

# Predictable Dynamic Virtual Channel Allocation

## Strategy for Network on Chips

### 應用於網路單晶片之預測式

### 動態虛擬通道配置策略

李宗演

台北科技大學  
電腦與通訊研究所  
tylee@ntut.edu.tw

林明緯

台北科技大學  
電腦與通訊研究所  
t7418081@ntut.edu.tw

蔡加春

南華大學  
資訊工程學系  
chun@mail.nhu.edu.tw

**Abstract:** This paper presents a dynamic power management technique, namely dynamic virtual channels allocation (DVCA), for improving the performance of virtual channels utilization in network on chips. The proposed method uses of the traffic conditions and past buffer utilization to dynamically predict the number of virtual channels. The number of VCs will be allocated to the corresponding input channel depending on the traffic load. This method reduces the number of buffer and the power consumption of router under average the data communication rate. The experimental results show that the proposed method improves the data communication rate by 77.24% and number of virtual channel prediction by 50%.

**Keyword:** Network on chip (NoC), Virtual channel, power consumption.

**摘要—**為了提高在網路單晶片(Network-on-Chip, NoC)中的虛擬通道配置的效能，本文提出一個預測式動態虛擬通道配置(dynamic virtual channel allocation, DVCA)管理方法，本方法是利用資料流量(traffic)的高低狀態及過往緩衝器(buffer)的使用率，動態地預測在下一週期內所需要被開啟的虛擬通道個數。依據低資料流量傳輸大小，分別配置所需的虛擬通道數目到其對應的輸入通道上。其優點為降低路由器(router)中對於緩衝器的使用，

並使得功率消耗較佳化且維持資料傳輸率。由實驗結果得到，本方法與參考文獻[9]相比之下，在資料傳輸流量及虛擬通道開啟個數的預測分別可改善 77.24 %與 50 %。

**關鍵詞—**網路單晶片，虛擬通道，功率消耗

## 一、前言

網路單晶片(Network-on-Chip, NoC)已廣泛用來解決系統單晶片(System-on-Chip, SoC)中元件間互相聯繫的功率(power)及延遲(delay)問題[1][2]。在路由器中各種不同的元件，緩衝器為最大的動態功率消耗來源，並且隨著封包流量產出(packet flow throughput)的增加而快速的增加。我們得知增加緩衝器的尺寸可以明顯地改善內部交換網路的效能[3]，但是所要付出的代價則為較高的功率消耗，因此，如何最佳化緩衝器的尺寸大小是很重要的問題。一般來說，可以使用蟲洞繞線(wormhole routing)方法來減少緩衝器的尺寸大小[4]。在網路單晶片中，除了功率消耗外，我們也必須考慮到資料傳輸的延遲問題，為了達到延遲的最小化，虛擬通道(virtual channel)的技術被發展出來解決這個問題[5]，虛擬通道的基本概念為在兩個路由器之間提供了虛擬的傳輸，除了避免死結(deadlock)的狀況外，增加虛擬通道後的產出與未加入的

相比也有大幅度的提升。使用虛擬通道，增加了網路單晶片的通訊產出，但是因為增加了緩衝器的使用，所以功率消耗也隨之增加。因此，降低網路單晶片的功率消耗也是重要的工作。

在目前的網路單晶片研究中，虛擬通道為一種以 *flit* (flow digit unit) 為單位的流量控制 (flow control)，一個 *flit* 與實體通道 word (*phit* 或 *physical unit*) 相等為  $n + 2$  bits。*flit* 為此流量控制中所能表示的最小單位。一個傳統的緩衝器如圖 1 所示，在其結構中有一個先進先出 (first input first output, FIFO) 緩衝器會與每一個連接兩個鄰近節點的通道連結。在網路中使用蟲洞繞線，封包 A 也許會遇到堵塞 (blocked) 的狀況，此狀況是由於在封包間的競爭失敗，然後將會造成此封包閒置並佔據許多節點中全部的緩衝器和通道。在這個例子裡，其他的封包 (封包 B) 也許會遇到堵塞狀況，由於封包 A 堵塞位於封包 B 的有效通道上。

