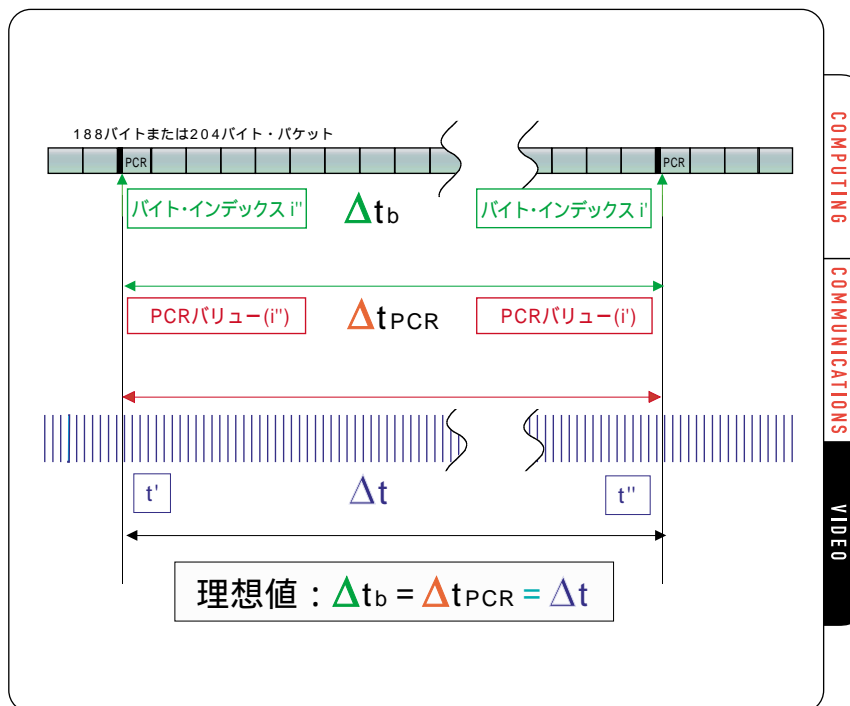


PCR測定入門



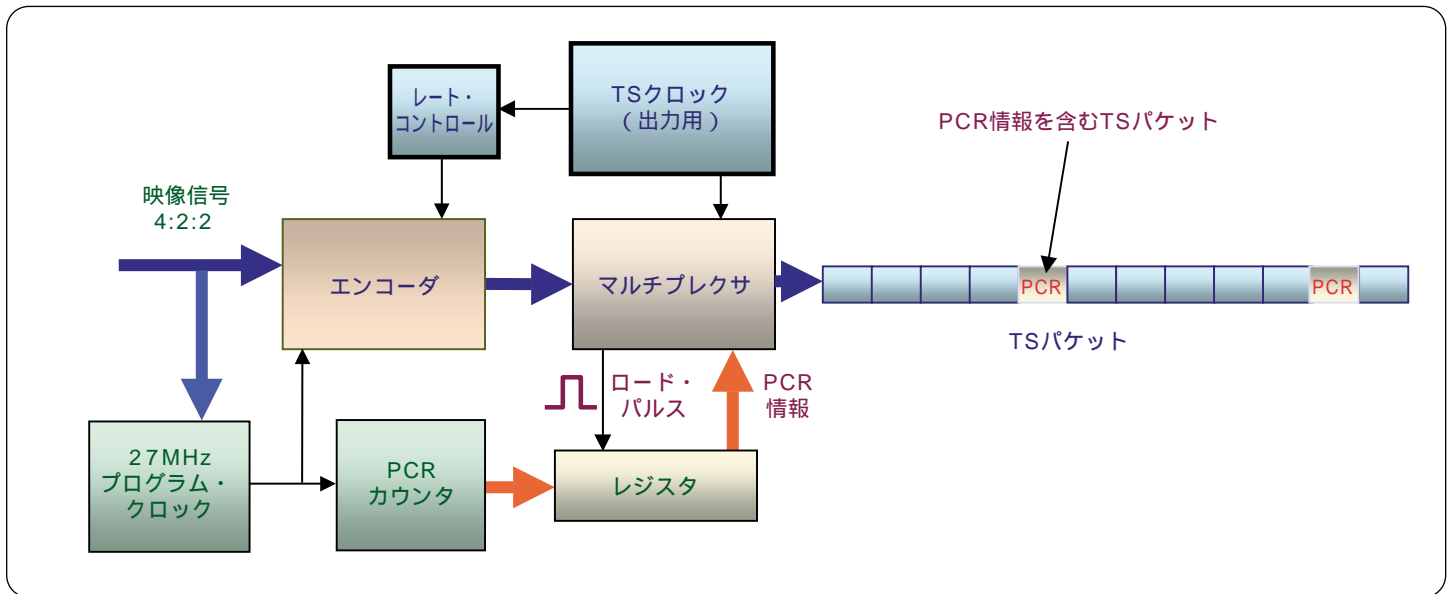
▶ PCR測定 — その問題点と解決方法

PCR (プログラム・クロック・リファレンス) には、デジタルTVレシーバでデコードされたビデオ出力と、エンコーダに入力されるビデオ・ソースを同期させる機能があります。PCRについては誤って理解されているケースが多くありますので、このテクニカルノートでは、PCRに影響を与える、タイミングに関する劣化要因と適切な測定方法について解説します。

問題点は何か？

PCR測定は、当初から誤って解釈されている場合が多く見受けられます。その代表的なものはISO/IEC13818-1規格のPCRの許容値である $\pm 500\text{ns}$ であり、この規格は後に業界でよく知られることとなります。DVB (Digital Video Broadcasting) はこれを受けて、測定ガイドライン"ETR290"の一部として採用しています。

この測定ガイドラインでは、このPCR測定がトランスミッション劣化 (ここでは主にタイミング変動を意味します) を含まないことを明示していましたが、当時はPCRジッタを評価する有効な方法がありませんでした。幾多の実システムを使用したオペレータ経験を通じ、PCR測定の更なる改善とより詳細な規定が必要となり、ETR290の一部修正と、TR101 290の一部に反映されました。



▶ 図1. エンコーダ/マルチプレクサにおけるPCRの挿入

この規格は新しい PCR測定の概要を紹介するために作成され、新たに追加された3つの測定が全体的なシステム性能の測定、検証に有効であることを示した上で、オリジナルの測定方法をどのように補っているかについても解説を加えています。

