



# 百萬閘單晶片系統之設計方法論—子計畫五

## 單晶片系統之相輔設計

### Hardware-Software Codesign for System-On-a-Chips

計畫編號：NSC90—2215—E002—010

執行期限：90年08月01日至91年07月31日

主持人：陳少傑 台灣大學電子工程研究所

計畫參與人員：鄭伯燻、趙淳安、黃聰琦 台灣大學電子工程研究所

#### 一、中文摘要

目前，在學術界及工業界均針對單晶片系統 (System-On-a-Chip, SOC) 的設計提出一些初步的方法及技術。然而，系統工程師最欠缺的就是一套可以使其在製程之前做系統設計的方法論及工具。我們在本計畫中提出一套可用於多媒體系統 SOC 之軟硬體設計工具。

在設計多媒體應用系統時通常可以分成軟體與硬體兩大部份來考慮，由於硬體的開發成本較高，所以設計者通常會希望大部份的功能可以用軟體的方式來實現，只有那些比較耗費運算能力及具執行時間上限制的功能才會交給硬體來做。在這篇報告中，我們提出一個系統功能層次 (System-Function Level) 的軟硬體分割法並將其運用在多媒體應用的系統分割上，同時我們也以 JPEG 2000 編碼系統為例說明如何應用我們提出的方法找出一個能滿足所有設計限制的最佳解。而這篇報告中所提出的軟硬體分割法不僅能用在傳統的軟硬體相輔設計 (Hardware-Software Codesign) 流程之中，同時也可以應用在整合平台為基礎的功能-架構相輔設計 (Function-Architecture Codesign) 內。

**關鍵詞：**單晶片系統、軟硬體分割、系統設計方法論

#### Abstract

Currently, codesign methodologies and techniques are being proposed for the design of SOC both in academia and in industry. One of the most urgent tasks at this time is to allow a smooth transition from IC design to system design, which requires a hardware-software codesign methodology and a tool for designers to easily *design* their highly complex designs before the actual costly fabrication. With this goal in mind, we are developing a hardware-software (H/W-S/W) CO-design tool for multimedia system SOC.

Implementing a multimedia system can be divided into two different portions: software portion and hardware portion. Due to the higher cost in developing hardware, the designer would usually prefer to implement a system mostly by a software-solution. Only the functions that have a higher performance requirement or a tight timing constraint would be implemented as hardware. In this report, we propose a system/function level hardware/software partitioning method to perform system partitioning for multimedia applications. We also use JPEG2000 coding system as an example to demonstrate how to perform design space exploration by using our methodology to obtain an optimal system partitioning that can satisfy user defined design constraints. Our partitioning method could not only be used in traditional hardware/software codesign flow, but also can be used under the integrated

platform-based function-architecture  
codesign.

**Keywords:** System-On-a-Chip,  
Hardware-Software Partitioning,  
System design methodology

## 二、緣由與目的

隨著中央處理器運算能力不斷地提升，人們可在個人電腦上欣賞各式各樣的多媒體影音娛樂。一些新的多媒體影音標準像是 MPEG-I, MPEG-II, MP3, JPEG 2000 等都已能用純軟體執行方式在電腦上呈現。但當使用者想以更方便且更為便宜的方式來使用它們時，如何減少不必要的系統成本將成為製造業者的一個重要考量。

個人電腦之所以能夠執行各種程式主要是因為它配有威力強大的處理器，但在一個固定用途的產品內使用一顆運算能力強大的多功能處理器會使得整體開發成本大為提升，所以設計者往往會把比較複雜的運算交由另行製造的 ASIC 來執行，如此一來不但可以不需要選用功能強大的處理器以降低開發成本同時又可以獲得很好效能的執行效能，而所謂的軟硬體相輔設計就是在討論如何以最低的成本來開發出一個執行效率最好的產品。在這篇報告中我們修改了傳統軟硬體相輔設計的方法並將之使用在開發多媒體應用 (Multimedia Applications) 上面，同時我們也加入了系統單晶片 (System-on-Chip) 的概念盡量將整個系統以單晶片的形式來完成。

