

OPEN STM Tips

Timing offset 監視

1. 背景・目的

ケーブルの上りデータ伝送では、CMTS への到達時刻を基準に CM 側送出 Timing を個別に調整=offset し、CM 毎の伝播遅延差を補正する。この CM 毎の伝播遅延差補正のターンアラウンドを、DOCSIS では”Timing offset”と定義している。

Timing offset は、CM-CMTS 間の初回レンジング時に設定され、以降はステーションメンテナンス周期で更新される。Timing offset は MIB オブジェクトとして定義されているため、管理者は任意の SMMP 監視ツールにより、CM 各上りチャンネルの現在の Timing offset 設定値を随時確認できる。

Timing offset は、CMTS-CM 間の電磁波信号の伝播時間すなわち距離の補正指標なので、CM 設置場所の変更時に CMTS への相対距離が変わると値が更新される。

この特性から、CM の位置移動検知に Timing offset が応用される事例も多い。

しかしながら Timing offset は、CM の位置移動以外の要因でも変動し得る。また、MIB 値に従来型と高精度型の 2 種類があり、用途に応じた適切な選択が必要である。

すなわち、位置移動検知への応用には、Timing offset の変動要因への十分な理解と、これに基づく適切な閾値設定および、合理的な判定処理の実装が求められる。

本 Tips では、Timing offset の MIB オブジェクト、Timing offset の変動要因とその他の影響要因および、CM の位置移動検知に利用する場合の留意事項について説明する。

2. 対象読者

OPEN STM シリーズのサーバー系プログラム開発者

3. 参考文献・関連文書

DOCSIS 3.0 OSSI CM-SP-OSSIv3.0-I06-080215 (以降、「OSSI3.0」)

CM-SP-MULPIv3.0-I07-080215 (以降、「MULPI3.0」)

4. その他

本 Tips 中の図表番号につき、OSSI 3.0 からの抜粋には原文の番号をそのまま流用し、独自に作成した図表には”Tips-*”の形式で番号を付与した。

5. 最終更新日

2010 年 9 月 8 日

OPEN STM Tips

Timing offset 監視

6. 詳細

6.1 MIB オブジェクト

(1) 従来型 Timing offset

OSSI1.0 の DOCS-IF-MIB(RFC2670)では、docsIfUpstreamChannel に TxTimingOffset (以降、"TxTimingOffset")、docsIfCmtsCmStatus に TimingOffset (以降、"TimingOffset")が重複定義され、双方共に必須指定された。両 MIB の値・単位は、全く同一である。

重複の背景は、SNMP による情報取得の効率による。すなわち、全 CM の定常監視には CMTS から一括収集する TimingOffset が、個別 CM の状態確認には CM から都度取得する TxTimingOffset が便利である。

重複定義構造は OSSI1.1、OSSI2.0 へと引き継がれたが、OSSI3.0 に至り、CM 本体をキーとする TimingOffset が DOCSIS3.0 の複数チャンネル構造に矛盾するのに対し、上り論理チャンネルの IfIndex をキーとする TxTimingOffset には特に矛盾がないことから、TimingOffset のみ非推奨となり、TxTimingOffset は引き続き必須指定された。

DOCSIS システム同期の基本単位である time tick は 6.25 μ 秒だが、TxTimingOffset の単位は、1/64 time ticks である。従って、従来型 Timing offset である TxTimingOffset の単位は、 $6.25 * 1/64 = 0.1 \mu$ 秒である。

(2) 高精度型 Timing offset

OSSI3.0 では、(1)の TimingOffset 非推奨を補完するために、新たに DOCS-IF3-MIB の docsIf3CmtsCmUsStatus に Timing offset が追加されたが、Timing offset の精度向上を目的として、従来型 Timing offset よりも高精度な HighResolutionTimingOffset が定義された。

高精度型 Timing offset である HighResolutionTimingOffset の単位は、 $1/(64*256)$ time ticks すなわち $6.25 * 1/(64*256) = 0.4n$ 秒であり、従来型よりも 256 倍高い解像度を持つ。

高精度型 Timing offset により、監視アプリケーションにはナノ秒単位での高感度な状態変化の検知が可能となったが、従来型 Timing offset である TxTimingOffset との単位違いが監視業務に混乱を生じる場合もあるため、監視アプリケーションへの設計・実装には、収集値を利用した判断や、表示画面の単位表現に注意が必要である。

(3) MIB オブジェクトの適切な選択

DOCSIS3.0 環境の場合、ナノ秒単位の高感度を必要とする状態変化の検知・監視には、高精度型 Timing offset である HighResolutionTimingOffset の使用が効果的である。

一方で、マイクロ秒単位の精度で十分な状態変化の検知・監視には、従来型 Timing offset である TimingOffset の方が、高精度型の過敏による弊害を回避でき、かつ従来型 Timing offset に基づき整備された既存ツールや現行監視業務との親和性も高く便利である。