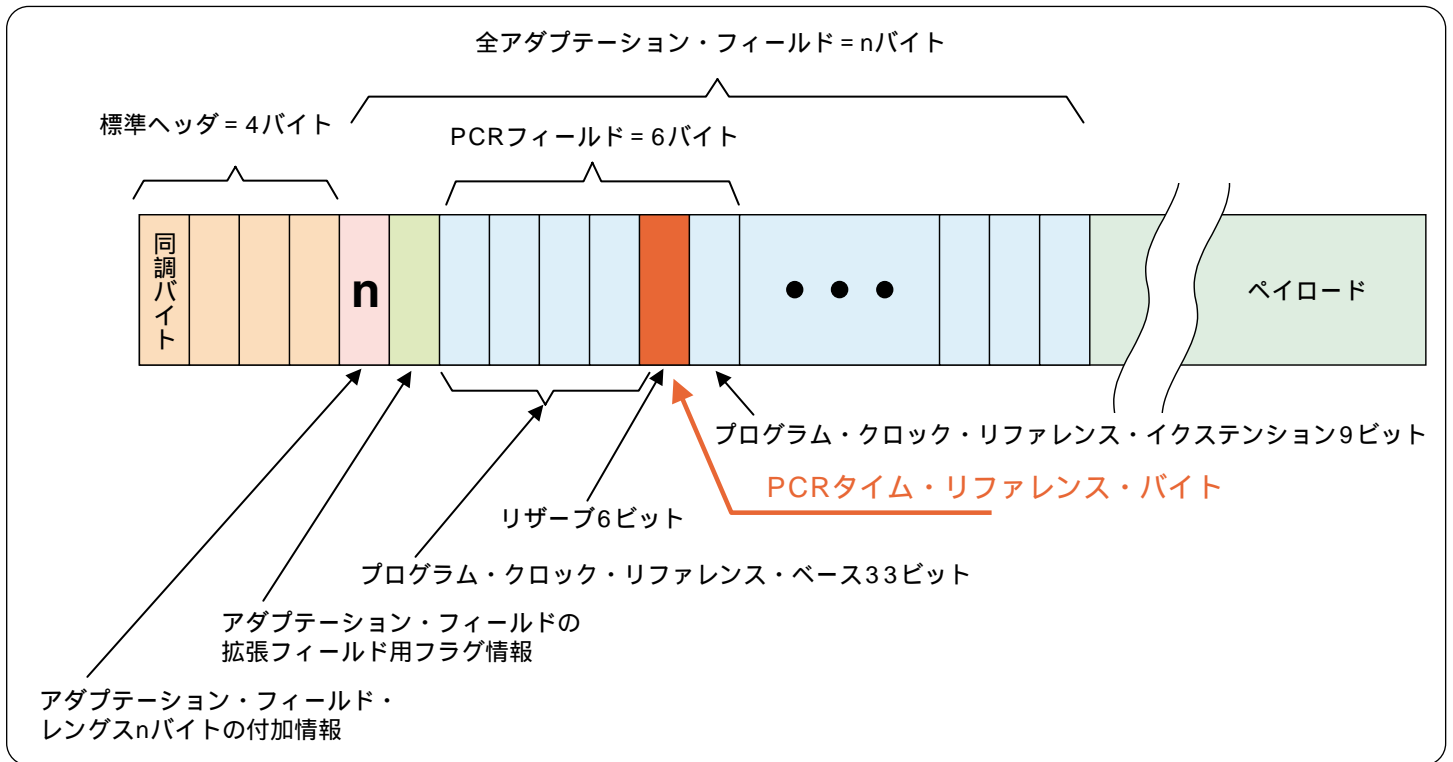
PCRとは？

どのように挿入されて、使用されるか？

なぜそれは重要なのか？

PCRは、デジタルTVレシーバでデコードされたビデオ出力と、エンコーダに入力されるビデオ・ソースを同期させることができます。エンコーダ/マルチプレクサにおいては、プログラム・クロックと入力映像は同期しています。625ライン50Hz、あるいは525ライン59.94HzのSD ビデオは27MHzクロックを基準にしていますので、そのプログラム・クロックも同じく27MHzを基準にしています。

PCRは、このプログラム・クロックによってドライブされたカウンタのスナップショットであり、決められた間隔（DVBでは40msec以下を推奨、ISO/IEC13818-1では100msec以下と規定）でTS（トランスポート・ストリーム）の packets に挿入されます。このプロセスを図1に示します。マルチプレクサの出力ポイントにおいて、TS はパケット化されたエンコード・ビデオを含みますが、PCR 情報が入ったパケットも含んでいます。各PCRの正確な数値は、TS 中の正確な位置によって決定されます。（TSクロックは、プログラム・クロックとは関係ありません。また、マルチプログラムを含む TS は、一般にそれぞれのプログラムのためのPCR情報を持っています。）



▶ 図2. PCRを含むTSパケットの構造

PCR情報を含むパケットのヘッダ構造を図2に示します。合計6バイトがタイム・リファレンスとして使用されます。マルチプレクサは、TSに挿入されたPCR値が、ストリームの中で規定された時間に表示されることを保証しなければなりません。

レシーバにおいて、PCRはTSから復元され、そのカウンタ値は、ローカル生成された27MHzクロックからドライブされた同様のカウンタ値と比較されます。受信されたカウンタ値とローカル生成されたカウンタ値の差分は、ローカル・クロックをコントロールするPLL（フェーズ・ロック・ループ）をドライブするために使用されます。差分の大きさにより、ローカル生成されたクロックを早めたり、あるいは遅らせて実際の変化を決めるのがPLLの特徴です。低い周波数（領域）における小さな変化にはPLLは追従できますが、高い周波数（領域）における変化には追従できない場合があります。