虛擬通道的概念為一個原始的先進先出緩衝器與每一個通道連結成許多通道 (channel)，然後每一條通道中的緩衝器可獨立地被分配。我們稱每一個原始先進先出緩衝器和連接兩個節點的通道為實體通道 (physical channel)，而先進先出緩衝器中的每條通道為虛擬通道。虛擬通道是在兩個相鄰節點之間的邏輯通訊 (logical communication) 通道。實體通道藉由需求驅動多工 (demand-driven multiplexing) 分享給許多個虛擬通道，如圖 2 所示。

如圖 1 所示，雖然繞線並沒有完全佔據其實體通道頻寬，但封包卻不能被傳送到下一個節點的虛擬通道的情況。在使用虛擬通道後，在相同實體通道上其他封包的 *flits*，仍然能經由其他的虛擬通道被傳送。只有當全部的虛擬通道變成閒置 (idle) 或被分配給封包，那就不能藉著接收節點來傳送，實體通道自身會變成閒置狀態。因此，這方法被用來增加產出和解除死結。理論上，伴隨著虛擬通道數目的增加，網路的

效能會更好。但實際上，虛擬通道數目的增加會造成虛擬通道的多工和配置上的控制負擔。

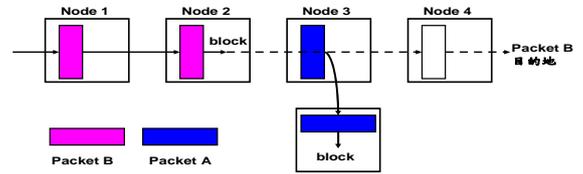


圖 1. 一個無虛擬通道的先進先出緩衝器，已阻塞的封包 A 造成封包 B 亦阻塞 [6]。

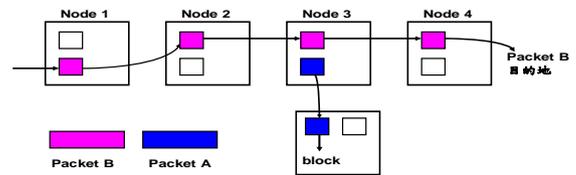


圖 2. 一個有著兩條虛擬通道的先進先出緩衝器，封包 B 可通過阻塞住的封包 A [6]。

## 二、相關文獻探討

目前在網路單晶片上，有許多針對虛擬通道配置問題的相關研究，其目的在於管理虛擬通道數目以降低系統的功率消耗 [7][8][9]。文獻 [9] 提出了一個動態功率管理技術，用來最佳化在網路單晶片中使用的虛擬通道數目。這個技術稱為動態虛擬通道配置 (dynamic virtual channel allocation, DVCA)，利用資料流量 (traffic) 的條件和過往緩衝器使用率，動態預測接下來應該有多少個虛擬通道該被開啟。在這個技術中，對低和高資料流量工作量，分別開啟少和多個虛擬通道，分配到相對應的輸入通道。如此一來，可以減少路由器的功率消耗並維持資料的傳輸率。使用多種資料流量模型模擬以評估所提出方法的功效。模擬的結果顯示減少了 35% 以上的緩衝器功率消耗，還有對於整體的路

由器而言，可達到節省 20%以上的功率消耗。但此篇論文在起初測量數據時會有較大的偏差，此乃因為預測值誤差過大所導致。因此如何使得我們所得到的預測值誤差在一個可接受的範圍內，是很重要的問題，本文與文獻[9]相較之下，在預測資料流量與虛擬通道個數方面有更進一步的改善。

### 三、交換器結構與資料流量參數定義

本文所使用的交換器為參考Rahmani et al.[9]。這個交換器主要可分為兩個部份，為輸入通道(input channel)和輸出通道(output channel)，接下來將詳細地介紹此交換器結構。

#### 3.1 交換器結構定義

這個交換器所使用的通訊模型為交握機制(handshake mechanism)。交換器與鄰近的交換器溝通是藉由傳送要求(request)和接收回應(response)來進行溝通。每一個鏈結(link)包含了兩個反向且單向的通道，它們被用來傳送資料，制定和流量控制訊號。資料除了  $n$  bits 長度之外，還有兩個 bit 被用來制定封包(packet framing)，分別為 bop(begin of packet)和 eop(end of packet)，bop 只被設定在封包標頭檔(packet header)中，eop 則被設定在最後的 packet trailer 中，因此交換器必須支援可變的封包長度。

