

# TR-G8260

## 「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」の技術レポート

Technical Report on Definitions and terminology for  
synchronization in packet networks

第1版

2014年2月27日制定

一般社団法人  
情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATIONS 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同期に関する定義と用語の技術レポート .....	4
1. はじめに .....	4
2. 調査報告概要 .....	4
3. 今後の進め方 .....	4
<参考> .....	5
II. 概要説明 .....	6
III. 調査対象勧告和訳 .....	16

## I. 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のアプリケーションとしてパケットネットワークでの同期技術が注目され、市場へのシステム導入や国際標準化活動が活発化している。TTC においてはこのような背景を考慮し、これらの勧告による技術の概要と翻訳を日本国内に広め、本分野での産業界への貢献を目指している。その最初として、ITU-T G.8260 勧告「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” Definition and terminology for synchronization in packet networks”」の調査を行った。本技術レポートではそ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、位相と時刻の同期に関する勧告において用いられる定義、用語、略語を提供する。パケットネットワークに対する様々な同期の安定性と品質の測定基準に対する数理的な定義を含んでいる。また、パケットタイミングシステムの本質とパケットネットワークによって発生する障害に関する背景の情報も含まれている。同期に対して Ethernet 物理層の方式は従来の時分割多重(TDM)物理層の同期に基づいており、従って、これらの方式に関連する定義の多くは ITU-T G.810 勧告により網羅されている。ITU-T G.810 勧告に規定のない追加の定義は本勧告中に含まれる。

第 1 章から第 5 章までは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。特に第 3.1 節の用語定義はパケットネットワークにおける同期に関する勧告全般に用いられるので重要である。

第 6 章にはパケットネットワークの概念として、物理レイヤベースとパケットベースのタイミングシステムの概説、これら二方式の比較、パケットクロックの 3 種類のクラス定義、同期のために用いる双方向タイミングプロトコル、同期に影響を及ぼすパケット信号の揺らぎ(PDV: Packet Delay Variation)の測定方法、および、パケットタイミング信号装置のインタフェースについて説明している。

第 6 章の次は、勧告としての強制力を持たず、単に情報提供の意味合いである付録 I となっている。付録 I ではパケット測定に対する測定基準の定義と性質に関連して、測定基準の基本的な考え、時刻誤差列の定義、パケット選択、パケットスレーブクロック性能を評価する PDV 測定基準、フロア遅延のパケット集合について検討した PDV 測定基準、測定基準の分類について説明している。

### 3. 今後の進め方

モバイル通信網のバックボーンのアプリケーションとしてパケットネットワークでの同期技術が注目され、市場へのシステム導入や活発な国際標準化活動の背景から本勧告の調査を行った。本勧告はパケットネットワークにおける同期技術に必要となる用語定義、背景、測定基準について説明されているが、現状では国内特有の技術の展開などが計画されていないので、現時点での標準化は見送ることにした。

今後は、パケットネットワークでの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.8260 (02/2012) および G.8260 (2012) Amendment 1 (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2月27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、利用者には有益な事項

なし。

### (8) 作成部門

情報転送専門委員会

TR-G8260

「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」  
の技術レポート

(Technical Report on Definitions and terminology for  
synchronization in packet networks)

社団法人情報通信技術委員会(TTC)  
情報転送専門委員会(WG1300)  
2014/2/27

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する複数の勧告<sup>(\*)</sup>を発行している
- 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へ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
- 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
- その最初としてITU-T G.8260勧告<sup>(\*)</sup>「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)の調査を行ったので、以下に報告する

(\*) 2014年3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, G.8272/Y.1367, G.8273/Y.1368, G.8275/Y.1369  
詳細は本資料の3頁を参照

(\*) 調査対象とした勧告はITU-T G.8260 (02/2012)およびG.8260 (2012) Amendment 1 (08/2013)

2

# パケットネットワークでの同期技術関連勧告一覧

本レポート

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)	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 ネットワーク要求
クロック	G.8262/Y.1362 同期イーサネット装置従属クロックのタイミング特性 G.8263/Y.1363 パケットベース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・バウンダリ・クロックのタイミング G.8273.3 テレコム・トランスペアレント・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 パケットベース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-G8260の要旨

- パケットネットワークにおける周波数、位相と時刻の同期に関するITU-T勧告に用いられる定義、用語、略語を提供する。
- また、パケットネットワークに対する様々な同期の安定性、品質の測定基準に対する数理的な定義、パケットタイミングシステムの本質およびパケットネットワークによって発生する障害に関する情報を提供する。

4

章	タイトル
	概要
1	範囲
2	参照
3	定義
3.1	本勧告において定義される用語
4	略語および頭字語
5	慣例
6	パケットタイミングの概念の説明
6.1	パケットタイミングの性質
6.2	パケットベースと物理レイヤのタイミングシステムの違い
6.3	パケットクロックのクラス
6.4	双方向タイミングプロトコル
6.5	PDV(Packet Delay Variation)測定
6.6	パケットタイミング信号装置のインタフェースの特徴
Appendix I	パケット測定メトリック(測定基準)の定義と性質
I.1	導入
I.2	時刻誤差列の定義
I.3	パケット選択
I.4	パケットスレーブクロック性能を評価するPDV測定基準
I.5	フロア遅延パケット集合に関して検討したPDV測定基準
I.6	メトリック分類のまとめ

5

## 第1章 Scope – 本勧告が対象とする領域

### パケットネットワークにおける同期に関する定義、用語、略語を提供

- 本勧告はパケットネットワークにおける周波数、位相と時刻の同期に関する勧告で用いられる定義、用語、略語を提供
- パケットネットワークに対する様々な同期の安定性と品質の測定基準に対する数理的な定義を含む
- パケットタイミングシステムの本質とパケットネットワークによって発生する障害に関する背景の情報についても提供
  
- 同期に対するEthernet物理層の方式は従来の時分割多重(TDM)物理層の同期に基づいている
- これらの方式に関連する定義の多くは[ITU-T G.810]により網羅されるが、追加の定義は本勧告中に含まれる

6

## 第3.1章 本勧告で定義される用語 (1/3)

### パケットネットワークに対する同期に関する用語定義を提供

用語	定義・説明
アダプティブクロックリカバリ	タイミング再生のためにネットワークワイドの同期信号を必要としないクロックリカバリ技術
任意リファレンス・タイム・クロック(ARTC)	リファレンス・タイム信号やリファレンス位相信号を提供する任意時刻生成器
コヒーレント時刻と周波数	周波数、時刻または位相を運ぶタイミング信号が元の同一の主信号源に辿ることができる状況
フロア遅延	ネットワーク上で発生し得る最小の通過遅延
フロア遅延ステップ	2つの連続して観測されたフロア遅延間の差
パケットベース方式	タイミング情報がパケットに載ったタイミング分配方式
ネットワークから物理周波数サポートを用いるパケットベース方式	物理層のタイミング・トレイルからのリファレンス・クロックからの周波数を用いたパケットベース方式
ネットワークからプロトレベルのフルタイミングサポートを用いるパケットベース方式	同期プロトコルからのタイミング情報を元にしたパケットベース方式

7

## 第3.1章 本勧告で定義される用語 (2/3)

用語	定義・説明
パケットマスタークロック	重要な瞬間のパケットタイミング信号がマスタのタイミング・リファレンス・ポイントを通過する点での正確な時間を測定するクロック
パケットネットワーク・タイミング機能(PNT-F)	同期ネットワーク・クロック・ドメインを提供する(ITU-T G.8261の図B.2を参照)。これは同期ネットワークにより運ばれるタイミング復旧と分配をする機能を含む
パケットスレーブクロック	タイミング出力が、より高い品質のクロックと交換される一つ以上のリファレンス・パケットタイミング信号に周波数ロックまたは位相調整または時刻調整されたクロック。
パケットタイミング信号	パケットマスタークロックからパケットスレーブクロックにタイミング情報を運ぶために用いられるイベント・パケットまたはフレームの連続から構成される信号。
位相同期	関連する全てのノードは重要なイベントが同じ瞬間(関連する位相精度の要求の範囲内)で発生するリファレンス・タイミング信号にアクセスできる事を暗に意味している
プライマリ・リファレンス・タイム・クロック(PRTC):	リファレンス・タイム生成器であり、国際的に公認された時刻標準(例えばUTC)に辿れるリファレンス・タイミング信号を提供
タイム・クロック	参照瞬間からの経過時間を提供する装置

8

## 第3.1章 本勧告で定義される用語 (3/3)

用語	定義・説明
時刻同期	時刻同期はテレコミュニケーションネットワークの実時間クロックに対するタイム・リファレンスの分配
ネットワークからプロトコルレベルの部分的なタイミングサポートによるパケットベース方式	パケットベース方式(周波数または時刻-位相同期)であり、ここでは同期フローのパス上の全てのネットワークノードが必ずしもタイミングサポートを実装していない
パケットタイミング・モニタ	正確で安定したクロックを活用したタイミング・イベント・メッセージの送信時刻と到着時刻の正確な測定を含むパケット・フロー(例えばPTP)を分析する能力を持つ機器
時刻誤差	一定時刻誤差、一定時刻誤差評価

9

## 6. パケットネットワーク概念

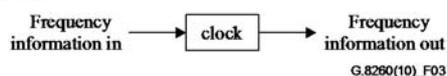
### パケットネットワークの概念として下記の6項目を説明

項目	概要	記載章
パケットタイミングの性質	物理レイヤベースとパケットベースのタイミングシステムの概説。	第6.1節
パケットベースと物理レイヤのタイミングシステムの違い	物理レイヤベースとパケットベースのタイミングシステムを比較。パケットベースならではの雑音について概説。	第6.2節
パケットクロックのクラス	パケットベースクロックの入力信号クロックと出力信号クロックが物理レイヤベースとパケットベースかの組み合わせにより3種類のパケットクロッククラスを規定	第6.3節
双方向タイミングプロトコル	双方向タイミングプロトコル(例えば、PTPまたはNTP)に関する概説。ローカルとマスタのタイム・スケールの同期、時間オフセットの算出、往復遅延の算出に用いる	第6.4節
PDV測定	パケットの揺らぎの測定方法について概説	第6.5節
パケットタイミング信号装置のインタフェースの特徴	パケット・グランドマスターの装置インタフェースに関して概説	第6.6節

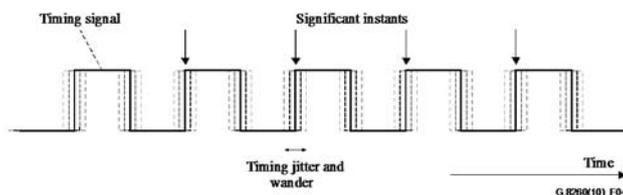
10

# パケットタイミングの性質

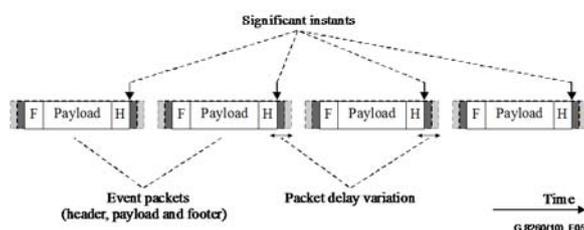
## 一般的な従属クロックモデル



## 物理レイヤベースのタイミング信号の例



## パケットレイヤベースのタイミング信号の例

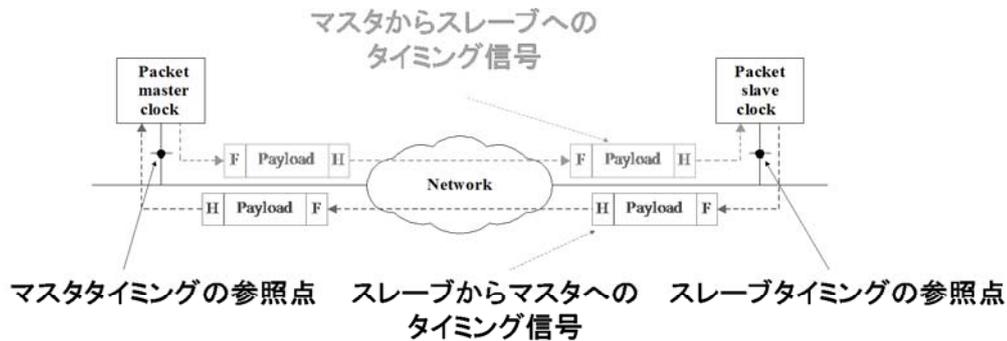


11

# パケットクロックのクラス

パケットベースクロッククラス	入力 タイミング信号	出力 タイミング信号	例
パケットマスタークロックPEC-M	物理レイヤ タイミング信号	パケットタイミング 信号	PTPマスタ、 NTPサーバ Ingress CES IWF (注1)
パケットスレーブクロックPEC-S	パケットタイミン グ信号	物理レイヤ タイミング信号	PTPスレーブ、 NTPクライアント Egress CES IWF (注2)
パケットスレーブクロックとパ ケットマスタークロックの組合せ	パケットタイミン グ信号	パケットタイミン グ信号	PTP境界クロック NTP階層nサーバ (n > 1)
注1 -例 TDMからパケット方向、[ITU-T Y.1413]の「ingress IWF」を参照			
注2 -例 パケットからTDM方向、[ITU-T Y.1413]の「egress IWF」を参照			

12



13

## パケット測定メトリック(測定基準)の定義と性質

Appendixとしてパケット測定に対する測定基準の研究に関する情報。情報提供目的のみ。将来の版で変更され得る。

項目	概要	記載章
導入	パケットベースのタイミングシステムのクロックの安定性、その評価方法(PDV: Packet Delay Deviation)について概説(deviation)について説明	Appendix I.1
時刻誤差列の定義	パケット時刻誤差列の定義について説明	Appendix I.2
パケット選択	物理レイヤのタイミング信号はガウシアン分布となるが、パケット信号に対しても同様とするためのパケット選択あるいは前処理について説明	Appendix I.3
パケットスレーブクロック性能を評価するPDV測定基準	パケットネットワークのタイミング信号の定量化に関して検討した安定性の測定基準およびパケット選択に対する具体的な関連について説明	Appendix I.4
フロア遅延パケット集合に関して検討したPDV測定基準	フロア遅延パケット領域におけるPDV測定基準として、観測されたフロア遅延から開始した所定の固定クラスターの範囲内におけるタイミングパケットの数の研究に関して説明	Appendix I.5
測定基準分類のまとめ	PDV測定基準のクラス分けについて説明	Appendix I.6

14

- 本勧告は、パケットネットワークにおける周波数、位相、時刻の同期に関連する勧告で用いられる定義、用語、略語の提供とパケットネットワークに対する同期の安定性、品質の測定基準などの情報を提供
- 本勧告は周波数同期技術に関する勧告群(G.826x)や時刻・位相同期技術に関する勧告群(G.827x)を理解するための元の勧告
- 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、現時点では標準化は見送ることにした
- 今後は、関連技術の国内へ情報展開を狙い、前述の同期に関する他勧告の調査を継続して行う予定である

15

## [参考] Appendix I.3記載内容の要約

パケットからクロック品質を推定するために必要となるパケットサンプリング法及び解析手法について記載してある。

- I.3.1 パケット選択のタイプ
- I.3.2 パケット選択方法
- I.3.3 非定常ネットワーク状態の考察

16

### I.3.1 パケット選択のタイプ

あらかじめ定義された時間ウインドウ長からパケットを選択タイプ

#### 1. 前処理されたパケット選択

- ①同様の遅延特性をもつパケットからサンプリング
- ②サンプリングされたパケットに対し安定性定量化アルゴリズム(測定基準)を適用

#### 2. 統合されたパケット選択

安定性定量化アルゴリズム(測定基準)にパケットサンプリングの手法も含まれる

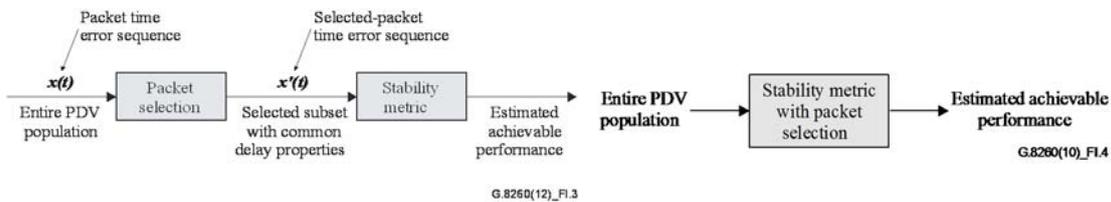


図 I .3-前処理されたパケット選択

図 I .4 - 統合されたパケット選択

### I.3.2 パケット選択方法

フロアでのパケットデータを用いる方法とフロア及び他の部分を用いる方法がある

#### ① 最小パケット選択法

データ部分内で最小値を選ぶことによる選択法

#### ② パーセンタイル平均パケット選択法

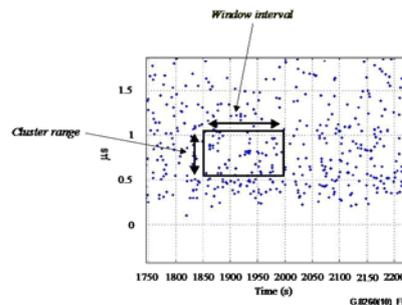
パーセンタイル平均パケット選択法は、最小値を選択する代わりに、幾つかの最小値(または若干のパーセンテージ)が選ばれて、一緒に平均化される場合を除き、最小パケット選択に関連する。

#### ③ バンド平均パケット選択法

フロアで、または、上限値、或いはフロア上部の部分からパケットデータの部分を選ぶのに用いられる。分類されたパケットタイム-エラー-シーケンスを代表することが、最初に必要である。

#### ④ クラスターレンジパケット選択法

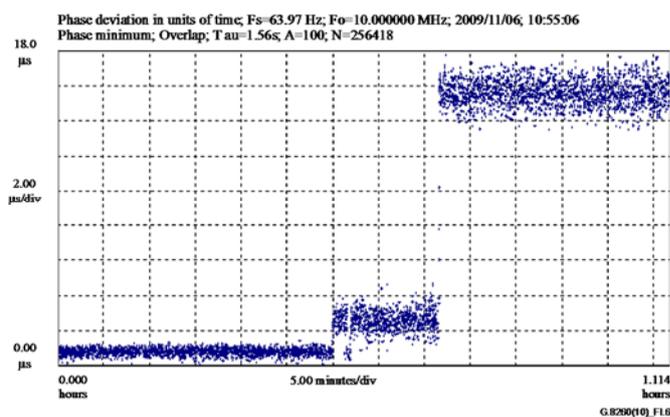
パケットの通過時間に関して密接に関係がある一群の一つ以上のパケットの選択を含む。クラスターの位置はいろいろな基準、たとえば、フロア部分、またはウインドウ間隔中で観測される他の何らかの部分からのパケットに基づくか、または、クラスターの位置はウインドウ間隔外で他の基準または情報に基づく可能性もある。