レシーバでローカル生成された27MHzクロックは、その出力でビデオを再生するために使用されます。このクロックになんらかの周波数変化があれば、その映像出力にタイミング劣化として影響が出るおそれがあります。コンシューマ（民生用）TVディスプレイのようなデバイス（機器・装置）ではこれを許容できるものもありますが、プロのレコーダのようなデバイス（機器・装置）では許容できない場合があります。プログラムにリザルト（合成的な）損失が発生した場合は、システムの同期を損なう原因になります。

同様に、リマルチプレクサ（再多重化装置）は、その出力でPCRを再スタンプすることによりローカルのプログラム・クロックを再生します。入力側に何らかのタイミング劣化があると、その出力にも影響を及ぼします。リマルチプレクサで生成された新たな劣化が加えられると、チェーン接続の次のステージで問題を引き起こすおそれがあります。

PCRは、DTVシステムにおいてプログラム・マテリアル（素材）をエラー・フリーで受信するために極めて重要となります。また、PCRにタイミング劣化がある場合は、プログラム損失の原因になります。

何がPCRを誤らせるか？

どのような（タイミング）劣化があるか？

PCRの問題は、2つのカテゴリに分類できます。一つは、リマルチプレキシング（再多重化処理）段階でPCRが生成、変更（または修正）されるケース、もう一つは、TSを伝送するために使用されるメディア（媒体・ネットワーク）の中で発生するタイミング劣化です。

PCRゼネレーション（およびリゼネレーション）

PCRは27MHzクロックのサンプル（標本）値であり、一つのクロック・サイクルを表す37 ns が固有の分解能になります。したがって、挿入されるPCRの不正確さは37nsより大きくなることはありません。さらに、マルチプレクサのPCR挿入メカニズムによって正しい数値を挿入するためには、TS中でのPCRの正確な位置を算定する必要があります。この時点で計算違いがあると、PCRにインアキュラシ（誤り）が発生します。リマルチプレクサによって、TS中のパケットの相対的な位置が変更されます。このようなポジション変更が発生した場合でも、再挿入されるPCR値にその変化が適切に反映される必要があります。

このように、PCRの確度は、27MHzクロックの（最小）分解能エラーと、マルチプレクサ（リマルチプレクサ）の際に挿入（再挿入）される数値の計算エラーによって影響を受けます。

PCRのトランスミッション（伝送）

前述のとおり、PCR確度の測定は、レシーバ側のTSクロックが極めて正確であるという仮定の下でなされています。しかし、伝送システムのタイミング・シフトが原因で、レシーバ/リマルチプレクサにおいてPCRの到着時間で生じた時間差は、受信されたクロック・サンプルとローカル生成されたクロック・サンプルの間で正確に測定することができます。この差分は、同様にPLLと再生されたクロックに対しても影響を与えます。

初期の段階でコーダ/マルチプレクサのTSクロックが不安定であったり、あるいは配信ネットワークの中でTSクロックが生成される場合、この種のトランスミッション劣化がソース（情報源）に影響を与えることがあります。例えば、ATMレイヤにおけるセル遅れ変動、PDHレイヤにおいて送信クロックが変動する場合のSDHネットワークのポインタ・シフトなどは、PCRのトランスミッション劣化を示す代表的なメカニズムです。

つまり、PCRにトランスミッション劣化が生じた場合、そのTSの伝送に使用されるクロック変動となって現れます。このタイミング劣化は前述のPCR精度エラーとは別のもので、新たに加えられる劣化要因といえます。

トランスミッション劣化によるPCR精度を識別した上で、トランスミッション劣化を除去する簡単な方法は、一端ハードディスクにストリームを取り込み、次に固定ビット・レートで再生します。TSプレーヤのクロックが安定していると仮定すると、どんなトランスミッション劣化でも除去することができます。

