

PTPの相互接続実証実験の現状と方向性 Phase2

Interop Tokyo 2016 ShowNet における結果からの考察

Interop Tokyo 2016 ShowNet NOC Member

セイコーソリューションズ株式会社 長谷川幹人
株式会社IIJイノベーションインスティテュート 阿部博
東京大学 情報基盤センター 関谷勇司



転記ミスについて

- 提出論文の実験結果に転記ミスがございます
 - 表4 : Step1-2実験結果
 - 表5 : Step1-3実験結果

- 本資料の以下の数値が正しい値となります
 - 正) P34 「Step1-3」 実験結果
 - 正) P36 「Step1-4」 実験結果

Agenda

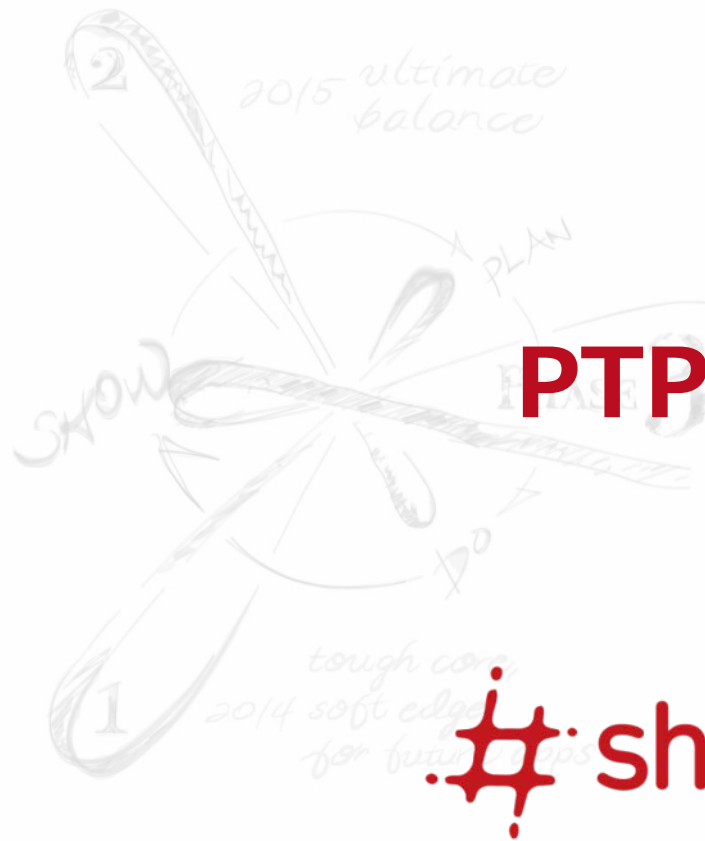
- はじめに (ShowNet 概要)
- PTP の必要性
- ShowNet におけるPTP の取り組み
- 計測手法、分析手法
- 相互接続実証実験
- まとめ

ShowNet 概要

- Interop Tokyo 内で構築される、最新技術の相互接続検証および、出展社ブースへのインターネットアクセス提供の2面性を有したイベントネットワーク
- 2年後、3年後に業界に浸透する技術を先駆けて挑戦
- 世界、国内で初披露（実稼働）される新製品も実装
- Interop Tokyo が唯一、開催当初のスピリットを継承
- 産学官から集まった「NOC チームメンバー」、機器やサービスを提供する「コントリビュータ」、一般公募ボランティア「STM」の三位一体で構築



Source : <http://www.interop.jp/2016/shownet/>



PTP の必要性

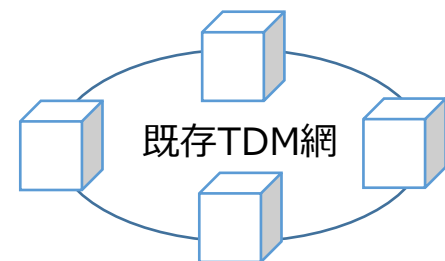
INFINITE
CHALLENGE

show Δ net ←

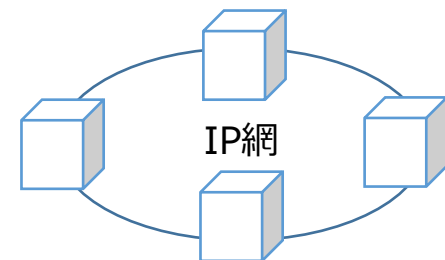
時刻同期が必要なアプリの登場

- 高精度な時刻同期網の必要性
 - IP 網に対し、SONET / SDH といったTDM技術を用いた同期網のような高精度な基準クロックが求められている
 - 装置間の周波数同期に加え、絶対時刻まで一致させる時刻・位相同期が必要となるアプリケーションが登場してきたことが要因
 - モバイル分野、エネルギー分野における蓄給電のタイミング合わせ、金融・証券分野における高頻度取引などへの利用が見込まれる

SONET : Synchronous Optical Network
SDH : Synchronous Digital Hierarchy
TDM : Time Division Multiplexing



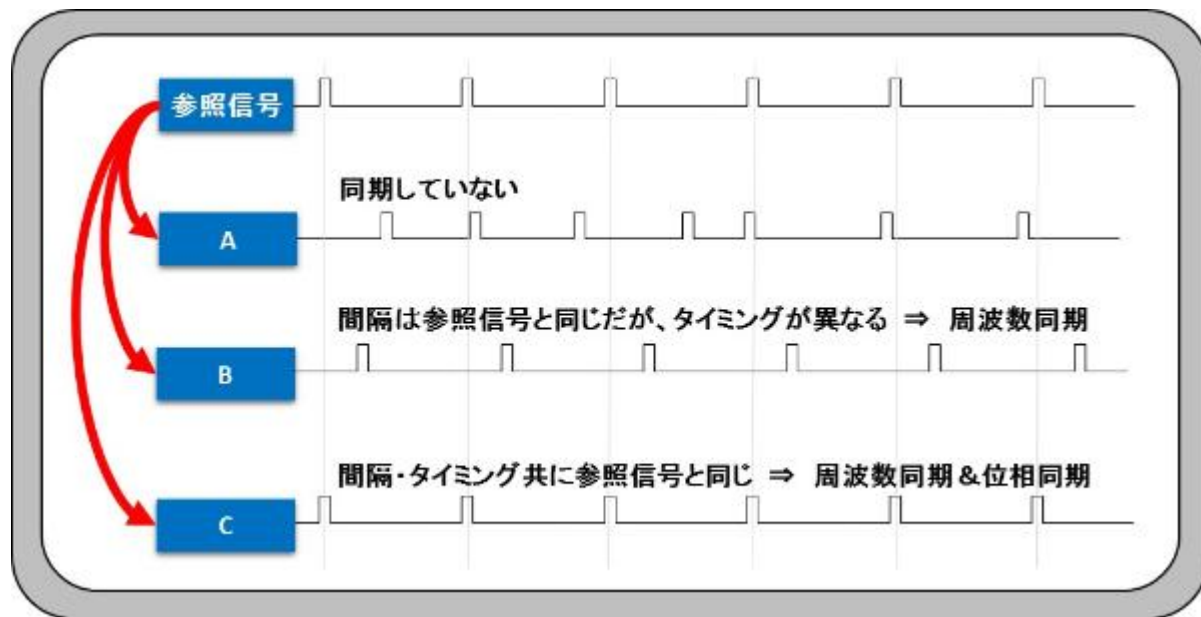
IP網の転換



Source : NTT技術ジャーナル

周波数／時刻・位相同期

- 周波数同期
(frequency)
 - 参照信号に周波数の間隔を合わせる
 - タイミングは異なる
- 時刻・位相同期
(phase)
 - 間隔・タイミングともに参照信号と同じ

