

利用模型化基礎設計加速功能驗證

作者：The MathWorks 產品行銷經理，David Lidrbauch

就今日的系統晶片 (SoC) 專案而言，功能驗證佔開發時間以及預算的高達 50% 至 65%。由於依賴手動編寫指令的分散工具及開發方法、不同驗證工具的集合、工具間標準的交換語言的不相容性，以及不相符的資料庫來源，使得功能驗證這項工作幾乎成為主要開發目標以外，另一項需要處理的專案。工程師須花費時間對其工作流程進行偵錯，以及補償他們驗證工具鏈中的斷層，而不是對產品設計進行最佳化及偵錯。

晶片級的功能驗證必須以較寬廣的角度來進行審視。Gary Smith 曾在 2006 DAC 之前言簡意賅地指出此問題：「其實一切關鍵就在軟體啊，笨蛋！」他與 Daya Nadamuni 共同指出，在現今的 SoC 專案中，軟體才是關鍵的不可或缺的角色。Nadamuni 表示：「你可以擁有精準的演算法、一次就成功的矽晶片設計，以及獨有的智慧財產權 (IP)。但是，如果沒有軟體，該產品將一無是處 [1]。」

現今大多數的掌上型裝置都呈現出這一較大著眼點，軟體無線電技術 (SDR) 及其相關產品的研發挑戰也一樣：例如，聯合戰術無線電系統 (JTRS)，以及感知無線電系統。這些系統 [2] 所要求的現場重新組態智慧，我們可以稱之為硬體/軟體共同設計挑戰的完美風暴。

您必須提問的問題：「每一項工作都是費用，還是投資？」

在模型基礎化設計中，系統模型是一種可執行的規格，並成為設計與驗證時的黃金標準。在設計階段，此模型可供不同的設計團隊分享，包括系統、軟體與硬體工程師。每個團隊都可使用此模型來推敲其元件，同時可確保維持系統設計的原意。

模型基礎化設計對於整合驗證與設計工作非常重要，系統模型及其作業環境，減去所設計的元件，就會成為每一個元件的測試平台與分析環境。此方法可降低在市場領先的系統中因內部元件及子系統間缺乏標準且定義良好之介面而導致的驗證困難性同時亦可以消除因建立個別區塊及介面的測試所需的非生產性工作。

驗證 HDL 或嵌入式軟體的工程師經常會問：「我的實現夠好嗎？」關鍵的後續問題應該是：「怎樣才算夠好？」演算法或系統工程師所建立的演算法規格中通常已包含第二個問題的答案。

透過協同模擬，可執行的規格可供驗證團隊作為測試用的工具，以確保獲得正確的系統功能性。協同模擬可允許演算法工程師、硬體及軟體工程師在他們自己的所屬環境中工作，同時讓整個團隊都能清楚其設計及實現決策的影響。與設計可執行演算法規格相關的原始工作，會從一項費用轉換為一種投資，並可持續獲得回報。