これは、ネットワーク・アダプタがATMペースのネットワークからTSを抽出し、外部の装置に供給する過程とまさに同じものです。その伝送クロックを再生するPLLと関連のバッファが、このようなトランスミッション劣化を最小限に減らすように動作します。

何が測定できるか？

既述したように、PCR許容値はISO / IEC13818-1で±500nsと規定されていますが、注意として、「このインアキュラシは、PCR値の不正確さ、あるいは再多重する際のPCR変更の原因がある。それはネットワーク・ジッタあるいはその他の原因によるパケットのアライバル（到着）時間のエラーを含まない」と記載されています。

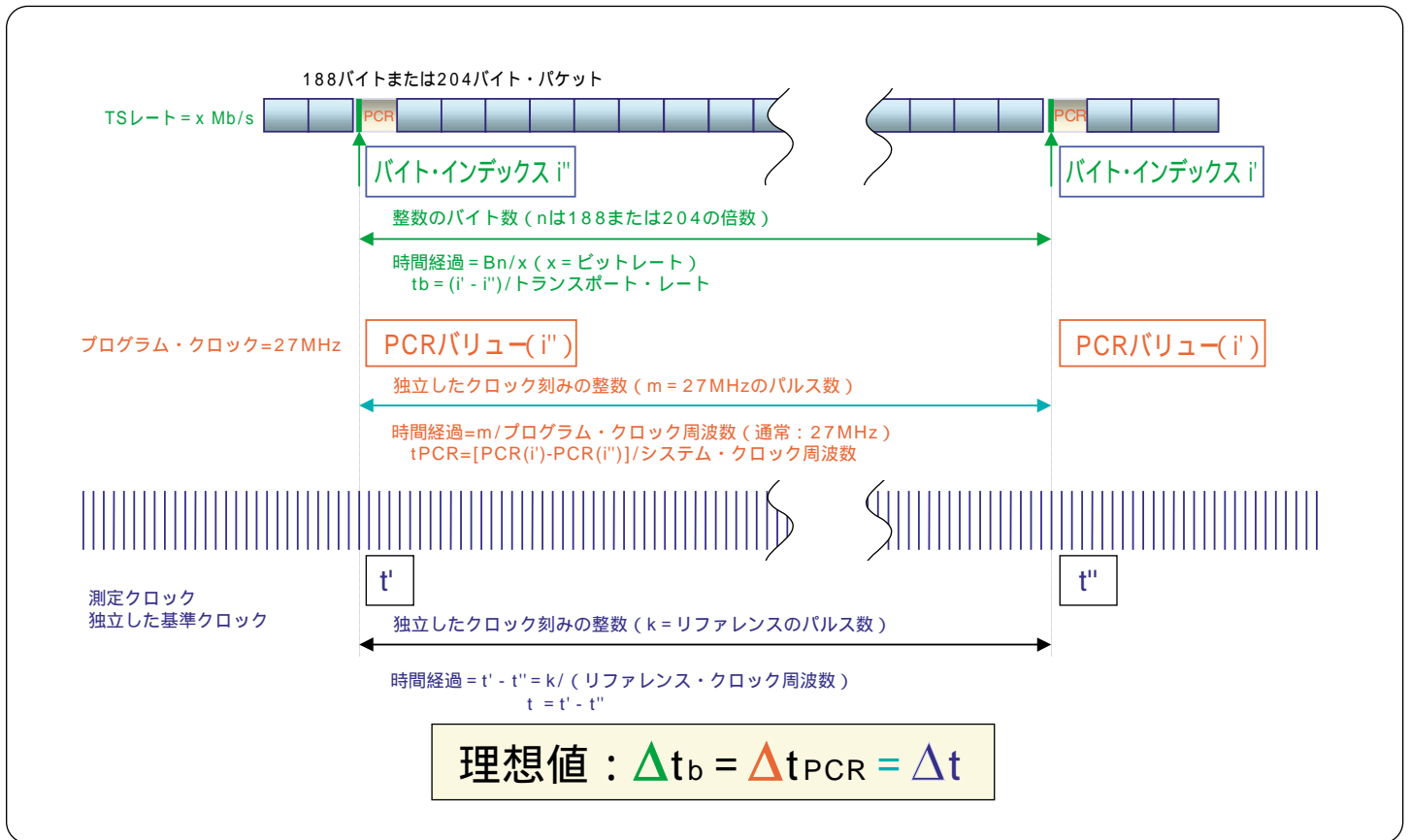
ETR290は、DVBシステムにおいてMPEG測定の優れたリファレンスとして採用されており、この許容値をPCRアキュラシ測定（ETR290モニタリングの3つのプライオリティレベルの2.4）のガイドラインとして含んでいます。