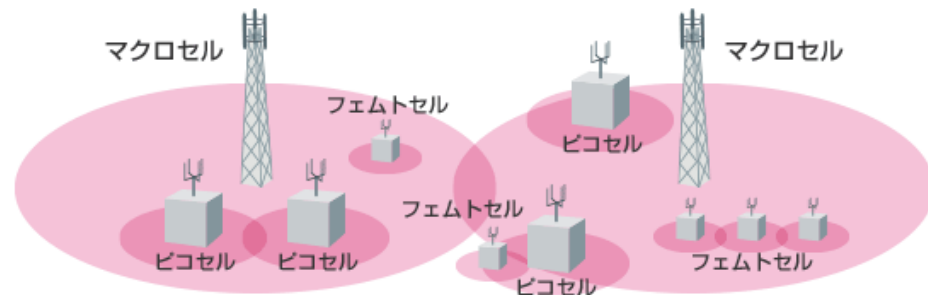


小型基地局機器の大量展開

• モバイル基地局と時刻源

• これまで (3G)

- 基地局：半径数キロメートルの広範囲な通信エリアをカバーするマクロセル
- 時刻源：GPS 単独による構成を利用



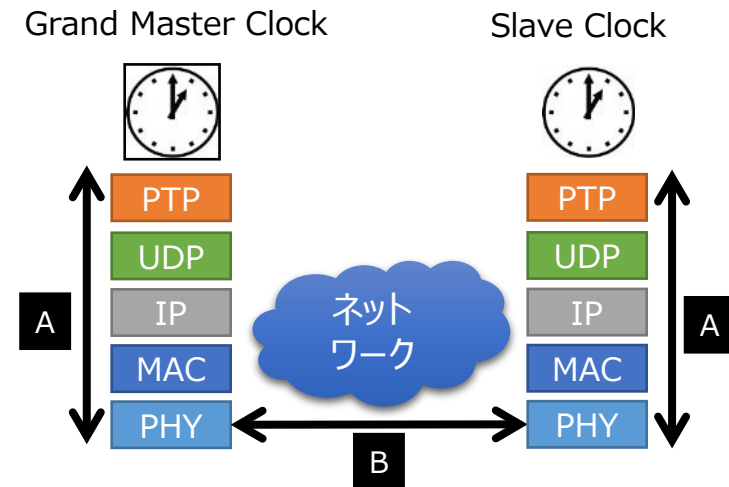
• これから (4G以降)

- 基地局：半径数10メートルから数100メートルの狭範囲な通信エリアをカバーするマイクロセル（ピコセル／フェムトセル）のような小型基地局機器を大量に展開
- 時刻源：大量な小型基地局に時刻源を提供するために、GPS から得た高精度な時刻をネットワーク経由で提供するPTP 環境が必要となる

Source : Softbank Mobile

PTP 概要

- IEEE1588 : Precision Time Protocol (PTP)
 - Ver.1:2004, Ver.2:2008, Ver.3:検討中
 - NTPと同様パケットベースのプロトコル
- 時刻源はGNSS を想定
 - GNSS : Global Navigation Satellite System
 - GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, etc.
- 同期精度
 - マイクロ秒以下のオーダ (NTP はミリ秒オーダ)
 - パケットが物理層 (図のPHY 部) の通過時刻を打刻 (タイムスタンプ) すること推奨
 - 誤差の主要因である装置内部遅延の影響を出来る限り排除
 - ネットワーク機器の全てがPTP 対応することを想定



A : プロトコルスタックにおける遅延・ジッタ

B : ネットワークにおける遅延・ジッタ

遅延 : 計測可能なデータ転送の流れ

ジッタ : 遅延のばらつき

PTPの現状

- 各業界の標準化団体ごとにPTP 規格を策定
 - IEEE1588-2008(v2) を元に行っているが、パケットフォーマットが同じ、というレベル
 - 独自の「機能拡張」も行っている
- そのため、各業界で定義されたPTP の相互接続性は「基本的でない」

標準化団体と各業界マップ



Default, Power, Audio, Video

The Institute of Electrical and Electronics Engineers



AVnu Alliance

Automotive



International
Telecommunication
Union

Telecom



Video

Society of Motion Picture & Television Engineers

CableLabs®

Cable



Power, Industrial

International Electrotechnical Commission



I E T F®

Internet Engineering Task Force

Financial
Enterprise



Audio

Audio Engineering Society



Nuclear

European Organization for Nuclear Research



LAN eXtensions for Instrumentation

Instrumentation

各業界団体のPTP Profiles

Industry	SDO	Profile	Status	Network Aware	Transport
Default	IEEE	1588 Annex J.3 Default Delay Request-Response	2008	未定義	未定義
↑	↑	1588 Annex J.4 Default Peer-to-Peer	↑	Full	↑
Telecom	ITU-T	G.8265.1 Telecom Profile for Frequency	2010	Non	IPv4, IPv6
↑	↑	G.8275.1 Telecom Profile for Phase Aware	2014	Full	Ethernet
Telecom	ITU-T	G.8275.2 Telecom Profile for Phase Unaware	2016	Non/Partial	IPv4, IPv6
Power	IEEE	C37.238 Power Profile	2012	↑	Ethernet, VLAN
Power, Industrial	IEC	62493-3 Annex A.2 Automation Networks using PRP & HSR	2011	↑	Ethernet
Audio, Video	IEEE	TSN/AVB IEEE 802.1AS gPTP	2011	↑	↑
Audio	AES	AES67 Media Profile	2013	未定義	IPv4
Video	SMPTE	ST-2059-2 Professional Broadcast Environment Profile	2015	↑	IPv4, IPv6
Nuclear	CERN	White Rabbit v2.0	2011	Full	未定義
Instrumentation	LXI	IEEE 1588 Profile for LXI Instrumentation	2008	未定義	IPv4, (IPv6)