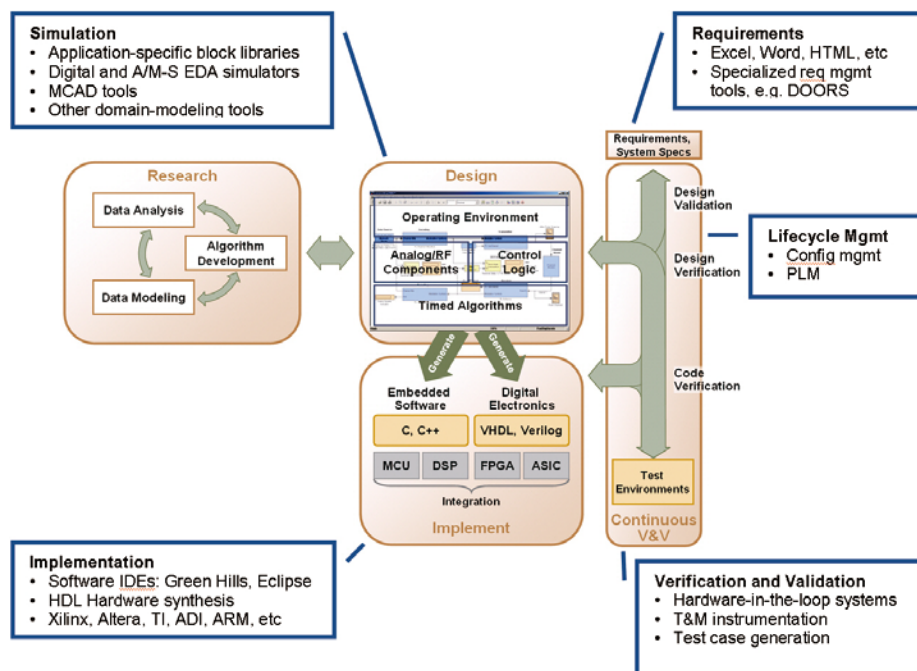


圖 1：使用 MATLAB®、Simulink® 以及其他多家廠商提供的工具之模型化基礎設計

採用模型化基礎設計可以逐步增加：元件模塊的驗證

元件模塊層次的開發可以獨立平行進行，以獲得高度初始生產力，可以單獨探索與最佳化演算法，但是將無法測試元件相關性。

在過去的系統中，分治演算法對於功能驗證十分有用，這是因為系統建立模塊在本質上就是分隔與獨立的。然而，現今產品中已經包括各種功能的整合，包括 SoC 中的類比、數位、介面與處理器模塊功能等過去是各自獨立的功能的整合。完全驗證任何區塊都要求完整探索其獨立功能以及與設計其他部分的互動。而跨越不同區域界線間驗證其互動通常是區分與解決方法最容易失敗的地方。

在系統環境中進行驗證設計

任何元件模塊層次的驗證都無法探索不同區域間的介面與相關性，也無法找出產品在實際使用時所可能發生的問題，因此如何將演算法模塊與系統的剩餘部分整合對於驗證設計是相當關鍵的。

有了 MathWorks™ 產品，Broadcom (先前為 Zyray Wireless) 使用模型化基礎設計來加速 3G 行動裝置上 WCDMA 的 SPINNER 半導體產品系列的開發。Broadcom 系統工程部主管 Mark Kent 表示：「主要的挑戰在於將 WCDMA 系統的整個複雜性轉換為一個可發揮機能的硬體 [3]。Broadcom 採用了 MATLAB® 與 Simulink® 來建立不同的子系統，包括基地台、無線通道模型以及手機。每一個子系統都可以當成其他系統的元件測試平台。使用 Simulink，他們可以迅速地將系統模型分割成結構子系統，以方便硬體工程師更輕鬆地實現每一個元件。

通常，需要對系統架構進行探索以找到最合適的目標實現方式，最好的方法是在定義和驗證演算法之後，再對系統每一個部分的最佳化實現進行評估。

例如，在休士頓的萊斯大學 (Rice University)，Brogioli、Radosavljevic 與 Cavallaro 探索了在 3.5G HSPDA 行動電話上混合 DSP/FPGA 實現時進行分割的利弊得失，發現若採用合適的分割方法可讓效能提高90%。 [4]

從系統模型中進行分割與實現可以大幅加速整個程序，透過自動產生程式碼功能可以用來產生處理器與 HDL 的嵌入式程式碼，以及 FPGA 的測試平台，協同模擬連結可以關閉驗證迴圈，以便將每一種實現都與黃金參考系統模型進行比較，採用開發的分析程式碼、系統評估以及其他測試的原始系統模型都可以當成驗證平台再次使用。

Sven G. Bilén 博士的團隊，由賓州州立大學 (Penn State University) 的學生組成，他們採用了模型化基礎設計，迅速地為 LionSat 開發出了 SDR 地面基地台的原型。Bilén 與其團隊探索了不同的演算法方案，對系統參數進行了最佳化，並評估了設計的利弊得失，參與 SDR 專案的學生 Jerker Taudien 說：「MathWorks 工具協助我們從浮點轉移到定點運算，獲得了硬體的精準實現 [5]。」之後，該團隊採用 MathWorks 的自動產生 C 程式碼產品，為 TI 的 Code Composer Studio 使用協同模擬連結來驗證與偵錯混合的 DSP 及 FPGA 實現。

