_{TS} , is related to the true time epoch for that packet ($T(n)$) with two error terms. First, there is the direct contribution of the local clock error, e_{CLK} . Second, there is the inaccuracy in the time-stamp process, e_{TS} , which can obscure the behaviour of the clock. The index " n " is included to identify the packet as being one member of a sequence of packets.

With reference to Figure XII.1, the following important timing flow metrics can be defined based on the time-stamps. These metrics are applicable in both one-way and two-way transfer operations.

First consider the case of one-way (frequency) transfer operation.

One-way transfer is an asymmetrical operation that only requires packet or PDU flow originating in one direction. For example, consider a timing flow originating at the master clock and terminating at the slave clock. Of the four time-stamps described in Figure XII.1, only two apply in this mode. When the master originates the time-stamp flow, convention dictates that the time-stamp pair (T_3 , T_4) describes the process. The originating time-stamp T_3 is with respect to the master view of time (Master time-scale), while the terminating time-stamp T_4 is with respect to the slave time-scale.

The measurement offset, δ_{MS} , can be calculated as (the subscript "MS" indicates the master-to-slave direction; "SM" is used for the slave-to-master direction):

$$\delta_{MS}(n) = T_4(n) - T_3(n) \quad (\text{XII-2a})$$

where:

$$T_4(n) = T(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) + e_{S-CLK}(n) \quad (\text{XII-2b})$$

where $\Delta_{MS}(n)$ is the network delay experienced by the (n th) packet transmitted from the master to the slave, and:

$$T_3(n) = T(n) + e_{M-TS}(n) + e_{M-CLK}(n) \quad (\text{XII-2c})$$

Thus,

$$\delta_{MS}(n) = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) - e_{M-TS}(n) \quad (\text{XII-2d})$$

Note that one-way packet transfer between the client clock and server clock is also possible and an equivalent measurement offset defined for that case. Likewise, the measurement offset, δ_{SM} , for the slave-to-master direction, can be calculated as:

$$\delta_{SM}(n) = T_2(n) - T_1(n) \quad (\text{XII-2e})$$

and (Equation XII-2f) follows (Equation XII-2d) with the roles of master and slave reversed. $\Delta_{SM}(n)$ is the network delay experienced by the (n th) packet transmitted from the client to the server.

$$\delta_{SM}(n) = e_{M-CLK}(n) - e_{S-CLK}(n) + \Delta_{SM}(n) + e_{M-TS}(n) - e_{S-TS}(n) \quad (\text{XII-2f})$$

The most important properties of measurement offset are:

- 1) the measurement offset is biased by the one-way packet delay (Δ). The packet delay cannot be estimated with a one-way measurement, if the client clock offset is unknown. δ_{MS} and δ_{SM} are estimates of the one-way delay and are rendered imprecise by the clock and time-stamping errors.
- 2) by selecting one-way packet transactions with good (stable) delay properties, the deleterious impact of packet delay bias can be minimized.
- 3) the residual bias can either be reduced by estimating the one-way delay through some other means (such as using time-stamps associated with the reverse direction), or ignored in the case of frequency estimation as frequency offset is simply the rate of change of the phase offset which is zero for a constant phase bias error.
- 4) the time-stamping errors at the server and client cannot be eliminated and must be properly constrained for acceptable operation.

The measurement offset in a one-way packet transfer is analogous to the phase error measurements obtained with current physical layer one-way synchronization. As such, it is capable of supporting frequency transfer but not precise time transfer.

In contrast to one-way operation, two-way time-stamp operation implies timing packet flow in both directions. That is, all four time-stamps described in Figure XII.1 are employed. In a two-way packet time-stamp transaction, the time-stamp flow is initiated by one element (typically the client in NTP and the server in PTP).

The initiating direction is considered the forward direction, while the return transaction is considered the reverse direction. However, since each direction can be considered a one-way transaction, the two-way transaction can be described as follows:

$$\delta_{SM}(n) = e_{M-CLK}(n) - e_{S-CLK}(n) + \Delta_{SM}(n) + e_{M-TS}(n) - e_{S-TS}(n) \quad (\text{XII-3a})$$

$$\delta_{MS}(n) = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \Delta_{MS}(n) + e_{S-TS}(n) - e_{M-TS}(n) \quad (\text{XII-3b})$$

Two key parameters can be estimated from the two-way exchange, namely from δ_{SM} and δ_{MS} . For simplicity, we shall assume for now that the time-stamping errors are negligible. The first key parameter is termed *offset*:

$$\text{offset}(n) = \frac{\delta_{MS}(n) - \delta_{SM}(n)}{2} = e_{S-CLK}(n) - e_{M-CLK}(n) + \frac{[\Delta_{MS}(n) - \Delta_{SM}(n)]}{2} \quad (\text{XII-4})$$

Where *offset* represents an estimate of the clock correction required to align the client time to the server time.