Draftなものもたくさん

Industry	SDO	Profile (Status : Draft)	Network Aware	Transport
Financial Enterprise	IETF	TICTOC Enterprise	Non/Partial	IPv4, IPv6
Cable	CableLabs	Remote DOCSIS Timing Interface	Non/Partial/Full	IPv4, IPv6, Ethernet
Power	IEEE	C37.238 Power Profile Revision (Level 2)	Full	Ethernet, (VLAN)
↑	IEC	61850-9-3 Power Utility Automation (Level 1)	↑	Ethernet
Industrial Automation	↑	62439-3 Annex B "U" Utility Automation Profile	↑	↑
↑	↑	62439-3 Annex C "D" Drives & Process Automation Profile	↑	IPv4
Audio, Video	IEEE	TSN/AVB IEEE 802.1AS gPTP Revision	↑	Ethernet
Video	SMPTE	ST-2059-2 Professional Broadcast Environment Profile Amd1	未定義	IPv4, IPv6
Automotive	AVnu	Automotive (based on IEEE802.1AS)	Full	Ethernet

ShowNet における PTP の取り組み

 show Δ net ←

これまでの取り組み

- 昨年（2015年）からPTP の相互接続実証実験スタート
 - モバイル／放送／電力／金融業界などで想定されるネットワークへのPTP 対応のうち、特にPTP を用いた高精度時刻同期ネットワークのマルチベンダー化の加速を想定
- 取り組み内容
 - 複数のGrandmaster Clock (GM)やSlave 装置と、ルータやスイッチなどのネットワーク装置が実装するBoundary Clock (BC)機能を有効にした構成での相互接続実証実験を実施 (Profile : Default , Telecom)
 - 主にプロトコルの相互接続を行い、マルチベンダー環境での実装が正しく動作するか確認
- 昨年の課題
 - プロトコル相互接続試験が完全に成功せず
 - 位相差(Time Error, TE) を精度計測したが取得したデータが不十分
 - そのため、GMとSlave間のTEの理論値と実測値の差分要因を特定する検証が行えず

Source : 電子情報通信学会技術研究報告

2016年の取り組み

● 相互接続実証実験

- GM (Grandmaster Clock)とBC (Boundary Clock)精度の再計測
 - マルチベンダー構成にてIEEE1588-2008(v2) Default Profile, ITU-T G.8265.1 Telecom Profile を各々サポートする装置にて実施
 - GMとBCの精度計測のため、計測器を擬似Slaveとして採用
 - 擬似Slave自身がPTP同期することはないため、正確なGM, BCの精度計測が可能
- 【初挑戦】 Best Master Clock Algorithm (BMCA)試験の実施
 - マルチベンダー構成にてDefault Profile のGM冗長規格動作を確認
- 【初挑戦】 インターネットサービスを提供するShowNet 上で、PTP利用を模した環境での精度計測検証を実施

計測手法、分析手法

INFINITE
CHALLENGE

show net ←

TEの定義

- TE (Time Error) / 位相差の計測
 - PTP 装置が時刻同期（時刻源はGPSやPTP）した結果を元に出力する1PPS（1秒周期パルス）と、装置間でやり取りするPTPパケットを元に計測



(例) 1PPS出力ポート（BNCコネクタ実装装置の場合）

- ITU-T G.810 (TTC JT-G810)ではTE を以下のように定義
 - 計測クロックの標準周波数に対するTE：計測クロックと標準周波数の時間関数の差
 - Time Error Function (TE 関数)
 - $x(t) = T(t) - T_{ref}(t)$

Time Error

Time at measured clock
(計測クロックの時間関数)

Time at reference clock
(基準クロックの時間関数)

Source :Seiko Solutions, ITU-T, TTC

Direction of TE - Clocks

Reference Clock:
(基準クロック)



Measured Clock:
(計測クロック)



$$\begin{aligned} \text{Time Error} \\ &= 11.55 - 12.00 \\ &= -5 \text{ minutes} \end{aligned}$$

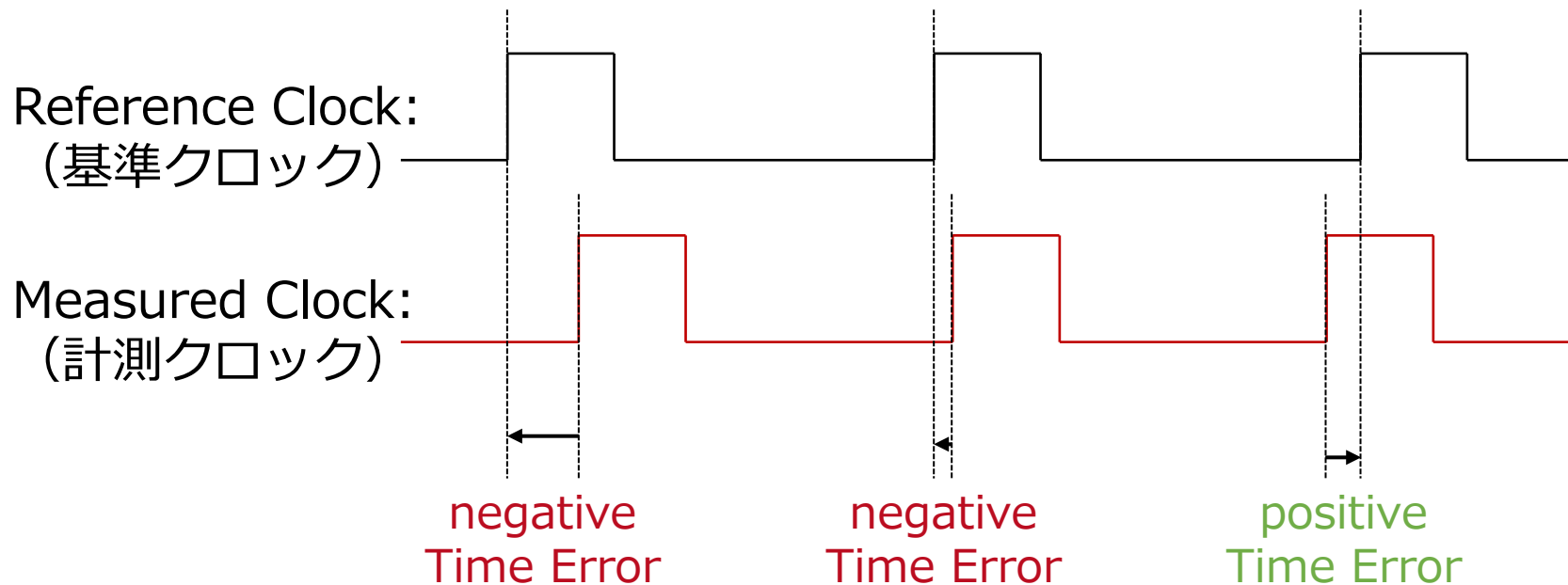
$$\begin{aligned} \text{Time Error} \\ &= 12.05 - 12.00 \\ &= +5 \text{ minutes} \end{aligned}$$

計測クロックが基準クロックより遅れる : **negative Time Error**

計測クロックが基準クロックより早まる : **positive Time Error**

Source :ITU-T

Direction of TE - Signals



計測クロックのシグナルが基準クロックのシグナルより遅れる : negative Time Error
計測クロックのシグナルが基準クロックのシグナルより早まる : positive Time Error

