

高速インターコネクトにおける課題の克服

MS4640B

ベクトルネットワークアナライザ

1. 概要

クラウドコンピューティング、スマートフォン、LTE サービスによって、ネットワークトラフィックが著しく増加しています。インターネットデータセンターでの瞬間トラフィックは 1Tbit/s に達しています。こうしたトラフィックの増大に対応するためには、データセンターにおいてハイエンドサービスで使用されている IT 機器のスピードも向上させる必要があります。それらの高速データレート規格の一部を表 1 に示します。こうしたアプリケーションの多くで、デバイスのインターコネクが伝送のボトルネックになっています。

Standard	Data Rate	Number of Lanes
CEI-25G-SR	19.90 to 28.05Gbit/s	1 to N
CEI-25G-LR	19.90 to 25.80Gbit/s	1 to N
IEEE802.3ba 100GBASE-LR/ER	25.78125Gbit/s	4
32G Fiber Channel	28.05Gbit/s	1
Infiniband 26G-IB-EDR	25.78125Gbit/s	1 to N

表 1. 20Gbit/s を超える高速規格

この資料では、これらの高いデータレートに起因する課題と、ベクトルネットワークアナライザ(以下 VNA)による課題解決方法を説明します。

2. シグナルインテグリティに携わる技術者が直面する課題

これらの規格に確実に適合しつつ高いビットレートを実現する上で、シグナルインテグリティに携わる技術者は多くの課題に直面しています。

2.1 コスト/性能のトレードオフ

高いデータレートは、ビア、スタックアップ、およびコネクタピンの選択に関する設計上のトレードオフに加えて、PCボード上の導体表皮効果や誘電損失などの設計上の新たな課題をもたらします。回路基板材料の選択や各種構造設計の影響を評価するには、周波数ドメインとタイムドメインの両方における正確な測定が必要です。その目的は、インターコネクタのアイクロージャへの影響を評価することです。図1に、バックプレーンのアイダイアグラムへの影響を示します。