The second parameter is round-trip delay (*rtd*) which represents an estimate of the total round-trip path delay:

$$\text{rtd}(n) = \delta_{MS}(n) + \delta_{SM}(n) = \Delta_{MS}(n) + \Delta_{SM}(n) \quad (\text{XII-5})$$

Obviously, to obtain an unbiased offset estimate, the forward and reverse path delays must either be known or assumed symmetric. Note that an unbiased estimate of round-trip delay depends on the clock errors being the same for both directions. Of course, if the time between the two packet exchanges is low, then the clocks errors can be assumed common to both transactions.

Error in (the estimate of) the client clock, ϵ , can be attributed to the following causes:

- 1) the transit delay in the two directions is not equal. The difference directly affects the client clock error estimate. The error, $\Delta\epsilon$, is given by:

$$\Delta\epsilon = \left(\frac{1}{2}\right)(\Delta_{MS} - \Delta_{SM}) \quad (\text{XII-6})$$

- 2) the time-stamp measurements may not be measured precisely. That is, whereas T_1 is the actual time-of-departure of the packet from the server, the value used in the calculation may be an estimated time-of-departure. Likewise, T_2 is meant to be the actual time-of-arrival; the value used may be an estimate. For the time-stamp values to be accurate, they must be obtained by means that are as close to the PHY layer as possible and thus the time-of-departure (time-of-arrival) is not compromised by any (variable) delay attributable to such entities, as the operating system and interrupt handling. There will still be some residual errors associated with time-stamp resolution and delay variation in the PHY layer itself. Time-stamp resolution can be addressed by proper design. PHY noise needs to be either constrained or filtered depending on the transport.
- 3) the transit delays Δ_{MS} and Δ_{SM} are not fixed and change from packet to packet because of the packet delay variation (PDV) associated both with queuing related effects and physical transport effects in the network.

XII.2 Packet delay variation mitigation by packet selection

An important concept is that a clock filter or clock servo operating on the measurement parameters defined above may select or weight a transaction to optimize overall clock stability. That is, by suitable classification and selection of packets, the deleterious impact of packet delay variation can be mitigated.

The assumption that the path is constant over the interval of observation implies a situation where the packet delay variation will have a distribution function with a slowly changing floor. The floor is the minimum delay that a packet (or other protocol data unit such as

a layer 2 frame) can experience in a given path. The floor can be viewed as the condition where both output and system queues (in all equipment that is involved in the flow, including the source, destination, and intervening elements) are "empty" when the particular packet needs the resource, and thereby do not delay transmission of the packet. The residual packet delay variation is then associated with physical layer jitter and wander mechanisms. Under normal non-congested loading conditions, in many cases, it has been observed that a reasonable fraction of the total number of packets will traverse the network at or near this floor, even though others may experience significantly longer delays. This type of behaviour has been addressed in this Recommendation (see Appendix I). In these cases, the PDV distribution exhibits a high degree of skewness when the network is lightly loaded. That is, the probability density can be more concentrated near this floor, with a relatively large fraction of total packets experiencing this "minimum" (or "near-minimum") delay. These phenomena are under study. A properly designed clock servo or filter can take advantage of the skewness to mitigate the effects of the instability on the long tail of the PDV distribution.

In principle, floor-based transfer noise is limited by a number of factors such as:

- 1) physical layer propagation "speed of light" delay;
- 2) time-stamp resolution;
- 3) mapping delays over non-Ethernet based physical transport (Ethernet over xDSL, PON, etc.);
- 4) other small delay variation mechanisms, such a PHY clock jitter and backplane clock domain jitter;
- 5) tilt in the offset of the local clock during the assessment of the floor.

XII.3 Comparison of packet-based and synchronous PHY methods

There are several differences between packet-based methods (e.g., [b-IEEE 1588], NTP) and synchronous PHY methods such as synchronous Ethernet. Some of these are discussed below.