在真實世界情境中進行系統驗證

功能驗證必須能夠根據真實世界情況與損害來測試系統，以避免後期發生故障。

Juyul Lee 說明了電子及電信研究協會如何使用 Simulink 中的多重取樣及框架式處理功能，來協助建立端點對端點的 4G 行動通訊系統原型。Lee 解釋說：「為驗證接收器的 HDL 實現，我們使用現有 Simulink 模型產生傳送器訊號，使用 Simulink 模型產生的刺激條件包含調解訊號與通道效應，例如，衰竭 [6]。使用 MathWorks 產品，我們可以迅速地產生幾近真實的資料來驗證 HDL 實現。」

在設計與驗證大會 (DVCon) 中關於功能驗證的論文「在 SystemC 驗證環境中使用 MATLAB 與 Simulink [7]」中，Boland 等人描述了如何使用 Simulink 模型來驅動多重等化器設計的 SystemC 表示法：

「我們的資料產生器、傳送器，以及五種不同的電信通道都是在 Simulink 的環境中，使用其通訊模塊組產品 (Communications Blockset™) 來建立模型，而不是在 SystemC 中建立耗時的刺激條件，透過現有的通訊通道模型，以及 MATLAB 內建的數學功能，我們可以在一天之內建立一個完整的真實世界刺激條件產生器；如果是使用 C++ 來對相同的模型進行手動程式化的話，則可能需要超過一週的時間。此外，MATLAB/Simulink 模塊組已經過驗證，從而讓資料產生過程中的錯誤更少。因此，功能驗證的整體品質得以改善。」

此案例中的硬體實現是採用混合的 DSP/FPGA 設計，驗證平台是混合許多不同語言的工具的集合，包括 SystemC，MATLAB/Simulink 模型可作為系統的黃金參考模型，以便在驗證測試系統中驗證其他模型，複雜刺激條件的產生則由 MATLAB 與 Simulink 完成。

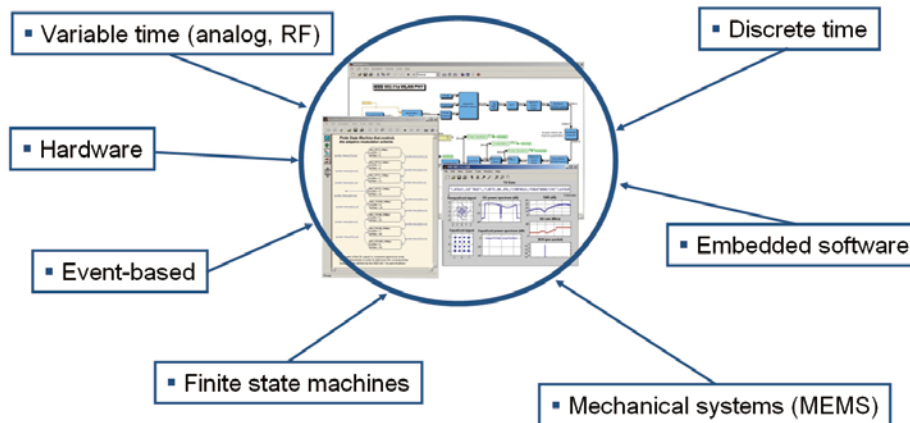


圖 2：系統具備多重標準；您的驗證環境也應如此。

包含多種工具以支援多重標準驗證

使用正確的工具以進行正確的工作。模型化基礎設計的核心元素是將多個區域與標準結合到一個統一的系統環境中。此整合過程僅能透過在開發工作流程中連接關鍵的工具來完成，這些工具包括多個廠商的工具與資料庫。

MATLAB 與 Simulink 可以利用數種方式來支援此整合。眾多的MATLAB 工具箱與 Simulink模塊組可提供預先建立的開發及分析工具，這些工具可加速實體、數位、機械、類比及其他系統的建模和分析，MATLAB及Simulink都可支援內部延伸性和可維護由開發團隊建立的專屬程式庫及應用程式的標準應用程式介面，同時可記錄完好的標準 API 也可支援多種介面，以及與其他廠商提供的協同模擬連結。

