

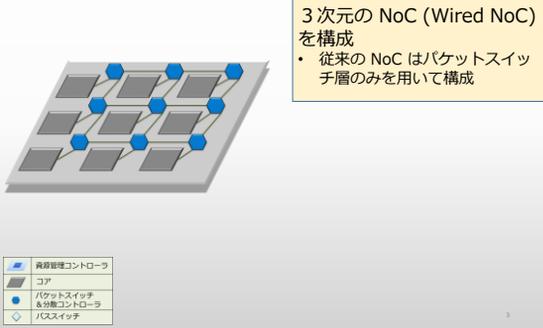
# Proposal and evaluation of energy-efficient Network-on-Chip architecture with integrating packet and path switches

大阪大学 大学院情報科学研究科  
 情報ネットワーク学専攻 村田研究室  
 池田 崇栄

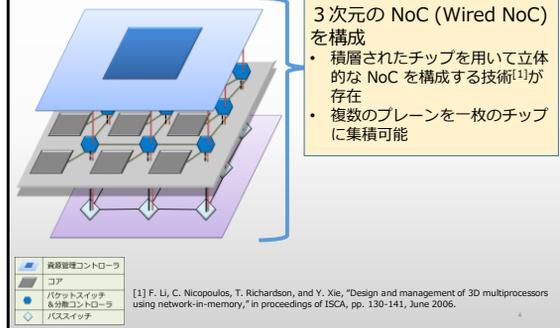
## 研究背景

- 回路集積技術の進展により、複数のコアを一枚のチップに収容したネットワークオンチップ (NoC) の検討が進められている
    - NoC はパケットスイッチネットワークを用いて構成され、中継するトラヒックが多くなると、多くの電力が必要
  - コア間の通信を低消費電力で収容する事が必要とされる
- 本研究の目的
- 低消費電力でコア間の通信を収容可能なネットワークオンチップアーキテクチャの提案と評価

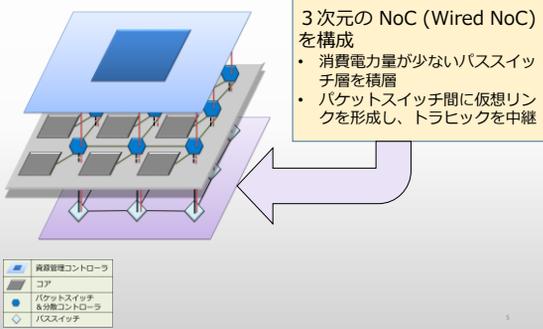
## 提案アーキテクチャ



## 提案アーキテクチャ

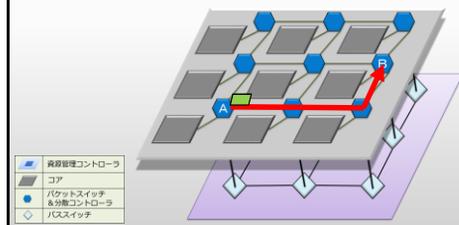


## 提案アーキテクチャ



## 仮想リンク

従来の NoC では、A から B まで通信を行うためには、パケットスイッチを二つ経由しなければならない



### 仮想リンク

パケットスイッチ A とパケットスイッチ B をバススイッチを用いて接続し、両スイッチ間に仮想リンクを設定

A からは、A と B を直接接続するような仮想リンクが張られたように見える

- 資源管理コントローラ
- コア
- パケットスイッチ & 分散コントローラ
- ◇ バススイッチ

### 提案アーキテクチャ

仮想リンクの制御  
 ・ 資源管理コントローラと分散コントローラが連携して行う

- 資源管理コントローラ
- コア
- パケットスイッチ & 分散コントローラ
- ◇ バススイッチ

### 提案アーキテクチャ

仮想リンクの制御  
 ・ 資源管理コントローラと分散コントローラが連携して行う

制御の流れ

- 資源管理コントローラ
- コア
- パケットスイッチ & 分散コントローラ
- ◇ バススイッチ

### 提案アーキテクチャ

仮想リンクの制御  
 ・ 資源管理コントローラと分散コントローラが連携して行う

分散コントローラ  
 ・ 各パケットスイッチに1つずつ配置

- 資源管理コントローラ
- コア
- パケットスイッチ & 分散コントローラ
- ◇ バススイッチ

### 提案アーキテクチャ

仮想リンクの制御  
 ・ 資源管理コントローラと分散コントローラが連携して行う

制御の流れ

分散コントローラ  
 ・ 自身を通過するトラフィックを観測し、統計情報を取得

|     |   |
|-----|---|
| 1   | ■ |
| 1+1 | ● |
| 2   | ◇ |

- 資源管理コントローラ
- コア
- パケットスイッチ & 分散コントローラ
- ◇ バススイッチ

### 提案アーキテクチャ

資源管理コントローラ

仮想リンクの制御  
 ・ 資源管理コントローラと分散コントローラが連携して行う

制御の流れ

| スイッチ名     | 削減できる電力量 |
|-----------|----------|
| パケットスイッチA | ○○○w     |
| パケットスイッチB | ○△△w     |
| パケットスイッチC | △△△w     |