Source :ITU-T

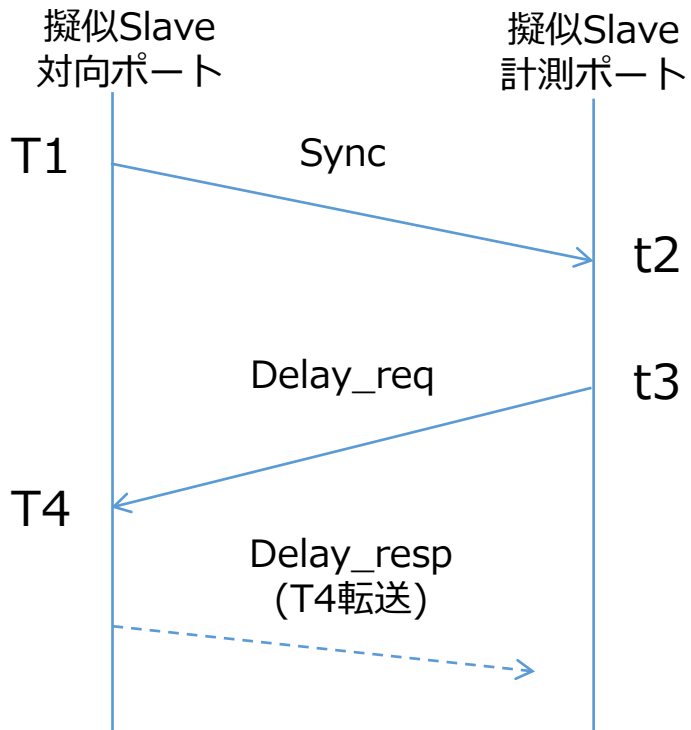
精度計測における「ずれ要因」

- ずれが生じる要因は複数存在
 - 要因(1) GPSレシーバ・装置クロックの時刻がUTC に対してずれる
 - 要因(2) 装置の1PPS 出力処理が遅延 (装置クロックは正確)
 - 要因(3) 装置のハードウェアタイムスタンプ打刻処理が遅延 (装置クロックは正確)
 - 要因(4) 装置のPTP パケット出力時と入力時のタイムスタンプ打刻点のずれ
 - 打刻点にずれが生じると伝送遅延時間の計算に影響
 - 要因(5) 該当装置クロック精度や制御ロジック、不具合など起因
- 要因(1)～(5)が重なる可能性もあり得る

精度計測における「誤差要素」

- 要因(1)の「GPS 時刻のUTC に対して生じるずれ」
 - GPS 信号自体「±50～100ナノ秒」のTE 変動要素あり
 - 計測結果として最大200ナノ秒のTEが生じる可能性あり
- GPS 信号や1PPS 出力で用いる「同軸ケーブル」遅延
 - 一般的に1mで約5ナノ秒程度の遅延が生じるとされている
 - 今回一部のPTP 装置がケーブル長補正機能未実装のため、ケーブル長遅延誤差が相殺できず、各計測でケーブル長誤差による数10ナノ秒のTEを内包する結果となる

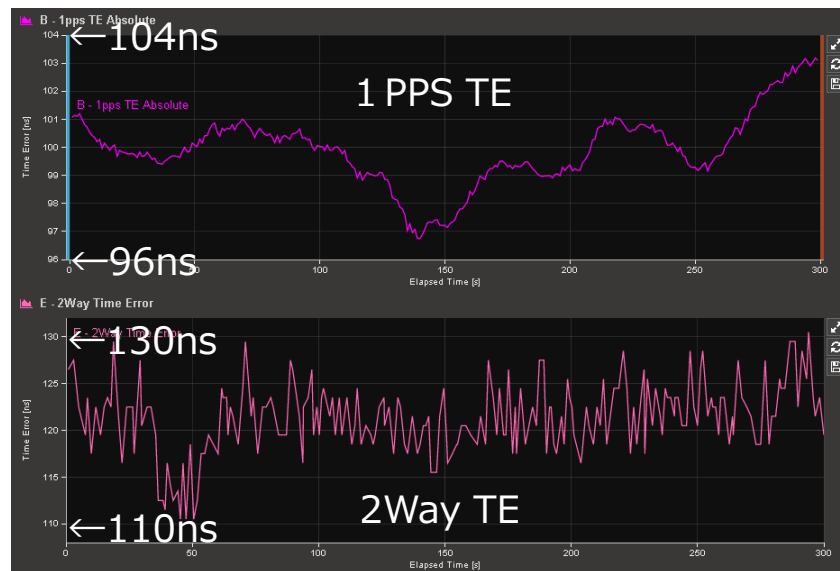
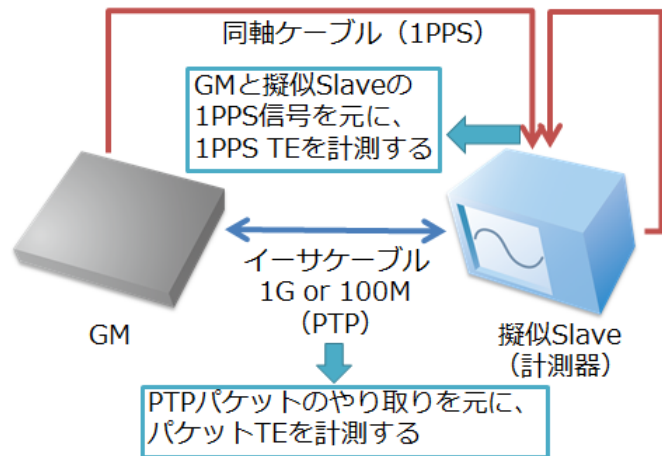
PTPパケットのやり取り



- T1, t2, t3, T4の定義
 - T1: Syncの送信タイム (対向ポートのクロック)
 - t2: Syncの受信タイム (擬似Slaveのクロック)
 - t3: Delay_reqの送信タイム (擬似Slaveのクロック)
 - T4: Delay_reqの受信タイム (対向ポートのクロック)
- T1, t2, t3, T4よりパケットTE値が得られる
 - パケットTE値の定義
 - Sync TE : $T1 - t2$
 - Delay_req TE : $T4 - t3$
 - 2Way TE : $(\text{Sync TE} + \text{Delay_req TE}) \div 2$

1PPS TEとパケットTE

- 1PPS TE : GM と 擬似Slave のクロックの位相差 (ずれ)
 - 1PPS TE発生要因は、要因(1)と(2)が考えられる
 - 「要因(1)GPSレシーバ・クロック時刻のUTCに対するずれ」, 「要因(2)1PPS出力処理遅延」
 - 装置の搭載部品仕様に依存するため、今回の実験では要因特定できず
- 構成例 / 計測結果例



相互接続実証実験

 show.net ←

日程と環境

- 日程

- 相互接続実証実験 (Step1~2)

- ShowNet HotStage (準備期間) の5日間で実施

- 期間：2016年5月29日(日)~6月2日(木)
- 目的：確認可能な範囲での動作確認とデータ取得
 - 今回の試験目的を達成するには短期間なことが事前に判明していたため

- サービスネットワーク上でのPTP精度計測検証 (Step3)