図I.5 - クラスターレンジパケット選択法の概念

#### パケット遅延が非定常な分布を持つ場合の考察

パケット選択が特定の統計領域に重きを置くように、ネットワークパケットの遅延統計が非定常であり、時間変動する場合を考察することは重要である。そのような状況は、更なる研究が必要である。



図I.6—最小追従統計が3つの異なる部分を示す

### Ⅲ. 調査対象勧告和訳

#### ITU-T G.8260勧告

##### 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

#### 概要 (ITU-T G.8260 (2012)向け)

ITU-T G.8260 勧告はパケットネットワークにおけるタイミングと同期に関する ITU-T 勧告に用いられる定義、用語、略語を提供する。

#### 概要 (改正1向け)

ITU-T G.8260(2012)勧告に対する改正 1:

- ・ 3.1.8 “ネットワークからのタイミングサポートのパケットベース方式” の定義修正
- ・ 第 3.1 節へ複数の定義の追加
- ・ 最低遅延の決定とリルートイベント時の影響に関する検討について説明した新しい第 1.5.1 節を Appendix I に追加
- ・ パケットネットワーク制限上の例外イベントの影響について述べる新しい第 1.5.2 節を Appendix I に追加

#### History

Edition	Recommendation	Approval	Study Group
1.0	ITU-T G.8260	2010-08-12	15
2.0	ITU-T G.8260	2012-02-13	15

#### キーワード

周波数、パケット遅延変動、位相と時刻、同期定義

## 目 次

1 範囲.....	18
2 参照.....	18
3 定義.....	18
3.1 本勧告において定義される用語.....	18
4 略語および頭字語.....	23
5 慣例.....	24
6 パケットタイミングの概念の説明.....	24
6.1 パケットタイミングの性質.....	24
6.2 パケットベースと物理レイヤのタイミングシステムの違い.....	25
6.3 パケットクロックのクラス.....	26
6.4 双方向タイミングプロトコル.....	26
6.5 PDV 測定.....	27
6.6 パケットタイミング信号装置のインタフェースの特徴.....	28
I.1 導入.....	30
I.2 時刻誤差列の定義.....	32
I.3 パケット選択.....	32
I.3.1 パケット選択のタイプ.....	33
I.3.2 パケット選択方法.....	34
I.3.3 非定常ネットワーク状態の考察.....	36
I.4 パケットスレーブクロック性能を評価する PDV 測定基準.....	37
I.4.1 事前フィルタ無しの測定基準.....	38
I.4.2 事前フィルタリングを含む測定基準.....	47
I.5 フロア遅延パケット集合を調査する PDV 測定基準.....	49
I.5.1 「観測されたフロア遅延」の決定.....	52
I.5.2 例外事象とパケットネットワーク制限へのインパクト.....	53
I.6 測定基準分類のまとめ.....	54
BIBLIOGRAPHY.....	55

## 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

### 1 範囲

本勧告はパケットネットワークにおける周波数、位相と時刻の同期に関する勧告で用いられる定義、用語、略語を提供する。パケットネットワークに対する様々な同期の安定性と品質の測定基準に対する数理的な定義を含む。そして、パケットタイミングシステムの本質とパケットネットワークによって発生する障害に関する背景の情報についても提供する。同期に対する Ethernet 物理層の方式は従来の時分割多重(TDM)物理層の同期に基づいており、それ故、これらの方式に関連する定義の多くは[ITU-T G.810]により網羅される。追加の定義は本勧告中に含まれる。

### 2 参照

以下の ITU-T 勧告と参考文献は本文中での参照を通して、本勧告の規定を構成する規定を含む。出版時においては、以下に示された版が有効である。全勧告と他の参考文献は改訂される。従って、本勧告の読者は以下の勧告と参考文献の最新版の適用の可能性を調査することを推奨する。現在有効な ITU-T 勧告の一覧は正規に発行されている。本勧告内の文章での参照は独立した文章としてその勧告に地位を与えるものではない。

[ITU-T G.810] Recommendation ITU-T G.810 (1996), *Definitions and terminology for synchronization networks*.

[ITU-T G.811] Recommendation ITU-T G.811 (1997), *Timing characteristics of primary reference clocks*.

[ITU-T G.8261] Recommendation ITU-T G.8261/Y.1361 (2008), *Timing and synchronization aspects 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.8263] Recommendation ITU-T G.8263/Y.1363 (2012), *Timing characteristics of packet-based equipment clocks*.

[ITU-T Y.1413] Recommendation ITU-T Y.1413 (2004), *TDM-MPLS network interworking – User plane interworking*.

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

### 3 定義

#### 3.1 本勧告において定義される用語

本勧告では下記の用語を定義する

**3.1.1 アダプティブクロックリカバリ** : クロックリカバリ技術であり、そのタイミングを再生するためにネットワークワイドの同期信号の支えを要求しないもの。この場合、そのタイミングリカバリの手順は、例えばタイムスタンプまたはサーキット・エミュレーション(CES)パケットなどのパケットの(相互の)到達時間を元としている。パケットにより運ばれるその情報は本操作に対応するために用いられ得る。双方向または片方向のプロトコルを用いることができる。

**3.1.2 任意リファレンス・タイム・クロック(ARTC):** 任意時刻生成器であり、リファレンス・タイム信号または単純なリファレンス位相信号を提供する。ここで、周波数は[ITU-T G.811]に規定される PRC の精度を持つこと。そこで、注目すべきことは国際的に承認された時刻標準との関係を必ずしも持つ必要が無いことである。

**3.1.3 コヒーレント時刻と周波数:** 周波数を運ぶタイミング信号と時刻または位相を運ぶタイミング信号が元の同一の主信号源に辿ることができる状況。

**3.1.4 フロア遅延:** 「フロア遅延」の表記はネットワーク上で発生し得る最小の通過遅延の表記に等しい。「絶対フロア遅延」と「観測フロア遅延」の表記に区別することが有益かもしれない。

- **絶対フロア遅延:** ネットワーク上で与えられたサイズのパケットの発生し得る絶対最小通過遅延。これは一般的に規定されたパスに沿って各ネットワーク装置を通して発生し得る最小遅延を体験したパケットの通過遅延として説明される。負荷と他の考慮に依存して、任意に与えられる有限の測定間隔ウィンドウにおいて、絶対最小値に等しい遅延を持つパケットは測定されないかもしれない。最小通過遅延の理論解析を行うために、パケットネットワーク、ネットワーク装置と経路の全ての情報は既知でなければならない。

- **観測フロア遅延:** 与えられた測定間隔（例えば、パケット遅延偏差(PDC)測定の間隔）で観測されたネットワーク上の与えられたサイズのパケットの最小通過遅延。

注意 - 上記の通り、PDV測定のための観測フロア遅延は絶対フロア遅延と異なるかもしれない。

**3.1.5 フロア遅延ステップ:** 2つの連続して観測されたフロア遅延間の差であり、その測定間隔は重複していない。図1を参照:

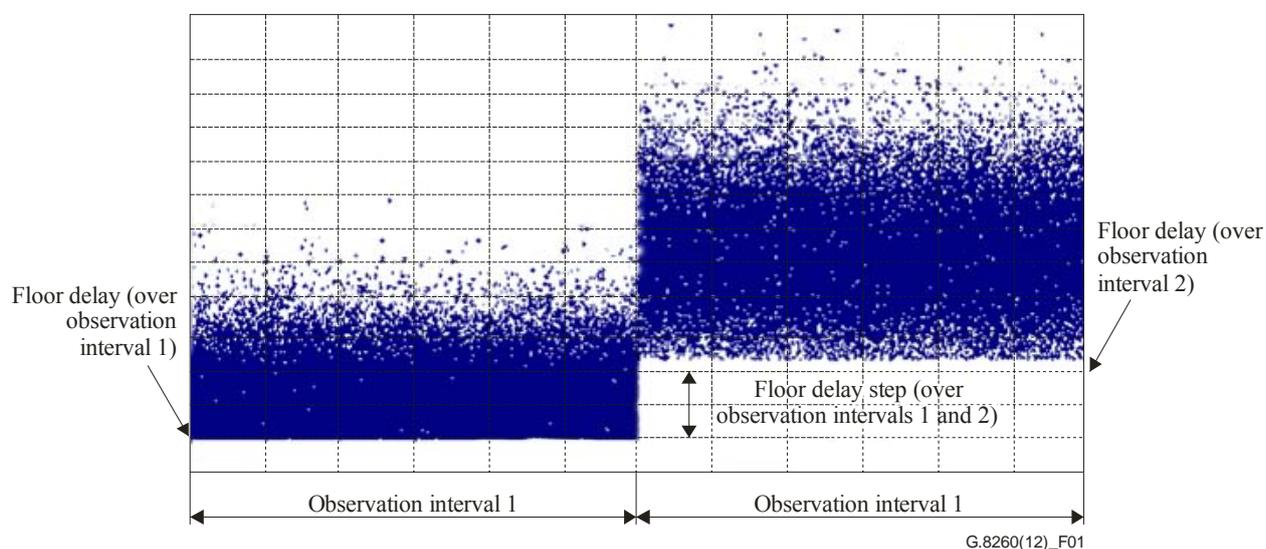


図1- 観測フロア遅延とフロア遅延ステップの説明

**3.1.6 パケットベース方式:** タイミング分配方式（例えば周波数、かつ/または、時刻、かつ/または、位相に対する）であり、ここでタイミング情報はパケットに付随する。

- 周波数は双方向または片方向プロトコルを用いてリカバリできる。

- パケットマスタークロックからパケットスレーブクロックの転送遅延に対する補償を行うために双方向プロトコルを用いて時刻と位相情報はリカバリされる。

**3.1.7 ネットワークからの物理周波数サポートを用いるパケットベース方式:** 時刻と位相同期に対するパケットベース方式であり、物理層のタイミング・トレイルによって運ばれる追跡可能なネットワーク・リファレンス・クロックから提供される周波数を用いる。

注 – 例えば、物理層で運ばれる周波数リファレンスによって同調されたテレコム・バウンダリ・クロックに該当する。本タイプは位相/時刻ホールドオーバーの能力を有することが期待され、位相/時刻分配プロトコルの障害期間に位相/時刻のローカル・リファレンスを維持することを可能にする。

**3.1.8 ネットワークからのプロトコルレベルの降るタイミングサポート用いたパケットベース方式:** パケットベース方式（周波数または時刻-位相同期）であり、同期フローのパス上の全ネットワークノードは下記の 2 つのタイミングサポートのタイプの一つを実装することが要求される。

- タイミングの終端と再生（例えばNTP層のクロック、PTP境界クロック）
- ネットワークノード、かつ/または、接続されたリンクにより挿入された遅延に対して修正する仕組み（例えばPTPトランスペアレントクロック）

**3.1.9 ネットワークからのタイミングサポートを用いないパケットベース方式:** パケットベース方式（周波数または時刻-位相同期）であり、ここではタイミングパケットがタイミング転送に関係しないネットワーク上を転送される。

**3.1.10 パケットマスタークロック:** 重要な瞬間のパケットタイミング信号がマスタのタイミング・リファレンス・ポイントを通過する点（例えば、これらがパケットマスタークロックからネットワークに入る時、または、これらがネットワークからパケットマスタークロックへ入る時）での正確な時間を測定するクロック。これらの測定はマスタ・クロックのローカル・タイムスケールと比較して行われる。これらは一つ以上のパケットスレーブクロックに転送され、コントロールされるために用いられる。

注 – 周期的なパケットタイミング信号（片方向の周波数分配に対して用いられる）の場合、イベントパケットが定期的な間隔でパケットマスタークロックからネットワークに入り、その定期的な間隔はマスタのタイミング情報がパケットの公称周波数から導出される様なものである。

**3.1.11 パケットネットワーク・タイミング機能(PNT-F):** インターワーキング・ファンクション (IWF)内の機能セットであり、同期ネットワーク・クロック・ドメインを提供する（ITU-T G.8261 の図 B.2 を参照）。これは同期ネットワークにより運ばれるタイミング復旧と分配をする機能を含む。その PNT-F クロックはパケットネットワークにおける IWF の一部かもしれないし、または、他のネットワーク装置の一部かもしれない。

PNT-F が IWF の一部である時、これらは CESIWF を提供し、そして/または、タイミングが運ばれるレイヤを変更するかもしれない（例えば、パケットから物理層、その他）。

**3.1.12 パケットスレーブクロック:** タイミング出力が、より高い品質のクロックと交換される一つ以上のリファレンス・パケットタイミング信号に周波数ロックまたは位相調整または時刻調整されたクロック。

**3.1.13 パケットタイミング信号:** パケットマスタークロックからパケットスレーブクロックにタイミング情報を運ぶために用いられるイベントパケットまたはフレームの連続から構成される信号。

パケットタイミング信号のイベントパケットはパケットマスタークロックからパケットスレーブクロックまたはその他

へ転送されるかもしれない。しかし、タイミング情報のフローは常にマスタからスレーブの方向である。  
 パケットタイミング信号がマスタのタイミング・リファレンス・ポイントを通過する時、重要な瞬間のパケットタイミン  
 グ信号はマスタのローカル・タイムスケールとの比較により測定され、これらの測定はパケットスレーブクロックと交信  
 される。

重要な瞬間のパケットタイミング信号は、それらがスレーブのタイミング・リファレンス・ポイントを通過する時、スレ  
 ーブのローカル・タイムスケールとの比較により測定される

注1 – 重要な瞬間の信号は、各イベントパケットまたはフレームにおいて定義された場所がネットワークにおける与えら  
 れたリファレンス・ポイント（例えば、パケットマスタクロックとそのネットワークの間のインタフェース）を通過す  
 る時刻の集合である。慣習的に、定義される場所はフレーム開始のデリミタの最後である。が、しかし、定義が矛盾なく  
 与えられたパケットタイミング・プロトコルにおいては異なって定義されるかもしれない。

注2 – 周期パケットタイミング信号の場合、マスタのタイミング情報はパケットの公称周波数であることを暗に意味す  
 る。

**3.1.14 位相同期:** 位相同期という用語は、関連する全てのノードは重要なイベントが同じ瞬間（関連する位相精度の  
 要求の範囲内）で発生するリファレンス・タイミング信号にアクセスできる事を暗に意味している。言い換えると、位相  
 同期という用語は位相（位相調整）に関連するクロック調整の処理を参照する。これは図2に示される。

注1 – 位相同期は（共通）ソースと関連するノード間の遅延に対する補償を含む。

注2 – 本用語はフレームタイミング（それは、送出フレームのタイムスロットが生成される時の時間に関するポイント）  
 の概念も含むかもしれない。

注3 – 位相同期（位相調整）のコンセプトは位相ロックのコンセプトと混同されるべきでなく、ここでは、固定の位相オ  
 フセットは任意または未知として許容される。位相調整は、位相オフセットが普通はゼロであることを暗に意味してい  
 る。位相ロックされた二つの信号は暗黙のうちに周波数同期されている。位相調整と位相ロックの両方は関連するノード  
 の任意ペアの間の時刻誤差は有限であることを暗に意味する。

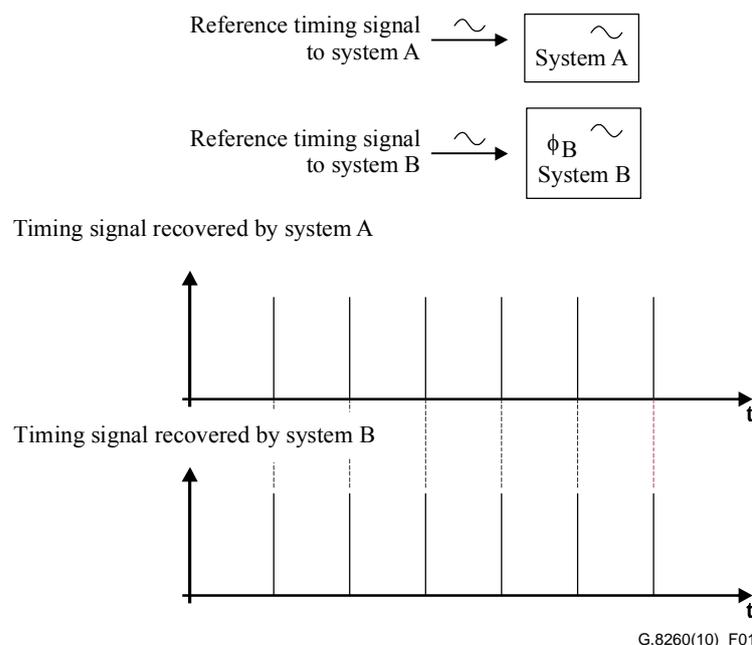


図2 – 位相同期

**3.1.15 プライマリ・リファレンス・タイム・クロック(PRTC):** リファレンス・タイム生成器であり、国際的に公認された時刻標準（例えば UTC）に辿れるリファレンス・タイミング信号を提供するものである。

**3.1.16 タイム・クロック:** 参照瞬間からの経過時間を提供する装置。

**3.1.17 時刻同期:** 時刻同期はテレコミュニケーションネットワークの実時間クロックに対するタイム・リファレンスの分配である。図3に示す通り、全ての関連するノードは時刻に関する情報にアクセスし（言い換えると、各リファレンス・タイミング信号の周期は印が付けられ、かつ、時刻が付けられている）、そして、共通のタイムスケールと関連する瞬間を共有する（関連する時刻精度の要求内で）。

タイムスケールの例は

- |                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| • UTC                             | 協定世界時                |
| • TAI                             | 国際原子時                |
| • UTC + offset (e.g., local time) | 協定世界時+オフセット（例えば現地時間） |
| • GPS                             | 全地球測位システム            |
| • PTP                             | 高精度タイム・プロトコル         |
| • local arbitrary time            | ローカルの任意時刻            |