分散コントローラ  
 ・ 統計情報から仮想リンクを設定したいパケットスイッチの座標を計算し、資源管理コントローラに要求

- 資源管理コントローラ
- コア
- パケットスイッチ & 分散コントローラ
- ◇ バススイッチ

### 提案アーキテクチャ

**仮想リンクの制御**

- 資源管理コントローラと分散コントローラが連携して行う

**制御の流れ**

**資源管理コントローラ**

- 分散コントローラから送られた要求を基に経路計算を行い、仮想リンクを構築

|   |                     |
|---|---------------------|
| ■ | 資源管理コントローラ          |
| ■ | コア                  |
| ■ | パケットスイッチ & 分散コントローラ |
| ◇ | バススイッチ              |

### 分散コントローラにおける要求する仮想リンクの決定

- ネットワーク内のすべてのパケットスイッチについて仮想リンクを構築した際に削減できる消費電力を見積り

$$E_{cut} = \sum_{f \in F} B_f [E_p(|X - X_f| + |Y - Y_f|) - E_p(|X' - X_f| + |Y' - Y_f|) - E_{short}]^+$$

- $E_{cut}$  : 削減できる消費電力
- $F$  :  $(X, Y)$ に位置するパケットスイッチを経由するフローの集合
- $E_p$  : パケットスイッチの消費電力
- $E_{short}$  : 仮想リンクの消費電力
- $(X, Y)$  : フローの宛先となるパケットスイッチの座標
- $(X', Y')$  : 仮想リンクを設定する候補であるパケットスイッチの座標

- 削減できる消費電力が多い順に仮想リンクの候補を  $N$  個選択し、資源管理コントローラに要求を送信

### 資源管理コントローラでの構築する仮想リンクの決定

- 各分散コントローラから送られた要求をソート
- 削減できる電力が大きい順に以下の手順で仮想リンクを設定

構築候補が残っている

### パスネットワークの構成

Wired path network

Wireless path network

### Wireless NoC

- バススイッチ層以外の役割は Wired NoC と同様
- 全パケットスイッチに無線通信アンテナを搭載
  - 周波数を割り当てる事で、仮想リンクを構築
    - 周波数の割り当ては資源管理コントローラが行う
- チップ内の離れた位置のパケットスイッチ間で直接通信が可能
- 周波数多重を用い、通信帯域を分割
  - 周波数の多重数までしか、仮想リンクを設定できない (本研究では最大で 24 本<sup>[2])</sup>)

|   |                     |
|---|---------------------|
| ■ | 資源管理コントローラ          |
| ■ | コア                  |
| ■ | パケットスイッチ & 分散コントローラ |
| Ⓜ | 無線通信アンテナ            |

[2] S. Deb, A. Ganguly, P. P. Pande, B. Belzer, and D. Heo, "Wireless NoC as interconnection backbone for multicore chips: promises and challenges," in Proceedings of Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, pp. 228-239, June 2012.

### Wireless NoC

- バススイッチ層以外の役割は Wired NoC と同様
- 全パケットスイッチに無線通信アンテナを搭載
  - 周波数を割り当てる事で、仮想リンクを構築
    - 周波数の割り当ては資源管理コントローラが行う
- チップ内の離れた位置のパケットスイッチ間で直接通信が可能
- 周波数多重を用い、通信帯域を分割
  - 周波数の多重数までしか、仮想リンクを設定できない (本研究では最大で 24 本<sup>[2])</sup>)

|   |                     |
|---|---------------------|
| ■ | 資源管理コントローラ          |
| ■ | コア                  |
| ■ | パケットスイッチ & 分散コントローラ |
| Ⓜ | 無線通信アンテナ            |

[2] S. Deb, A. Ganguly, P. P. Pande, B. Belzer, and D. Heo, "Wireless NoC as interconnection backbone for multicore chips: promises and challenges," in Proceedings of Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, pp. 228-239, June 2012.

