

高速シリアル通信における ジッタの基礎と測定手法

～タイミング・マージンの減少は
エラー発生の大きな要因

山中正樹

ジッタという言葉はさまざまな意味を持っています。例えば、プロトコル層ではパケットの到達間隔の揺らぎと定義され、物理層では信号の揺らぎと定義されています(アプリケーションによって信号周期の揺らぎだったり、理想的な信号からの揺らぎだったりする)。ここでは高速シリアル伝送の物理層で定義されているジッタについて説明します。(筆者)

Serial ATA(SATA), Fibre Channel(FC), PCI Express(PCIe)などに代表されるような高速デジタル・シリアル通信においては、ギガ・ヘルツ帯域の信号が用いられています。このような高速信号を取り扱う上では、タイミング・マージンの減少はエラー発生の大きな要因となるため、ジッタ測定は各規格において重要な測定項目と

図1
アプリケーションごとに要求されている
ジッタの測定項目

要求されるジッタの項目はアプリケーションや伝送レートによって異なる。同じアプリケーションでも伝送レートが速くなればなるほど厳しいテストが要求され、テスト系も複雑になる傾向がある。

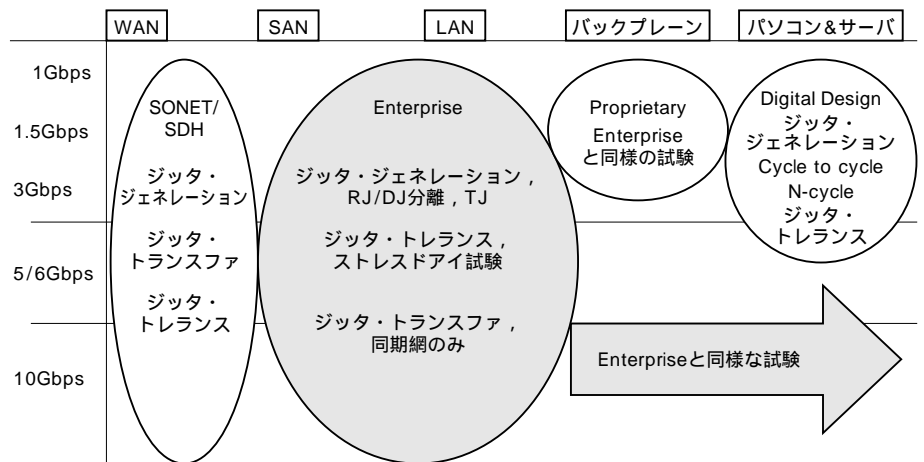
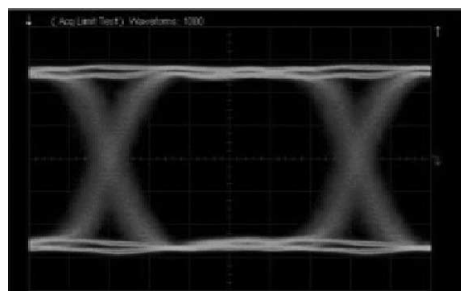
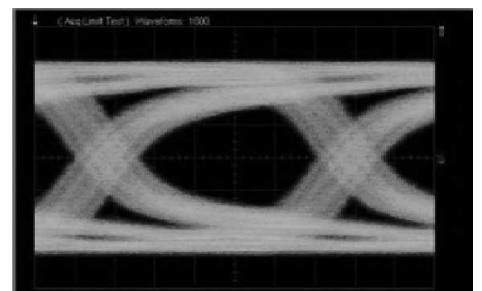


図2
どちらのアイ・ダイヤグラムが悪い
波形なのか？

波形の品質評価によく用いられるアイ・ダイヤグラムを二つ示す。どちらも同じビット・レートであり、測定器も同じ設定である。右のアイ・ダイヤグラムの方が横軸も縦軸も閉じており、エラーが起こりやすい信号に見えるが...