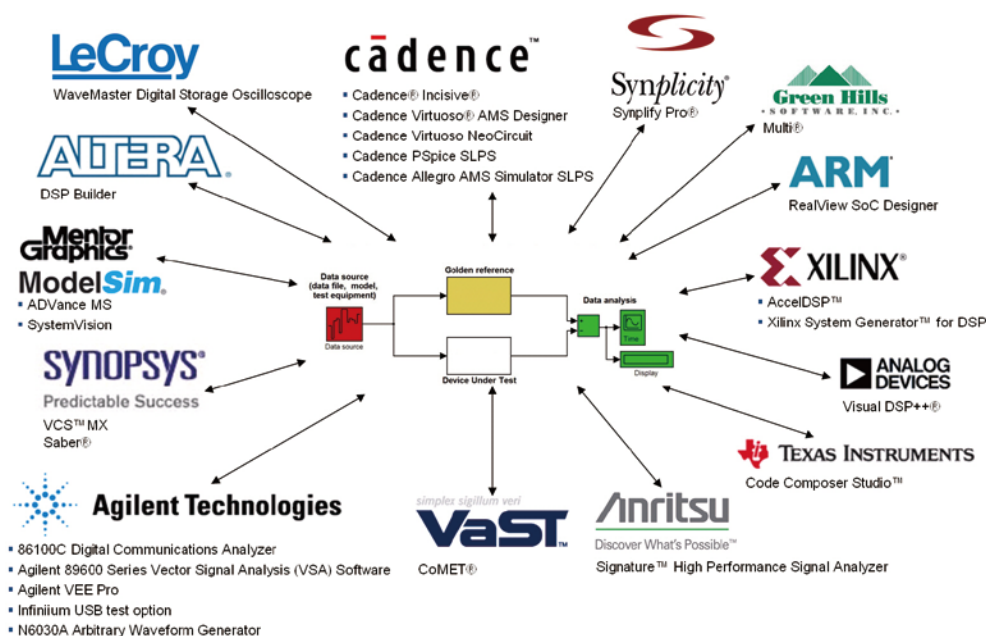


圖 3：可連接 MATLAB 與 Simulink 的第三方產品子集。

研發流程顯少會從高階抽象線性地進行到整個設計的細節呈現上，模型化基礎設計可隨心所欲地使用細節混合層級，這樣可最佳化改善功能模擬的真實世界細節的能力，因為適當的抽象概念可以依需要進行選擇，以保持非常快速的系統層級模擬速度，同時在測試狀態下充分地運行模塊細節，以驗證功能性並證明實現選擇在整個系統環境中的可行性。

在他們名為「採用系統層級協同模擬的 DVB-T 系統分析 [8]」的論文中，作者們說明了 MATLAB、Simulink 以及 Cadence Virtuoso® AMS Designer 之間的協同模擬介面如何藉由整合系統設計到 Virtuoso AMS Designer 的混合訊號模擬中，從而為系統設計工程師提供更寬廣的混合抽象概念選擇，同時提供快速往返週期與設計見解。他們也描述了採用非基於模型的、現代設計流程所既有的困難性：「每一個工具都是針對抽象領域與應用程式領域的特定層級進行最佳化，即使工具之間具有相當程度的重疊，但是當需要跨層級進行分析時，困難就會隨之浮現。」

採用模型基礎化設計的投資報酬率會在團隊與專案之間加乘

使用模型基礎化設計可讓開發團隊以更有系統的方式來完成整個設計流程，使用模型基礎化設計的投資報酬率會在元件與系統驗證過程中，當每個團隊成員的特定技能為其他團隊所利用時顯著增加，在流程中向實現與最終驗證的上下游間都會發生這種利用情況，可用於強化先前的設計探索；最終可用於改善對開發所有階段的理解，一般系統模型的協作使用及再使用可避免功能驗證程序中發生斷層，改善最終產品的品質，降低重複與浪費的工作，進而改善整個開發程序。模型基礎化設計可用漸進的方式採用，當整個專案都採用其元素後即可讓其效益實現最大化，透過這種方式，模型基礎化設計可以輕鬆地成為一種投資，並在複雜系統開發的各個方面持續貢獻優勢。