その後の様々な経験を通して、ETR290とTR 101 290の修正が審議され、改定されました。新しいスタンダード（標準）は、PCRのトランスミッション劣化に言及し、その他のタイミング変化についてもあらゆる方面から非常に有用な測定方法を規定しています。

新しいTR 101 290は、4つのPCR関連の測定を含んでいます。その中の一つが、従来のPCRアキュラシ測定として定義されています。

●PCRアキュラシ (PCR_AC) - 受信されたPCRに含まれる27MHzクロックの誤りと定義されています。ただし、トランスミッション・タイミング劣化は含みません。この測定には、TS中のバイト・ポジションから計算された推測のPCRアライバル時間が使用されます。

(*1) PCR_DR と PCR_OJ 間の周波数ブレイク・ポイントの規定詳細については、添付の参考資料を参照してください。



▶ 図3 TSに埋め込まれたPCRタイミング

この測定は、エンコーダ/マルチプレクサのようなDTVネットワークを構成する単一機器のパフォーマンス試験には有効ですが、トランスミッション劣化が支配的な実際の配信ネットワークを測定する場合には、ほとんど価値がありません。

トランスミッション劣化を含み、実際のPCRアライバル時間で測定するために、次の2つの測定項目が追加されました。

- PCRドリフト・レート (PCR_DR) - PCRによって生成された27MHzクロックに含まれる低い周波数の変化(変動)の割合を示し、安定した外部リファレンスを使用して測定します。したがって、任意の伝送タイミング変化を含んでいます。
- PCRオーバール・ジッタ (PCR_OJ) - PCRによって生成された27MHzクロックに含まれる高い周波数の変化(変動)を示し、安定した外部リファレンスを使用して測定します。したがって、任意の伝送タイミング変化を含んでいます。

PCRドリフト・レート (PCR_DR) 測定は、PCR値 (*1) のエラーの中でも低い周波数(領域)の変動レートを示しています。したがって、トランスミッション劣化によって発生するアライバル時間エラーと同じように、PCR発生時とリゼネレーション時の両方のエラーをも含んでいます。このPCRドリフト・レートの重要性を示す例を次に紹介します。

PLLでコントロールされるローカルのクロック・リゼネレータに注目します。リゼネレータの出力では、信号周波数は入力信号周波数をトラッキングする必要があります。入力信号の遅い周波数変化に対しては、PLLは適正に反応して、ローカルのゼネレータは入力信号にトラッキングできます。入力信号の変動レートが増加してくるとPLLはトラッキングが困難になり、ローカルで生成された信号はリザルトン(合成的な)プログラム損失が生じてやがて同期できなくなります。PCRドリフト・レート測定は、デマルチプレクサ/デコーダなどの動作を検証するのに有効です。また、リマルチプレクサが、入力TSに含まれるPCRに自らのプログラム・クロックを同期させらせるかの検証ができます。(この測定は、全ての周波数ではなく、低い周波数成分のドリフト・レートを扱っています。レシーバのPLLは、固有の周波数エラーを持ったシステム・クロックに同期します。問題が発生するのは、速い周波数変動や大きなドリフト・レートが存在する場合です。)