(a) クリーンに見える波形



(b) 汚く見える波形

KeyWord

Cycle to Cycle ジッタ, N-Cycle ジッタ, 周期・周波数ジッタ, データレート・ジッタ, TJ, RJ, DJ, デューティ・サイクル・ディストーション, インタ・シンボル・インタフェレンス, サブ・レート・ジッタ

なっています。

図1にアプリケーションごとに要求されているジッタの測定項目を示します。また、ジッタの発生要因や特性を理解することは、不具合個所の切り分けに大きく貢献することになるので、ジッタに対する知識がさまざまなアプリケーションで必要とされています。

図2にアイ・ダイアグラムを示します。二つあるうちのどちらが悪い(エラーが発生しやすい)波形と思われるでしょうか。同じビット・レートであり、測定器の設定も同じです。アイ・ダイアグラムを見る限り、右のアイ・ダイ

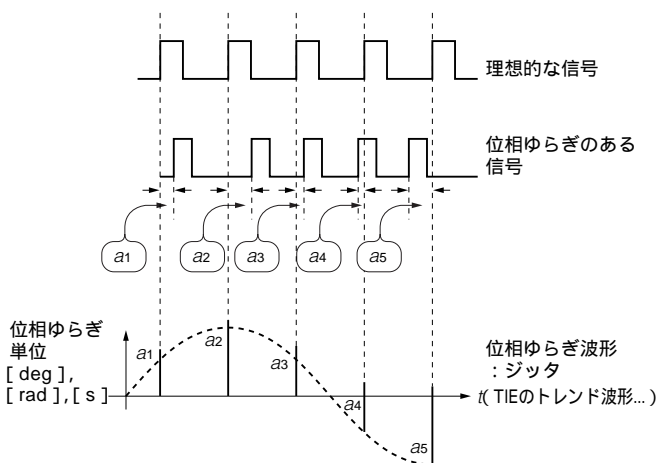


図3 ジッタの例、正弦波的に変動するジッタ

ジッタとはデジタル信号の位相(時間)揺らぎで、一般的には揺らぎの周波数が10Hz以上をジッタ、10Hzより低い周波数で変動する揺らぎをワンダと定義する。ジッタの単位はdeg, radの角度表示や, s, UIといった時間表示が用いられる。1UI = 1/ビット・レートである。例: 10Gbpsの1UIは1/10¹⁰ = 100ps。

表1 代表的なジッタ測定手法と測定器

ジッタの測定手法はさまざまであり、それに用いる測定器もさまざま。何を測定したいのかを踏まえた上で測定器を選択する。は測定できる、は条件による。

ジッタ解析ツール ジッタの測定方法	リアルタイム・ オシロスコープ	サンプリング・ オシロスコープ	タイム・インターバル・ アナライザ	BER テスタ	位相雑音 アナライザ	SONET/SDH テスタ
アイ・ダイアグラム						
バスタブ・カーブ						
外挿によるバスタブ・カーブ						
Cycle to Cycle/N-Cycle						
パラメータ・ヒストグラム						
時間対ジッタ(TIEのトレンド)						
ジッタFFTスペクトラム						
RJ/DJ分離						
DJ分離						
位相雑音						
振幅ノイズ分離						
ジッタ・ジェネレーション						
ジッタ・トランスファ						
ジッタ・トレランス						
ワンダ						

ヤグラムの方が閉じたアイを示しているので、右が悪い波形だと思われる方も多いかと思いますが。実はこの例では右の方が良い(エラーが発生しにくい)アイ・ダイアグラムになります。なぜ右の方が良いアイ・ダイアグラムなのかは、後ほど説明します。

1. ジッタとは

ジッタはデジタル信号の位相(時間)揺らぎと定義されています。一般的には10Hz以上の揺らぎをジッタ、10Hzより小さい揺らぎをワンダと定義していません¹⁾。図3にジッタの例を示します。ジッタはさまざまな規格において定義されていますが、その評価手法は一つではなく測定手法や機器もさまざまです。

● 測定方法と測定器

表1に代表的な測定手法と測定器を示します。一般的にCycle to CycleジッタやN-Cycleジッタ、周期・周波数ジッタは、クロック信号の短期、長期安定度の評価に用いられています。データレート・ジッタやTJ(total jitter), RJ(random jitter), DJ(deterministic jitter)は、データ信号のタイミング評価に用いられています。

上記パラメータの中でもDJとRJの分離、TJ測定は、高速デジタル・シリアル通信において特に重要な測定項目です。DJ/RJ分離はTJを迅速に推定する目的や、ジッタ