- ShowNet HotStage終了からInterop会期中の計7日間で実施
 - 期間：2016年6月3日(金)~5日(日), 6月6日(月)~9日(木)

- 環境

- Interop Tokyo 2016 ShowNet Rack#05@幕張メッセ



テストステップ

● 相互接続実証実験

- Step1 : 「GMとBCの精度計測」を行う項目
 - 1-1 : GM – 擬似Slave
 - 1-2 : GM – BC#1 – 擬似Slave
 - 1-3 : GM – BC#1 – BC#2 – 擬似Slave
- Step2 : 「GM冗長動作確認」を行う項目
 - 2-1 : GM×4 – L2 Switch – 擬似Slave
 - 2-2 : GM×3 – BC#1 – BC#2 – 擬似Slave
- Step3 : 「ShowNet上で精度計測」を行う項目
 - 1系統 : GM×3 – BC#1 – BC#2 – 計測器 – Slave (Default Profile)
 - 2系統 : GB×2 – BC#1 – BC#2 – 擬似Slave (Telecom Profile)

検証対象装置と結果概要

- 社数 = 装置開発メーカーの数

Clock Type	社数	機種数
Grandmaster Clock (GM)	3	7
Boundary Clock (BC)	2	4
Slave Clock	1	1
計測器 (Analyzer)	1	2

- 結果概要

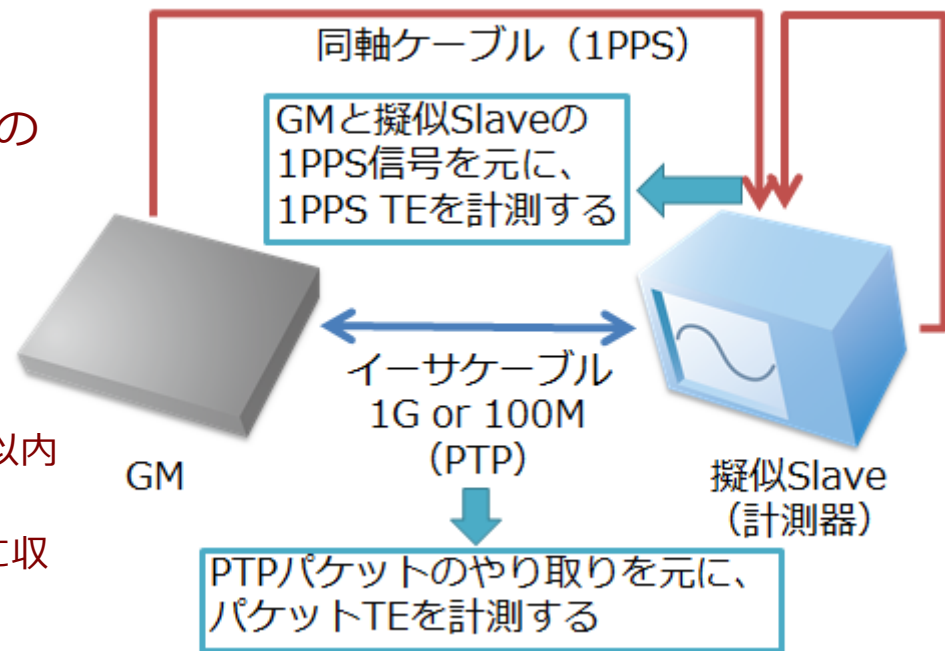
- 幾つかの項目で規格外、想定外の動作を確認

Step	No.	Test GM数	Test BC数	Test Case数	PTP接続結果OK (%)	精度確認結果OK (%)
1	1	7	-	7	100	100
	2	7	4	11	82	64
	3	7	4	7	71	71
2	1	4	-	4	75	-
	2	3	1	3	100	-
3	1	7	4	2	50	-

Step1 : 「GMとBCの精度計測」

Step1-1 「GM – 擬似Slave」

- 計測箇所
 - GMと擬似Slaveの1PPS TEとパケットTE
- 構成差異
 - 機材の都合上GMは1Gbpsと100Mbpsのリンク2種類の構成
- 確認箇所
 - GMクロック精度の確認
 - 1PPS TEの計測結果と「2Way TE - 1PPS TE」がGPS信号「最大200ナノ秒のずれ」以内に収まること
 - 擬似SlaveのパケットTE算出結果が期待値に収まること（本資料では結果割愛）



1PPS TEと「2Way TE - 1PPS TE」

- 全GMにおいて「200ナノ秒」以内に収まる結果
 - GM毎に個性はあるも、想定通りの動作であることを確認

GM	Profile	1PPS TE (平均)	2Way TE - 1PPS TE
A	Default	4.09 ns	-161.15 ns
B※1	↑	162.77 ns	-21.82 ns
C	↑	119.79 ns	82.05 ns
D※2	↑	38.03 ns	-98.35 ns
E※1	Telecom	119.34 ns	-21.18 ns
F	↑	71.40 ns	-123.15 ns
G※2	↑	67.49 ns	-103.38 ns

※1, ※2
BとE, DとGは同一機種

Step1-2 「GM-BC-擬似Slave」

計測箇所

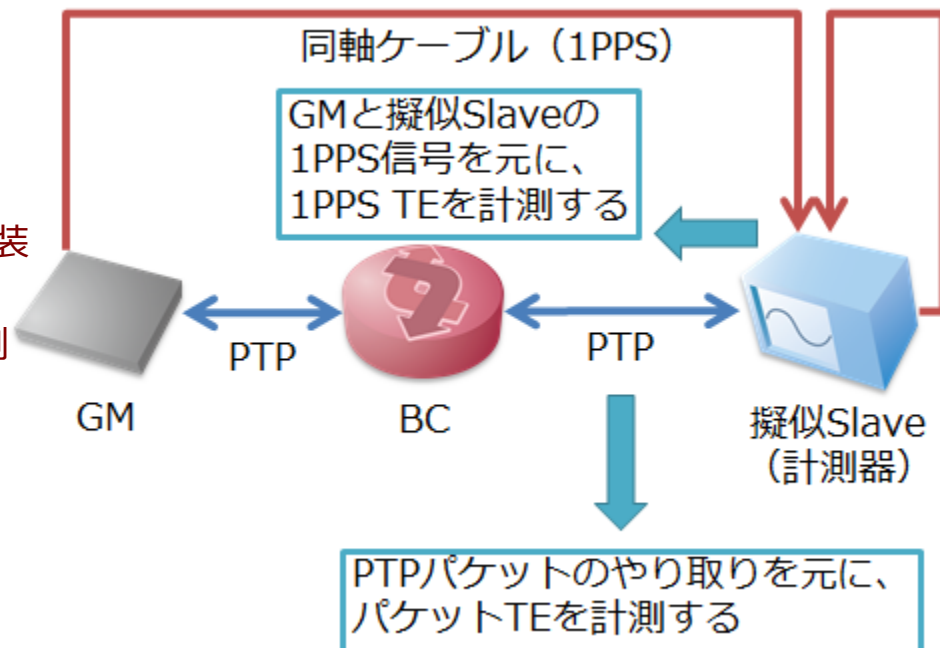
- GMと擬似Slaveの1PPS TE
 - (本来BCと擬似Slaveの1PPS TEの計測が必要)
- BCと擬似Slaveの packets TE