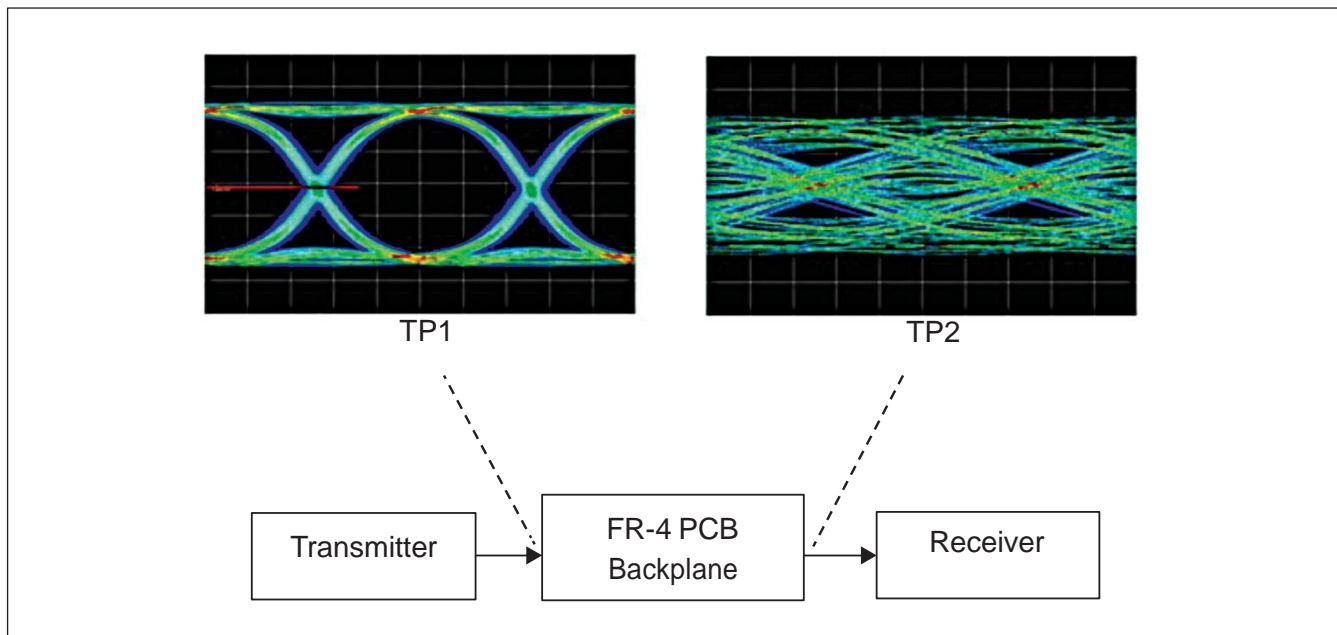


図1. PCボード上の表皮効果と誘電損失による、高周波数帯域での周波数特性と群遅延に起因する、インテグリティ劣化のあるデータ信号の例

2.2 欠陥の特定

ビア、スタックアップ、またはコネクタピンが原因で、問題が発生することがあります。しかしながら、周波数ドメインデータのみでは十分ではありません。特定の問題がどこで発生しているかを把握するには、これらのデータをタイムドメインに変換する必要があります。各測定点での伝送特性が規格を満たしていることを確認するには、パッシブコンポーネントやドーターボード間の近端および遠端を、周波数ドメインおよびタイムドメインで測定する必要があります。最高の分解能で、不連続部、インピーダンス変化、クロストークの問題箇所を特定することができます。

2.3 シミュレーションと測定の間

正確なモデルを使用することでデザインサイクルが加速されます。しかしながら、モデルのレベルは使用されたデータの質以上にはなりません。データが正しく表示されない因果性のエラーは、モデルに投入使用されたデータに高さ精度が不十分な周波数成分が存在するときに見られる場合があります。

不正確な因果性によってシミュレーション結果への信頼性が低下し、シミュレーションに要する時間の増大や不正確さにつながります。逆に、低周波領域の情報が不十分な場合はDC外挿誤差につながり、モデル精度を劣化させて3-D EMシミュレータの結果と合致しなくなります。

2.4 フィクスチャのディエンベディング

試験対象のデバイス(DUT)に直接接続できない状況が多数存在します。この場合、DUT を周囲のテストフィクスチャから取り出す必要があります。その逆が必要であることもあります。デバイスが他のネットワークで囲まれている場合は、デバイスを取り出し、性能を調べるのが有用なこともあります。図 2 にこの状況を示します。