## 三、研究方法

軟硬體相輔設計可以視為一種軟體與硬體間相互合作開發的方法，它的目地在於降低產品開發成本，縮短開發時間以及減少設計開發者的負擔，而在整個相輔設計的流程中，設計者應就所有可能的架構分析其優點並找出最佳解決方案。一個產品在軟體部份的設計往往能增加整個產品應用的彈性及較佳的除錯環境，其缺點是

執行速度較慢。硬體所需的開發成本較高，但相對地卻能增進整體執行效能。而如何在軟體及硬體間做出最佳抉擇正是軟硬體相輔設計所討論的問題。

在傳統的產品開發流程裡，軟體及硬體被獨立開來進行設計一直到最後的階段才做整合。在這種開發流程下大部份的功能都會以硬體優先的方式來實現而不會去考慮用軟體來幫助做一些簡易的運算，雖然如此也能開發出整個系統，但其缺點在於硬體上可能會有不必要的浪費，另一方面，晚期的軟硬體整合若不順利還會增加潛在的開發負擔。由此可知若有一種良好的軟硬體相輔設計方法將可使整個開發過程更有效率，同時又能降低製造產品所花費的成本。

在整個開發過程中，軟體與硬體的分割相當重要因為它會影響整個產品最後被實現的架構，所以設計者在做軟硬體分割時應該要考慮到最後希望用怎樣的形式來呈現整個產品。在大多數的情形下，軟硬體分割所討論的問題在於如何適當地將系統內不同的功能分別對應到某顆處理器上或是交由特定 ASIC 來執行。而針對整個過程中不同的特定架構 (Target Architecture) 或是分割目標 (Partitioning Goal) 及解決方法，設計者可以做出各式各樣的假設。

軟硬體分割的流程是從建立一個與系統相對應的分割圖形 (Partitioning Graph) 開始，再來要決定用以實現整個系統的特定架構，訂定效能評估標準 (Estimation Factors) 以及設計上的限制 (Design Constraints)，最後要訂定目標方程式 (Objective Function)，然後依據所訂定的目標方程式找出一個能滿足所有條件的最佳解。

## 四、結果與討論

當我們把一個系統切成數個子系統時常可以輕易的挑出一些比較關鍵的功能來給硬體做，但有時這種選擇並不明顯，而在這種時候如果能有的電腦輔助工具將會使整個工作更為簡便。在這篇報告中我們針對多媒體應用提出了一個新的軟硬體分割法，這個方法分為兩個步驟：在第一

個步驟中先以全軟體的形式將整個系統實作出來並在所選用的特定架構上對整個軟體進行執行效能評估並選出有機會被以硬體形式實現的部份。在第二個步驟中我們使用一個基因演算法(Genetic Algorithm)依據使用者所下的設計限制來為整個系統找出最佳的軟硬體分割。

我們以最新的 JPEG 2000 靜態影像編碼系統為例，說明如何使用我們所提出的軟硬體分割法來做設計空間的探索。在 JPEG 2000 的標準中，對一幅影像進行編碼主要分成七個動作，分別是 Inter-Component Transform, Tiling, Intra-Component Transform, Quantization, Context Formation 以及 Arithmetic Coding，我們首先把整個系統以純軟體的形式在個人電腦上實作，接著再移植到 Altera 公司出的 Excalibur SOPC 套件上，使用其內建的 NIOS 嵌入式處理器來對整個系統作軟體上的效能評估並選出有機會用硬體來實現的部份，然後使用者所下的設計限制來求出整個系統軟硬體分割的最組合。

## 五、計畫成果自評

在這篇報告中我們提出了一個新的多媒體應用單晶片系統軟硬體分割法，它主要分為兩個步驟：在第一個步驟中先以全軟體的形式將整個系統實作出來，並在所選用的特定架構上對整個軟體的執行效能進行評估且選出有機會被以硬體形式實現的部份。在第二個步驟中，使用者可以下一些設計上的限制來決定最後分割出來的結果之差異性以及使用我們的方法來做設計空間探索，而依照不同的設計限制將會得到不同的系統分割結果。