## Wired NoC と Wireless NoC の比較

### 比較項目

- トラフィックパターンの影響
- チップの集積度の影響
- デバイスの消費電力

### 評価指標

- ネットワークの消費電力
  - 通信発生時にスイッチ、リンクで消費される電力の総和

19

## 評価環境

### 消費電力モデル

- パケットスイッチ<sup>[3]</sup> : 1.37  $\mu\text{W/bit}$
- パススイッチ<sup>[3]</sup> : 0.76  $\mu\text{W/bit}$
- 無線通信<sup>[2]</sup> : 0.66  $\mu\text{W/bit}$
- 有線ケーブル :  $0.12 \times L_{\text{link}}$   $\mu\text{W/bit}$   
( $L_{\text{link}}$  : リンク長 (mm))

### トラフィックモデル

- ランダムに選択した特定のコア間に 1~100 bit のトラフィックを生成

[2] S. Deb, A. Ganguly, P. P. Pande, B. Belzer, and D. Heo, "Wireless NoC as interconnection backbone for multicore chips: promises and challenges," in Proceedings of Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, pp. 228-239, June 2012.

[3] P. T. Wolkotte, G. J. M. Smit, N. Kavaldjiev, J. E. Becker, and J. Becker, "Energy model of network-on-chip and a bus," in proceedings of IEEE International symposium on System-on-Chip, pp. 82-85, Nov. 2005.

20

## トラフィックパターンの影響の評価

- 通信を行うコア間の平均ホップ数が増加すると、Wired NoC が優位な領域が広がる

- コア間の平均ホップ数が少ない場合、仮想リンクの需要が低く、Wireless NoC でも十分に通信を収容可能
- コア間の平均ホップ数が多い場合、仮想リンクの需要が高く、Wireless NoC では通信を収容しきれなくなる

Wireless NoC の総消費電力量を 1 とした場合の Wired NoC の総消費電力量

|                    |    |      |      |      |
|--------------------|----|------|------|------|
| 通信を行うコアが同時に 20 の時に | 20 | 1.01 | 0.88 | 0.76 |
| 通信を行うコアが同時に 15 の時に | 15 | 1.06 | 0.98 | 0.78 |
| 通信を行うコアが同時に 10 の時に | 10 | 1.11 | 1.02 | 0.80 |
| 通信を行うコアが同時に 5 の時に  | 5  | 1.12 | 1.04 | 0.82 |
| 通信を行うコアが同時に 1 の時に  | 1  | 1.13 | 1.12 | 0.83 |
|                    | 5  | 10   | 15   |      |

通信を行うコア間の平均ホップ数

21

## チップの集積度の影響の評価

- チップに集積するコア数が増加すると、Wired NoC が優位な領域が広がる

- Wireless NoC では24本しか仮想リンクを設定できないため、コア数が増加すると仮想リンクの数が不足して通信を収容しきれない
- Wired NoC では多数の仮想リンクを設定できるため、コア数が増加しても多くの通信を仮想リンクに収容可能

Wireless NoC の総消費電力量を 1 とした場合の Wired NoC の総消費電力量

|                    |    |      |      |      |      |
|--------------------|----|------|------|------|------|
| 通信を行うコアが同時に 20 の時に | 20 | 1.23 | 0.88 | 0.79 | 0.72 |
| 通信を行うコアが同時に 15 の時に | 15 | 1.25 | 0.98 | 0.84 | 0.78 |
| 通信を行うコアが同時に 10 の時に | 10 | 1.28 | 1.02 | 0.91 | 0.86 |
| 通信を行うコアが同時に 5 の時に  | 5  | 1.33 | 1.04 | 0.93 | 0.86 |
| 通信を行うコアが同時に 1 の時に  | 1  | 1.35 | 1.12 | 0.96 | 0.87 |
|                    | 25 | 100  | 225  | 400  |      |

Number of Cores

22

## まとめと今後の課題

- 低消費電力なネットワークオンチップアーキテクチャの提案と評価

- Wireless NoC の方が消費電力を低く抑える事ができる領域
  - 同時に通信を行うコア数が少ない
  - チップの面積が小さい
  - チップ内のコア数が少ない
- Wired NoC の方が消費電力を低く抑える事ができる領域
  - 同時に通信を行うコア数が多い
  - チップの面積が大きい
  - チップ内のコア数が多い

- 今後の課題

- コアにタスクを割り当てる方法や、遅延や輻輳を考慮した手法の検討

23