- 1) synchronous PHY methods are generally one-way methods and suitable for frequency alignment. Packet-based methods can be operated in a one-way mode to achieve frequency alignment and approximate time alignment. Packet-based operation in a two-way mode can achieve time alignment as well as frequency alignment.
- 2) since the timing information in synchronous PHY methods is contained in the physical line-code signal, the information is not dependent on the traffic loading. On the contrary, packet-based methods are impacted by the traffic patterns, especially if quality-of-service prioritization schemes are not enforced.
- 3) synchronous PHY methods are point-to-point. Every intermediate node between PRC and client clock under consideration must be part of the timing distribution system for timing chains to be unbroken. Packet-based methods can traverse nodes that are not involved in the timing distribution.
- 4) the input tolerance of a synchronous PHY clock is expressed in terms of the "clock noise" in the reference signal and quantified using TDEV and MTIE metrics. The network impairments that affect the performance of a packet-based clock are packet loss and packet delay variation (PDV) both from physical layer and queuing delay sources. Suitable metrics for quantifying packet delay variation from a clock recovery point-of-view are in development. These include TDEV and minTDEV. MTIE is not a meaningful metric for quantifying packet delay variation from the viewpoint of clock recovery because not all packets are necessarily utilized in the recovery algorithms.

XII.4 Existing standards

The published standards for synchronization over packet networks are NTP ([b-IETF RFC 5905], which obsoletes both [b-IETF RFC 1305] (NTP v3) and [b-IETF RFC 4330] (SNTP)), and [b-IEEE 1588] (PTP).

NTP and PTP are general protocols for packet networks and do not directly address telecommunications requirements. Suitable profiles that provide guidelines for deployment in telecommunications applications are in development.

[ITU-T Y.1731] utilizes time-stamps for establishing some performance criteria in Ethernet networks. It is instructive to see [ITU-T Y.1731] utilize exactly the 4 time-stamps as described here, and transports them in operations, administration, and maintenance (OAM) frames between the two ends of a link.

Appendix XIII

Evaluation of the packet delay variation generation in a network node

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation.)

XIII.1 Introduction

This Appendix provides guidance on the evaluation of the packet delay variation (PDV) generation in network nodes when using packet based methods without timing support, or with partial timing support from the network. The type of testing described in this Appendix is applicable to PTP unaware nodes (i.e., network nodes not supporting boundary clocks or transparent clocks).

PDV noise is relevant to both frequency and phase or time synchronization. Asymmetry is relevant only to phase or time synchronization, but not to frequency synchronization. This Appendix only addresses frequency synchronization. The evaluation and analysis related to phase/time synchronization is for further study and may be defined in a separate Recommendation.

XIII.2 General considerations

The purpose of PDV testing for a single node is to determine the impact of the node on propagation timing of the timing packets, and therefore, its impact on the packet based timing distribution.

Any feature enabled on equipment like a router or a switch may have an effect on PDV. It is therefore suggested that a number of configurations may be trialed that represent deployment plans.

For instance, if the equipment is planned to be used as a router, the different packet flows will have to be routed in the equipment during the tests. If the equipment is planned to be used as a switch, then the different packet flows will have to be switched during the tests. Mixed scenarios might be applicable in some cases (e.g., switch/router, where packet timing may be routed and background traffic switched, or vice versa). Other configurations might be: QoS enabled or not, encapsulation that is used (e.g., MPLS), accepted customer list.

XIII.3 General configuration

This clause depicts the general configuration to be used when testing the PDV generation of a single node.

XIII.3.1 General description of the PDV generation tests for a single node

The PDV generation testing for a single node consists in measuring the PDV added to a packet timing signal (such as [b-IEEE 1588] timing flow) when it is carried over a single network equipment. The packet timing signal must be ideal at the input of the network equipment (i.e., it does not have any PDV before entering the node), and the PDV must be measured directly at the output of the network equipment in order to determine the PDV generated by the node. Stress conditions are used during the test, for instance background traffic is applied on the network node.

Figure XIII.1 below illustrates the PDV generation testing with a single node. Clause XIII.3 will detail generic tests that can be applicable.