此交換器是使用蟲洞封包交換方式，此方法處理訊息(message)是利用由 *flits* 所組成的封包來處理。*flit* 為此流量控制中所能表示的最小單位。在繞線演算法與仲裁機制方面，支援不同的 deterministic 或 adaptive 繞線演算法使用在 2-D 網狀(mesh)拓撲(topology)中。另外，round-robin 和 priority based 仲裁(arbitration)機制也支援這個交換器。在流量控制部份，因為此交換器是利用交握制來進行溝通，當傳送者(sender)擺放一筆資料在鏈結上時，它激發(activate)了 val (valid)訊號。當接收者(receiver)

接收了資料，它會激發 ack(acknowledge)訊號。在我們的虛擬通道管理方法中，在每個封包的接收後，虛擬通道控制器(VC Controller)配置一個空閒(free)的虛擬通道給這個封包並且鎖定(lock)此虛擬通道，直到封包離開這個虛擬通道。

最後介紹輸入與輸出通道部份。輸入通道模組如圖 3 所示。由四個重要的部分所組成，包括了虛擬通道控制器(VC Controller)，輸入端緩衝器(input buffer, IB)，輸入端控制器(input controller, IC)和輸入讀取交換器(input read switch, IRS)。在圖 3 中有四條虛擬通道被使用在輸入端通道。虛擬通道控制器對於流量控制採用交握協定，配置或解除配置每一個輸入端的虛擬通道和動態虛擬通道配置(dynamic virtual channel allocation, DVCA)機制。IB 區塊為一個  $p \times (n + 2)$  bits 大小的 FIFO 緩衝器，當其無法傳送到輸出端時，負責用來儲存由輸入端來的封包，虛擬通道的數目為  $p$ 。IC 區塊則執行繞線功能，而 IRS 負責傳送從輸出端來的讀取訊號到其該連接的 IB。所提出的交換器，其輸出端通道架構與 RASoC 交換器[10]相同，如圖 4 所示。

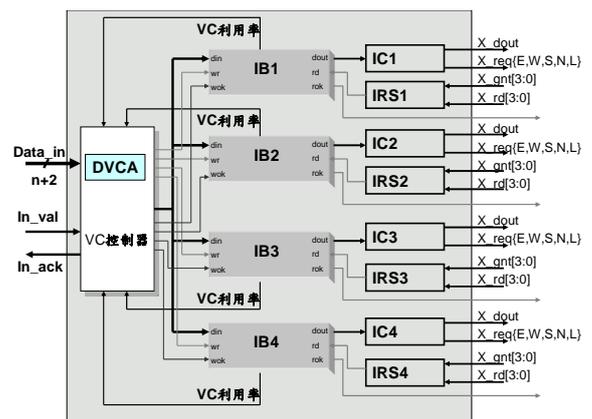


圖 3. 輸入端通道模組

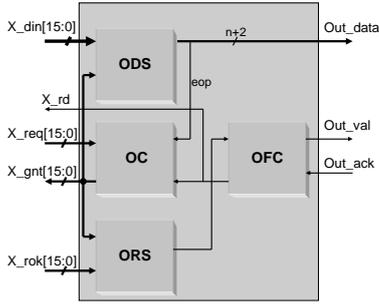


圖 4. 輸出端通道模組

### 3.2 通訊資料流量參數定義

資料流量(communication traffic, CT)參數特性可在輸入端通道取得。許多不同的資料流量參數，例如鏈結使用率等，已在[11]被提出，但是在這些參數中，皆不能使用單一參數來正確的表達在以虛擬通道為基底輸入端通道架構中的資料流量狀況，因此我們必須結合這些參數來發展出一個適合且有效地用於預測網路工作量，我們在此使用了鏈結使用率(link utilization, LU)和虛擬通道使用率(virtual channel utilization, VCU)來發展我們的資料流量預測方法，此方法是基於預測通訊資料流量所制定的，我們利用所預測得到的下一週期的通訊資料流量，以判斷是否增加或減少虛擬通道的數目。