PCRオーバーオール・ジッタ (PCR_OJ) は、3番目の測定項目ですが最も重要です。これはPCRの高い周波数 (領域) を含むエラーのオーバーオール測定であり、トランスミッション劣化によって発生するアライバル時間エラーと同じように、PCR発生時とリゼネレーション時の両方のエラーをも含んでいます。このトランスミッション劣化が発生するところの例としては、レシーバのRF デモジュレータ (復調器) の内部が挙げられます。レシーバ内部で再生されてデマルチプレクサ/デコーダで使用されるTSクロックは、高い周波数 (領域) の変動 (変化) を含み、リカバリ (復元) されたPCRに直接影響を及ぼします。もう一つの例としては、ATMネットワーク・アダプタでセル遅れバリエーション (変動) の影響をフィルタ処理することに失敗したケースがあります。両方のケースで、デコーダによってリカバリされたPCRのアライバル時間エラーは、PCRアキュラシで規定された±500msの許容値に比べて数倍も大きくなります。

デコーダは、受信したPCRを基にプログラム・クロックを正確に再生し、安定したビデオ出力を得ています。同様に、リマルチプレクサも受信したPCRを基に、その出力にPCRを再スタンプします。このように、PCRのアライバル時間は極めて重要です。このため、アライバル時間エラーとアキュラシ・エラー両方を含む、オーバーオール・ジッタ (PCR_OJ) の測定は必須項目になっています。

運用システムでは、トランスミッション劣化を考慮しておくのが理想的です。しかし、近年の配信ネットワークは、カスケード接続されたリンク、リマルチプレクサ、ATMレイヤなどを含んでおり、すべてにエラーが発生する可能性があります。PCR_ACは、マルチプレクサの出力を直接測定する場合には有効ですが、その規定によって、すべてのトランスミッション劣化をフィルタ除去し、ネットワークの運用監視の際には誤解を招くおそれがあります。

PCR_DRとPCR_OJ はトランスミッション劣化を明らかにすることができ、問題点の切り分けと修理が容易に行えます。

最後の測定項目では、PCRに含まれる27MHzクロックの絶対的な正確さを扱います。

●PCR周波数オフセット (PCR_FO) - PCRにより生成された27MHzクロックの周波数オフセットを示し、安定した外部リファレンスを使用して測定します。

図3は、PCR_ACとPCR_OJ の違いを図示しています。これは、該当プログラムの2つのPCR間の時間間隔が3つの異なる方法でカウントされる様子を説明しています。まず、TSには関係しないクロックを使用して測定したものを Δt とします。次に、2つのPCRフィールド間のバイト数を数え、その間のTSバイト・レートで割算したものを Δtb とします。さらに、それら2つのPCRカウント値 (オリジナル・プログラム (クロック) の27MHzクロックの数値) を引算して、そのオリジナルのプログラム・クロックの測定周波数で割算したものを、 Δt_{pcr} とします。

これらの3つの測定は理想的には同じ結果になるべきですが、実際の測定結果はすべて異なっています。

Δt_{pcr} と Δtb の差が、PCRアキュラシ (PCR_AC) になります。数値間の差分は、マルチプレクサまたはリマルチプレクサの時間精度に依存しており、トランスミッション劣化の影響は受けていません。

Δt_{pcr} と Δt の差が、PCRオーバーオール・ジッタ (PCR_OJ) になります。数値間の差分は、PCR値が実際にデコーダ/リマルチプレクサに到着する時間の変化を含んでおり、ネットワークで発生したすべてのタイミング変化とアキュラシ・エラーを含んでいます。ネットワークで発生したタイミング変化とアキュラシ・エラーは区別できませんので、オーバーオール・ジッタの名前がつけられました。これは、デコーダやリマルチプレクサなどで発生するトータル・ジッタを示しており、問題が発生した場合の大きな要因を占めています。

おわりに

PCR_AC測定そのものは、映像の小規模な範囲を扱っているといえます。今回ご紹介した新しい測定方法は、より広い映像範囲を扱う場合や、特に運用中のネットワークの監視業務には極めて重要です。