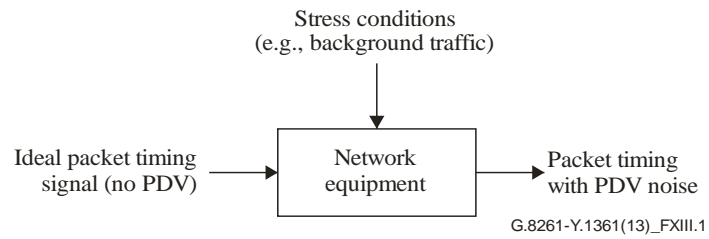


Figure XIII.1 – General set-up for PDV generation tests for a single node

NOTE 1 – In order to generate an ideal packet timing signal at the input of the network equipment, a packet master clock (e.g., PTP master) can be directly connected to the network equipment under stress conditions. Note that the PDV noise generated by the master has to be very low in order to consider that the input packet timing signal is free of noise (e.g., negligible compared to the noise measured).

NOTE 2 – The PDV of the packet timing signal (e.g., PTP timing flow) can be measured at the output of the network equipment using a PDV probe in order to determine the PDV generated by the network equipment.

NOTE 3 – In order to set up the timing protocol communication (e.g., PTP communication), a packet slave clock (e.g., PTP slave) can be connected to the network equipment after the PDV probe (note however, that the purpose is not to measure the performance at the output of the slave, but only the PDV produced by the equipment).

Details about the different possible configurations (e.g., packet timing flow and background traffic configuration) and generic tests are for further study.

Bibliography

- [b-ITU-T G.701] Recommendation ITU-T G.701 (1993), *Vocabulary of digital transmission and multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms.*
- [b-ITU-T G.707] Recommendation ITU-T G.707/Y.1322 (2000), *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [b-ITU-T G.783] Recommendation ITU-T G.783 (2004), *Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks.*
- [b-ITU-T G.801] Recommendation ITU-T G.801 (1988), *Digital transmission models.*
- [b-ITU-T G.810] Recommendation ITU-T G.810 (1996), *Definitions and terminology for synchronization networks.*
- [b-ITU-T G.1020] Recommendation ITU-T G.1020 (2006), *Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks.*
- [b-ITU-T I.363.1] Recommendation ITU-T I.363.1 (1996), *B-ISDN ATM Adaptation Layer specification: Type 1 AAL.*
- [b-ITU-T T.4] Recommendation ITU-T T.4 (2003), *Standardization of Group 3 facsimile terminals for document transmission.*
- [b-ITU-T V.90] Recommendation ITU-T V.90 (1998), *A digital modem and analogue modem pair for use on the Public Switched Telephone Network (PSTN) at data signalling rates of up to 56 000 bit/s downstream and up to 33600 bit/s upstream.*
- [b-ITU-T Y.1560] Recommendation ITU-T Y.1560 (2003), *Parameters for TCP connection performance in the presence of middleboxes.*
- [b-ETSI TR 101 685] ETSI TR 101 685 (in force), *Transmission and Multiplexing (TM); Timing and synchronization aspects of Asynchronous Transfer Mode (ATM) networks.*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=7595>
- [b-ETSI TS 100 594] ETSI TS 100 594 (1999), *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Base Station Controller – Base Transceiver Station – (BSC – BTS) interface; Layer 1 Structure of Physical Circuits.*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=8606>
- [b-ETSI TS 125 104] ETSI TS 125 104 (in force), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD).*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=28301>
- [b-ETSI TS 125 105] ETSI TS 125 105 (in force), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Base Station (BS) radio transmission and reception (TDD).*
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=28303>
- [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>