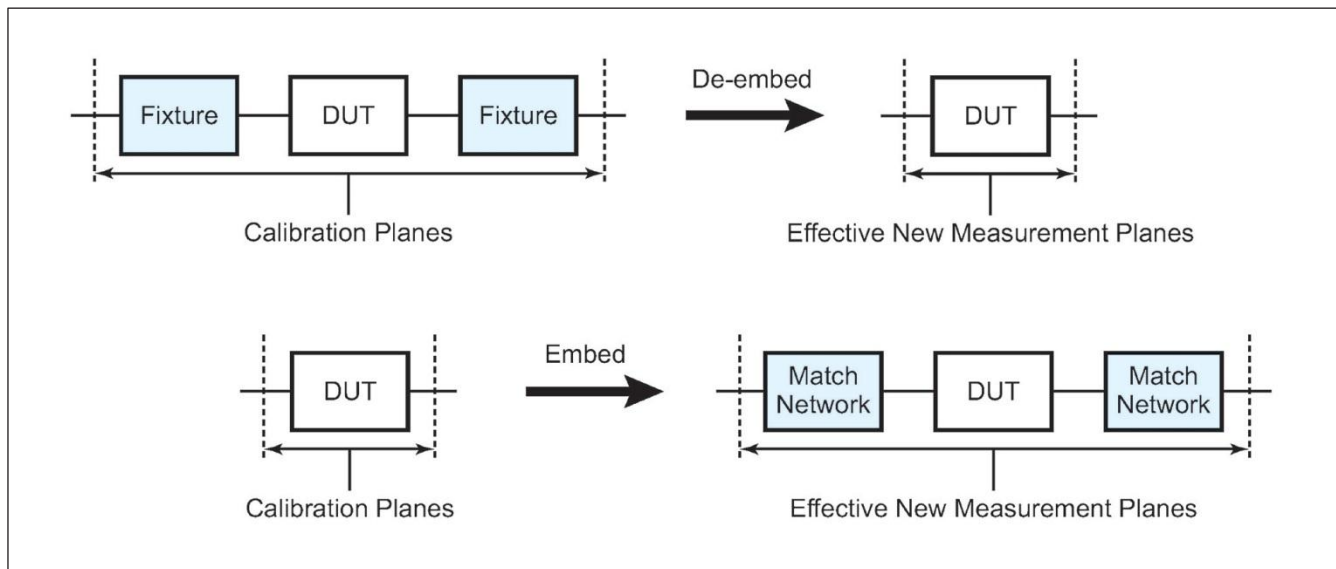


図 2. ディエンベディングは、テストフィクスチャの影響、モデル化されたネットワーク、および S パラメータ(S2P ファイル)で表された他のネットワークを測定から取り除くために使用します。エンベディングはこの逆のプロセスです。

しかしながら、受動性や因果性に関わる問題の多くは、不十分な校正やディエンベディング手法によるものです。加えて、高いフィクスチャ損失は、精度やディエンベディングの再現性に影響することがあります。

3. 今日の課題解決

最新の VNA 技術には、これらの課題に対するソリューションがあります。

		Primary VNA Performance or Feature		
		Frequency Range	Time Domain	De-embedding techniques
Challenge	Cost/performance Trade-Offs	X		
	Location of defects	X	X	X
	Correlation Between Simulation and Measurement	X	X	
	Fixture De-Embedding			X

表 2. VNA 性能とシグナルインテグリティエンジニアの課題との関連性

3.1 利用可能な周波数範囲の最大化

バックプレーンなどのインターコネクットの S パラメータ特性化における周波数の上限と下限は、いずれもデータの質とその後のモデリングに影響を与えますが、その理由は異なります。以下で順に検討します。

多くの人は通常、最初に高い方の周波数範囲を思い浮かべるため、NRZ クロック周波数の第 3 または第 5 調波の測定を行います。28Gbps のデータレートでは、これは S パラメータ掃引での 42GHz または 70GHz の停止周波数を意味します。高い方の周波数については、因果性の視点による必要性もあります。S パラメータ・データが、さらなるシミュレーションで使用するためにタイムドメインに変換されると、因果性エラーが発生する可能性があります。このエラーは、データが正しく表示されていないことを示しています。これは、シミュレーションにおける収束問題や大規模サブシステムのモデリングの不正確さにつながる可能性があります。周波数ドメインのデータを調整することでこれらの問題を軽減することは可能ですが、デバイスの実際の物理的挙動のディストーションに関する問題が起こる可能性があります。このため多くの場合、再現性およびディストーション(DUT が効率的に放射を始め、測定が周辺機器に強く依存するようになるなど)の結果が不明瞭になるまで、可能な限り広い周波数を使用するのがより安全で正確です。より高速で複雑な過渡現象が高度なシミュレーションで研究されるのに伴い、いっそう広範な周波数のデータに対する要求が強まっています。