分配時刻同期は位相同期を達成する一つの方法であることに注意すること。

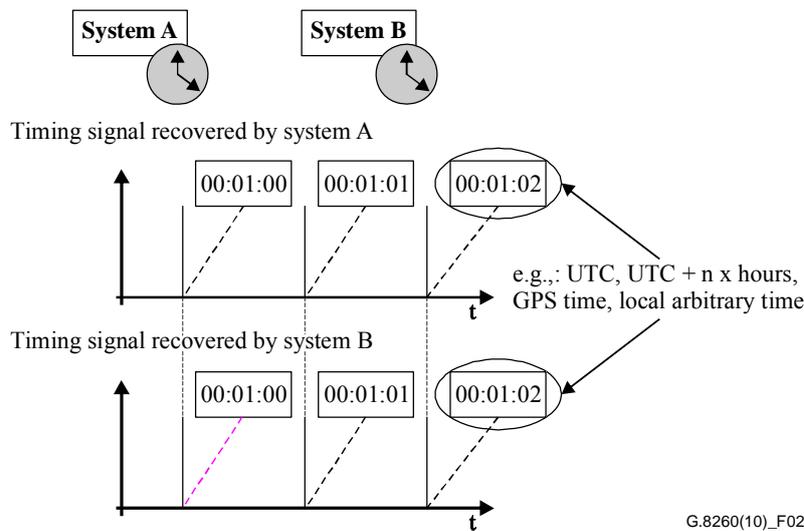


図3 - 時刻同期

**3.1.18 ネットワークからプロトコルレベルの部分的なタイミングサポートによるパケットベース方式:** パケットベース方式（周波数または時刻-位相同期）であり、ここでは同期フローのパス上の全てのネットワークノードが必ずしもタイミングサポートを実装していない。

**3.1.19 パケットタイミング・モニタ:** 正確で安定したクロックを活用したタイミング・イベント・メッセージの送信時刻と到着時刻の正確な測定を含むパケット・フロー（例えば PTP）を分析する能力を持つ機器。タップモニタは実質的に通信するクロック間のパケット伝送に影響を与えない。インラインモニタは双方向転送においてパケットに対して固

定、対称の遅延を与え、その結果として、通信するクロック間のタイミング転送に実質的に影響を与えない。

### 3.1.20 時刻誤差: ITU-T G.810 勧告を参照

- ・ 一定時刻誤差: ITU-T G.810 勧告において提供される時刻誤差モデルを参照して、一定時刻誤差は用語  $x_0$  で示される。
- ・ 一定時刻誤差評価: 時刻誤差列  $\{x(n); n=0,1,\dots,(N-1)\}$  が与えられ、一定時刻誤差の評価は時刻誤差列の最初の  $M$  個のサンプルの平均により行われる。 $M$  は与えられた時刻誤差列に対する計算された TDEV に対する最小値を提供する測定間隔から得られる。もし、周波数オフセットが存在するならば、ITU-T G.823 勧告 Appendix II に従う線形回帰法が適用できる。過渡状態を含む測定データに対する考慮は今後の検討課題である。

注 1: いくつかの場合、測定された信号の雑音の周波数成分により、一定した測定間隔で、安定して確認することが難しいかもしれない。この場合はケース・バイ・ケースで対処されるべきである。

## 4 略語および頭字語

パケットネットワークにおける時刻と同期の勧告化の目的に対して、以下の略語および頭字語を適用する。

ADEV	Allan DEVIation アラン偏差
ARTC	Arbitrary Reference Time Clock 任意リファレンス・タイム・クロック
CES	Circuit Emulation Services サーキット・エミュレーション・サービス
FFO	Fractional Frequency Offset 比周波数オフセット
FM	Frequency Modulation 周波数変調
GPS	Global Positioning System 全地球測位システム
IWF	Inter-Working Function インターワーキング・ファンクション
MAFE	Maximum Average Frequency Error 最大平均周波数誤差
MATIE	Maximum Average Time Interval Error 最大平均時間間隔誤差
MDEV	Modified Allan DEVIation 改善アラン偏差
MTIE	Maximum Time Interval Error 最大時間間隔誤差
NTP	Network Time Protocol ネットワーク・タイム・プロトコル
PDV	Packet Delay Variation パケット遅延変動
PM	Phase Modulation 位相変調

PNT-F	Packet Network Timing Function パケットネットワーク・タイミング・ファンクション
PRC	Primary Reference Clock プライマリ・リファレンス・クロック
PRTC	Primary Reference Time Clock プライマリ・リファレンス・タイム・クロック
PTP	Precision Time Protocol 高精度タイム・プロトコル
TAI	International Atomic Time 国際原子時
TDEV	Time DEVIation 時刻偏差
TDM	Time Division Multiplexing 時分割多重
TIE	Time Interval Error 時間間隔誤差
UTC	Coordinated Universal Time 協定世界時

## 5 慣例

本章は意図的に空白のままにしている。

## 6 パケットタイミングの概念の説明

### 6.1 パケットタイミングの性質

一般的な従属クロックの簡単な表記は図4に示される様に周波数情報の入力と周波数情報の出力を持つ。

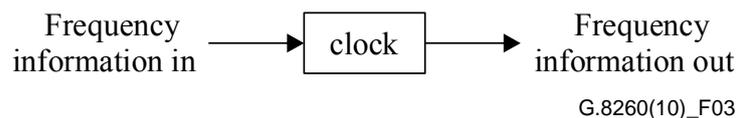


図4－ 一般的な従属クロック

通常は、この周波数情報はタイミング信号としてコード化されます。これは周期的なデジタル信号として典型的に実装されており、ここで信号の端点は信号の「重要な瞬間」として知られている時刻の参照点である。タイミングジッタとワンダはこれらの重要な瞬間を時刻の理想的な位置から僅かに変化させる原因となる。例えば、これは時刻において正確に等間隔な点では発生しないだろう。物理レイヤのタイミング信号は図5に示される。

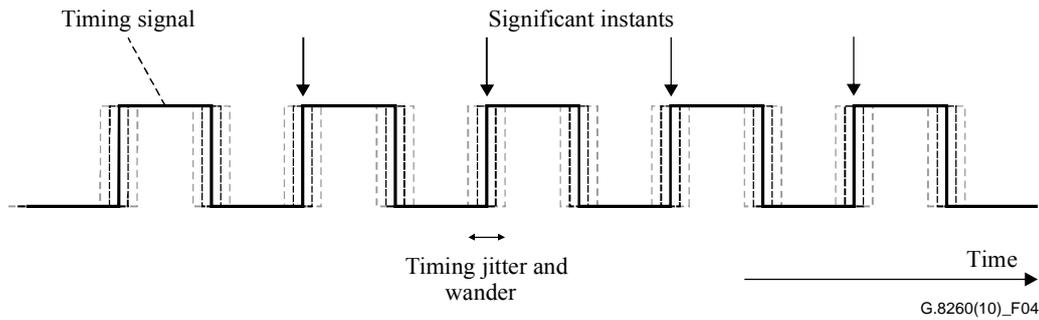


図5 – 物理レイヤタイミング信号

パケットタイミング信号は概念において同じである。周波数は「イベントパケット」として知られる、ネットワークにおけるタイム-クリティカルパケットの列として符号化される。伝送媒体が異なっている（ワイヤ上の信号と対照的なネットワーク上のパケット）とは言え、パケットは時刻の理想的な時間で定義される重要な瞬間（普通はパケットの前端）が含まれる。理想的な位置の周辺の重要な瞬間の変動は「パケット遅延変動」(PDV)と呼ばれる。これは図 6 に示される。

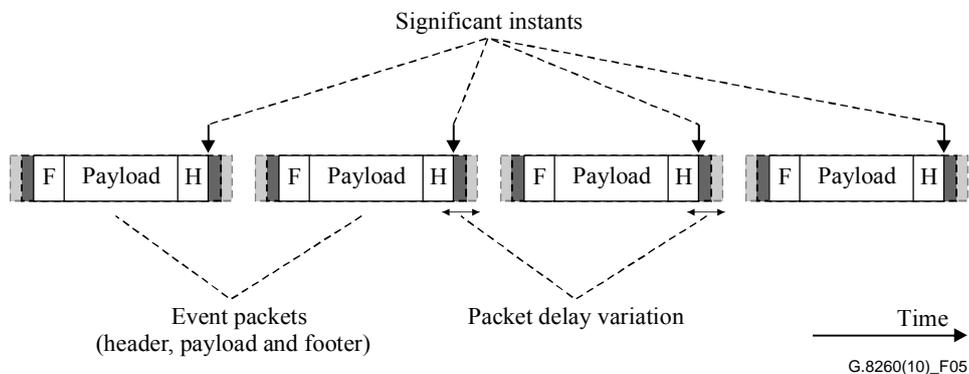


図6 – パケットタイミング信号

パケットネットワークにおいて発生するパケット遅延変動とその他の障害の原因と特性のいくつかは[ITU-T G.8261]の第 10 章において議論される。

いくつかのパケットタイミング信号は周期的であるかもしれず（例えば、一定ビットレートデータを含む回線エミュレーションパケット）、そしてある時刻における理想的な位置は暗にパケットレートによって与えられる。他のパケットタイミング信号は周期的ではなく（例えば、PTP や NTP）、そして、ある時刻における理想的な位置はパケットデータ中に埋め込まれたタイムスタンプによって与えられる。重要な注意点は、周期的と非周期的なパケットタイミング信号の両方も時刻ドメインの信号のままであることである。それは重要なパケットの時刻における位置であり、パケットの内容ではない。

## 6.2 パケットベースと物理レイヤのタイミングシステムの違い

パケットベースのタイミングシステムは物理レイヤのタイミングシステムと基本的には違いは無い。概念的に、両者ともタイミング信号を利用しており、それは「重要な瞬間」と呼ばれる周期的なシーケンス或いは時刻イベントであり、ここでこれらは各々のイベントに対して「時刻における理想位置」の考えである。同様に、ネットワークを通してこれらのタイミング信号を送った後、ある位相雑音成分が存在するかもしれず、これは「時刻における理想位置」を劣化させる。オリジナルのタイミング信号のリカバリは、伝送に関係した位相雑音を取り除き、そして、綺麗な出力を生成するための入力されたタイミング信号をフィルタすることにより成し遂げられる。

However, there are some differences which lead to packet timing signals having different characteristics to physical-layer timing

signals:

しかしながら、物理レイヤタイミング信号に対して異なる特性を持つパケットタイミング信号に導かれるいくつかの違いがある。

- 重要な瞬間のレート

パケットタイミング信号におけるパケットレートはほとんどの物理レイヤタイミング信号の周波数よりもずっと低い。例えば、PTP ([IEEE 1588]で定義される) においては、通常、同期メッセージレートは1-128Hzの範囲にあり、一方、従来のE1タイミング信号は2.048MHzの周波数を持つ。

第二に、重要な瞬間を生成するパケットは正確に規則的な間隔で送られる必要はない。平均レートが定義されているとは言え、パケットの間隔は変わる。タイムスタンプは正確な送信時間を証明するために用いられ、あらかじめ決定された瞬間に関連する。

- 増幅と雑音の性質のプロセス

パケットタイミングシステムにおける雑音の主原因は、パケット遅延変動(PDV)である。PDVの振幅と分布は物理レイヤタイミングシステムにおけるジッタやワンドよりもはるかに大きく、そして、ネットワークの負荷変動により日中ワンドのようにとっても低い周波数成分を含むかもしれない。

物理レイヤの雑音と違い、PDVは物理的な構成だけではなく、ネットワーク装置のアーキテクチャと実装にも依存する。それゆえ、雑音はモデル化するのにより複雑で難しい。

### 6.3 パケットクロックのクラス

パケットベースクロックのいくつかのクラスが存在し得て、入力と出力タイミング信号クラスの組み合わせに依存する。表1はそれぞれの場合における実例の異なるクラスを示す。

表1- パケットベースクロックのクラス

パケットベースクロッククラス	入力タイミング信号	出力タイミング信号	例
パケットマスタークロック PEC-M	物理レイヤ タイミング信 号	パケットタイ ミング信号	PTPマスタ、 NTPサーバ Ingress CES IWF (注1)
パケットスレーブクロック PEC-S	パケットタ イミング信号	物理レイヤタ イミング信号	PTPスレーブ、 NTPクライアント Egress CES IWF (注2)
パケットスレーブクロックとパ ケットマスタークロックの組合せ	パケットタ イミング信号	パケットタイ ミング信号	PTP境界クロック NTP階層nサーバ ( $n > 1$ )
注1-例 TDMからパケット方向、[ITU-T Y.1413]の「ingress IWF」を参照			
注2-例 パケットからTDM方向、[ITU-T Y.1413]の「egress IWF」を参照			

### 6.4 双方向タイミングプロトコル

パケットタイミング信号は、パケットマスタークロックからパケットスレーブクロックへ、あるいは、その逆へ流れるであろう。しかしながら、それぞれのケースにおいて、タイミングと同期の流れは、常にマスタからスレーブへととなっている。

パケットマスタークロックからパケットスレーブクロックに流れるパケットタイミング信号（例えば、PTP sync メッセージ）の場合、パケットマスタークロックから各イベントパケットが出ていく時刻（正確には、マスタのタイムスケールに連動した時刻で、各イベントパケットがマスタのタイミング・リファレンス・ポイントを通過する重要な瞬間）が測定される。この情報は、イベントパケット内に埋め込まれたタイムスタンプ、または後続の情報パケット（例えば、PTP follow\_up メッセージ）のいずれかにより、パケットスレーブクロックに送られる。

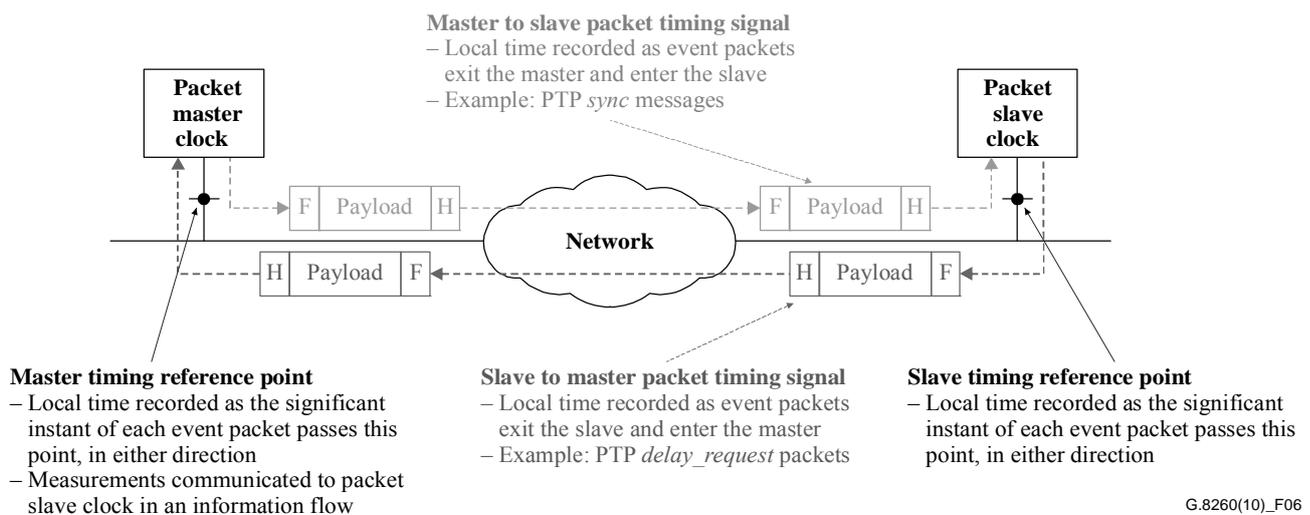
パケットスレーブクロックでは受信時に、イベントパケットの到着時刻（正確には、スレーブのローカルのタイムスケールに連動した時刻で、各イベントパケットがスレーブのタイミング・リファレンス・ポイントを通過する重要な瞬間）が測定される。2つの時刻は比較され、時刻差の系列が作成される。これらの時刻差はフィルタリングされ、出力タイミング信号の周波数を制御するために使用するかもしれない。

パケットスレーブクロックからパケットマスタークロックへ流れるパケットタイミング信号（例えば、PTP delay\_request メッセージ）の場合には、スレーブクロックから各イベントパケットが出ていく時刻が測定される。パケットマスタークロックでは受信時にイベントパケットの到着時刻が測定され、この情報は後続の情報パケット（例えば、PTP delay\_response メッセージ）によりパケットスレーブクロックへ送られる。

双方向タイミングプロトコル（例えば、PTP または NTP）の使用により、ローカルのタイムスケールをマスタのタイムスケールに合わせる事が可能となる。4つの時刻が、メッセージ交換にかかわる往復遅延を算出するために用いられ、そしてローカルとマスタのタイムスケール間の時間オフセットを算出するのに用いられるだろう。

The timing message exchange is shown in Figure 7:

タイミングメッセージの交換は図7において示される。



G.8260(10)\_F06

図7- パケットタイミング信号の流れとタイミング・リファレンス・ポイント

## 6.5 PDV 測定

一般に、パケット遅延変動（PDV）測定は、パケットタイミング信号のようなパケット列が、ネットワーク内の2つのポイントを通る瞬間時刻の比較を含んでいる。このような測定を行うための構成は、下記の図8に示されている。各パケットに対し、起点で採取された瞬間の時刻と宛先地点で採取された瞬間の時刻との間で差分が計算される。

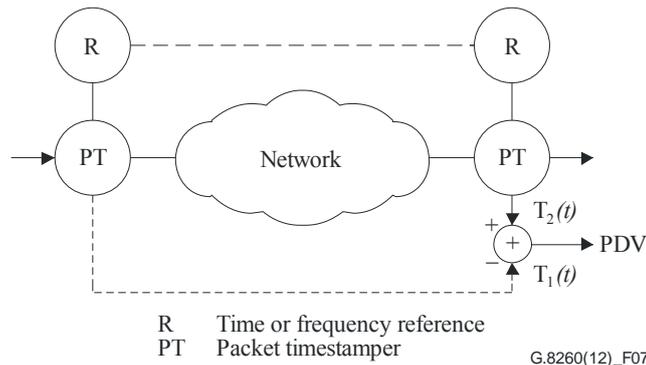


図8 – PDV測定のための構成

この測定を行うための理想的な構成では、2つの測定点のいずれにおいても共通の時間基準に追跡可能な2つのリファレンス・ポイントを配置する。このような構成は、パケット遅延の変動だけでなく、パケットの通過時刻も評価する。多くの場合、このようなパケットベースの周波数同期は、絶対的なパケット遅延はなく、パケット遅延変動に焦点を合わせている。このような場合には、周波数基準は、リファレンス R を採用することができ、共通の時間基準は必要とされない。