- [b-ETSI TS 125 431] ETSI TS 125 431 (in force), *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); UTRAN Iub interface Layer 1*.
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=24642>
- [b-ETSI TS 145 010] ETSI TS 145 010 (in force), *Digital cellular telecommunications systems (Phase 2+), Radio subsystem synchronization*.
<http://webapp.etsi.org/workprogram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=19334>
- [b-IEEE 802.1ah] IEEE 802.1ah-2008, *IEEE Standard for local and metropolitan area network – Virtual Bridged Local Area Networks – Amendment 7: Provider Backbone bridges*.
<<http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ah.html>>
- [b-IEEE 802.1p] IEEE 802.1p-2005, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Traffic Class Expediting and Dynamic Multicast Filtering*.
- [b-IEEE P802.1Qay] IEEE P802.1Qay-REV-2007, *Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Virtual Bridged Local Area Networks: Amendment Provider Backbone Bridge Traffic Engineering*.
<<http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ay.html>>
- [b-IEEE 802.3x] IEEE 802.3x-1997, *IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Supplements to Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications – Specification for 802.3 Full Duplex Operation and Physical Layer Specification for 100 Mb/s Operation on Two Pairs of Category 3 or Better Balanced Twisted Pair Cable*.
<<http://standards.ieee.org/getieee802/802.3.html>>
- [b-IEEE 1588] IEEE 1588 STD -2008, *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems* <<http://ieee1588.nist.gov/>>
- [b-IETF RFC 1305] IETF RFC 1305 (1992), *Network Time Protocol (Version 3) – Specification, Implementation, and Analysis*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc1305.txt?number=1305>>
- [b-IETF RFC 4330] IETF RFC 4330 (2006), *Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI*.
- [b-IETF RFC 5905] IETF RFC 5905 (2010), *Network Time Protocol Version 4: Protocol And Algorithms Specification*.
<<http://www.ietf.org/rfc/rfc5905.txt?number=59055905>>
- [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>
- [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>
- [b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), *Node B synchronization for TDD*.
<http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_09/Docs/PDFs/RP-000406.pdf>

[b-MEF 3]

MEF 3 (2004), *Circuit Emulation Service Definitions, Framework and Requirements in Metro Ethernet Networks*.

<http://metroethernetforum.org/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF3.pdf>

ITU-T Y-SERIES RECOMMENDATIONS
**GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-
GENERATION NETWORKS**

GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE	
General	Y.100–Y.199
Services, applications and middleware	Y.200–Y.299
Network aspects	Y.300–Y.399
Interfaces and protocols	Y.400–Y.499
Numbering, addressing and naming	Y.500–Y.599
Operation, administration and maintenance	Y.600–Y.699
Security	Y.700–Y.799
Performances	Y.800–Y.899
INTERNET PROTOCOL ASPECTS	
General	Y.1000–Y.1099
Services and applications	Y.1100–Y.1199
Architecture, access, network capabilities and resource management	Y.1200–Y.1299
Transport	Y.1300–Y.1399
Interworking	Y.1400–Y.1499
Quality of service and network performance	Y.1500–Y.1599
Signalling	Y.1600–Y.1699
Operation, administration and maintenance	Y.1700–Y.1799
Charging	Y.1800–Y.1899
IPTV over NGN	Y.1900–Y.1999
NEXT GENERATION NETWORKS	
Frameworks and functional architecture models	Y.2000–Y.2099
Quality of Service and performance	Y.2100–Y.2199
Service aspects: Service capabilities and service architecture	Y.2200–Y.2249
Service aspects: Interoperability of services and networks in NGN	Y.2250–Y.2299
Enhancements to NGN	Y.2300–Y.2399
Network management	Y.2400–Y.2499
Network control architectures and protocols	Y.2500–Y.2599
Packet-based Networks	Y.2600–Y.2699
Security	Y.2700–Y.2799
Generalized mobility	Y.2800–Y.2899
Carrier grade open environment	Y.2900–Y.2999
FUTURE NETWORKS	Y.3000–Y.3499
CLOUD COMPUTING	Y.3500–Y.3999

For further details, please refer to the list of ITU-T Recommendations.

SERIES OF ITU-T RECOMMENDATIONS

Series A	Organization of the work of ITU-T
Series D	General tariff principles
Series E	Overall network operation, telephone service, service operation and human factors
Series F	Non-telephone telecommunication services
Series G	Transmission systems and media, digital systems and networks
Series H	Audiovisual and multimedia systems
Series I	Integrated services digital network
Series J	Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals
Series K	Protection against interference
Series L	Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant
Series M	Telecommunication management, including TMN and network maintenance
Series N	Maintenance: international sound programme and television transmission circuits
Series O	Specifications of measuring equipment
Series P	Terminals and subjective and objective assessment methods
Series Q	Switching and signalling
Series R	Telegraph transmission
Series S	Telegraph services terminal equipment
Series T	Terminals for telematic services
Series U	Telegraph switching
Series V	Data communication over the telephone network
Series X	Data networks, open system communications and security
Series Y	Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks
Series Z	Languages and general software aspects for telecommunication systems