注意点

- ITU-T G.8265.1 Telecom Profileは、Telecom BCが規格外となるが、今回のTelecomサポート装置がBC動作可能であったため構成に加えて計測
- BCの1PPS出力ポートの搭載が把握できず未計測

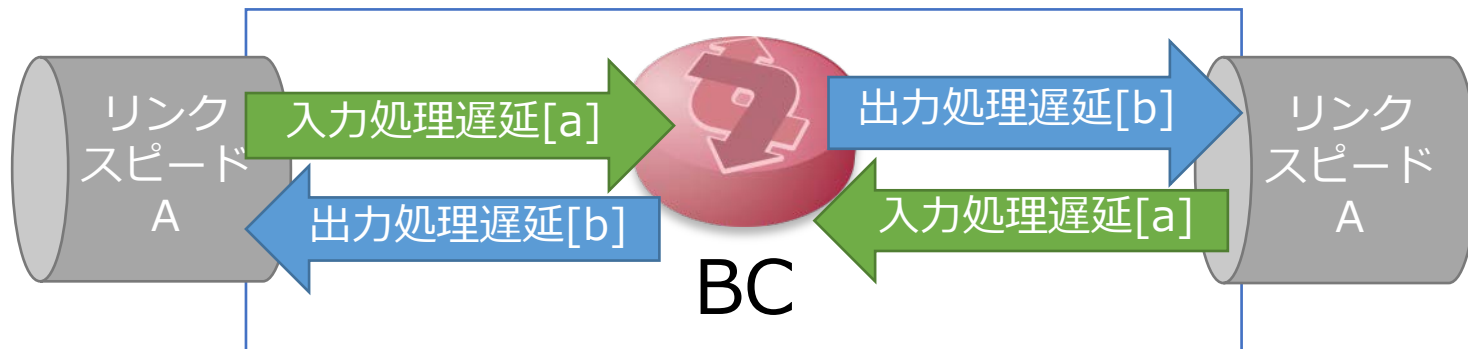
確認箇所

- Step1-1で計測した1PPS TE, 「2Way TE - 1PPS TE」と、本構成の計測結果を比較
- BCを1台追加でどの程度精度変化が生じるか



BC 1PPS未計測のために

- GMとBC間、BCと擬似Slave間のリンクスピードが同じ場合、BCの行きと帰りの入出力の誤差が一定と仮定



- この場合、GMの「2Way TE - 1PPS TE」が擬似Slaveにそのまま伝搬するため、Step1-1の結果を比較

計測結果

- GMからBC経由で擬似Slave伝搬時に数10ナノ秒の誤差混入あるも、「±100ナノ秒」以内に収まる結果

- ※Aのケース除く

- ※Aのケースの考察

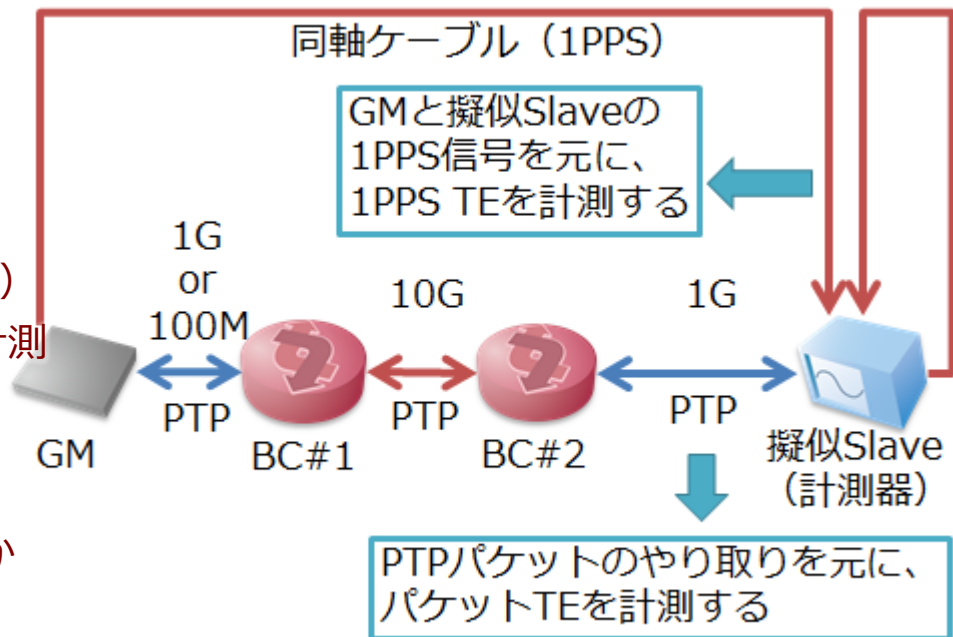
- GMとBCの間のリンクスピードが100Mであったため、GMの「2Way TE - 1PPS TE」が擬似Slaveまで伝搬されず、結果、300ナノ秒超の誤差が計測されたと推測

GM	BC	1PPS TE (平均)	2Way TE - 1PPS TE
A	a	29.31 ns	-148.83 ns
B※1	↑	146.60 ns	-15.41 ns
C	↑	(プロトコル接続NG)	-
D※2	↑	133.40 ns	-64.80 ns
A	b	7.56 ns	-85.18 ns
B※1	↑	137.45 ns	68.63 ns
C	↑	130.48 ns	※A -318.63 ns
D※2	↑	99.91 ns	-21.46 ns
E※1	c	143.22 ns	-53.09 ns
F	↑	-200.51 ns	-150.29 ns
G※2	↑	(プロトコル接続NG)	-

※1, ※2 BとE, DとGは同一機種

Step1-3 「GM-BC*2-擬似Slave」

- 計測箇所
 - GMと擬似Slaveの1PPS TE
 - (本来BC#2と擬似Slaveの1PPS TEの計測が必要)
 - BC#2と擬似Slaveの packets TE
- 注意点
 - 機材の都合上BC間リンクは10Gbps
 - Telecom BCが規格外なこと (Step1-2と同様)
 - BCの1PPS出力ポートの搭載が把握できず未計測
- 確認箇所
 - Step1-1の計測値と比較
 - BCを2台追加で、どの程度精度変化が生じるか