掃引における低い方の周波数範囲も同様に重要です。モデル精度は、一般にデータが DC 近くで取得されるに従い向上します。例として、バックプレーンのアイダイアグラムへの影響を予測するために、測定したバックプレーンの S パラメータ・データをソフトウェアモデルに与える場合を考えます。図 3 は、低い周波数でのデータに何らかのエラーがある場合に、アイダイアグラムの予測がどうなるかを示しています。この例では、伝送上の低い周波数(10MHz)での 0.5dB のエラー分散が、完全にクローズしたアイに対して 85%開口のアイを取り得ることが分かりました。中域(10GHz)での伝送不確かさは設定や校正によっては 0.1dB 近くになることがあり、さらに、このアイ・ディストーション効果は低い周波数でより大きくなるため無視できません。図 4 に、低周波数での測定データの品質が良かった場合、結果のアイダイアグラムがどのようなようになるかを示します。この予測は、図 5 に示すとおり、オシロスコープを使用して測定した実際のアイダイアグラムと極めて良好に相関します。

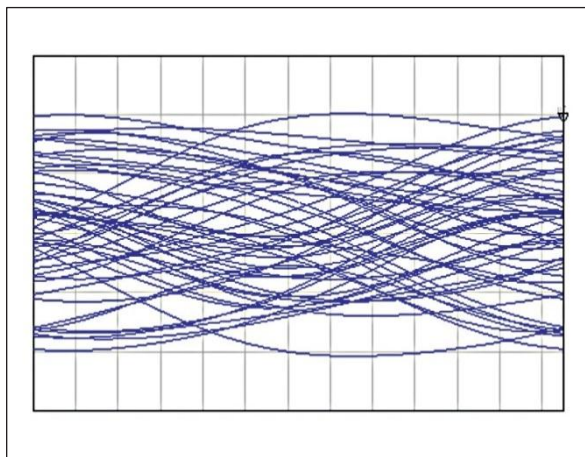


図 3. 10MHz での挿入損失エラーを 0.5 dB とした場合のダイアグラム

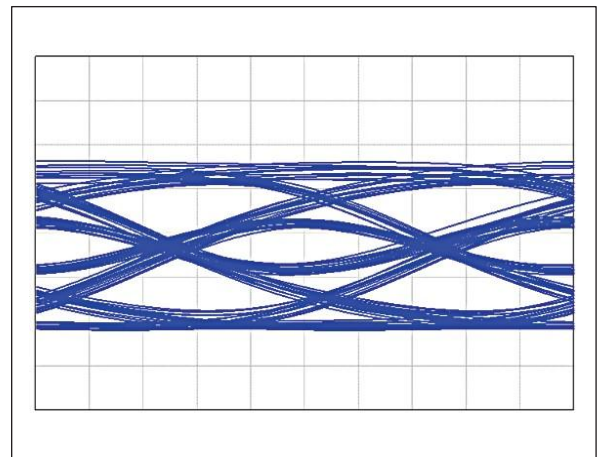


図 4. 正確な低周波数 S パラメータ・データによるオープンアイダイアグラム

アイダイアグラムのノントランジションは本来、低周波挙動から構成されるため、低周波数 S パラメータ・データが重要になってきます。低周波数での挿入損失は小さい傾向にあるため、大きな固定 dB エラー(VNA の不確かさ)は、特に影響を及ぼす可能性があります。

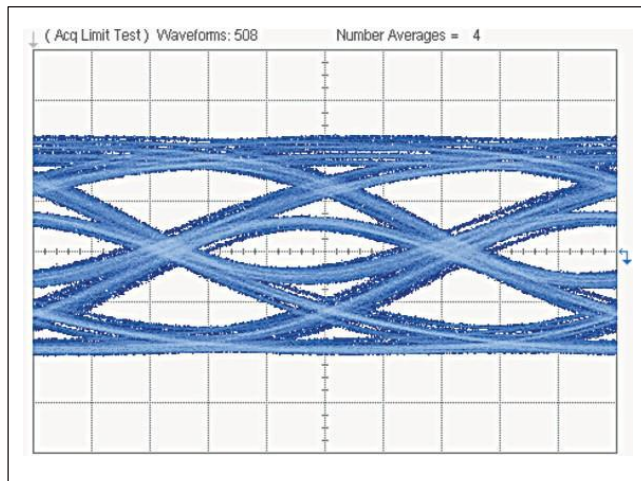


図 5. 測定されたアイダイアグラム

3.2 タイムドメインの分解能の最適化

VNA のタイムドメイン性能は、欠陥を特定しようとする際には特に重要です。一般に、周波数掃引が広いほど、時間分解能とこれに伴う距離分解能が良好になります。図 6 は、40GHz、50GHz、70GHz の 3 つの異なる周波数に対するタイムドメイン分解能の違いを示しています。