ナノ秒単位の高感度が有効な具体例については、6.2 以降を参照されたい。

OPEN STM Tips

Timing offset 監視

6.2 Timing offset の変動要因

(1) CM の位置移動

同軸ケーブル内の電磁波信号の伝播速度は、空間伝播のおよそ 87% である。同軸ケーブル線路長を 0 ~ 2km とすると、片方向伝播で $2000/0.87/3.0 \times 10^8 = 7.7 \mu\text{秒}$ 、ターンアラウンドで 13.4 $\mu\text{秒}$ の時間差が発生する。一方で、光ケーブル内の光の伝播速度は、空間伝播のおよそ 2/3 である。光ケーブル線路長を 0 ~ 30km とすると、片方向伝播で $30000/(2/3)/3.0 \times 10^8 = 150 \mu\text{秒}$ 、ターンアラウンドで 300 $\mu\text{秒}$ の時間差が発生する。

従って、CM の最短位置を CMTS 近傍、最遠位置を光 30km+同軸 2km とした場合、CM の位置移動によるターンアラウンドの最大時間差は、13.4+300=313.4 $\mu\text{秒}$ である。

すなわち、CM の位置移動は瞬間的な Timing offset の値変化として現れ、6.1 より従来型で 0 ~ 3134、高精度型で 0 ~ 783500 程度の値変化となる。

次に、同一光ノード内で同軸ケーブル線路長が 10m 変化する程度の小幅な位置移動について検討する。上述と同様の計算を行うと、ターンアラウンドで 77 n 秒の時間差が発生する。 Timing offset の値変化に換算すると、従来型では検知不能、高精度型で 0 ~ 193 程度の値変化となる。

最後に、従来型 Timing offset による同一光ノード内移動の検知限界について検討する。

6.1 より、従来型の検知感度は最小単位*2、すなわち、約 0.2 $\mu\text{秒}$ 程度なので、ターンアラウンドで $0.87 \times 3.0 \times 10^8 \times 0.2 / 10^6 = 52.2\text{m}$ 、すなわち、同軸線路長で約 26m が、従来型 Timing offset による移動検知の限界感度である。運用上 26m では検知感度が不十分な場合、高精度型 Timing offset への置換を検討すべきである。

(2) 変調レートの変更

QPSK/QAM の動作原理上、上りチャンネルの変調レートを変更に伴い、Timing offset の再調整動作が発生する。

Table 6-13 に、変調レート変更時の Timing offset 再調整の目安を示す。

Table 6-13 - Timing Offset for Modulation Rate Changes

Modulation Rate (kHz)	Timing Offset (in units of 1/64 time ticks referenced to 5.12 MHz)	Applicability
5120	0	CM MUST support
2560	0	CM MUST support
1280	24	CM MUST support
640	72	CM MAY support
320	168	CM MAY support
160	360	CM MAY support

OPEN STM Tips

Timing offset 監視

例えば 1280kHz の変調レート(1.6MHz 帯域幅)で運用中の上りチャンネルを、何らかの理由で 320kHz の変調レート(400kHz 帯域幅)に変更する場合、CM に $168-24=144$ の Timing offset が追加設定される。

これを実時間に換算すると、 $144*6.25/64 = 14.1 \mu$ 秒のターンアラウンドに相当する。

同様の計算で、2560kHz から 1280kHz への変更だと 2.3μ 秒、160kHz への変更だと $24*6.25/64 = 35.2 \mu$ 秒、ターンアラウンドで 2~35 μ 秒の再調整動作が発生する。

すなわち、変調レートの変更動作は瞬間的な Timing offset の値変化として現れ、6.1 より従来型で 20~350、高精度型で 5000~87500 程度の値変化となる。

(3) 伝送路の状態変化

ケーブル用光ファイバーの温度による変動特性は、 $44p$ 秒/km・C 程度が一般的である。

一方で、同軸ケーブル中の電磁波信号の伝播速度は、-20C~40C の温度範囲では温度変化の影響をほぼ無視できる。

光ファイバー線路長を 0~30km、温度範囲を-20C~40C と仮定した場合、通年での伝送路状態変化の最大変動幅は $44*30*(40-(-20))=79.2n$ 秒、ターンアラウンドで 158.4n 秒となる。

すなわち、通年での温度変化の Timing offset への影響は、6.1 より従来型で 0~1、高精度型で 0~396 程度の値変化となる。

線路の温度変化は緩やか、かつ継続的に進行するので、一定期間の値推移を観察すれば、CM の位置移動による変化との区別も、ある程度は可能である。

次に、架設工事したケーブル線路に瞬間的な風圧が掛かった場合の Timing offset への影響を考える。

ケーブルメーカーのカタログに従うと、風圧荷重による線路長の収縮は、一般的には 0.01%~0.05% の範囲内である。線路長を光 30km+同軸 2km、線路長の収縮を 0.02% と仮定すると、 $(32000/3EXP8)*(1/0.87)*(0.02/100) = 18.6 n$ 秒、ターンアラウンドで 39.2n 秒となる。