不安定または不正確なリファレンスの使用は PDV 測定に直接影響を与え、PDV 測定の長さに関する制限を引き起こすかもしれない。リファレンスが周波数標準器である場合、リファレンスが時刻基準である場合と同様の精度で、パケット遅延変動を調査することができる。実用的な場合であれば、共通の周波数基準が双方のリファレンス R のために使用されるべきである。他の場合では、個別のプライマリ・リファレンス・クロックを使用することができるかもしれない。

プローブ機能は、個別の装置として実装されるか、あるいは第1の測定点が着目したパケットタイミング信号の元である場合にその装置に集積される。この場合、瞬間の時刻は、パケット内のタイムスタンプの形式で配信することができる。同様に、第二の場合には、測定点が宛先装置であり、プローブ機能は、その機器に組み込むことができる。プローブにおけるタイムスタンプ機能のいかなる不正確さも、PDV 測定の精度に直接影響を与える。

均一な時間間隔によって隔てられたパケット（例えば、CES）のように、あらかじめ知られたスケジュールに従って送信されるパケットの場合、相対的な送信元のタイムスタンプは絶対的であり、パケット遅延変動の測定は、宛先ノードにおけるタイムスタンプで行うことができる。

## 6.6 パケットタイミング信号装置のインタフェースの特徴

パケット遅延変動を測定するための 6.5 節に記載の構成は、装置のインタフェースにおけるパケットタイミング信号の測定に拡張することができる。この場合、リファレンスを伴ったパケットタイムスタンプは、間にネットワークを挟むことなく、直接パケットタイミング信号インタフェースに接続される。

このような測定を行うための構成を、下記図 9 に示す。各パケットに対し、デバイスからのタイムスタンプと、リファレンス (R) を伴うパケットタイムスタンプ (PT) からの同じパケットに乗せられたタイムスタンプの間で、差異を計算する。

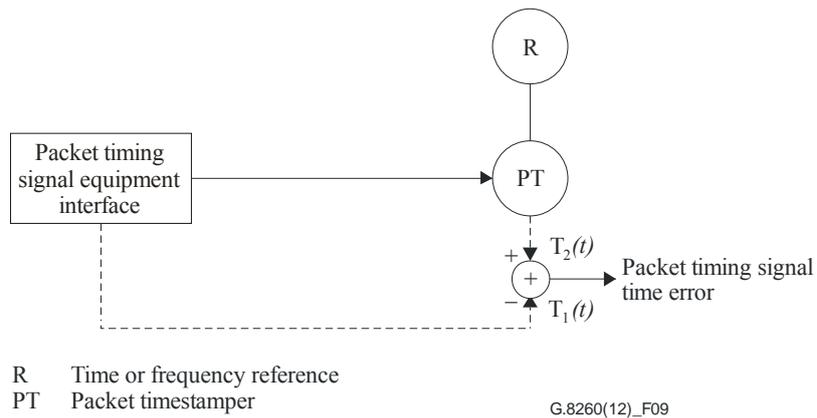


図9 - パケットタイミング信号装置のインタフェース測定のための構成

リファレンス (R) の精度に対する要件は、パケットタイミング信号の特性に導き出されるものであり、また、多くの場合、調査対象のネットワーク PDV に対する精度を超えるかもしれない。パケットタイミング信号がプライマリリファレンスから直接配信される場合は、リファレンス (R) は理想的に高い安定度を持つプライマリリファレンスであることが要求されるであろう。さらに、調査対象のデバイスが外部リファレンスを直接に参照するか、外部リファレンスに追跡可能である場合、上述図 9 のデバイスとパケットタイムスタンプ (PT) の双方に最適な構成は、同じリファレンス (R) を共有することである

## 付録 I

### パケット測定メトリックの定義と性質

(本付録は本標準に必要な不可欠な部分ではない)

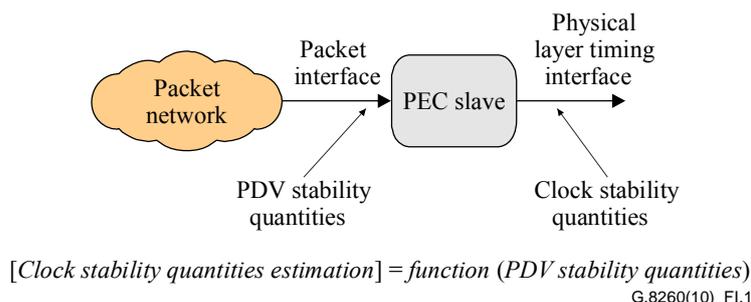
注 - この参考は、適した PDV メトリックの定義についての継続している研究に関連する情報を含む。以下のテキストは情報目的であり、この勧告の将来の版で変更される。通常のテキストとしてもパケットスレーブクロックの暗示性能としても使用されるべきでない。

#### I.1 導入

テレコム産業がパケット技術を発達させ、急速に採用しているため、パケットベースクロックの性能を規定する際の補助として測定データの使用を含むパケット同期とタイミングを解決することが強調されてきた。

物理レイヤのタイミング信号安定量は、MTIE や TDEV のようなメトリックを含むが、広く使用され、同期測定解析の中心である。パケットクロックに対して、クロックのパケットネットワーク入力での安定レベルは、クロック出力の安定性に直接影響する。

パケットメトリックの観点からは、PDV メトリックの第一カテゴリーの目的は、I.4 節で導入されているが、パケットクロック出力に対する物理ベースの安定化量を推定する手段を提供するパケットベースの安定化量を定式化することである。これは図 I.1 に示される：

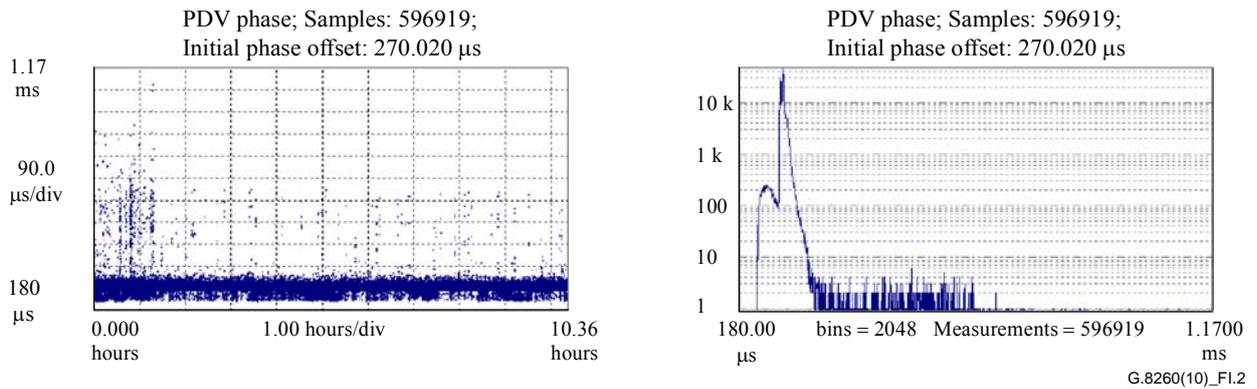


図I.1 – パケット装置クロックインタフェース

PDV メトリックの 2 番目のカテゴリーもこの参考の I.5 節で導入される。この 2 番目のカテゴリーの目的は、パケットクロック出力に対して物理ベースの安定量の推測を直接提供することではなく、一定の遅延時間領域においてタイミングパケットの存在を単に研究することである。

PDV 測定ガイドラインは 6.5 節に記載される。

パケット測定データ解析のために、パケット選択は重要なコンポーネントとして解析に付加される。実際、入力 PDV 雑音を減らすため、パケットスレーブクロック実装は一般的に受信タイミングパケットのサブセットのみを使用している。よって、パケットスレーブクロックで受信される度に PDV を解析する第一の単純な手法は、測定された PDV をヒストグラム形式で表示することである。そうすることで、一般的には異なる遅延領域のパケットの存在数に関する有用な情報が得られ、ネットワーク状況の分析にも充分である場合もある。図 I.2 に測定された PDV と対応するヒストグラムを例示する。



図I.2 -測定されたパケット遅延と対応するPDVヒストグラム

第二の手法では、(この参考ではメトリックと呼ばれる) 数学的ツールが与えられた PDV 測定において、それをより詳細に解析することに適用される。これらのメトリックは一般的にパケットのサブセットしか使用しない。パケットの選択は計算に統合されるか、事前プロセッシングのステップとして実行される。例えば、パケット選択は最小のパケット遅延最低限度、またはより一般的にパケット遅延の別の領域に集中できる。

ちょうど議論したパケット選択について、ここで記述したパケット測定データ解析の手法と実際の装置に存在するようなパケットクロックのアルゴリズムの関連を指摘しておくことは重要である。両者にとって、パケット選択は、パケット遅延の分散の現実を考慮すると最適化のために重要である。

しかし、大部分のパケットスレーブクロック実装の企業秘密性、特にパケット選択基準、により、与えられた PDV メトリックで使用されるパケット選択は対象のパケットスレーブクロックで使用される基準に対応しないかもしれないことに言及することは重要である。よって、与えられた PDV メトリックで提供される情報とパケットスレーブクロックで達成される実性能との間に相違があり得る。

PDV メトリックで得られた結果とパケットスレーブクロックの性能をどのように整合させるかは現在も検討中である。それは、パケットスレーブクロック実装でのパケット選択の基準における最小の共通の振る舞いの仕様を意味するかもしれない。

さらに、PDV メトリックは PDV の標本情報のみを使用して達成しうる性能の推定値を算出し、パケットスレーブクロックの内部発信器雑音の効果を考慮しないということに言及しておくことは重要である。パケットスレーブクロックの推定値と実性能の無視できない差異は、この効果のためにしばしば観察される。発信器雑音を考慮するために、パケットスレーブクロックの雑音生成部品が勧告[ITU-T G.8263]で考慮される。

メトリックは装置要件とネットワーク限界を設定する基礎を提供する一方で、特定の測定データセットへの洞察につながる一般的な解析ツールとしての値は見落とされるべきではない。TDM の同期測定に対して、標準に従った限界は MTIE や TDEV の計算に適用されてきた。しかし ADEV や MDEV などの他のメトリックは、標準に従った通信限界と関係ないが、解析ツールとして大変有用である。

以下の議論では、2つの主要な PDV メトリックのクラスが区別される：

- a) PDVネットワーク限界を指定するのに有用なPDVメトリック： 発クロックの特性が発クロックのリカバリを許容するために充分かどうかについての定量的な表示を与えるPDVメトリック。これを達成するため、PDVメトリックは与えられた特性(伝統的な特性メトリック(物理ベースのタイミング信号に対するメトリック)で表現された)がパケットスレーブクロック出力で達成可能かどうかについての表示を与えなければならない。これはパケットクロックのPDVトレランスを定義するマスクの仕様によって達成される。このクラスのメトリックは、パケットネットワークがパケットでタイミングを運ぶのに適しているかを理解するため、すなわちパケットネットワークで生成されるPDV雑音が勧告[ITU-T G.8263]に定義されているようにパケットスレーブクロックの最小トレランス内かどうかを確認するためにネットワークオペレータから要求される。

b) ネットワークの性能を研究するのに有用であるが、PDVネットワーク限界を指定するには有用でない PDVメトリック：パケットネットワークの典型的な振る舞い（例えば、PDV統計の観点）の特定側面を特徴づけるPDVメトリック。このクラスのメトリックは、どのようにパケットネットワークが振る舞うか、例えばタイミングパケット事前選択のどの方法がタイミングリカバリにとってより適合するか、についてよりよい理解を得る目的に有用である。例えばこの情報は、勧告[ITU-T G.8263]のパケットスレーブクロックの最小仕様を超越してパケットスレーブクロックベンダがクロックリカバリアルゴリズム（例えば、タイミングパケットをどのように選択するか）の設計を最適化するために使用される。しかし、このクラスのメトリックはPDVネットワーク限界を指定するには適さない。

クラス A に関連するメトリックは PDV ネットワーク限界を特定するために[ITU-T G.8261.1]で使用され、一方、クラス B に関連するメトリックは単に情報のためだけである。

## 1.2 時刻誤差列の定義

パケットタイミング信号にとって、パケット時刻誤差列は以下のように形成される。特殊性のため、パケットマスタークロックに発しパケットスレーブクロックで終端されるタイミングパケットの転送を考える。PTP ([IEEE 1588]参照) の場合、パケットのレート  $f_0$  は、マスタとスレーブの交渉を通して決定され、また  $f_0 = 128$  パケット/秒にもなりうる。PTP パケットの間隔は一定ではないかもしれないが、長時間にわたってこの標準的なレートに適合するだろう。これらのパケットの理想的な時刻位置は、パケットデータに埋め込まれたタイムスタンプによって与えられる。

パケットは長期の平均間隔  $\tau_0 = 1/f_0$  でマスタを離れる。信号処理の見地からは、サンプリングレートは  $f_0$  で、マスタからの出発を記述するための任意の数学的な時間の原点を選択できる。この時間の原点の選択で、 $k$  番目のパケットは時刻  $t = k\tau_0$  にマスタを出発する。実際、 $k$  番目のパケットは  $k\tau_0$  に近似的に等しい時刻  $T_k$  に出発するだろう。回線エミュレーションの場合、出発時刻は正確に  $\tau_0$  間隔と考えられることに注意。その後、 $k$  番目のパケットはスレーブに時刻  $S_k$  に到着する。ここで、

$$\begin{aligned} S_k &= T_k + \Delta + \varepsilon_k \\ e_k &= S_k - T_k \end{aligned} \quad (\text{I-1})$$

ここで  $\Delta$  は参照遷移遅延時間であり、 $\varepsilon_k$  は遷移遅延時間の分散（すなわちパケット遅延分散、PDV）である。PDVメトリックの計算のため、オペレーションは差分を内包するので、その結果、各項の一部なので参照遷移遅延時間  $\Delta$  は議論の余地がある。結果として、これらの PDVメトリックを計算する目的のため、パケット遅延の分散として  $e_k$  が使用され、また  $\varepsilon_k$  と交換可能で使用される。スレーブからマスタへとネットワークを転送するパケットに同じ原理が適用される。

（仮定された）パケット時刻エラー信号  $x(t)$  を考えると、サンプリング時刻  $T_k$  での  $x(t)$  のサンプルは  $e_k$  以外ない。すなわち、数列  $\{e_k\}$  はパケット時刻エラー数列に等しいが不均一な時刻グリッドに載っている。正規のパケット時刻エラー数列  $\{x_k\}$  は実際、サンプリング間隔  $\tau_0$  で均一グリッド上のパケット時刻エラー信号  $x(t)$  をサンプリングすることで生成される数列である。

## 1.3 パケット選択

物理レイヤのタイミング信号は定常であり、本質的にガウシアンに従う。したがって、関連した実用安定性量（すなわち、MTIE と TDEV）は、できるだけ多くの雑音を除去して、可能な限りの最良の安定性定量化を成し遂げるために、通常、安定性定量化過程で、あらゆる雑音サンプル点（有意瞬間）を用いる。

他方、パケットベースのタイミング信号は、常に定常、或いは本質的にガウシアンに従うわけではない。したがって、パケットベースのタイミング信号を定量化（タイミング情報をもたらすパケットベースのタイミング信号の能力のより良い評価を実現する）する方法は、パケットベースのタイミング信号の全集合の部分集合だけを選ぶか、特定の安定性定量化分析を適用する前に、一般になんらかのプレ・フィルタリングを実行することが通常必要となる。以下の議論は、パケット選択に関連する手法に特化する。

### 1.3.1 パケット選択のタイプ

導入部で述べたように、幾つかの PDV 測定基準を適用する際に、パケット選択は計算や前処理段階に組み入れられる。

- 計算に組み込まれたパケット選択技術は、パケットの遅延に関してパケット網の特性を決定することを目的とする。この手法の主な利点は、特定のパケットスレーブクロックの実装（例えば、パケットを選ぶのに用いられる時間間隔）の特性から独立している一般的なツールを提供する。したがって、この手法の主要な目的は、進歩しつつあるパケットタイミングリカバリ技術（クラスB測定基準）でベンダを支援することである。
- 他方、前処理は適当な、あらかじめ定義された時間ウィンドウ長からパケットを選択する。したがって、選択過程は、安定定常動作での実用的なパケットクロックの時間ウィンドウ長に似ている。従って、何らかの仮定が[ITU-T G.8263]において規定されるパケットスレーブクロックの「最小限の」実装に関してなされるように、このアプローチはネットワーク限界（すなわち、クラスA測定基準）を規定するために用いられる測定基準の定義に、より適している。

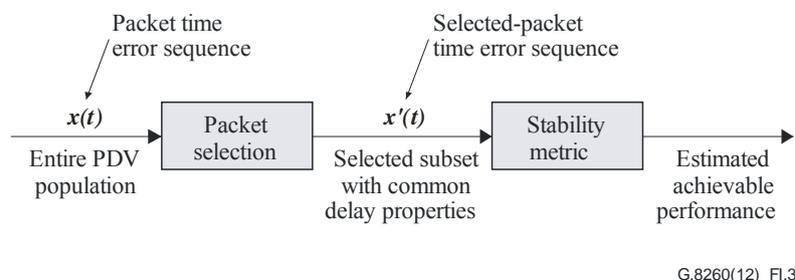
#### 1.3.1.1 前処理されたパケット選択

前処理されたパケット選択をもって、パケットタイミング信号を定量化することは二つの段階で実行される。

- 1) PDV雑音サンプルの全群の中で、特定のパケット選択手続きを同様の遅延特性をもつPDV雑音サンプルの特定の部分集合を選択するために適用する
- 2) 達成できる出力クロック品質評価の推定を得るために、選択された一群のサンプルに対して、要求される安定性定量化アルゴリズム（測定基準）を適用する

注 - 上述したように、所定のPDV測定基準によって提供される情報とパケットスレーブクロックで成し遂げられる実際の性能の間には若干の相違がある

これは、図 I.3 に示される：



G.8260(12)\_Fl.3

図I.3 – 前処理されたパケット選択

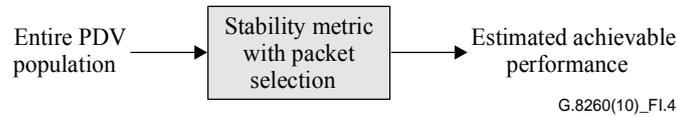
本質的には、入力パケットのタイム-エラー・シーケンス  $x(t)$  は、新しいパケットのタイム-エラー・シーケンス  $x'(t)$  を生じるパケット選択を受ける。入力パケットのタイム-エラー・シーケンスは、等しい長さの時間ウィンドウに分けられる。わずかなパケットは同様の方法で各々のウィンドウから選ばれ、各々のウィンドウが新しいパケットのタイム-エラー・シーケンスに対し一つの値を生じるように、情報は結合される。特に明記しない限り、おのこの選択ウィンドウにおいて選択されたパケットのタイムエラーは、一つの遅延値を生じるために平均化される。

