

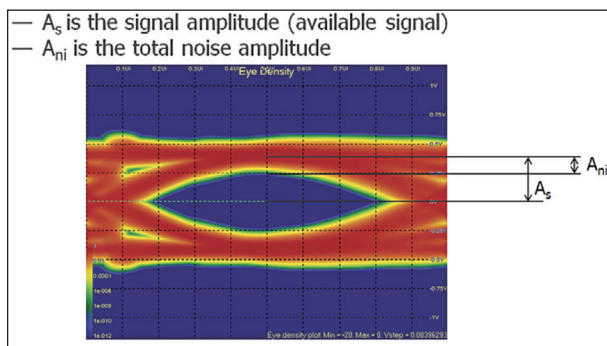
與誤碼率進行比較

■作者：Vladimir Dmitriev-Zdorov/Mentor Graphics

一年多前，IEEE 發佈了針對 Gigabit Ethernet 的 802.11bj 規範。此外，該規範還定義了 Channel Operating Margin (COM) 的一種通道品質評估方式。在數學上，可將 COM 定義為：

$$\text{COM} = 20 \text{ LOG}_{10}(\text{振幅信號} / \text{振幅雜訊})$$

圖 1：改進的 COM 實施能模擬 100GbE 信號傳輸。



此規範建議通道裕度應不低於 3dB，因為發射器和接收器可能在標示性能的邊緣工作。

COM 最難計算的部分是將包含於分母中的所有雜訊源考慮進去，其中包括所有產生雜訊的來源，如隨機雜訊、抖動、串擾、碼間干擾 (ISI) 等。

儘管在 COM 之前，眼圖 /BER 評估技術已經存在很長時間，但是這些方法從未得到正式標準化。IBIS 標準 (IBIS 5.0 至 6.2) 可描述演算法模型介面 (IBIS-AMI) 模型的使用，但其定義的規則主要用於描述模擬平臺如何與模型庫互動、調用其介面功能、形成輸入並讀取輸出參數。

如果沒有標準，那麼不同工具會使用不同方法來評估通道品質，而 COM 的目標之一在於將確定信噪比時的不確定性降到最低。COM 始於一組描述受干擾者和干擾者通道的 S 參數。不像考慮到非線性模型 Tx 和 Rx 緩衝器的許多 SPICE 模擬工具，COM 並不直接採用時域反應。相反，在一系列轉換

之後，它會找到通道的有效轉換函數，並透過 IFFT 將其轉換為時域反應。這樣，它就能避免 SPICE 類型的建模和模擬造成的極大不確定性。

從數學的角度來看，COM 等同於統計分析，但僅針對眼圖的一個垂直斷面 (cross-section)，此斷面與“最佳”採樣時間相對應。因此，將 COM 與統計眼圖 (statistical eyes)，而非逐位 (bit-by-bit) 分析相比是很合理的，因為後者經常無法提供夠多的樣本。

將 COM 與 BER 相比

大多數設計高速 Layout 的 PCB 設計人員對 BER 和眼圖很熟悉，它們已成為代表通道設計品質的典型方法。COM 則與之不同。以下為 BER 與 COM 的部分差異。

- 通道特徵提取。許多 EDA 工具執行詳細的電路模擬，以查找可代表通道特徵的響應。它們在接收器管腳所測量的響應會受到非線性模型的影響，而且可能包含在接收器端共模轉換為差分的效應。COM 始於僅含通道的 S 參數，並且完全忽略了 non-LTI 和共模的影響。
- 因為 COM 不使用器件模型，所以無法得知具體的封裝參數。COM 中的“封裝”是器件中封裝的“範本近似值”，包含並聯電容器和傳輸線。
- 基於類似的原因，COM 也無法得知存在於通道兩側的實際端接條件。大多數情況下，它會假設 55-ohm 的電阻端接，與 S 參數 normalization 阻抗的 50-ohm 略有差異。
- COM 會考慮接收器雜訊濾波器，其帶有資料速率 75% 的平滑頻寬。大多數眼圖 /BER 分析工具不具此濾波器的特徵，也未應用此濾波器。

- 在 COM 中，Tx 等化器僅有一個 pre-tap 和一個 post-tap，並且指標 (cursor) 值有設置限制。實際器件可能有不同的架構，所以它的模型 (如 IBIS AMI) 很可能具有不同設置。
- 用於 COM 的 CTLE 與常見作法一致，但僅對直流增益進行優化。特定操作模式會預先定義極點 (pole) 頻率。如果我們為 CTLE 參數進行全面優化，可能會有不一樣的結果。
- 在 COM 流程中，高斯和 dualDirac 發送抖動的計算是透過將脈衝響應進行線性化，並在選定採樣點取其斜率。精確的統計分析需要採用不同的方式。ISI 和峰值失真的效果也會受到輸入抖動的影響；這就是為什麼精確的統計分析會同時計算包含 ISI 和發送抖動的分佈。
- 在 COM 流程中，透過考慮被稱為 FOM (figure of merit) 的更簡化指標，對等化器參數進行優化，進

而縮短優化時間。然而，由於存在其他假設，例如所有“雜訊”成分的高斯分佈，導致預計測量和最終測量之間有相當大的差距。

- BER 分析工具很少考慮發射器的信噪比。接收雜訊亦不在考慮之列。
- 在 COM 中，干擾者的“貢獻”使用最壞情況的相位組合，可能造成對串擾影響的過高估計。
- COM 中的部分操作模式採用糾錯機制 (FEC) 並且將雜訊振幅與較大的 BER 閾值相比較。而許多 BER 評估工具並非如此。

Mentor Graphics 的 HyperLynx 模擬工具針對這些差異加以處理。對 COM 預測與實際響應的差異分析進行了大量研究。差異的來源已在研究中分析和考慮。

實際結果

此研究結果在模擬中得到證實。我們使用 HyperLynx 對八個配置生成了相應的眼密度圖，並且將其與計算出的 COM 值相對照。圖 2 顯示了模擬結果。

結語

COM 的優勢在於它包括了等化器參數的優化，該優化是計算中必不可少的部分。當研究應用於 HyperLynx 的 COM 執行時，只要兩者都基於同樣的通道響應和完全相同的等化器設置，改進的 COM 方法已證明能完美匹配精確統計眼圖和 BER 分析的結果。未來 Gigabit Ethernet 的實現端賴於為給定設計快速精確地計算 COM 的能力。CTA

圖 2: 透過圖 1 中所描述的流程，對八個配置生成的眼密度圖：配置 1 (a)，配置 2 (b)，配置 3 (c)，配置 4 (d)，配置 5 (e)，配置 6 (f)，配置 7 (g) 以及配置 8 (h)。