分解能は、ローパスタイムドメインモードが使用された場合に最大となります。このモードで、バックプレーン上のインピーダンス変化の特性化もできます。ローパスモードには、可能な限り低い周波数で始まる、準調和的關係の周波数セットが必要です。位相基準を提供する DC 項が外挿され、真の不連続特性が評価可能となります。このため、掃引が開始可能な周波数が低いほど、DC 項の外挿がより正確なものになります。

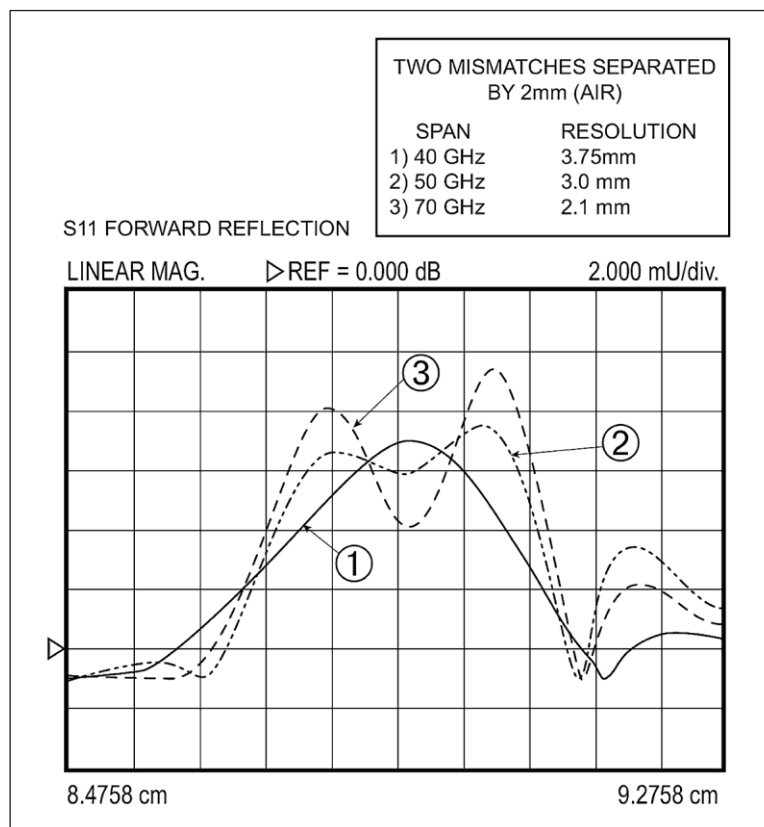


図 6. 最高のタイムドメイン分解能を得るには、最多のデータポイント、最も狭い周波数ステップ、および最も広い周波数帯域幅が必要です。

3.3 柔軟なディエンベディング技術の利用

試験対象のデバイスへのフィクスチャやコネクタには多くの形態があるため、不適切なディエンベディングは、受動性エラーおよび因果性エラーの両方につながる可能性があります。因果性エラーについては先に説明しました。一方、受動性エラーは、パッシブデバイスがゲインを持つか、そうでなくてもエネルギーを変換しているように見える場合に発生します。ディエンベディングにおける小さな問題によって発生する受動性エラーはわずかなものかもしれませんが、先に示したアイダイアグラムの例が示唆しているように、この後のモデリングやシミュレーションに大きな影響を与える可能性があります。これに対する解決策は、さまざまな状況に対応できる広範な技術を利用可能にすることです。以下の表は、ディエンベディングのための抽出手法の一部をリストアップしたものです。