計測結果

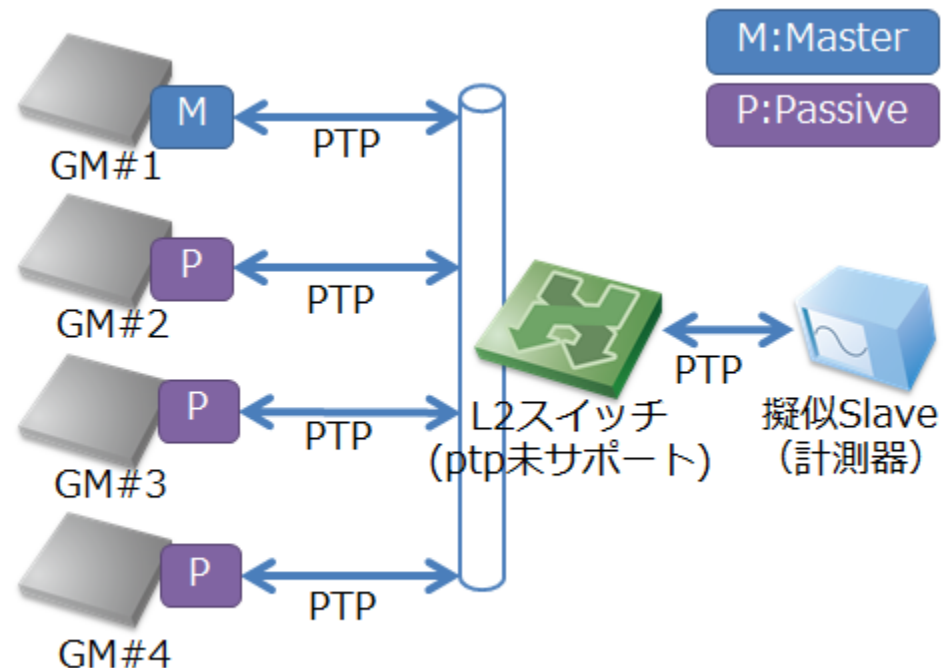
- 本結果は参考値として掲載
- 理由
 - 機材の都合上、GMとBC#1間 (1Gbps)と BC#1と#2間 (10Gbps)のリンクスピードが異なる
 - パケット入出力のタイムスタンプ 打刻遅延も異なるはず
 - GMの「2Way TE - 1PPS TE」の伝搬されず、Step1-1との比較ができない

GM	BC #1	BC #2	1PPS TE (平均)	2Way TE - 1PPS TE
A	a	b	-15.50 ns	-192.39 ns
B※1	↑	↑	141.18 ns	-76.98 ns
C	↑	↑	(プロトコル接続NG)	-
D※2	↑	↑	136.47 ns	-133.55 ns
E※1	c	d	117.26 ns	13.57 ns
F	↑	↑	134.23 ns	3.45 ns
G※2	↑	↑	(プロトコル接続NG)	-

Step2 : 「GM冗長構成テスト」

Step2-1 「GM*4-L2SW-擬似Slave」

- Best Master Clock Algorithm (BMCA)動作確認
 - Default Profile GMの冗長動作
- 設定パラメーター
 - Best Master選択時に用いられるデータセット (DS)において設定変更可能な項目を編集
- 確認箇所
 - MasterになるべきGMがMasterとして自立的に動作すること



Step2-1

● 確認手順

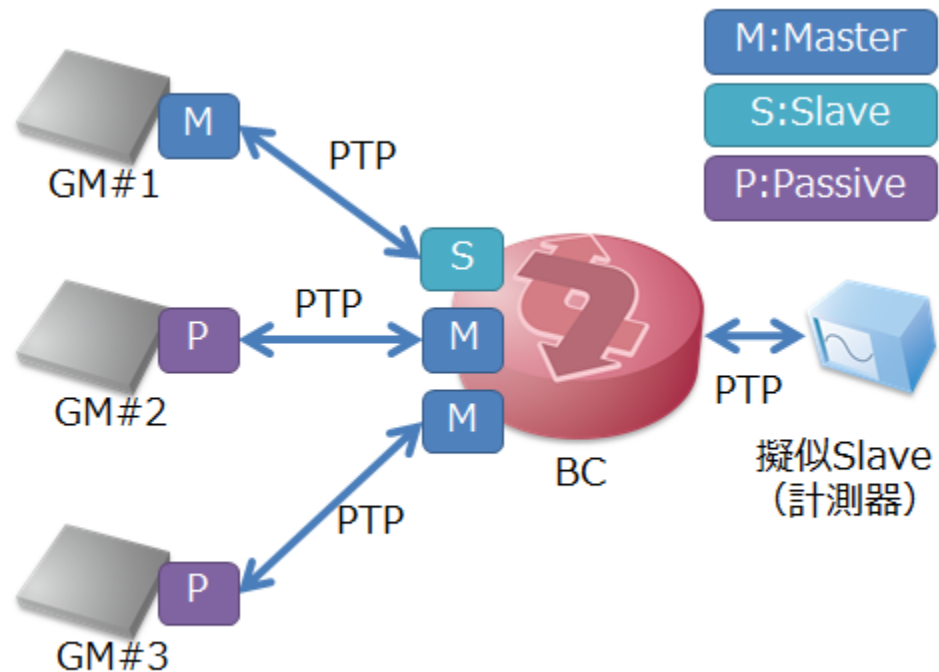
- Best Master 選択時に用いられる Priority1, clockClass, clockAccuracy, LogVariance, Priority2のデータセット(DS)において、Priority1の値をデフォルトの128をベースに順次 127→126→125→124に変更しBest Master 動作を確認

● 確認結果

- Priority1の変更において、4台中3台のGM間で問題なく動作することを確認
- 規格通りの動作が確認できなかったGM (1台)
 - BMCAの実装が標準的なものとは異なると考えられる (独自仕様?)

Step2-2 「GM*3-BC-擬似Slave」

- Default Profile BCのGM冗長動作
- 確認箇所
 - Default Profile GM配下にDefault Profile BCを配置
 - GMに設定したPriority1の値を元に、選択すべきGMがMaster選択されること
- 確認結果
 - BC側が問題なくSlaveポート×1とMasterポート×2に遷移することを確認した

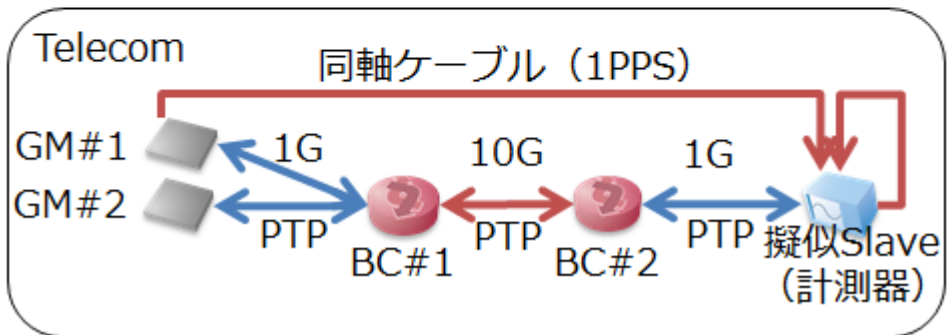
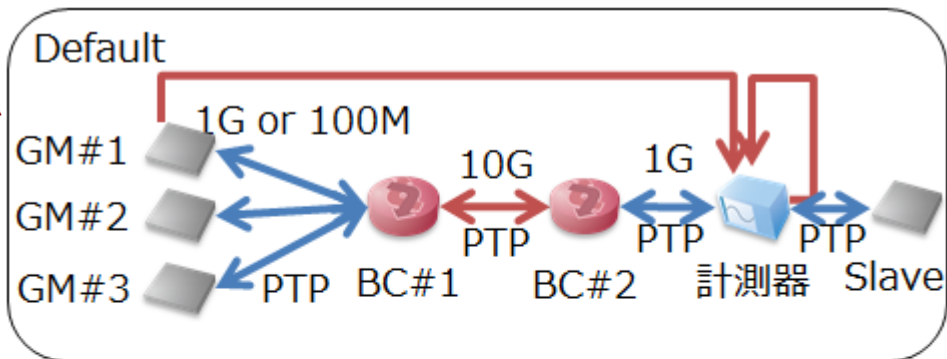