## 六、參考文獻

- [1] F. Balarin, M Chiodo, P. Giusto, H. Hsieh, A. Jurecska, L. Lavagno, C. Passerone, Sangiovanni-Vincentelli, E. Sentovich, K. Suzuki, and B. Tabbarra, *Hardware-Software Co-design of Embedded Systems The POLIS Approach*, Kluwer Academic Publishers 1997.
- [2] Henry Chang, Larry Cooke, Merrill Hunt, Grant Martin, Andrew McNelly, Lee Todd, *Surviving the SOC Revolution*, Kluwer Academic Publishers 1999.
- [3] R. Niemann, *Hardware-software Co-design for Data Flow Dominated Embedded Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [4] J. Henkel, Th. Benner, R. Ernst, W. Ye, N. Serafimov, and G. Glawe. "COSYMA: A Software-Oriented Approach to Hardware-software Codesign", *The Journal of Computer and Software Engineering*, 2(3):293-314, 1994.
- [5] Rajesh Kumar Gupta, *Co-synthesis of Hardware and Software for Digital Embedded Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [6] R.K. Gupta and G. De Micheli, "Hardware-software Cosynthesis for Digital Systems", *IEEE Design and Test of Computers*, pp. 29-49, 1993.
- [7] Jorgen Staunstrup, Wayne Wolf, *Hardware-software Co-Design: Principles and Practice*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [8] R. Niemann, *Hardware/Software Co-design for Data Flow Dominated Embedded Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [9] J. Henkel and R. Ernst, "A Hardware-software Partitioner using a dynamically determined Granularity.", In *Proceedings 34th Design Automation Conference (DAC '97)*, pages 691 -- 696, 1997.
- [10] R. Ernst, J. Henkel, and Th. Benner. "Hardware-software Cosynthesis for Microcontrollers.", *IEEE Design & Test of Computers*, 10(4):64-75, December 1993.
- [11] P. V. Kundsén and J. Madsén. "PACE: A Dynamic Programming Algorithm for Hardware-software Partitioning". *International Workshop on Hardware-software Codesign*, pp.85-92, 1996.
- [12] A. Kalavade; E.A. Lee, "A Global Critically/Local Phase Driven Algorithm for

- the Constrained Hardware/Software Partitioning Problem”, *International Workshop on Hardware/Software Codesign*, pp. 42-48,1994
- [13] Mishra, S.M.; Balaram, A.,” Efficient hardware-software co-design for the G.723.1 algorithm targeted at VoIP applications”, *IEEE International Conference on Multimedia*, Volume: 3, Page(s): 1379 -1382 vol.3, 2000.
- [14] Nieuwland, A.K.; Lippens, P.E.R. “A heterogeneous HW-SW architecture for hand-held multimedia terminals”, *IEEE Workshop on Signal Processing Systems*, Page(s): 113 –122, 1998.
- [15] Kim, S.D.; Jang, S.K.; Lee, J.; Ra, J.B.; Kim, J.S.; Joung, U.; Choi, G.Y.; Kim, J.D.,”Efficient hardware-software co-implementation of H.263 video codec” 1998 *IEEE Second Workshop on Multimedia Signal Processing*, Page(s): 305 –310, 1998.
- [16] Fayad, G.; Khordoc, K. ,”An object-oriented refinement methodology through the design of a settop-box”, *Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2000 Canadian, Volume: 2, Page(s): 1032 -1036 ,2000.
- [17] Suzuki, F.; Koizumi, H.; Hiramane, M.; Yamamoto, K.; Yasuura, H.; Okino, K. “ A HW-SW co-design environment for multi-media equipments development using inverse problem “, *Proceedings of the Fifth International Workshop on Hardware-software Codesign (CODES/CASHE '97)*, Page(s): 153–157,1997.
- [18] Castellano, J.P.; Sanchez, D.; Cazorla, O.; Suarez, A. ,”Pipelining-based tradeoffs for hardware-software codesign of multimedia systems”, *8th Euromicro Workshop on Parallel and Distributed Processing*, 2000, Page(s): 383–390, 1999.
- [19] Lippens, P.; Nagasamy, V.; Wolf, W., “CAD challenges in multimedia computing”, 1995 *IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design*, Page(s): 502 –508, 1995.
- [20] “JPEG 2000 image coding system -- Part 1,” Standard ISO/IEC 15444-1:2000, 2000.