Method	Standards complexity	Fundamental accuracy	Sensitivity to standards	Media preferences
Type A (adapter removal)	High	High	High (refl.)	Need good reflect and thru stds
Type B (Bauer-Penfield)	Medium	High	High (refl.)	Only need reflect standards, not great for coupled lines
Type C (inner-outer)	High	High	Medium (refl.)	More redundant than A so less sensitive but need good stds still
Type D (2-port lines)	Medium	Low for low-loss or mismatched fixtures	Medium (line def'n.)	Only need decent lines; match relegated to lower dependence; can handle coupled lines
Type E (4 port inner-outer)	High	High	Medium (refl.)	Somewhat redundant (like C) but need decent standards. Best for uncoupled multiport fixtures
Type F (4-port uncoupled)	Medium	Low for low-loss or mismatched fixtures	Medium (line def'n.)	Only need decent lines; match relegated to lower dependence; can handle coupled lines
Type G (4-port coupled)	Medium	Low for low-loss or mismatched fixtures	Medium (line def'n.)	Only need decent lines; match relegated to lower dependence; can handle coupled lines well

表 3. ディエンベディングの手法

上記に示したとおり、多くの抽出手法が利用可能ですが、どれを選択するかはコンテキストによる場合があります。例えば、シグナルインテグリティのアプリケーションには、タイプ F または G が最も適しているでしょう。

4. まとめ

高いデータレートでは、コストと性能のトレードオフを決断するために、正確な測定が求められます。測定ツールは、設計期間を短縮し、かつ量産時に安定したシグナルインテグリティを確保するものでなければなりません。VNAは、シグナルインテグリティのエンジニアが増大するデータレートの課題に対応するのを支援し、コストと性能の適切なトレードオフを行い、シミュレーションと測定との相関を取ってフィクスチャの効果を抽出する上で、重要な役割を果たします。VNAを選択する際には、周波数の上限と下限、タイムドメイン性能、および高度な校正とディエンベディング技術の幅広い選択肢などの特性を確認してください。



お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

アンリツ株式会社

<http://www.anritsu.com>

本社	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	TEL 046-223-1111
厚木	〒243-0016 神奈川県厚木市田村町 8-5	
	計測器営業本部	TEL 046-296-1202 FAX 046-296-1239
	計測器営業本部 営業推進部	TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248
	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	
	ネットワーク営業本部	TEL 046-296-1205 FAX 046-225-8357
新宿	〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-14-1	新宿グリーンタワービル
	計測器営業本部	TEL 03-5320-3560 FAX 03-5320-3561
	ネットワーク営業本部	TEL 03-5320-3552 FAX 03-5320-3570
	東京支店(官公庁担当)	TEL 03-5320-3559 FAX 03-5320-3562
仙台	〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央 4-6-1	住友生命仙台中央ビル
	計測器営業本部	TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529
	ネットワーク営業本部東北支店	TEL 022-266-6132 FAX 022-266-1529
名古屋	〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅 3-20-1	サンシャイン名駅ビル
	計測器営業本部	TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485
大阪	〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-23-101	大同生命江坂ビル
	計測器営業本部	TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118
	ネットワーク営業本部関西支店	TEL 06-6338-2900 FAX 06-6338-3711
広島	〒732-0052 広島県広島市東区光町 1-10-19	日本生命光町ビル
	ネットワーク営業本部中国支店	TEL 082-263-8501 FAX 082-263-7306
福岡	〒812-0004 福岡県福岡市博多区櫻田 1-8-28	ツインスクエア
	計測器営業本部	TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699
	ネットワーク営業本部九州支店	TEL 092-471-7655 FAX 092-471-7699

再生紙を使用しています。

計測器の使用方法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221, FAX: 0120-542-425

受付時間 / 9:00~12:00, 13:00~17:00, 月~金曜日(当社休業日を除く)

E-mail: MDVPOST@anritsu.com

● ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

1305



■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

No. MS4640B-J-F-3-(1.00)



2014-4 MG