すなわち、風圧荷重の Timing offset への影響は、6.1 より従来型では検知不能、高精度型で 0~98 程度の値変化となる。

風圧荷重の変化は瞬間的だが、平均荷重を中心値として変動するので、一定期間の値推移を観察すれば、CM の位置移動による変化との区別も、ある程度は可能である。

OPEN STM Tips

Timing offset 監視

6.3 その他の影響要因

(1) CM 特性の個体差

複数 CM 間の Timing offset 値を単純比較する場合、CM 内部回路の特性差による遅延成分の個体差に注意が必要である。個体差は時に数 10n 秒単位となり、同一の固体内でも周波数による偏差が存在するため、特に高精度型で複数 CM 間の値を比較する場合、個体差の影響を無視できない。

(2) 周波数による群遅延偏差

光ノード+アンプ*3 段の構成時、上り周波数帯域の最低周波数と最高周波数間の群遅延差は、300 n 秒前後に達する。この場合の伝播時間差は、ターンアラウンドで 600n 秒相当になる。すなわち、群遅延偏差の Timing offset への影響は、6.1 より従来型で 0~6、高精度型で 0~1500 程度の値変化となる。

上りチャンネルボンディング構成時、同一 CM 内の各チャンネルの Timing offset が上記の値範囲で異なる場合がある。また、ロードバランシング動作時や、手動での上りチャンネル周波数の変更時、群遅延特性の異なるチャンネルへの変更により、Timing offset が上記の値範囲で変化する場合がある。

6.4 留意事項

(1) ロードバランシング動作

ロードバランシング動作により CM の上りチャンネルが変更される場合、6.2(2)、6.3(2)の影響により、CM の位置移動との区別が困難になる。

対策としては、個別 CM の Timing offset 値の変化を検出時、ロードバランシング関連 MIB を参照し、ロードバランシング動作の履歴と照合する、等の方法が考えられる。

(2) 上りチャンネル間の特性相違

上りチャンネルのボンディング構成時、6.3(1)(2)の影響により、各チャンネルの Timing offset が異なる場合があり、特に高精度型の場合、影響を無視できない。

対策としては、個別 CM の Timing offset 値の変化検出は必ず同一周波数に基づく、等の方法が考えられる。

(3) 光ループ構成時の経路切り替え動作

光ループによる冗長構成で経路の切り替え動作が発生すると、総線路長の変化に伴い、6.2(1)の値範囲で Timing offset が変動する場合がある。

対策としては、特定ノード配下の全 CM の Timing offset 値が同時に変化した場合、CM の位置移動と見なさない、等の方法が考えられる。

OPEN STM Tips

Timing offset 監視

(4) 伝送路のルート変更

ノード分割や同軸ルート変更、タップオフの収容替え等により総線路長が変化すると、6.2(1)の値範囲で Timing offset が変動する場合がある。

対策としては、特定ルート変更工事の影響を受ける全 CM の Timing offset 値が同時に変化した場合、CM の位置移動と見なさない、等の方法が考えられる。

(5) 最近点と最遠点の変更

DOCSIS では Timing offset を CM 間の相対的な指標として定義し、絶対的な基準点を定義していないため、CMTS によっては、最近点ないしは最遠点を基準として Timing offset を計算・調整する機種が存在する。このような機種の場合、最近点よりも近い位置、ないしは最遠点よりも遠い位置に新たな CM が設置されると、基準点自体が変更されるため、同一上りチャンネルに紐づく全 CM の Timing offset が一斉に変更される。

対策としては、特定チャンネルに紐づく全 CM の Timing offset 値が同時に変化した場合、CM の位置移動と見なさない、等の方法が考えられる。

6.5 まとめ

Timing offset は、CM の位置移動検知に有効である。

複数 CM の Timing offset 値比較、同一周波数による値比較の徹底および、UCC/DCC/DBC 動作との照合により、6.4 に挙げた各留意事項にも合理的に対処できる。

運用上、数 10m よりも高感度な CM の位置移動検知が求められる場合、DOCSIS3.0 Silver 以降の CMTS に新たに実装された高精度型 Timing offset の使用により、検知感度を数 m 単位まで向上できる。但し、DOCSIS3.0 Bronze 以前の CMTS の場合、対象 MIB が存在せず、高精度型 Timing offset を取得できないので注意が必要である。

高精度型 Timing offset は、風圧荷重の影響など、伝送路の状態診断にも有効である。

以上