一つの測定基準が、前処理されたパケット選択を用いて計算された場合、測定基準の名前は、pktselected という術語が前に付加される、例えば、pktselectedTDEV となる。(I.4.1.1 を参照せよ)

前処理されたパケット選択の場合、予備パケット選択過程は、実用安定性定量化とは独立している。したがって、2つの異なる組合せは、興味深い特性を与える可能性があり、調査する必要がある。各々は、結果として生じる性能測定に対して重要な影響を与えるために、二つの異なる組み合わせは十分に定義される必要がある。

### 1.3.1.2 統合されたパケット選択

統合されたパケット選択で、図 I.4 で示すように、パケット選択は、測定基準計算に組み込まれる。通常、これは、全ての群の平均化計算の平均化を含む或いは含まない選択過程で置き換えを伴う。



図I.4 – 統合されたパケット選択

注-上述したように、所定のPDV測定基準によって提供される情報とパケットスレーブクロックで成し遂げられる実際の性能の間には若干の相違がある。

## 1.3.2 パケット選択方法

パケット選択方法の4つの例は、あとに続く節で述べられる。最初の2つ、すなわち最小パケット選択とパーセンタイル平均パケット選択は、フロアでのパケットデータに重きを置く。二番目の二つ、すなわちバンド平均パケット選択とクラスターレンジパケット選択は、フロア、または、他の部分で適用することが可能である。

### 1.3.2.1 最小パケット選択法

最小のパケット選択法は、データ部分内で最小値を選ぶ必要がある。これは、以下の通り現される：

$$x_{\min}(i) = \min[x_j] \text{ for } (i \leq j \leq i + n - 1)$$

### 1.3.2.2 パーセンタイル平均パケット選択法

パーセンタイル平均パケット選択法は、最小値を選択する代わりに、幾つかの最小値（または若干のパーセンテージ）が選ばれて、一緒に平均化される場合を除き、最小パケット選択に関連する。それは、下部の指数をゼロに設定して、以下に記すバンド平均パケット選択方法の特別な例である。

### 1.3.2.3 バンド平均パケット選択法

バンド平均パケット選択法は、フロアで、または、上限値、或いはフロア上部の部分からパケットデータの部分を選ぶのに用いられる。バンド平均パケット選択を実行するために、分類されたパケット時刻誤差シーケンスを代表することが最初に必要である。 $x'$  を範囲  $i \leq j \leq i + n - 1$  に渡り最小値から最大値の方向で並べ換えされた位相列として表す。次に、2つのパーセンタイル・レベルの選択に基づいて自分自身をセットする index を表す必要がある。

$a$  と  $b$  を選択された2つパーセンタイル・レベルに対する index として表す。そして、平均化は  $a$  および  $b$  の index により表される  $x'$  に対して適用される。平均化された点の数  $m$  は  $a$  と  $b$  に関係し、ここで  $m = b - a + 1$  である。

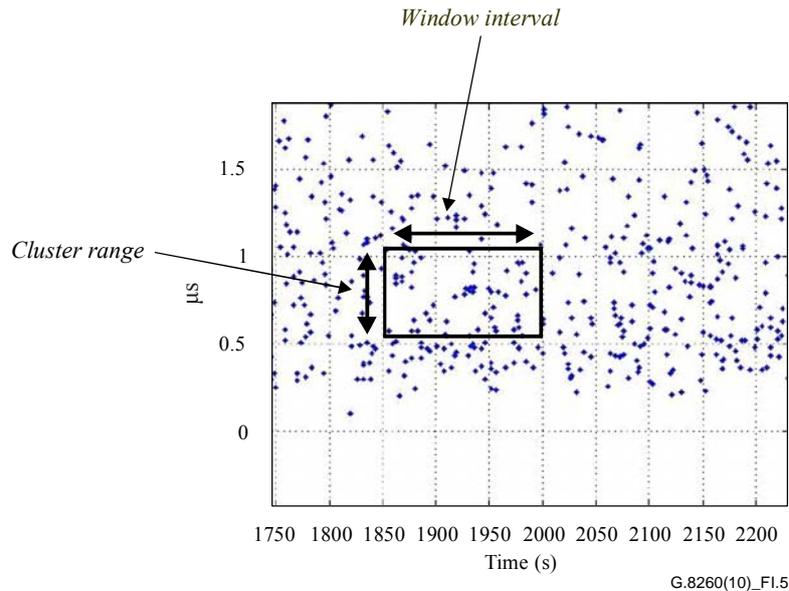
$$x'_{band\_avg}(i) = \frac{1}{m} \sum_{j=a}^b x'_{j+i} \quad (I-3)$$

パーセンタイル・レベルは、望ましいパーセンタイル値から最も近い index を探し出すために丸めを用いて選択される。更なる制約は、index 値が最初の index の最小値と最後の index の最大値を持つということである。つまり、例えば、少なくとも一つの点を選ばれるように、2%(0.02)にセットされたパーセンタイルによる一組の10点は最小 index に設定される。

### 1.3.2.4 クラスターレンジパッケージ選択法

クラスターレンジパッケージ選択法は、パッケージ選択を実行するためにパーセンタイル（確率）に基づく指数よりもむしろ時間/位相限界範囲を用いる。この選択法は、パッケージの通過時刻に関して密接に関係がある一群の一つ以上のパッケージの選択を含む。クラスターの位置はいろいろな基準、たとえば、フロア部分、またはウィンドウ間隔中で観測される他の何らかの部分からのパッケージに基づくか、または、クラスターの位置はウィンドウ間隔外で他の基準または情報に基づく可能性もある。その際、パッケージのクラスターは、ウィンドウ間隔（例えばクラスター内のすべてのパッケージの平均横断時間）の間に一つの値を生じさせるさまざまな方法で処理される。

図 I.5 は、一つのウィンドウ間隔間のパッケージクラスターの例を拡大して、パッケージ遅延シーケンスの例を示す。



図I.5 – クラスターレンジパッケージ選択法の概念の一例

クラスター選択法は、以下の予め定められた選択を含む:

- 1) クラスター内部で受け入れられたパッケージ通過時刻の範囲は、目標性能に関係する。つまり、その範囲は、クロックが意図されるアプリケーションを最もよく扱えるように選択される。これは、*cluster range*,  $\delta$ , であり、時間の単位で指定される。
- 2) クラスターに対する選択ウィンドウ間隔が決められる。
- 3) パッケージ遅延の全体的な分布内で、クラスターの位置、或いはアンカー値  $a(n)$  が変数であり、パッケージネットワークにより誘起される雑音の型を最も特徴付けるようにプログラムされる。すなわち、最適な時刻誤差は、クラスター選択法が最も安定な横断遅延を表現するパッケージを同定する際に得られる。特定のアンカータイプは  $clusterType = rule$  または  $clusterType = e_{rule}$  として表されるように、クラスターの規則とみなされ得る。

スレーブクロックインタフェースにおけるパッケージタイミングの時刻誤差シーケンスは  $\{x(k\tau_P)\}$  により表す。すなわち、根本となるサンプリング間隔（公称パッケージ間隔）は  $\tau_P$  である。クラスター選択法は、固定ウィンドウプロセッシングアーキテクチャを用い、 $K$  サンプル（パッケージ）を考慮し、新たなタイムエラーシーケンス  $\{x'(m\tau_0)\}$  を  $\tau_0 = K\tau_P$  の元に生成する。サンプル値  $x'(m\tau_0)$  は、 $K$  入力サンプル  $\{x(m\tau_P); m = nK, (nK+1), \dots, ((n+1)K-1)\}$  に基づくことに注意せよ。このサンプル値は、次のように表される。

$$x'(n\tau_0) = \frac{\sum_{i=0}^{(K-1)} x((nK+i)\tau_P) \cdot \phi(n,i)}{\sum_{i=0}^{(K-1)} \phi(n,i)} \quad (\text{I-4})$$

方程式(I-4)において、 $\phi()$ は数学的な方法で選択のメカニズムを表す指標関数であり、以下のようになる：

$$\phi(n,i) = \begin{cases} 1 & \text{for } |x((nK+i)\tau_P) - a(n)| \leq \frac{\delta}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{I-5})$$

方程式(I-5)において、 $\delta$ はクラスターレンジであり、 $a(n)$ はKサンプルの特定ウィンドウに対するアンカー値である。式(I-4)は選択ルールを満足するパケットに対する平均の計算によって新しい時刻誤差シーケンスを生成する。

アンカー値はウィンドウに対する公称値と解釈され、予め定められたクラスタータイプによって確立される。たとえば、このアンカー値に対する選択規則は、以下の通りである：

- ウィンドウにおけるKパケットに対する最小通過遅延は、 $clusterType = min$ 、或いは $clusterType_{min}$ と表される。
- ウィンドウにおけるKパケットに対する平均横断遅延は $clusterType = mean$ 、或いは $clusterType_{mean}$ と表される。
- 事前に決定される絶対最小値は、サンプルウィンドウ間、或いは後に $clusterType = min\_absolute$ 、或いは $clusterType_{min\_absolute}$ と表される。

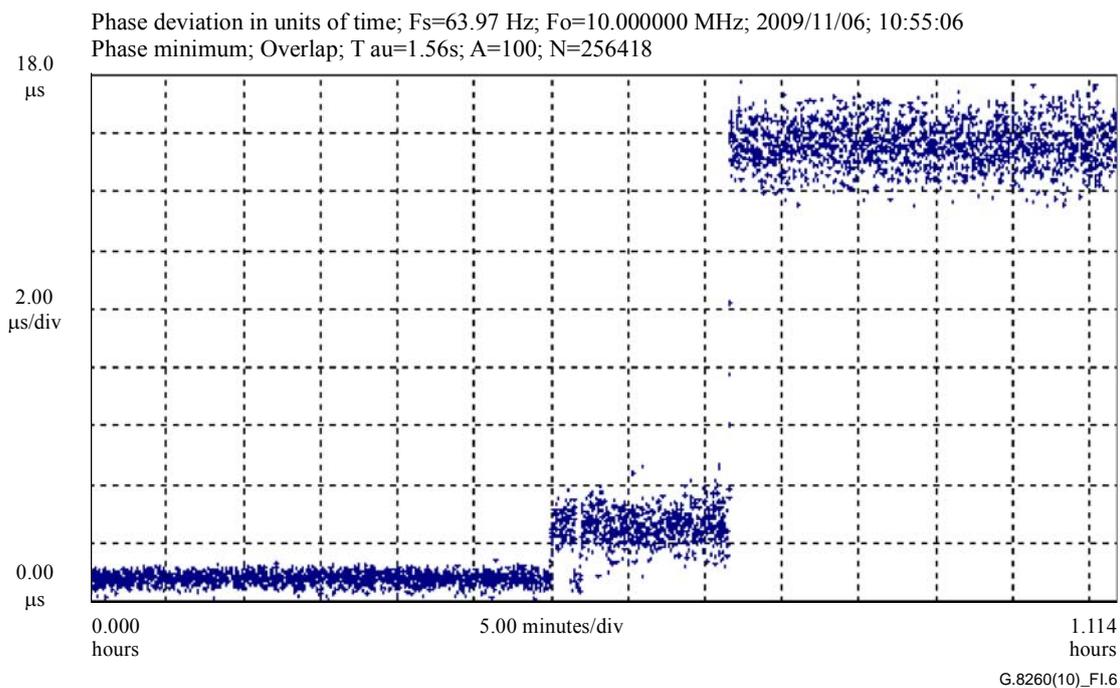
絶対値を用いる際、パケットがウィンドウ（完全なパケット損失状況と同様の）の中で選ばれない可能性がある。将来のパケット横断遅延時間に関する情報がリアルタイム・システムのクライアントに対して利用できない時、サンプルウィンドウの後（前か間とは対照的に）の絶対最小値の決定は、事後解析のみで用いられる。

*anchor value* を特定のパケットの横断遅延とみなすことは一般的であり、その際にはそのパケットは *anchor packet* と呼ばれる。これは、一般的には *anchor value* が特定のパケット（例えば、平均値、或いは絶対最小値）と関連付けられない場合を除いて当てはまる。

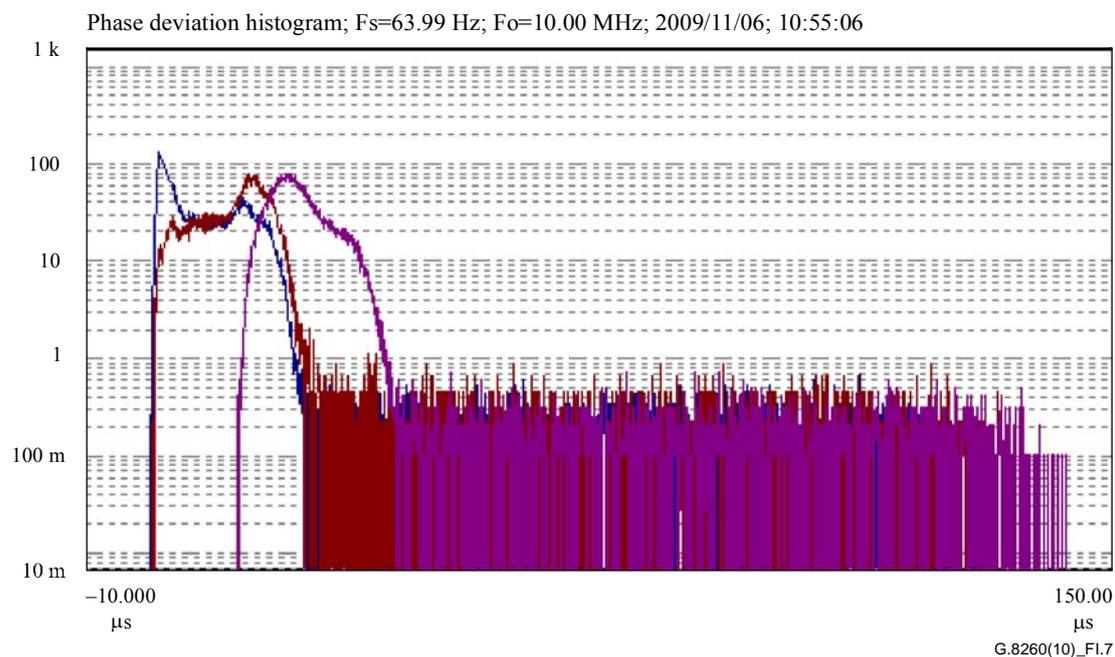
$\delta$  がクラスターレンジである場合、表現 *cluster* ( $\delta$ , *clusterType*)を用いることは有用であろう。*clusterType* は、*anchor value* を生成するために用いられる規則を表す

### 1.3.3 非定常ネットワーク状態の考察

パケット選択が特定の統計領域に重きを置くように、ネットワークパケットの遅延統計が非定常であり、時間変動する場合を考察することは重要である。たとえば、フロアベースの測定基準がフロア変動するパケット測定データに適用されるならば、フロアベースの測定基準の適用は、おそらく別にデータの部分に最良に当てはめられるであろう（図 I.6 と I.7 を参照せよ）。多くの場合、セクションにデータを分離することは、それほど単純ではない（例えば右肩上がりに増加する負荷のような場合）。そのような状況は、更なる研究が必要である。



図I.6 – 最小追従統計が3つの異なる部分を示す



図I.7 – 3つの部分に対するヒストグラム(PDFs)

#### I.4 パケットスレーブクロック性能を評価する PDV 測定基準

下記の節では、パケットネットワークのタイミング信号の定量化に関して検討した安定性の測定基準およびパケット選択に対する幾つかの具体的な関連について述べる。PDV 測定基準を適用する際に、主に二つのアプローチが定義される。

- 事前フィルタが無い場合の測定基準

事前フィルタが無い場合の測定基準は、パケット遅延変動の振る舞いの点でパケットネットワークの特性を決定することを意図する。本アプローチの利点の一つは特定のパケットスレーブクロックの実装のフィルタ帯域と無関係にパケット遅延変動の分析に対する一般的なツールを提供することである。従って、本アプローチの主目的の一つは先進的なパケットタイミングリカバリ技術をもつベンダをサポートするためのものである。

- 事前フィルタが有る場合の測定基準

これらの測定基準は実際の測定基準の計算の前に事前フィルタの処理を含んでいる(図I.11中の”Bandwidth Filtering”の四角を参照)。事前フィルタを含んでいる測定基準の利用は安定状態動作時におけるパケットクロックの簡単なモデルでの測定基準に似ている。従って、何らかの仮定が[ITU-T G.8263]において規格されるパケットスレーブクロックの「最小限の」実装に関してなされるように、このアプローチはネットワーク制限に用いられる測定基準の定義として適している。

#### 1.4.1 事前フィルタ無しの測定基準

##### 1.4.1.1 TDEV

TDEV は[ITU-T G.810]で規格化されており、そして、物理タイミング信号に対するネットワーク・ワンド制限を規定している他の勧告で用いられている。TDEV はパケット・タイミング・データにも適用可能である。パケット・タイミング・データに関して、TDEV は前処理された PDV データに適用される、または、その計算に組み込まれる。TDEV が前処理された PDV データに適用され、pktselectedTDEV として参照される場合は安定性の測定基準として TDEV と共に図 I.3 に図示されている。

TDEV に基づく統合方式は minTDEV、percentileTDEV と bandTDEV を含む。測定基準である minTDEV と percentileTDEV は最小のパケット遅延フロアのパケット選択に集中し、そして、より一般的な測定基準である bandTDEV はあらゆる領域、例えば下限、下限のすぐ上、中間、または、上限からのパケット遅延を選択できる。統合方式は MATIE に対して適用でき、そして、測定基準である MAFE は以下で更に説明されるが、TDEV の節においてのみ詳細が述べられる。測定基準ある TDEV の様に、TDEV ベースのパケット測定基準はパケット測定データのノイズ過程についても検討されており、それは white PM、flicker PM、random walk PM、flicker FM と random walk FM である。パケット選択の取り込みと共に、これらのノイズ過程の一つ以上は選択が組み込まれない分析と比較して削減できる可能性がしばしばある。