在輸入通道端通訊資料流量的特性，我們可以利用許多的參數來取得，其中以鏈結使用率為最重要的指標。鏈結使用率的定義如下：

$$LU = \frac{\sum_{t=1}^H u(t)}{n \times H}, \quad 0 \leq LU \leq 1 \quad (1)$$

首先我們看到方程式(1)中，當  $u(t)$  為 1 時表示有資料流量在 cycle  $t$  時間通過 link  $i$ ，若無則表示為 0。 $n$  為虛擬通道數目， $H$  為一個觀察期

(window)大小內的 clock cycle 數目。對於資料流量工作量而言，鏈結使用率為一個最直接的測量，高鏈結使用率表示許多資料傳送到下一個路由器。假設歷史是可以預測的，這指出需要一個高的鏈結頻率來符合其效能需求。相反地，低鏈結使用率則指出了有許多閒置 cycle 的存在，因此降低鏈結的頻率可以使得功率消耗降低。

我們可得知鏈結使用率在資料流量不同時所呈現的狀態，在低資料流量負擔時，緩衝器和鏈結間的競爭很少。在這情況下，低使用率被 *flit* 抵達率(arrival rate)所限制，而 *flit* 抵達率在低資料流量負擔時為低。當網路的資料流量慢慢增加，更多的 *flit* 在相鄰的路由器間傳遞，其相對應的鏈結使用率也相對的增加。當網路的資料流量接近其擁塞點(congestion point)時，資源的競爭導致了在輸入端緩衝器產生了延遲(stall)，因為 *flit* 只能在所要傳送的下一個路由器內可用緩衝器為閒置(free)時進行傳送。在連續的路由器內受限制的可用緩衝器空間變成一個更嚴格的條件，造成鏈結使用率下降。當網路為高度壅塞的狀態，在路由器內的 *flit* 傳輸完全地被未佔用緩衝器的可用性給限制住。如此一來鏈結使用率開始下降。

觀察鏈結使用率情況，我們可以得知鏈結使用率在於高資料流量和低資料流量時所展現的特性是相似的，所以說我們只單獨使用鏈結使用率來進行資料流量的判斷是不夠的，因此我們得加入其他的參數，幫助我們在進行資料流量的判斷時能夠更加準確的顯現出真實的資料流量趨勢。所以利用了另一個參數，稱為虛擬通道使用率(virtual channel utilization, VCU)來補足鏈結使用率的缺點[9]。

$$VCU = \frac{\sum_{s=1}^H L(s)}{H}, \quad 0 \leq VCU \leq 1 \quad (2)$$

$L(s)$ 則表示在  $s$  cycle 範圍內，虛擬通道佔據的狀態，等於 1 表示被佔據而等於 0 則否。虛擬通道使用率顯示目前虛擬通道被佔據的情況，再將每個虛擬通道的虛擬通道使用率累加起來，可得另一個參數，為整體虛擬通道使用率 (overall virtual channel utilization, OVCU)，表示如下。

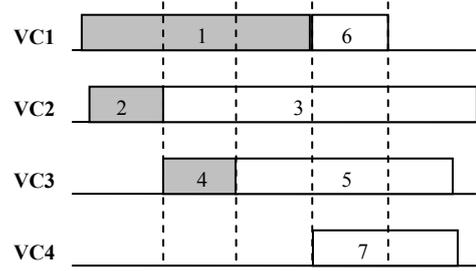


圖 5. 虛擬通道上封包編號

$$OVCU = \frac{\sum_{i=1}^n VCU_i}{n}, 0 \leq OVCU \leq 1 \quad (3)$$

目前我們得到了三個參數，分別為鏈結使用率(LU)，虛擬通道使用率(VCU)，整體虛擬通道使用率(OVCU)，接著利用圖 5和表 1來說明如何計算LU，VCU，OVCU。在這例子中，設定觀察期( $H$ )為 5，在每個輸入端的虛擬通道個數( $n$ )為 4， $VCx$ 代表的意義為在 cycle  $i$ 時在給定的虛擬通道(VC)上所存在的封包編號，以VC1說明，在此例子中VC1 在cycle1 至cycle3 都被封包 1 所佔據，到cycle4 時，封包通過VC1 而由封包 6 所佔據，最後cycle5 時，封包 6 離開VC1，且沒有新的封包佔據VC1。 $Lx$ 所代表的意義為所對應的虛擬通道鎖定(lock)的狀態，若虛擬通道有封包佔據，則 $Lx$ 則顯示 1，反之為 0。

