

# NoC におけるロングエッジファースト (LEF) ルーティングの提案

笹河 良介<sup>†</sup> 佐藤 真平<sup>†</sup> 吉瀬 謙二<sup>†</sup>  
 東京工業大学 大学院情報理工学研究科<sup>†</sup>

## 1 はじめに

2次元メッシュ状のメニーコアプロセッサに複数の並列アプリケーションのタスク配置をおこなう場合、全ての並列アプリケーションが長辺や短辺の無い正方形のような配置になるとは限らない。

さらに、Network on Chip(NoC) [1]において、タスク配置によって X 軸方向が長辺となる場合は XY 次元順ルーティング、Y 軸方向が長辺となるような場合は YX 次元順ルーティングで、パケットの転送をおこなう方が性能は高くなる傾向にある。

以上のことから、本稿では、タスク配置によって長辺、短辺が生じた場合に、より好ましいルーティングになるようなルーティングを提案し、評価する。

## 2 予備評価

2次元メッシュ状のメニーコアプロセッサ上に複数の並列アプリケーションのタスク配置をおこなう場合を考える。10×10ノードの2次元メッシュ状のメニーコアプロセッサ上に、タスクが36個あるアプリA、タスクが40個あるアプリB、タスクが24個あるアプリCを同時に配置する。この時、図1の様に、アプリAは6×6の正方形の形にタスクが配置され、アプリBは10×4のX方向を長辺とする長方形の形にタスクが配置され、アプリCは4×6のY方向を長辺とする長方形の形にタスクが配置されたとする。

図1にあるように、複数の並列アプリケーションのタスク配置をおこなう場合、全ての並列アプリケーションが長辺や短辺の無い正方形のような配置になるとは限らない。

では、図1の様に長辺、短辺が存在するようにタスク配置がなされた場合に、もっとも代表的な固定型ルーティングである次元順ルーティングのXY次元順ルーティングおよびYX次元順ルーティングにおいて、どの程度の通信性能差が存在するのかを評価する。

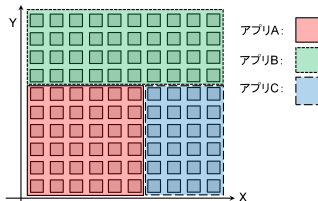


図1: 複数並列アプリケーションのタスク配置

表1: 評価環境

# Directions	5-input/output (North, East, West, South, Local)
# Virtual Channels	4
Pipeline	3-Stage Pipeline NRC/VA/SA: Routing Computation, Virtual Channel Allocation, Speculative Switch Allocation, ST: Switch Traversal, LT: Link Traversal
Packet Length	16
Input Buffer Size	4
Flow Control, Transfer	Credit-Base Flow Control, Warmhole
# Simulation Cycles	Warm-up: 5,000 cycles, Simulation: 50,000 cycles

Long Edge First(LEF) Routing for NoC

Ryosuke SASAKAWA<sup>†</sup>, Shimpei SATO<sup>†</sup> and Kenji KISE<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

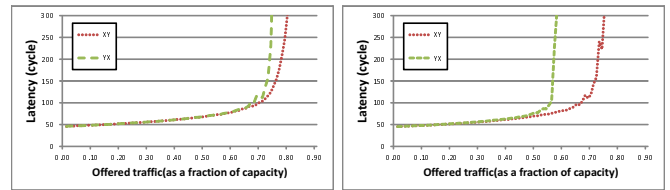


図2: 16x8ノード構成 Uniform traffic 図3: 16x8ノード構成 Hotspot traffic

ルータの構成および評価環境を表1に示す。16×8ノードというX軸が長辺となった場合での、XY次元順ルーティングおよびYX次元順ルーティングのパケット転送の平均レイテンシを評価する。各ノードにはそれぞれの位置により(0,0)から(15,7)までのノードIDを割り振る。(0,0)のノードが一番左下、(15,0)のノードが一番右下、(0,7)のノードが一番左上、(15,7)のノードが一番右上のノードとなる。トラフィックパターンにはUniform trafficとHotspot traffic [2]を採用した。Hotspot trafficにおいて、ノードIDが(7,3)と(7,4)と(8,3)と(8,4)であるノードがhotspotとなるようにし、他のノードに比べてhotspotとなるノードには、4倍のパケットが転送されるようにする。

各トラフィックパターンでの平均レイテンシの結果は図2および図3である。Uniform trafficおよびHotspot trafficの両トラフィックにおいて、YX次元順ルーティングの方が、XY次元順ルーティングよりも小さいOffered trafficの値でネットワークが飽和し、レイテンシが急激に増大してしまう。したがって、図2および図3から、X軸が長辺となるだけで、YX次元順ルーティングよりもXY次元順ルーティングの方が性能が良いことが分かる。特に図3ではその違いが顕著に表れている。

当然、8×16ノードというように長辺がY軸となる場合は、先ほどとは逆にYX次元順ルーティングの方がXY次元順ルーティングよりも性能は良くなる。

## 3 ロングエッジファースト (LEF) ルーティング

前章で述べたとおり、タスク配置において長辺および短辺が存在する場合においてXY次元順ルーティングとYX次元順ルーティングでは性能に差が生じてしまう。よって本章では、タスク配置によって長辺、短辺が生じた場合に、より好ましいルーティングになるようなルーティングを提案する。