##### 1.4.1.1.1 MinTDEV

###### 定義

minTDEV 演算子は測定基準 TDEV にもとづいて定義される。測定基準 TDEV は下記の式(I-6)に示される。

$$\sigma_x(\tau) = \text{TDEV}(\tau) = \sqrt{\frac{1}{6n^2} \left\langle \left[ \sum_{i=1}^n (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2 \right\rangle} \quad (\text{I-6})$$

TDEV 演算子はサンプルウィンドウの平均(式 I-7)にもとづいている。

$$x_{\text{mean}}(i) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} x_{j+i} \quad (\text{I-7})$$

TDEV 演算子と比較して、minTDEV 演算子におけるサンプルウィンドウの平均はサンプルウィンドウの最小値に置き換えられ、式(I-8)として示される。

$$x_{\text{min}}(i) = \min [x_j] \text{ for } (i \leq j \leq i+n-1) \quad (\text{I-8})$$

式(I-8)を元の TDEV 定義に代入することで  $\text{minTDEV}(\tau)$ (ここで  $\tau = n\tau_0$ )は導出される。

$$\sigma_{x_{\min}}(n\tau_0) = \text{minTDEV}(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{6} \left\langle [x_{\min}(i+2n) - 2x_{\min}(i+n) + x_{\min}(i)]^2 \right\rangle}, \quad (\text{I-9})$$

ここで、 $n = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{3}\right)$  の整数部である

ここで角カッコはアンサンブル平均を示す。

#### 評価式

$\text{minTDEV}(n\tau_0)$ は下記によって評価される

$$\text{minTDEV}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{6(N-3n+1)} \sum_{i=1}^{N-3n+1} [x_{\min}(i+2n) - 2x_{\min}(i+n) + x_{\min}(i)]^2} \quad (\text{I-10})$$

ここで、 $n = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{3}\right)$  の整数部

#### 用法

$\text{minTDEV}$  演算子は、PDV の振る舞いを示すパケットネットワークと組み合わせられた時に有用なツールとして使用され、ここで、最小遅延に近いパケット遅延変動を持つパケットの適切なセットを見分けることを可能とする。

実際、これらのパケットはキューによる遅延によってより少ない影響が与えられ、それ故、オリジナルのタイミングをより表わす。その定義により、 $\text{minTDEV}$  は全てのネットワークシナリオ（例えば、最小選択での両サイドでの PDV 分散を持つネットワークは大きな偏差を示し得て、それ故に TDEV 雑音が増える）を完全に取扱わないかもしれず、更なる検討が必要である。

#### 利点と欠点

$\text{minTDEV}$  計算はネットワークパケット遅延雑音過程の情報を与えるが、周波数オフセットの特性に対しては適切ではない。

TDEV の様に、 $\text{minTDEV}$  はノイズ成分をマスクできる規則正しい効果に対して敏感である。

TDEV と異なり、 $\text{minTDEV}$  は僅かな異常値（この場合は、低い）に対して敏感である。

この測定基準を適用する時、上記に表記された潜在的に備わっている精度を与える正確性の観点の定義とそれに続くこの測定基準を適用するときのこれらを取り扱う方法は更なる検討が必要である。

### 1.4.1.1.2 PercentileTDEV

#### 定義と評価式

percentileTDEV の計算は bandTDEV の特別な場合であり、ここでは低い方の index  $a$  に対して 0 を割り当てている（下記の bandTDEV の定義を参照）。従って、定義と評価式は  $a = 0$  での bandTDEV（1.4.1.1.3 を参照）に対して、定義と評価式がそれぞれ与えられる。 $\text{minTDEV}$  の測定基準の様に、percentileTDEV は最小パケット遅延フロアに着目している。単一最小点の選択に変わって、（通常は）フロアでの少ない組が一緒に平均化される。

#### 用法

測定基準である percentileTDEV は測定基準  $\text{minTDEV}$  と同様に適用される。上記の  $\text{minTDEV}$  の用法を参照のこと。測定基準 percentileTDEV は、いくつかの周囲の状況において利点があり、それは、多数のフロアパケット遅延の測定が選択された時にノイズが減らされ、そして、単一点での選択に対してするのは異なりノイズが共に平均化されることである（下記の図 1.8 を参照）。

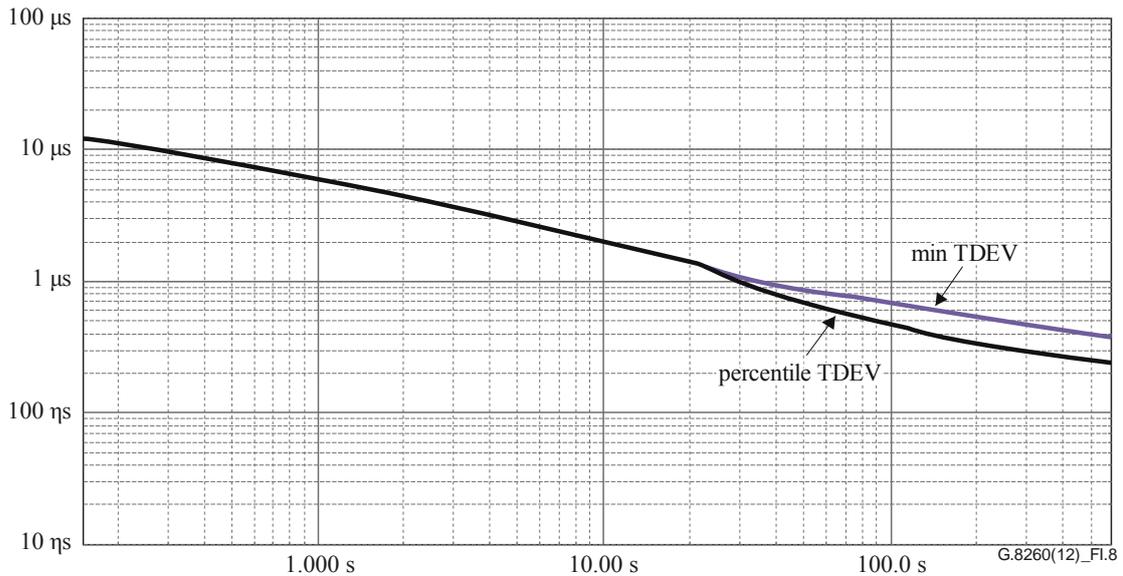


図1.8 – minTDEV対percentileTDEV (1%)

### 利点と欠点

minTDEV の様に、percentileTDEV はネットワークパケット遅延雑音過程の情報を与えるが、周波数オフセットの特性に対しては最適ではない。

TDEV や minTDEV の様に、percentileTDEV はノイズ成分をマスクできる規則正しい効果に対して敏感である。

TDEV と異なりそして minTDEV の様に (minTDEV よりも敏感ではないが) percentileTDEV は僅かな異常値に対して敏感である。

新たなパラメータであるパーセンタイル index が percentileTDEV に対して選択されなければならない。

この測定基準を適用する時、上記に表記された潜在的に備わっている精度を与える正確性の観点の定義とそれに続くこの測定基準を適用するときのこれらを取り扱う方法は更なる検討が必要である

#### 1.4.1.1.3 BandTDEV

##### 定義

bandTDEV を定義するために、ソートされた位相データの表現が最初に必要になる。  $x'$  を  $i \leq j \leq i+n-1$  の範囲にわたる最小から最大の方向にソートされた位相データ列として表現する。次に 2 つのパーセントレベルの選択に元づいてこれら自身を設定する index の表現が必要になる。2 つの選択されたパーセントレベルの index に対して  $a$  と  $b$  で表現する。平均化が index  $a$  と  $b$  によって与えられた  $x'$  に対して適用される。平均点の数  $m$  は  $a$  と  $b$  に関連し、ここで  $m = b - a + 1$  である。

$$x'_{band\_mean}(i) = \frac{1}{m} \sum_{j=a}^b x'_{j+i} \quad (I-11)$$

bandTDEV は次式で定義される。

$$\sigma_{x\_band}(\tau) = \text{bandTDEV}(\tau) = \sqrt{\frac{1}{6} \left\langle \left[ x'_{band\_mean}(i+2n) - 2x'_{band\_mean}(i+n) + x'_{band\_mean}(i) \right]^2 \right\rangle} \quad (I-12)$$

ここで四角のカッコはアンサンブル平均を示す。

$$x'_{band\_mean}(i) = \frac{1}{m} \sum_{j=a}^b x'_{j+i}, \text{ ここで } x' \text{ は } i \leq j \leq i+n-1 \text{ の範囲に渡って最小から最大へとソートされた位相のデータ}$$

列を示し、 $a$ と $b$ は2つの選ばれたパーセントレベルに対するindexを示す。パーセントレベルは所望のパーセント値から最も近いindexを見つける様に丸めを用いることによって選択される。更なる制約は、index値が最初のindexの最小値と最後のindexの最大値を持つということである。

### 評価式

bandTDEV( $n\tau_0$ )は次式によって評価される。

$$\text{bandTDEV}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{6(N-3n+1)} \sum_{i=1}^{N-3n+1} [x'_{band\_mean}(i+2n) - 2x'_{band\_mean}(i+n) + x'_{band\_mean}(i)]^2} \quad (\text{I-13})$$

13)

ここで  $n = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{3}\right)$  の整数部

### 用法

bandTDEV の計算は minTDEV と percentileTDEV と比較して、フロアから離れたパケット遅延値の領域を選択可能な柔軟性を持っている。それ故、もしフロアでのパケット遅延値の集合がその直ぐ上の集合よりも雑音が多かったならば、bandTDEV の index はその領域の分析に集中するために選択されることができる。

minTDEV の用法におけるいくつかのコメントはここで適用されるが、bandTDEV は最小パケット遅延に向けて傾いている一方向の分布以外の分布に効果的に適用できる。これは、パケット遅延分布のどこかで良く存在するモードでのパケット遅延分布に対して実際に効果的である。

### 利点と欠点

minTDEV や percentileTDEV の様に、bandTDEV はネットワークパケット遅延雑音過程の情報を与えるが、周波数オフセットの特性に対しては最適ではない。

TDEV、minTDEV そして percentileTDEV の様に、bandTDEV はノイズ成分をマスクできる規則正しい効果に対して敏感である。

この測定基準を適用する時、上記に表記された潜在的に備わっている精度を与える正確性の観点の定義とそれに続くこの測定基準を適用するときのこれらを取り扱う方法は更なる検討が必要である。

#### 1.4.1.1.4 ClusterTDEV

### 定義

clusterTDEV を定義するために、最初に必要となるのはソートされた位相データの表現である。 $i \leq j \leq i+n-1$  の範囲に渡って最小から最大に向けてソートされた位相データ列を  $x'$  と表現することにする。次に、必要となるのはクラスタータイプの表現であり、クラスターアンカ  $a(n)$  とクラスターレンジ  $\delta$  を決定する。クラスターレンジ  $\delta$  内に合うパケットに対する index として  $a$  と  $b$  を用いる。それから平均化がクラスターレンジ  $\delta$  に対する  $x'$  変数に適用される。平均化された点の数は  $m$  であり、ここでこのクラスターに対して  $m = b - a + 1$  である。

$$x'_{cluster}(i) = \frac{1}{m} \sum_{j=a}^b x'_{j+i} \quad (\text{I-14})$$

clusterTDEV に対して、式(I-14)に従ってクラスターレンジにおける平均値は TDEV に対して定義された式における平均

値が代用される。従って、 $\text{clusterTDEV}(n\tau_0)$ は次式で定義される。

$$\sigma_{x\_cluster}(\tau) = \text{clusterTDEV}(\tau) = \sqrt{\frac{1}{6} \left\langle [x'_{cluster}(i+2n) - 2x'_{cluster}(i+n) + x'_{cluster}(i)]^2 \right\rangle} \quad (\text{I-15})$$

ここで四角のカッコはアンサンブル平均を表す。

#### 評価式

$\text{clusterTDEV}(n\tau_0)$ は次式で評価される。

$$\text{clusterTDEV}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{6(N-3n+1)} \sum_{j=1}^{N-3n+1} [x'_{cluster}(i+2n) - 2x'_{cluster}(i+n) + x'_{cluster}(i)]^2}, \quad (\text{I-16})$$

ここで  $n = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{3}\right)$  の整数部

#### 用法

$\text{clusterTDEV}$  の計算はフロアから離れたパケット遅延値の領域を選択することを可能とする柔軟性を持っている。従って、もし最低点でのパケット遅延値の集合がその直ぐ上の集合よりもノイズが多い場合、 $\text{clusterTDEV}$  の index はその領域における分析に集中するために選択されることが可能である。一般的に言うと、 $\text{clusterTDEV}$  は選ばれた選択ルールによって決定された値で中心化された位相/時刻範囲を元に予め決定された帯域における通過遅延の安定性の定量的な測定を提供する。

$\text{miniTDEV}$  の用法におけるいくつかのコメントは  $\text{clusterTDEV}$  にも同様に適用可能だが、片方向の分布が  $\text{clusterTDEV}$  は最小遅延パケットに向けて傾いている場合以外の分布に効果的に適用できる。これは、パケット遅延分布のどこかで良く存在するモードでのパケット遅延分布に対して実際に効果的である。

#### 利点と欠点

$\text{minTDEV}$  の様に、 $\text{clusterTDEV}$  はネットワークパケット遅延雑音過程の情報を与えるが、周波数オフセットの特性に対しては最適ではない。

$\text{TDEV}$  や  $\text{minTDEV}$  の様に、 $\text{clusterTDEV}$  はノイズ成分をマスクできる規則正しい効果に対して敏感である。

$\text{TDEV}$  と異なりそして  $\text{minTDEV}$  の様に  $\text{clusterTDEV}$  は周波数オフセットに対して敏感である。周波数オフセットは、よく観測されるフロアや上限値も存在しない時、正確に解析するのはより難しいかもしれない。

2つの追加のパラメータであるクラスターレンジとクラスタールールが  $\text{clusterTDEV}$  に対して選択されなければならない。この測定基準を適用する時、上記に表記された潜在的に備わっている精度を与える正確性の観点の定義とそれに続くこの測定基準を適用するときのこれらを取り扱う方法は更なる検討が必要である。

$\text{clusterTDEV}(\tau, \delta, \text{clusterType})$  の表記を用いるのが役立つかもしれない。ここで、 $\tau$  は測定間隔、 $\delta$  はクラスターレンジであり  $\text{clusterType}$  はアンカー値を生成するために用いられるルールを提供する。一般的にルールは文脈から提供され、そして、その場合は表記中に含まれる必要は無い。

例:

$$\text{minTDEV}(\tau) = \text{clusterTDEV}(\tau, 0, \text{clusterType}_{\min})$$

#### 1.4.1.2 最大平均時間間隔誤差と最大平均周波数誤差

最大平均時間間隔誤差 (MATIE) と最大平均周波数誤差 (MAFE) は最大位相または周波数偏差を述べている。MATIE と MAFE は  $\text{TDEV}$  と同様にノイズ平均化機能を含む。

#### 1.4.1.2.1 最大平均時間間隔誤差 (MATIE)

##### 定義

2つの隣接するスライドする観測ウィンドウがクロックの時刻誤差または選択されたパケット遅延データを解析するために用いられる。観測ウィンドウの幅( $\tau$ )は TDEV における独立した値 (結果の曲線の x 軸) として用いられる。

平均時刻誤差の値は2つの隣接するウィンドウにおいて計算される。平均化は TDEV において用いられた方法と共通点があるフィルタの能力を達成する。2つの連続するウィンドウ間の符号無しの差分は一方のウィンドウの平均から他方を減算して絶対値として計算することによって決定される。

上記のスライドするウィンドウの平均化の処理は低域通過フィルタの処理であり、タイミング信号に対する PLL フィルタによって適用できるものにおおよそ対応する。差分の計算は2つの時刻の場合でのクロック出力の評価を比較する。ここで  $n\tau_0$  離れた距離であり、下記の MATIE の数式を参照すること。

2つの隣接したスライドするウィンドウは全時刻誤差データに渡ってスイープされ、最大値はこのデータから期待される最悪値の発生を表現するために取り入れられる。

パケットデータの MATIE の分析に対して、同様の計算が TDEV と同様にウィンドウサイズ( $\tau$ )の異なる値に対しても行われる。

離散データサンプルに適用される関数は式(I-18)中に述べられている。

MATIE( $n\tau_0$ )は規定されたパーセント  $\beta$ として定義され、 $\beta$ はランダム変数である。

$$X_n = \max_{1 \leq k \leq N-2n+1} \frac{1}{n} \left| \sum_{i=k}^{n+k-1} (x_{i+n} - x_i) \right| \quad (\text{I-17})$$

ここで  $n = 1, 2, \dots, (N/2)$  の整数部である。

ここで  $x_i$  はパケット時刻誤差列 (そして乱数列) であり、 $n\tau_0$  は観測ウィンドウ幅、 $n$  はウィンドウ中のサンプル数、 $\tau_0$  はサンプル間隔、 $N$  はデータ一組中のサンプル数、そして、 $k$  はウィンドウのスライドに対して1ずつ増やされる。MATIE は長さ  $n\tau_0$  の隣接するウィンドウ間の平均時刻変化の最大値を示している。

##### 評価関数

MATIE( $n\tau_0$ )は次式で評価される。

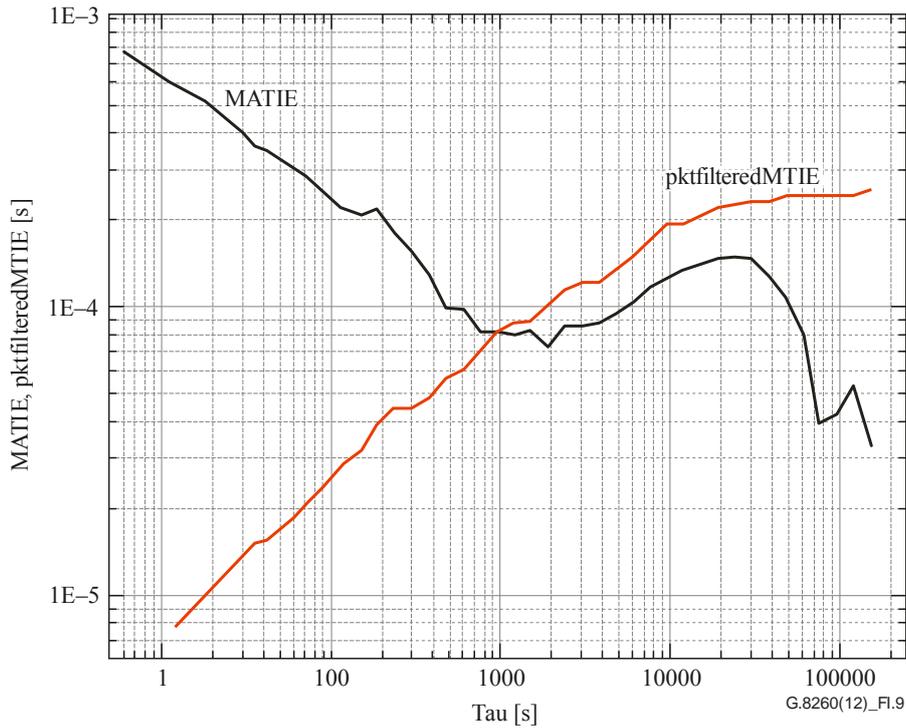
$$\text{MATIE}(n\tau_0) \cong \max_{1 \leq k \leq N-2n+1} \frac{1}{n} \left| \sum_{i=k}^{n+k-1} (x_{i+n} - x_i) \right| \quad (\text{I-18})$$