利用方程式(1)，可求出鏈結使用率(LU)，得到的結果為  $7/20$ 。再利用方程式(2)與(3)，得到虛擬通道使用率(VCU)和整體虛擬通道使用率(OVCU)，計算後可得知 OVCU 為  $15/20$  可簡化為  $3/4$ 。得到 LU 和 OVCU 後，就要利用這兩個參數來判斷下一個週期的資料流量狀況，然後用來進行虛擬通道個數的增加或減少。

表 1 紀錄各虛擬通道上鎖定情況

Cycle	VC1	VC2	VC3	VC4	L1	L2	L3	L4
1	1	2	-	-	1	1	0	0
2	1	3	4	-	1	1	1	0
3	1	3	5	-	1	1	1	0
4	6	3	5	7	1	1	1	1
5	-	3	5	7	0	1	1	1
Total	2	2	2	1	4	5	4	2

## 四、預測式動態虛擬通道配置法

### 4.1 預測資料流量

本文提出動態虛擬通道配置法(DVCA)中，使用鏈結使用率和虛擬通道使用率兩參數來計算先前的資料流量狀態。基於這個資訊，我們預測下一個週期的資料流量狀態，並調整所需要被開啟的虛擬通道數目。為了降低所提出的 DVCA 單位的面積和功率負擔，我們應該簡化預測方程式。為了達到這個目的，使用了簡單權重方程式來結合這兩個測量。

$$CT = LU + W \times (OVCU - LU) \\ 0 \leq W \leq 1, 0 \leq CT \leq 1 \quad (4)$$

$W$  為預測權重， $CT$  為資料流量參數，在這個方程式中，我們設定  $W$  為 0.5，如此一來我們簡化了方程式(4)，使之成為一個簡單的平均方程式。如同這個方程式所表示，資料流量為由鏈結使用率和網路工作量(network load)所組成的方程式。網路工作量與虛擬通道額外的鎖定量和權重常數  $W$  的乘積成比例關係。為了使得預測方程式具有可靠性，我們使用一個指數平滑函數，所以我們可得到下面的式子：

$$\Delta CT = CT_{actual} - CT_{past}$$

if  $\Delta CT > 0$

$$CT_{predict} = CT_{actual} + (1 - \alpha) \times \Delta CT$$

if  $\Delta CT < 0$

$$CT_{predict} = \alpha \times CT_{actual} + (1 - \alpha) \times \Delta CT \quad (5)$$

$\alpha$  為預測權重， $CT_{predict}$  為預測得到的  $CT$  值， $CT_{actual}$  為在現今觀察期( $H$ )內得到的實際  $CT$  值， $CT_{past}$  為在先前的週期( $H$ )內的  $CT$  值， $\Delta CT$  定義為  $CT_{actual}$  與  $CT_{past}$  兩者間的增減量，因此我們就藉由  $\Delta CT$  參數來判斷資料流量的趨勢，若是  $\Delta CT$  參數為正，所代表的意義為  $CT$  的傳輸狀況正在增加，所以我們便假設此趨勢將會持續下去，反之亦然。在式子中  $\alpha$  為最重要的參數，他決定了此運算式用來預測的準確性。基於這個預測，虛擬通道控制器將決定增加、減少或是維持相同被開啟的虛擬通道數目。我們可以將提出的動態預測虛擬通道策略，利用虛擬碼的形式寫成演算法，如圖 6 所示。