Step3 : 「ShowNet上で精度計測」

Step3 「Default & Telecom」

- 計7日間の精度計測を実施
 - 精度計測を2系統で実施
 - 但し、うち1系統は計測中の電源ダウンにより正常に計測することができず
 - Step1-3と同様にBC#1と#2のリンクは10Gbps
- 以下、1系統の参考値を掲載

GM	BC #1	BC #2	1PPS TE (平均)	2Way TE - 1PPS TE
A	a	b	-224.04 ns	441.16 ns





まとめ

INFINITE
CHALLENGE

show Δ net ←

GMとBC計測について

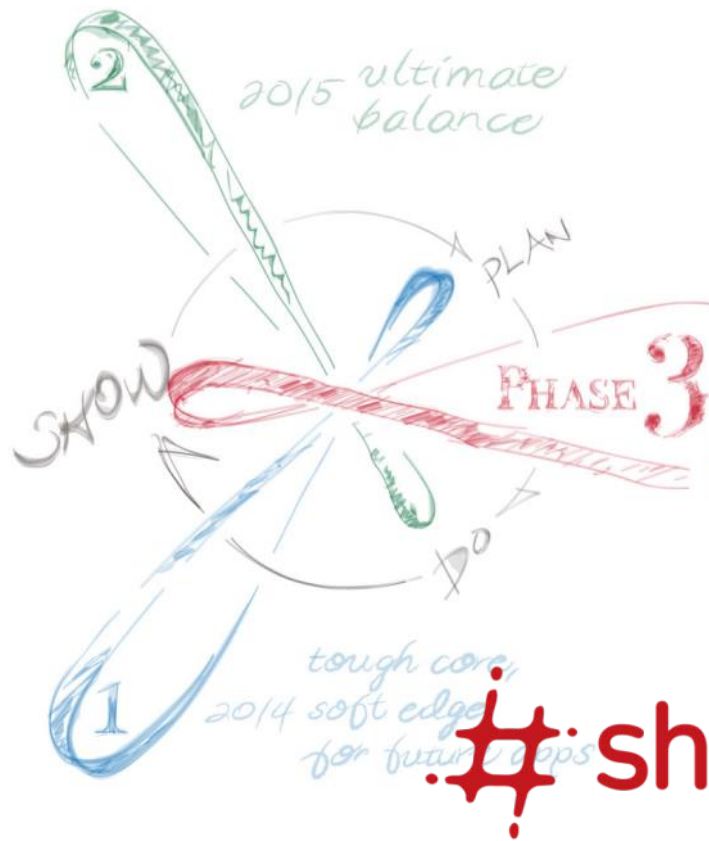
- GM (Grandmaster Clock)
 - TE計測において十分な結果を得られた
- BC (Boundary Clock)
 - TE計測は不十分な点あり
 - BCの1PPSが計測できなかったため
 - GMと同様に、BC の1PPS TEとBCインタフェースの packets TE計測を行うことで詳細な分析が可能

今後の実験でケアすべきポイント

- 現場の解析作業に力点を置く
 - Step1 の各装置特性をHotStage前に確認しておき、現場の解析作業をスムーズに行うことで、マルチベンダーのPTPトラブルシュートノウハウを蓄積できるようにする
- 実Slave装置の追加
 - 実際のSlave装置の計測結果と、今回の各Stepの結果と照らし合わせることで、Slave装置がどの程度正常に同期できているか特定できる
- 誤差要素の最小化
 - GPSや同軸ケーブルのケーブル長の誤差を考慮した構成とする
- PTP以外のトラフィック重畳構成での同期精度計測
 - 実環境に近い構成で計測し、様々なアプリケーションに対する同期精度の目安を示したい
 - PTP以外のトラフィックを意図的に加える、PTP対応・非対応のネットワーク装置を経由した構成とする、など

参考

- ShowNet : <http://www.interop.jp/2016/shownet/>
- 山田義朗, 久留賢治, 手島光啓, 石田修, “NTPハードウェア実装(HwNTP)を用いたIPネットワーク配信技術 “NTT技術ジャーナル, March 2008. : <http://www.ntt.co.jp/journal/0803/files/jn200803063.pdf>
- 新井薫, 村上誠, “ITU-Tにおける網同期技術の標準化動向 “NTT技術ジャーナル, December 2015 : <http://www.ntt.co.jp/journal/1512/files/jn201512063.pdf>
- 吉原龍彦, 戸枝輝朗, 藤井昌宏, 諏訪真悟, 山田武史, “高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発 “NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, July 2015 : https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol23_2/vol23_2_005jp.pdf
- 長谷川幹人, 関谷勇司, “PTP (Precision Time Protocol) の相互接続実証実験の現状と方向性 – Interop Tokyo 2015 ShowNet における結果からの考察 –, “電子情報通信学会技術研究報告, 信学技報(IEICE Technical Report) Vol.115 No.192 (10), pp.53–57, August 2015. : <http://www.ieice.org/~ia/archives/20150825-PTP-hasegawa.pdf>
- ITU-T G.810 “Definitions and terminology for synchronization networks, August 1996. : https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.810-199608-I!!PDF-E&type=items
- ITU-T G.8272 “Timing characteristics of primary reference time clocks, January 2015. : https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.8272-201501-I!!PDF-E&type=items
- Jean-Loup Ferrant, Tim Frost, Silvana Rodrigues, Stefano Ruffini, “Tutorial on Synchronization, November 2014, : http://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2013-2016/15/Documents/Tutorials/Timing_Synch_Tutorial_Ferrant_Frost_Rodrigues_Ruffini_25112014.ppt
- 越智幸治, 南里圭一郎, 木島均, “同軸ケーブルを用いたパルス発生器の検討, “職業能力開発総合大学校紀要, 第42号pp.74–81, March 2013. : <http://www.uitec.jeed.or.jp/images/journal/042-11.pdf>
- Carsten Rossenhovel, “MPLS+SDN+NFVWORLD Paris 2016 Interoperability ShowCase 2016 White Paper March 2016 : http://www.eantc.de/fileadmin/eantc/downloads/events/2011-2015/MPLSSDNNFV_2016/EANTC-MPLSSDNNFV2016-WhitePaper_Final.pdf



INFINITE CHALLENGE

 show Δ net \leftarrow