ここで  $n = 1, 2, \dots, (N/2)$  の整数部

上記は一点での評価であり、信号測定周期に渡る測定 (例えばパケット誤差列のサンプル  $x_i$ 、ここでデータ値を表す) に対して得られる ([ITU-T G.810] 図 II.1 を参照)。(規定した  $N$ 、 $\tau = n\tau_0$  と  $\beta$  に対する) MATIE の評価と統計的信頼性の度合いは、測定が複数の測定周期に対して行われた測定データに対して得られるかもしれない ([ITU-T G.810] 第 II.5 節 参照)。

##### 用法

図 I.3 において選択されたサブセットに対応する事前処理された遅延データに適用されたとき、MATIE は幅 $\tau$ の隣接する平均化窓の間で発生する平均化時刻間隔誤差における最大の差を予測する。



図I.9 – 黒曲線は事前処理遅延データを適用したMATIEを示す  
赤曲線は960の平均化関数での*pktfilteredMTIE* (I.4.2参照) を示す  
これらの値は一例である

#### I.4.1.2.2 MAFE

##### 定義

これらは上記で定義されたMAFEとMATIE測定基準間の単純な関係である。

$$\text{MAFE}(n\tau_0) = \frac{\text{MATIE}(n\tau_0)}{n\tau_0} \quad (\text{I-19})$$

従って、MAFE( $n\tau_0$ )は規定されたパーセント  $\beta$ として定義され、 $\beta$ はランダム変数である。

$$Z_n = \frac{\max_{1 \leq k \leq N-2n+1} \frac{1}{n} \left| \sum_{i=k}^{k+n-1} (x_{i+n} - x_i) \right|}{n\tau_0} \quad (\text{I-20})$$

ここで  $n = 1, 2, \dots, (N/2)$ の整数部

ここで  $x_i$  はパケット時刻誤差列 (そして乱数列) であり、 $n\tau_0$  は観測ウィンドウ幅、 $n$  はウィンドウの中のサンプル数、 $\tau_0$  はサンプル間隔、 $N$  はデータ一組中のサンプル数、そして、 $k$  はウィンドウのスライドに対して1ずつ増やされる。MAFEは単位なしであり、規格化された周波数 ( $\Delta f/f$ )である。

## 評価式

MAFE( $n\tau_0$ ) は次式によって評価される。

$$\text{MAFE}(n\tau_0) \cong \frac{\max_{1 \leq k \leq N-2n+1} \frac{1}{n} \left| \sum_{i=k}^{k+n-1} (x_{i+n} - x_i) \right|}{n\tau_0} \quad (\text{I-21})$$

ここで  $n = 1, 2, \dots, (N/2)$  の整数部

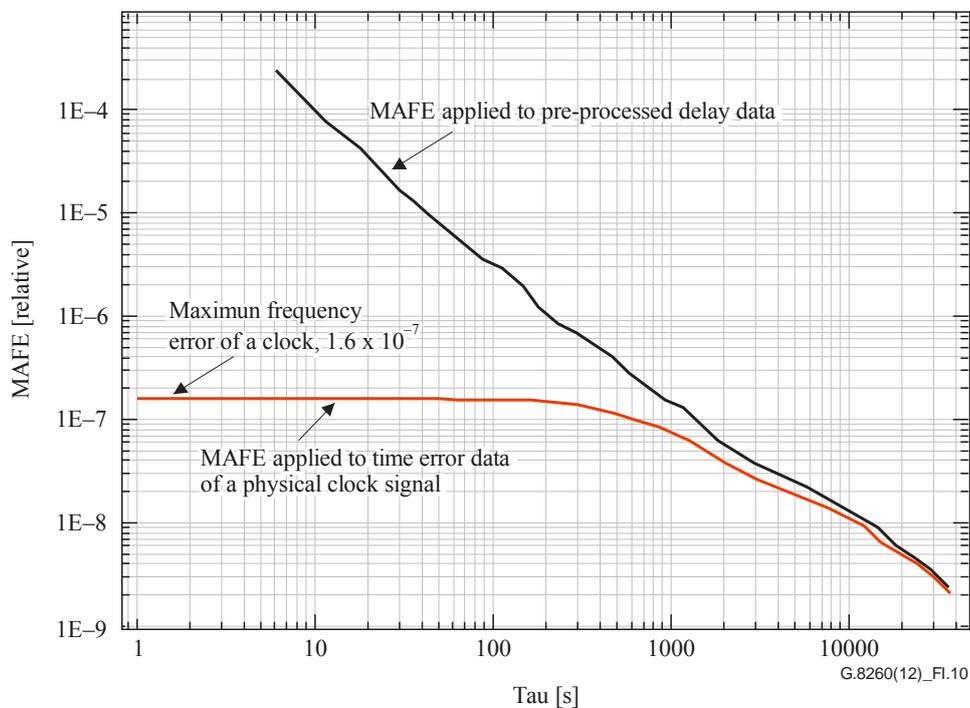
上記は一点での評価であり、信号測定周期に渡る測定（例えばパケット誤差列のサンプル  $x_i$ 、ここでデータ値を表す）に対して得られる（[ITU-TG.810] 図 II.1 を参照）。（規定した  $N, \tau = n\tau_0$  と  $\beta$  に対する）MAFE の評価と統計的信頼性の度合いは、測定が複数の測定周期に対して行われた測定データに対して得られるかもしれない（[ITU-T G.810] 第 II.5 節参照）。

## 用法

小さな  $\tau$  値で図 I.1 におけるクロック出力に対応する物理クロック信号データが適用されたとき、ここで、MAFE の計算があらゆる追加のフィルタをクロック信号に対して行わないとき、MAFE はクロックのピークの周波数誤差を表現する。図 I.10 を参照。大きな  $\tau$  値では、ここで MAFE は信号を生成するクロックにおいてよりも狭い帯域幅を示す。MAFE はクロック信号の更なる平均化によって減らされる最大周波数誤差を表現する。

図 I.3 において選択されたサブセットに対応する事前処理された遅延データが適用された時、MAFE は幅  $\tau$  の隣接する平均化窓間で測定された時刻間隔誤差の平均における最大の差から計算される最大周波数誤差を予測する。

図 I.10 は事前処理された遅延データそして 1000 のオーダでの平均化周期を用いた一つの実際の物理クロックの時刻誤差データに対して適用された MAFE の影響を示す。平均化周期の定義は更なる検討が必要であり、そしてこの値は一例である。



図I.10－ 事前処理遅延データおよび  
物理クロックの時刻誤差データを適用したMAFE

## 利点と欠点

MAFE は周波数誤差の特性化に対して良く適している。

補完する TDEV の測定基準と異なり、MAFE はノイズ過程の検討には適さない。

測定基準 minTDEV や percentileTDEV の様に、フロアベースで選択された MAFE は僅かな異常値に対して敏感である。

この測定基準を適用する時、上記に表記された潜在的に備わっている精度を与える正確性の観点の定義とそれに続くこの測定基準を適用するときのこれらを取り扱う方法は更なる検討が必要である。

### 1.4.1.2.3 MATIEまたはMAFEの計算における統合されたパケット選択

パケット選択は、前に述べた通り、MATIE と MAFE の計算において統合され得る。minMATIE と minMAFE に対する定義と評価式は下記の節において与えられる。

#### 1.4.1.2.3.1 minMATIE

##### 定義

minMATIE( $n\tau_0$ )は規定されたパーセント  $\beta$ として定義され、 $\beta$ はランダム変数である。

$$U_n = \max_{1 \leq k \leq N-2n+1} |x_{\min}(k+n) - x_{\min}(k)| \quad (\text{I-22})$$

ここで、 $x_{\min}(k) = \min[x_j]$  for ( $k \leq j \leq k+n-1$ )、また、 $x_i$ はパケット時刻誤差列（そして、乱数列）であり、 $n\tau_0$

は観測ウィンドウ長、 $n$ は観測ウィンドウ内のサンプル数、 $\tau_0$ はサンプル間隔である。 $N$ はデータセット中のサンプル数、そして、 $k$  は観測ウィンドウがスライドする毎に値が1ずつ増える。

##### 評価式

minMATIE( $n\tau_0$ )は次式により評価される。

$$\text{minMATIE}(n\tau_0) \cong \max_{1 \leq k \leq N-2n+1} |x_{\min}(k+n) - x_{\min}(k)| \quad (\text{I-23})$$

このとき  $n = 1, 2, \dots, (N/2)$  の整数部

上記は一点での評価であり、一測定周期（ITU-T G.810 の図 II.1 を参照）に渡る測定（例えば、パケット時刻誤差のサンプル  $x_i$  であり、データ値を表す）に対して得られる。統計的な確実性の度合いを示す minMATIE 評価（ $N, \tau = n\tau_0$  および  $\beta$  に対して規定される）は測定データから得られるかもしれないが、それは測定が複数の測定周期に対してなされた場合である（ITU-T G.810 の第 II.5 節参照）。

#### 1.4.1.2.3.2 minMAFE

##### 定義

minMAFE( $n\tau_0$ )は規定されたパーセント  $\beta$ として定義され、 $\beta$ はランダム変数である。

$$V_n = \frac{\max_{1 \leq k \leq N-2n+1} |x_{\min}(k+n) - x_{\min}(k)|}{n\tau_0} \quad (\text{I-24})$$

このとき  $n = 1, 2, \dots, (N/2)$  の整数部

ここで、 $x_{\min}(k) = \min[x_j]$  for ( $k \leq j \leq k+n-1$ )、また、 $x_i$ はパケット時刻誤差列（そして、乱数列）であり、 $n\tau_0$ は観

測ウィンドウ長、 $n$  は観測ウィンドウ内のサンプル数、 $\tau_0$  はサンプル間隔である。 $N$  はデータセット中のサンプル数、そして、 $k$  は観測ウィンドウがスライドする毎に値が 1 ずつ増える。

## 評価式

$\text{minMAFE}(n\tau_0)$  は下記により評価される。

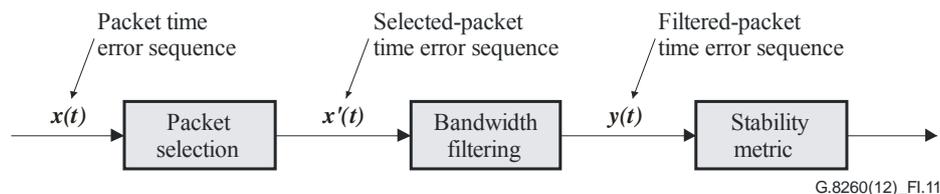
$$\text{minMAFE}(n\tau_0) \cong \frac{\text{minMATIE}(n\tau_0)}{n\tau_0} = \frac{\max_{1 \leq k \leq N-2n+1} |x_{\min}(k+n) - x_{\min}(k)|}{n\tau_0} \quad (\text{I-25})$$

このとき  $n = 1, 2, \dots, (N/2)$  の整数部

上記は一点での評価であり、一測定周期 (ITU-T G.810 の図 II.1 を参照) に渡る測定 (例えば、パケット・タイム・エラーのサンプル  $x_i$  であり、データ値を表す) に対して得られる。統計的な確実性の度合いを示す  $\text{minMAFE}$  評価 ( $N, \tau = n\tau_0$  および  $\beta$  に対して規定される) は測定データから得られるかもしれないが、それは測定が複数の測定周期に対してなされた場合である (ITU-T G.810 の第 II.5 節参照)

### 1.4.2 事前フィルタリングを含む測定基準

1.3.1.1 章に紹介されているように、「前処理されたパケット選択」、入力パケット時刻誤差数列  $x(t)$  は、パケット選択の影響を受け、新しく選択されたパケット時刻誤差数列  $x'(t)$  を生成する。加えて、新しいパケット時刻誤差数列  $x'(t)$  は、フィルタされたパケット時刻誤差数列  $y(t)$  を生成するために続いてフィルタされる。このフローは下図 I.11 に示す。



図I.11 – パケット選択とフローフィルタ

選択されたパケット時刻誤差数列  $x'(t)$  は、パケット選択過程のウィンドウ長に関する平均時間を持ったクロックバンド幅を持ったラインに平均化機能の適用によってフィルタされる。とりわけ、1 : 10 は図 I.11 にあるブロックバンド幅のフィルタリングブロックの時定数のパケット選択ブロックのウィンドウ長の最適な比率の例である。

フィルタリングプロセスを実行させることを可能とするために十分なパケット情報を利用可能とする事を保証するために選択プロセスのパラメータは選択されなければならない。例として、1 パケット/秒、100 の選択ウィンドウ、最小可能選択パーセンテージを 1% と仮定すると、すべてのウィンドウにおいて 1 パケットの選択結果になる。

多くの場合、より高いパケットレートはより高いサンプル数を得るためにこれらの測定を使う。

長さ  $b$  (それぞれのウィンドウが  $K$  サンプルを持つウィンドウ数) のスライドする平均化機能ウィンドウは以下に従う。

$$y(n\tau_0) = \frac{1}{b} \sum_{i=n}^{n+b-1} (x'_i), i=1,2,\dots,N-b+1 \quad (\text{I-26})$$

フィルタされたパケット時刻誤差数列  $y(t)$  は TIE を計算するために使われ、MTIE や TDEV のような [ITU-T G.810] で定義される伝統的な同期測定基準に適用される。TIE や定数が  $y(t)$  を使って計算されたとき、語句「*pkfiltered*」はそれぞれの TIE または測定基準の名前の前につける。図 I.11 で説明されるように、*pkfiltered* 操作はパケット選択とバンド幅フィルタリングの両方を含む。

#### 1.4.2.1 *pkfiltered*TIE

*pkfiltered*TIE はフィルタされたパケット時刻誤差数列の TIE であり、ITU-T G.810 で定義された式の代わりに用いられる。

$$\text{pkfilteredTIE}(t, \tau) = y(t + \tau) - y(t) \quad (\text{I-27})$$

#### 1.4.2.2 *pkfiltered*MTIE

*pkfiltered*MTIE は、フィルタされたパケット時刻誤差数列の MTIE であり、定義や評価式に対して [ITU-T G.810] で与えられるそれぞれの式から得られる。

#### 定義

*pkfiltered*MTIE( $\tau$ ) は指定されたパーセント  $\beta$  として定義され、 $\beta$  はランダム変数である。

$$Y = \max_{0 \leq t_0 \leq T - \tau} \left( \max_{t_0 \leq t \leq t_0 + \tau} [y(t)] - \min_{t_0 \leq t \leq t_0 + \tau} [y(t)] \right) \quad (\text{I-28})$$

ここで  $T$  は測定間隔、 $\tau$  は観測間隔である。

#### 評価式

*pkfiltered*MTIE( $n\tau_0$ ) I-29 で評価される。

$$\text{pkfilteredMTIE}(n\tau_0) \cong \max_{1 \leq k \leq N-n} \left[ \max_{k \leq i \leq k+n} y_i - \min_{k \leq i \leq k+n} y_i \right], \quad n=1,2,\dots,N-1 \quad (\text{I-29})$$

上記は一点での評価であり、単一の測定間隔での測定に対して得られる ([ITU-T G.810] の図 II.1)。*pkfiltered*MTIE( $T, \tau = n\tau_0, \beta$  で定義する) の評価および統計信頼のそれぞれの程度は、複数の時間間隔から測定された場合の測定データから得られる。(ITU-T G.810 の II.5 章参照)

#### 1.4.2.3 *pkfiltered*TDEV

*pkfiltered*TDEV はフィルタされたパケット時間誤差数列の TDEV であり、定義や評価式に対しては [ITU-T G.810] で与えられるそれぞれの式から得られる。

#### 定義

*pkfiltered*TDEV( $n\tau_0$ ) は、(I-30) で定義され

$$\text{pkfilteredTDEV}(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{6n^2} \left\langle \left[ \sum_{i=1}^n (y_{i+2n} - 2y_{i+n} + y_i) \right]^2 \right\rangle} \quad (\text{I-30})$$

かぎっこはアンサンブル平均である。

## 評価式

pkfilteredTDEV( $n\tau_0$ )は (I-30) で評価される。

$$\text{pkfilteredTDEV}(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{6n^2(N-3n+1)} \sum_{j=1}^{N-3n+1} \left[ \sum_{i=j}^{n+j-1} (y_{i+2n} - 2y_{i+n} + y_i) \right]^2} \quad (\text{I-31})$$

ここで  $n = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{3}\right)$  の整数部

### I.4.2.4 pkfilteredFFO

pkfilteredFFOは、[GR-1244-CORE]で定義される式にあるフィルタされたパケット時間エラー数列、 $y(t)$ の周波数変動オフセットである。周波数変動オフセットの記述、定義は[ITU-TG.810]の第4.5.2節および第I.2章を参照してほしい。