## 4.2 硬體實現方式

圖 7 顯示所提出的基於預測的 DVCA 策略所實現的硬體結構實現圖，這個策略是依靠鏈結

使用率和緩衝器資訊所實現。為了測量鏈結使用率，使用了一個計數器(counter)在每一個輸入通道端，用來統計在所觀察區間內通過鏈結的封包總數量。相同地，也有著一個計數器用來計算每條虛擬通道的鎖定位(VCU)。為了計算總體虛擬通道使用率(OVCU)，利用一個加法器(adder)來累加每一輸入通道端的虛擬通道使用率。資料流量控制器利用式子(4)來計算資料流量。

```

Input :  $CT_{actual}$  ,  $CT_{past}$  ,  $CT_{predict}$ 
Output :  $VC_{req}$  ,  $CT_{past}$ 
 $\Delta CT \leftarrow CT_{actual} - CT_{past}$ 
if ( $\Delta CT > 0$ ) then
    if ( $VC_{req} = p$  and  $CT_{predict} > \frac{(H \times VC_{req}) - 1}{H \times n}$ ) then
         $VC_{req} = VC_{req} + 1$ 
    else
         $VC_{req} = VC_{req}$ 
    end if
else if ( $\Delta CT < 0$ ) then
    if ( $VC_{req} = p$  and  $CT_{predict} < \frac{VC_{req}}{n}$ ) then
         $VC_{req} = VC_{req} - 1$ 
    else
         $VC_{req} = VC_{req}$ 
    end if
end if
 $CT_{past} = CT_{actual}$ 

```

圖 6. 預測式之動態虛擬通道配置法

而預測單元利用計算出的資料流量和上一個觀察期所得到的實際資料流量來預測出下一個觀察週期區間內的資料流量。利用一個暫存

器來儲存現今資料流量值( $CT_{actual}$ )，以便在預測下一個觀察區間時用來當作先前資料流量值( $CT_{past}$ )使用。

決策邏輯單位(decision logic)工作為決定所需要被開啟的虛擬通道個數，利用的資訊為預測資料流量值、先前資料流量值和前一觀察週期內開啟的虛擬通道個數。基於所需要的虛擬通道個數，每一輸入端通道內的虛擬通道數目將會改變，這個虛擬通道數目的改變是藉由 clock gating 技術來達成。

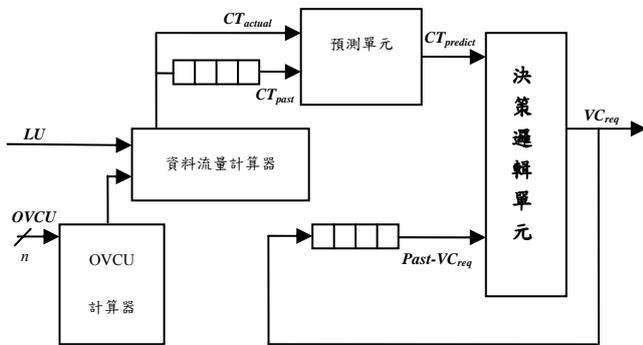


圖 7. 實現 DVCA 策略之硬體結構

## 五、實驗結果與討論

此章節中，我們利用所提出來的可預測式動態虛擬通道配置方法來做模擬計算。首先我們必須先得到鏈結使用率和虛擬通道使用率的資訊，因此我們在此假設觀察期的範圍為 4 時鐘週期( $H=4$ )，最大可用虛擬通道數目為 4 條( $n=4$ )。

表 2 為我們所假設的資料傳輸狀況，利用此表，使用式子(1)、(2)、(3)可以求出在此傳輸情況下各個觀察期( $H$ )的鏈結使用率與虛擬通道使用率，計算結果列於表 3。接下來我們再利用式子(4)與式子(5)計算出在各個觀察期( $H$ )內的現今資料流量( $CT_{actual}$ )及預測的資料流量( $CT_{predict}$ )，在我們參考文獻[9]，將式子(5)的變

數 $\alpha$ 設為 3/4，因此我們可以得到五個觀察期的  $CT_{actual}$  與其  $CT_{predict}$  值，計算結果列於表 4，表 4 中的  $CT_{actual}$  即為理想值。接著我們由表 4 所得到的資料，並依照圖 6 中演算法，判斷在下一個觀察期時，虛擬通道個數增減或是維持不變狀況。