DTV配信ネットワークを監視しているオペレータにとって、どのようなトランスミッション劣化が存在しているかを知ることは急務です。ドリフト・レートとオーバーオール・ジッタのレベルは、PCR_DRとPCR_OJによって規定されており、例えば、ATMネットワークを経由した配信システムなどの影響を正確に測定する手法を提供しています。

システム・デザイナーであれば、この測定によってシステムを構築する機器の検証ができるだけでなく、仕様を満たすためにネットワーク・パラメータを明細に規定するのに便利です。

最終的には、デザインと製造の双方において、測定はあらゆる状況下で実際のシステム要件を満たす機器の仕様書作りに役立ちます。

DVB配信ネットワークが今日まで、次第に複雑なものになったのは、ETR290の拡張が遅れたというような理論的に釈明できる部分がありますが、現在ではこれらはTR 101 290に含められています。トランスミッション劣化を含むためにPCR測定を拡張したことが、この規格の重要なパートになっています。また、この規格は新しい要求条件を満たすための測定方法について規定しています。

Contact Tektronix:

アメリカ 1 (800) 426-2200

イタリア +39 (02) 25086 1

インド (91) 80-2275577

英国およびアイルランド +44 (0) 1344 392400

オーストリア +43 2236 8092 262

オランダ +31 (0) 23 569 5555

カナダ 1 (800) 661-5625

スウェーデン +46 8 477 6503/4

スペインおよびポルトガル +34 (91) 372 6055

大韓民国 82 (2) 528-5299

台湾 886 (2) 2722-9622

中欧諸国およびギリシャ +43 2236 8092 301

中華人民共和国 86 (10) 6235 1230

デンマーク +45 44 850 700

ドイツ +49 (221) 94 77 400

東南アジア諸国 (65) 356-3900

日本 81 (3) 6714-3111

ノルウェー +47 22 07 07 00

フィンランド +358 (9) 4783 400

ブラジルおよび南米 55 (11) 3741-8360

フランスおよび北アフリカ +33 (0) 1 69 86 80 34

ベルギー +32 (2) 715 89 70

ポーランド +48 (0) 22 521 53 40

香港 (852) 2585-6688

南アフリカ +27 11 254 8360

メキシコ、中米およびカリブ海諸国 52 (5) 666-6333

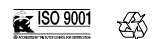
ロシア、CIS 諸国およびバルト諸国 +358 (9) 4783 400

その他の地域からのお問い合わせ: Tektronix, Inc., USA 1 (503) 627-7111

Updated October 30, 2001

その他の地域からのお問合せ: Tektronix, Inc.
Export Sales, P.O. Box 500, M/S 50-255,
Beaverton, Oregon 97077-0001, USA 1
(503) 627-1916

社社のウェブサイトをご覧ください。



World Wide Web:
<http://www.tektronix.co.jp>

Copyright © 2001, Tektronix, Inc. All rights reserved. Tektronix製品は米
国および諸外国による既存特許および申請 中特許により保護されています。本文書
は過去に公開されたすべての文書に優先するものです。仕様および価格は予告なし
に変更されることがあります。TEKTRONIXおよび TEKはTektronix, Inc. の登録
商標です。その他の製品名は、該当各社のサービスネーム、商標、または登録商標
です。

10/01 HB/PG
55Z-14873-0

Tektronix
Enabling Innovation

(参考資料)

このドキュメントは、当社で「PCR測定の入門ガイドブック」として執筆された
ものです。さらに深い視点での、測定フィルタ値、選択、ジッタとワンドの
ブレーク・ポイント規定などの詳細については、当社の"Guide to PCR
Measurements," document number 25W-14617-0をご参照ください。また、
下記に関連資料を列記します。

- International Standard ISO/IEC13818-1 MPEG Systems
- ETSI Technical Report ETR290 - Measurement Guidelines for DVB Systems - May '97
- Draft ETSI Technical Report TR 101 290 - Measurement Guidelines for DVB Systems
- A Guide to MPEG Fundamentals and Protocol Analysis - document number 25W-11418-3 A Layman's Guide to PCR Measurements Technical Brief.