## 評価式

pkfilteredFFO( $N\tau_0$ )は (I-32) で評価される。

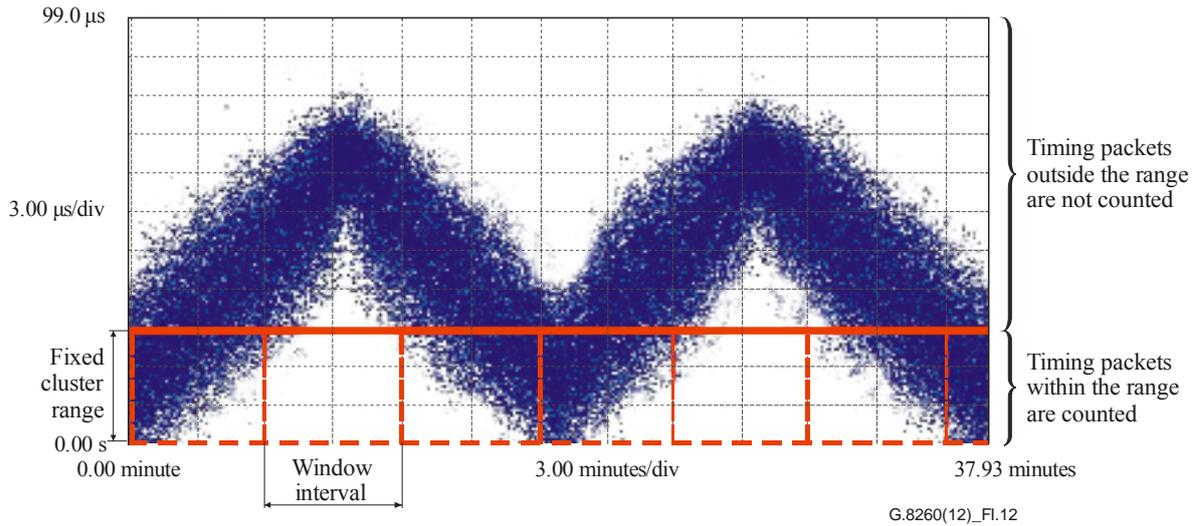
$$\text{pkfilteredFFO}(N\tau_0) \cong \frac{6 \times 10^{-9}}{N\tau_0} \sum_{i=1}^N y_i \left( \frac{2i}{N^2 - 1} - \frac{1}{N - 1} \right) \quad (\text{I-32})$$

## I.5 フロア遅延パケット集合を調査する PDV 測定基準

PDV 測定基準に関するこの部門の目的は、観測されたフロア遅延から開始した所定の固定クラスターの範囲内におけるタイミングパケットの数について研究することである。その際、タイミングパケットの数は、受諾または拒否のしきい値と比較することができる。ここでの主なアイデアは、少なくとも最低限の数のパケット、または代わりに最低限のパーセントのパケットは、常に観測されたフロア遅延から始まる指定された固定クラスター範囲内に留まることを保証することである。

例として、図 I.12 を考慮されたい。パケット遅延の値は、時間の関数として示されている。一部のパケットは最小観測遅延の一定の範囲内に到着し（赤線の下部）、他は範囲外に到着する。その範囲内に到着したパケットはウィンドウ間隔ごとにカウントされる。このカウントは、ウィンドウ間隔ごとに許容基準と比較される。もし、すべてのウィンドウ間隔が許容基準を満たしている場合、ネットワークは PDV ネットワーク限界を満たしていたということになる。

図 I.12 に描かれたウィンドウは、重複していないが連続したものとして示されている。これは、しばしば「ジャンピングウィンドウ」アプローチと称される。「スライディングウィンドウ」アプローチは、1パケット（サンプル）分だけシフトしたウィンドウを考慮する。中間的なアプローチでは、異なるレベルの重複を考慮する。スライディングウィンドウを使用すると、すべての非正常で短い過渡的な障害イベントを検出するだろう。ジャンピングウィンドウやオーバーラッピングウィンドウは、スライディングウィンドウアプローチのサブセットである。実装ではジャンピングウィンドウまたはオーバーラッピングウィンドウアプローチを使用しても良い。



図I.12—観測最フロア遅延から開始した固定のクラスター範囲内の  
パケットの集合を検討したPDV測定基準の例

もし、ウィンドウ間隔  $t$  秒で観測最フロア遅延から開始したサイズ  $\delta$  の一定のクラスター範囲の任意のウィンドウ間隔において、最低  $m$  個のパケットあるいは代わりに最低パケットの  $p\%$  が観測される場合、これらの測定基準に関して指定される PDV 限界は、適応しているとみなされる。もし、 $m$  個より少ないパケットが観測される、あるいは代わりにパケットの  $p\%$  未満が観測される場合、PDV 限界が満たされないと見なされる。

このプロセスは、次のように記述することができる。

$x[i]$  をタイミングパケット  $i$  ( $0 \leq i < N$ ) における測定されたレイテンシとする。すなわち、測定したデータ・セットには  $N$  個のパケットが存在する。タイミングパケット間の公称時間は  $\tau_p$  で表す。 $\delta$  はクラスター範囲を表すものとし、 $W$  はウィンドウ間隔を表す時間の単位であり、また、 $K$  サンプルを用い  $K = W/\tau_p$  と表すことができる。 $K$  は、ウィンドウ間隔で送信されたパケットの（公称）数を表す。

注 – タイミングフローのパケットレートが名目上一定であると仮定される。パケット伝送の可変レートのケースについては、今後の検討課題である。

最少観測遅延を以下と定める：

$$d_{\min} = \min_{0 \leq i < N} x[i] \quad (\text{I-33})$$

式(I-33)で与えられる観測された  $d_{\min}$  は、パケットが経験するかもしれない絶対最少レイテンシの推定値である。絶対最小レイテンシについてより良い推定値、例えば前回の測定データ、が利用可能であれば、その代替値が使用されても良いかもしれない。いずれの場合にも、下の方程式は、観測された  $d_{\min}$  以下の最小遅延の選択にあてはまる。

そして、フロアパケットの選択を行う指標関数を定義する：

$$\phi_F(i, \delta) = \begin{cases} 1; & \text{if } x[i] \leq d_{\min} + \delta \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{for } 0 \leq i < N \quad (\text{I-34})$$

式(I-34)では、パケットの遅延が常に  $d_{\min}$  より大きいと想定していることに注意されたい。

式(I-35)、(I-36)および(I-37)で適用される規則としては、標本のインデックス " $n$ " が、ウィンドウの終わりに関連しているということである。すなわち、フロアパケット測定基準は、完全なウィンドウに基づいており、その結果、 $(K-1)$  より少ない  $n$  の値は定義されない。

次いで、フロアパケットカウント（FPC）シーケンスを、パラメータ  $n$ ,  $W$  ( $W = K \cdot \tau_p$ ) および  $\delta$  により定義する：

$$FPC(n,W,\delta) = \sum_{j=n-(K-1)}^n \phi_F(j,\delta) \text{ for } (K-1) \leq n < N \quad (\text{I-35})$$

フロアパケットレート (FPR) シーケンスを、パラメータ  $n, W$  および  $\delta$  により定義する：

$$FPR(n,W,\delta) = \frac{FPC(n,W,\delta)}{W} \text{ for } (K-1) \leq n < N \quad (\text{I-36})$$

フロアパケットパーセント (FPP) シーケンスを、パラメータ  $n, W$  および  $\delta$  により定義する：

$$FPP(n,W,\delta) = \left( \frac{\tau_P}{W} \right) \times FPC(n,W,\delta) \times 100 \% \text{ for } (K-1) \leq n < N \quad (\text{I-37})$$

フロアパケットパーセントは、ネットワーク制限を定義することについても適用可能である。もし、下式が成り立てば、ネットワークのパフォーマンスは許容可能である。

$$\min_{(K-1) \leq n < N} \{FPP(n,W,\delta)\} \geq p\% \quad (\text{I-38})$$

ここで、ネットワークの許容基準は  $p\%$  であり、パラメータ  $W$  と  $\delta$  は、適切な勧告、例えば [ITU-T G.8261.1]、にて提供されている。

フロアパケットレート (フロアパケットカウントと等価) は、スレーブクロックトレランス限度を識別するための適切な測定基準である。すなわち、もし、下式が成り立てば、スレーブクロックは、仕様の出力性能を満たしている必要がある。

$$\min_{(K-1) \leq n < N} \{FPC(n,W,\delta)\} \geq m \quad (\text{I-39})$$

ここで、パラメータ  $W$  と  $\delta$  は、適切な勧告にて適用可能なものとして提供されている。

式 (I-36)、(I-37)、(I-38) および (I-39) は、スライディングウィンドウアプローチに対し、一般的で適切である。ジャンピングおよびオーバーラッピングウィンドウの計算は、スライディングウィンドウのサンプルをサブサンプリングすることにより得られる。

ジャンピングウィンドウの場合、推定はすべての  $K$  サンプルに由来する。すなわち、ジャンピングウィンドウのサンプルは、単純に  $K$  倍にアンダーサンプリングされたスライディングウィンドウの推定値である。全ての測定区間にわたって、 $M = (N/K)$  個のジャンピングウィンドウのサンプルが存在し、その結果、ジャンピングウィンドウシーケンスのインデックスは 0 から  $(M-1)$  まで変動する。

ネットワークの状態が静的かつスペクトルかつ確率密度パラメータが急激に変化しないときには、ジャンピングウィンドウアプローチが適切である。スライディングウィンドウは、例えば、短期の過渡的なまたは急速に変化するイベントに対し、より適切かもしれない。

注 1 – この PDV 測定基準のカテゴリーでは、観測されたフロア遅延が絶対フロア遅延について十分に良好な推定を与えるよう、十分に長い測定時間が必要となる。最小測定期間は検討するネットワークのタイプによって異なる。例えば 1 日または数日間にわたっての長い測定期間は、昼夜の PDV の影響を研究するために支持されるべきである。

注 2 – minTDEV や MAFE と同様に、これらの測定基準は、少数の低い値の異常値に敏感かもしれない。潜在的な感度を作る正確な側面の定義、並びに、この測定基準を適用するときこれを処理する後続の方法は、今後の検討課題である。

注 3 – PDV 測定基準のこのカテゴリーは、I.3.3 節で記述されたような非正常なネットワークの状態に対して敏感で、ネットワークの再ルーティングイベント中の段階で発生するかもしれない著しい強度のフロア遅延ステップを作り出す。フロア遅延ステップの取り扱いは、今後の検討課題である。

注 4 – これらの測定基準は、主に、後処理の測定基準として使用が意図されている。これらの測定基準をリアルタイム処理で使用することは、今後の検討課題である。

注5 – これらの測定基準は、パケットタイミングフローの順方向または逆方向によって独立に生成される PDV ノイズを研究するために使用することができる。双方向の複合した効果を考慮することは、今後の検討課題である。

### 1.5.1 「観測されたフロア遅延」の決定

フロア集合の測定基準を計算する際、「観測されたフロア遅延」の値を決定することがまず必要である。ユーザーがこのフロア遅延にふさわしい値を特定することは許容できるが、この値を決定するデータ主体の 2 つの方法がここに記述される。第一の方法は、全範囲での最小方法と呼ばれるが、すべての測定期間で測定される最小遅延を使用することである。第二の方法は、進行最小方法と呼ばれるが、個々のフロア集合の測定基準値が計算される時間ウィンドウまでの測定時間で測定される最小の遅延を使用することである。パケットネットワークルートを観測されたフロア遅延の決定に与えるインパクトに関する情報については 1.5.1.3 節を参照せよ。

#### 1.5.1.1 全測定における最小フロア遅延

全範囲での最小方法で、フロア集合の測定基準を計算する際に使用される「測定されたフロア遅延」は、G.8260 の 1.5 節の方程式 I-33 に従う全測定データ集合における最小の遅延値である。

測定期間すべてでの最小遅延は期間の終わりまでわからないかもしれないが、与えられた時間ウィンドウを通じたフロア集合の測定基準値の計算は、まだ測定されていない遅延値に依存する。将来の測定への依存性は、長期試験に対するフロア集合一致度の早期の表示の提供をより難しくする。

#### 1.5.1.2 フロア遅延の進行的決定

観測されたフロア遅延を決定するために測定期間の終わりまで待つことが現実的でないアプリケーションでは、下記の因果的推定方法が利用できる。各々のフロア数量の測定基準の計算点  $n$  で、観測されたフロア遅延は、測定基準が計算されるウィンドウまで（かつウィンドウ内）の測定期間における最小の遅延値として推定される。この連続的に行われるフロア遅延の推定は、その後フロア集合の測定基準を計算する際に利用される。このことが、与えられたどんな時刻におけるフロア集合の測定基準値の計算がすでに測定された遅延値のみに依存することを可能にする。

「観測されたフロア遅延」の動的概念を調整するため、G.8260 の 1.5 節で定義されるフロア集合の測定基準は、すべてのデータ集合の最小値よりも現在では古くなったフロア遅延の推定値を利用するために修正される。使用される用語は  $FP_{XM}(n, W, \delta, d_{min}(n))$  で、ここで「 $x$ 」は測定基準（「数」「率」「パーセント」）を表現し、添字  $M$  は利用される公式が G.8260 の定義の修正形であることを示し、また  $d_{min}(n)$  はフロア遅延の現在測定中の推定値である。

上記の方程式 I-33 の見地から、時刻  $n$ （ここで  $n$  は常に測定ウィンドウの終わりでの標本指標である）において測定されるフロア遅延は次のように推定される。

$$d_{min}(n) = \min_{0 \leq i < n} x[i] \quad (I-40)$$

方程式 I-35 から I-37 におけるフロアパケット測定基準の時刻  $n$  の値は、方程式 I-33 において  $d_{min}$  のかわりに  $d_{min}(n)$  を使用して計算される。

特定の実装に対する例として、時刻  $n$  でのフロア遅延は、以下のアルゴリズムによって反復的に推定される。

- (1) 最新の測定ウィンドウの最小パケット遅延を  $d(n)$  と書く。
- (2)  $d(n)$  を「測定されるフロア遅延」の現在の推定値  $d_{min}(n)$  と比較する。
  - a. もし  $d(n) < d_{min}(n)$  ならば  $d_{min}(n) = d(n)$
  - b. さもなければ  $d_{min}(n)$  のまま変更なし

進行的なフロア決定法は測定期間に測定されるフロア遅延値の推定値を絶えず更新する。各フロア集合の測定基準の計

算ポイントにおいて、観測されるフロア遅延は、測定基準が計算されるウィンドウまで（かつウィンドウ内）の測定期間中の最小の遅延値  $d_{min}(n)$  と推定される。この推定値の現在値は、この後、フロア集合の測定基準を計算する際に使用される。このウィンドウはスライドするし、オーバーラッピング（重なり合ったり）やジャンプ（飛びが）できたりしうる。第一の測定ウィンドウおよび引き続くウィンドウから始めて、フロア集合の測定基準は  $FPx_M(n, W, \delta, d_{min}(n))$  と計算される。当初の決定時間(S 秒)はフロアのよい推定がもたらされることを保証することを許容されるべきで、この時間が経過した後に初めて有効な計算が発生することになる。その目的は観測されたフロア遅延の推定が「真の」遅延フロアに充分近くなる S の値を選択することであり、信頼できる FPx 一致テストが連続する測定ウィンドウに対して計算されるようにされる。この決定時間は予め決められた（例えばある最悪ケースの仮定に基づく）固定値に基づくか、または特定の特徴に基づくリアルタイムで計算されるか、である。この特定の方法/値は今後の検討課題である。G.8261 の付録 VI のテストケースに対して、 $S=600$  秒という値が充分であることが示されてきた。

### 1.5.1.3 リルート事象と「観測されたフロア遅延」へのインパクト

#### 1.5.1.3.1 リルート事象

リルート事象は、ネットワークを通じてパケットによってとられるパスの変化として定義される。そのようなリルート事象は、与えられた PTP フローの観測されたフロア遅延の変化となりうる。

与えられたネットワークで発生する重大なリルート事象は、下記の属性を持つと期待される：

- 1) これらは頻発しない事象である。よく構成されたキャリアのネットワークではそのような（たいてい装置の不調や通常のメンテナンスの結果としての）リルート事象はとともまれである
- 2) 単一のリルート事象は短時間に多数のフロア遅延変化を引き起こすかもしれない。（例比較的短時間の後に第二のリルート事象で復元される短時間のネットワークリルート事象になるネットワークの維持活動）そのような一連の近いリルート事象は単一の事象とみなされるべきである。そのような「ネットワークルートの不安定性」は（ルータの SW アップグレードにより）数分間から（ネットワークにおける故障の結果として）数時間継続しうるのが通常は仮定されている。
- 3) 結果としてのフロア遅延の変化は突然である。このフロア遅延の変化はパケット間隔のほんのいくつかの継続時間内（とても短いので特定の継続時間は重要ではない）で発生する。

#### 1.5.1.3.2 パケットネットワーク制限へのリルート事象のインパクト

ネットワーク負荷の変化や輻輳などの極端な条件と異なり、リルート事象による観測されたフロア遅延の変化はパケットネットワーク制限の一部ではなく、パケットネットワーク制限のバジェットを消費しない。

リルート事象が発生した場合、そのパケットネットワークはパケットネットワーク制限を満足していないと考えられる。パケットネットワーク制限の測定は再開され、新規の観測されるフロア遅延が計算されるべきである。リルート事象間でそのネットワークの観測されたフロア遅延は固定されると考えられ、よって 1.5.1 節の FPP 計算法が適用されるということに注意すべきである。

#### 1.5.1.3.3 リルート事象の決定

リルート事象発生の決定の方法と関連する観測されたフロア遅延の変化は今後の検討課題である。これらの方法は、ネットワーク解析装置に適用可能であるが、パケットスレーブブロックには適用できない。

### 1.5.2 例外事象とパケットネットワーク制限へのインパクト

パケットネットワークでは例外的な事象などの深刻で予期していないネットワーク現象がしばしば発生するかもしれない。これらの事象は定義されたクラスターレンジ内で到着するパケット数を減らすかもしれない。よってパケットネットワークが、定義された FPP ネットワーク制限を一時的に満足しないことを引き起こすかもしれない。そのような例外的

な事象を調整するため、測定時間(Y)にわたって少数の重ならないウィンドウ(X)が許容される。そのような例外事象が制限された時間継続することを保証するため、最大数の連続する重ならないウィンドウが仕様化される(Z)。X、Y および Z の値は関連する勧告で定義される。

## 1.6 測定基準分類のまとめ

I.1 節に 2 クラスの PDV 測定基準 (クラス A とクラス B) の定義を示す。

I.4 節と I.5 節に挙げた PDV 測定基準の中で、下記のものが現在 PDV ネットワーク限界 (クラス A) を定義するのにふさわしいと考えられ、[ITU-T G.8261.1]で使用されている。

- 最小フロア遅延をもつパケット集合を検討するPDV測定基準 (I.5節)

MAFE と pktfilteredMTIE の両測定基準はネットワーク制限を定義する候補と考えられる。(クラス A)

ネットワーク制限を定義する他の PDV 測定基準 (I.4 節) の使用可能性は、今後の検討課題である。

## Bibliography

[GR-1244-CORE] GR-1244-CORE (2009), *Clocks for the Synchronized Network: Common Generic Criteria*, Telcordia Technologies Generic Requirements, (Issue 4, October) .