表 2 紀錄各虛擬通道上鎖定情況

	Cycle	$VC_1$	$VC_2$	$VC_3$	$VC_4$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$
$H_1$	1	1	-	-	-	1	0	0	0
	2	2	3	-	-	1	1	0	0
	3	2	4	-	-	1	1	0	0
	4	5	6	-	-	1	1	0	0
	Total	3	3	0	0	4	3	0	0
$H_2$	5	7	8	-	-	1	1	0	0
	6	9	8	-	-	1	1	0	0
	7	9	10	11	-	1	1	1	0
	8	12	10	11	-	1	1	1	0
	Total	3	2	1	0	4	4	2	0
$H_3$	9	13	14	-	-	1	1	0	0
	10	13	15	16	-	1	1	1	0
	11	17	15	18	-	1	1	1	0
	12	17	15	18	19	1	1	1	1
	Total	2	2	2	1	4	4	3	1
$H_4$	13	17	20	18	-	1	1	1	0
	14	21	20	22	-	1	1	1	0
	15	21	23	22	-	1	1	1	0
	16	24	23	-	-	1	1	0	0
	Total	3	2	2	0	4	4	3	0
$H_5$	17	24	25	-	-	1	1	0	0
	18	24	25	-	-	1	1	0	0
	19	26	25	-	-	1	1	0	0
	20	27	28	-	-	1	1	0	0
	Total	3	2	0	0	4	4	0	0

表 3 觀察區間內 LU 值及 OVCU 值

	鏈結使用率(LU)	虛擬通道使用率(OVCU)
$H_1$	$LU_1 = 6/16 = 0.375$	$OVCU_1 = 17/16 = 0.4375$
$H_2$	$LU_2 = 6/16 = 0.375$	$OVCU_2 = 10/16 = 0.625$
$H_3$	$LU_3 = 7/16 = 0.4375$	$OVCU_3 = 12/16 = 0.75$
$H_4$	$LU_4 = 7/16 = 0.4375$	$OVCU_4 = 11/16 = 0.6875$
$H_5$	$LU_5 = 5/16 = 0.3125$	$OVCU_5 = 08/16 = 0.5$

表 4 觀察區間內 CT 理想值及 CT 預測值

	理想值( $CT_{actual}$ )	預測值( $CT_{predict}$ )
$H_1$	$CT_{actual1} = 13/32 = 0.406$	$CT_{predict2} = 65/128 = 0.508$
$H_2$	$CT_{actual2} = 16/32 = 0.500$	$CT_{predict3} = 18/32 = 0.5625$
$H_3$	$CT_{actual3} = 19/32 = 0.594$	$CT_{predict4} = 39/64 = 0.609$
$H_4$	$CT_{actual4} = 18/32 = 0.563$	$CT_{predict5} = 75/128 = 0.586$
$H_5$	$CT_{actual5} = 13/32 = 0.406$	

表 5 預測 CT 誤差值

CT 值					
	理想值	Ref [9]	誤差	Proposed	誤差
$H_1$	0.406	-	-	-	-
$H_2$	0.500	0.305	39.00%	0.508	1.60%
$H_3$	0.594	0.451	26.05%	0.523	11.95%
$H_4$	0.563	0.558	0.88%	0.609	8.17%
$H_5$	0.406	0.561	38.18%	0.414	1.97%
誤差	-	-	26.023%	-	5.923%
改善	$(26.023 - 5.923 / 26.023) \times 100\% = 77.24\%$				

對於CT值與虛擬通道個數的判斷結果列於表 5與表 6中在第一個觀察期時，我們無法得到先前的資料流量狀況( $CT_{past}$ )，因此從第二個觀察期( $H_2$ )開始進行比較。在最後我們與參考文獻 [9]相比，可以發現在預測CT值部份，所提出的方法可改善 77.24%誤差，而在預測虛擬通道開啟個數部份，則提高了 50%的正確率。

表 6 預測開啟 VC 個數準確率

VC 個數					
	理想值	Ref [9]	正確	Proposed	正確
$H_1$	2	-	-	-	-
$H_2$	3	2	x	3	✓
$H_3$	4	3	x	3	x
$H_4$	3	3	✓	3	✓
$H_5$	2	3	x	2	✓
正確率			25%		75%
改善	$75\% - 25\% = 50\%$				