參考資料

- [1] **EETimes:**
Dataquest to EDA: 'It's the software, stupid'
Richard Goering
<http://www.eetimes.com/showArticle.jhtml?articleID=191000150&pgno=1>
- [2] **Next-Generation Design Issues in Communications**
If wireless devices are to communicate and interoperate autonomously, they first need to speak a common language.
http://www.portabledesign.com/article?article_id=165
- [3] **Broadcom User Story**
Broadcom Develops Low-Cost 3G Semiconductor Product with MathWorks Tools
http://www.mathworks.com/company/user_stories/userstory6356.html
- [4] **Hardware/Software Co-design Methodology and DSP/FPGA Partitioning: A Case Study for Meeting Real-Time Processing Deadlines in 3.5G Mobile Receivers**
Michael Brogioli, Predrag Radosavljevic and Joseph R. Cavallaro
<http://www.ece.rice.edu/~rpredrag/doc/MWCAS.pdf>
- [5] **Penn State User Story**
Penn State University Develops Software-Defined Radio Ground Station for Nanosatellite
http://www.mathworks.com/company/user_stories/userstory10810.html?by=industry
- [6] **ETRI User Story**
ETRI Develops Modem Synchronization Technology for Fourth-Generation Mobile Telecommunications System
http://www.mathworks.com/company/user_stories/userstory8529.html
- [7] **Using MATLAB and Simulink in a SYSTEMC Verification Environment**
Boland, Thibeault, Zilic
DVCon paper, <http://www.imece.mcgill.ca/people/professors/zilic/DVCon05.pdf>
- [8] **DVB-T System Analysis using System Level Co-simulation**
CDNLive! Conference paper 2008
Munich Germany, April 28-30
Hans-Werner Groh – Atmel Germany GmbH
Walter Hartong – Cadence Design Systems GmbH
Uwe Eichler – Fraunhofer Institute for Integrated Circuits
http://www.cadenceevents.com/cdnlive/eu/index.cfm?action=agenda_overview2#

進一步閱讀

- 2004/2002 IC/ASIC Functional Verification Study Collett International Research
Design & Reuse Headline News
<http://www.us.design-reuse.com/news/?id=7379&print=yes>
- EETimes
<http://www.eetimes.com/news/design/showArticle.jhtml?articleID=174900365>
- Managing Data Flow in SoC and ReConfigurable Platform-Based Silicon Solutions
By Steve Kompolt
<http://www.edadesignline.com/showArticle.jhtml?articleID=192200362>
- Modeling the real-life RF channel and its complexities
RTX Telecom Delivers Advanced Test Terminal Using MathWorks Tools
<http://www.mathworks.com/products/commblockset/userstories.html?file=6311&title=RTX%20Telecom%20Delivers%20Advanced%20Test%20Terminal%20Using%20MathWorks%20Tools>
- Verification Management: The Path of Evolution
You have gigabytes of verification data—what does it all mean? Verification management is both the next hurdle and the next path in verification evolution.
http://www.portabledesign.com/article?article_id=167
- Recorded Webinar: Verifying Signal Processing and Communications Systems
Mike Woodward 28 Feb 2008
The MathWorks
<http://www.mathworks.com/company/events/webinars/index.html?language=en&app=dsp>
- Ken Karnofsky
EE Times
02/04/2008
<http://www.eetimes.com/news/design/showArticle.jhtml?articleID=205920410>
- By Apurva Kalia, Cadence Design Systems
Multi-language Functional Verification Coverage for Multi-site Projects
EDA Design Line
<http://www.edadesignline.com/howto/206504517>
<http://www.embedded.com/design/206800177>
part 2
<http://www.edadesignline.com/howto/207200282?jsessionid=1DJ2YF3A0HCSMQSNDLPSKH0CJUNN2JVN>
- Microsoft Cognitive Radio Prototype Arrives at FCC
http://spectrumtalk.blogspot.com/2007_03_01_archive.html
- SDR 2007 Technical Conference - Denver, Colorado
November 8, 2007: Session 4.5
Doug Jaeger, Patrick Ring, Matthew Vondal
STS Division, IT/TASC, Northrop Grumman Corporation
fred harris, San Diego State University