## 六、結論與未來工作

在目前網路單晶片研究中，其繞線方式通常都是採用蟲洞繞線(wormhole routing)，並提供一個簡單且快速的路由器，但是死結的發生為此項技術最大的缺點；然而使用虛擬通道(VC)的優點就是可以消除死結，因此蟲洞繞線與虛擬通道往往會結合在一起，取各自的優點，達到最佳表現，虛擬通道的目的為增加產出，但是虛擬通道緩衝器會增加功率消耗，所以如何減少功率消耗而又維持住產出的效能為一個重要的問題。本文中，我們提出以預測為基礎的動態功率管理方法，為了要控制被開啟的虛擬通道個數。這個方法使用了鏈結和虛擬通道的使用率來預測資料流量。基於被預測出的資料流量高低，利用clock gating技術來配置與解除虛擬通道，使得開啟的虛擬通道個數增加、減少或是保持不變。與文獻[9]相較之下，本方法可改善資料傳輸流量預測值 77.24%及虛擬通道開啟個數的預測值 50%。在未來的工作中，在未來的工作中，將更深入探討所提出方法對於網路延遲性的互相影響關係，希望在功率消耗與網路延遲性兩者之間作一個最佳的取捨延遲性兩者之間作一個最佳的取捨。

## 七、參考文獻

- [1] L. Benini and G. De Micheli, "Networks on chips: a new SoC paradigm," *IEEE Computer*, vol. 35, no. 1, pp. 70 – 78, Jan. 2002.
- [2] W. J. Dally and B. Towles, "Route packets, not wires: on-chip interconnection networks," in *Proceedings of the 38<sup>th</sup> Conference on Design Automation*, Las Vegas, NV, USA, June 18 – 22, 2001, pp. 684 – 689.
- [3] T. T. Ye, L. Benini, and G. De Micheli, "Analysis of power consumption on switch fabrics in network routers," in *Proceedings of the 39<sup>th</sup> Conference on Design Automation*, New Orleans, LA, USA, June 10 – 14, 2002, pp. 524 – 529.
- [4] L. M. Ni and P. K. McKinley, "A survey of wormhole routing techniques in direct networks," *IEEE Computer*, vol. 26, no. 2, pp. 62 – 76, Feb. 1993.
- [5] W. J. Dally, "Virtual-channel flow control," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 3, no. 2, pp. 194 – 205, Mar. 1992.
- [6] Y. – X. Lin, *Design of a Reconfigurable NoC Router with AMBA-based Network Interface*, Master Thesis of NCKU R.O.C, July 2006.
- [7] M. Mirza-Aghatabar, S. Koohi, and D. Rahmati, "An adaptive approach to manage the number of virtual channels," in *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Application*, Ginowan, Okinawa, Japan, Mar. 25 – 28, 2008, pp. 353 – 358.
- [8] I. Nousias and T. Arslan, "Wormhole routing with virtual channels using adaptive rate control for network-on-chip," in *Proceedings of NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems*, Istanbul, Turkey, Jun. 15 – 18, 2006, pp. 420 – 423.
- [9] A. M. Rahmani, M. Daneshtalab, A. Afzali-Kusha, S. Safari, and M. Pedram, "Forecasting-based dynamic virtual channels allocation for power optimization of network-on-chips," in *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Conference on VLSI Design*, New Delhi, India, Jan. 5 – 9, 2009, pp. 151 – 156.
- [10] C. A. Zeferino, M. E. Kreutz, and A. A. Susin, "RASoC: a router soft-core for networks-on-chip," in *Proceedings of Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition*, vol. 3, Feb. 16 – 20, 2004, pp. 198 – 203.
- [11] L. Shang, L. – S. Peh, and N. K. Jha, "Dynamic voltage scaling with links for power optimization of interconnection networks," in *Proceedings of the Ninth International Symposium on High-Performance Computer Architecture*, Anaheim, California, USA, Feb. 8 – 12, 2003, pp. 91 – 102.