前章の評価から、X軸が長辺となる場合はXY次元順ルーティング、Y軸が長辺となる場合はYX次元順ルーティングが好ましい。しかし、タスク配置された各アプリケーションに対し、長辺を判断して、それぞれ好ましい方の次元順ルーティングを採用する、という手法を採用する場合は、どのノードがどのアプリケーションのタスクを担当しているのかなどといった色々な情報が必要となってしまう。

そこで、我々はロングエッジファースト (Long Edge First(LEF)) ルーティングを提案する。LEFルーティングとは以下の様なルーティングである。まず、図4の様に送信ノードと受信ノードのノードIDのX成分とY成分の差分である $D_X$ 、 $D_Y$ を計算する。そして $D_X \geq D_Y$

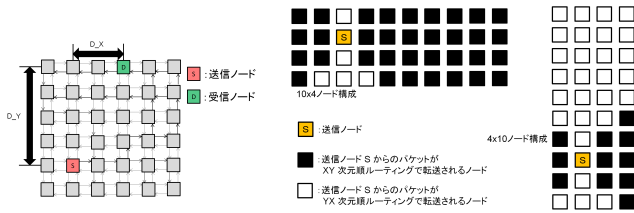


図 4:  $D_X$  と  $D_Y$

図 5: とある送信ノードから各受信ノードへのルーティングの分け方

の場合には XY 次元順ルーティングでパケットを転送し、 $D_X < D_Y$  の場合には YX 次元順ルーティングでパケットを転送する、というものである。XY 次元順ルーティングを用いるか、YX 次元順ルーティングを用いるかは、パケット生成時またはネットワークに注入する時に、XY なのか YX なのかという情報をパケットのヘッドフリットに 1 ビットだけ情報を付加するだけで十分である。

以上の方法により、図 5 に示されているように、とある送信ノード S から各ノードへパケットを送信する場合、X 軸が長辺となる場合には多くのノードに対して XY 次元順ルーティングで送信され、Y 軸が長辺となる場合には多くのノードに対して YX 次元順ルーティングで送信されるようなルーティングとなるのである。

送信ノードと受信ノードが同じなら、パケットは毎回同じ次元順ルーティングで送信されるので、パケットの送受信の順番が保証されるという固定型ルーティングの特性をそのまま引き継げるようになっている。

LEF ルーティングでは、XY 次元順ルーティングと YX 次元順ルーティングの両方を利用しているため、そのままではデッドロックが起きてしまう。そこで、LEF ルーティングではデッドロック回避のために、複数の仮想チャネル [3] が必要である。

LEF ルーティングでは、以下のようにしてデッドロックを回避する。1 本の物理チャネルにつき仮想チャネルが  $n$  本 ( $VC_1$  から  $VC_N$  まで) あったとする。XY 次元順ルーティングで転送されるパケットは、最初に X 軸方向に移動する時には  $VC_1$  を除いた  $VC_2$  から  $VC_N$  までの仮想チャネルを利用でき、次に Y 軸方向に移動する時は  $VC_1$  から  $VC_N$  までの全ての仮想チャネルを利用できるとする。逆に、YX 次元順ルーティングで転送されるパケットは、最初に Y 軸方向に移動する時には  $VC_1$  を除いた  $VC_2$  から  $VC_N$  までの仮想チャネルを利用でき、次に X 軸方向に移動する時は  $VC_1$  から  $VC_N$  までの全ての仮想チャネルを利用できるとする。以上のようにして、デッドロックを回避する。

#### 4 評価

長辺および短辺が存在する場合において、LEF ルーティングの性能を評価する。

評価環境は予備評価の時と同様の表 1 で評価をおこなう。LEF ルーティングでは、 $D_X = D_Y$  の場合は XY 次元順ルーティングを採用するので、 $16 \times 8$  ノードという X 軸が長辺となった場合だけでなく  $8 \times 16$  ノードという Y 軸が長辺となった場合の評価もおこなう。評価する項目は平均レイテンシとスループットである。トラフィックパターンには Hotspot traffic を採用した。 $16 \times 8$  ノードの場合は、ノード ID を (0,0) から (15,7) まで振り分け、hotspot となるノードを (7,3) と (7,4) と (8,3) と (8,4)、 $8 \times 16$  ノードの場合は、ノード ID を (0,0) から (7,15) まで振り分け、hotspot となるノードを (3,7) と (3,8) と (4,7) と (4,8) となるようにする。

評価結果は図 6 から図 9 までである。図 6 および図

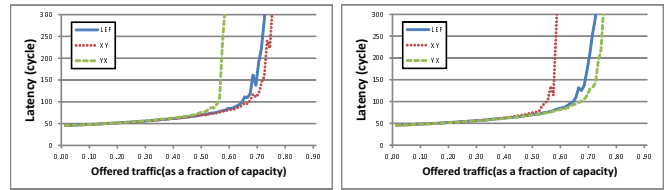


図 6:  $16 \times 8$  ノード構成 平均レイテンシ

図 7:  $8 \times 16$  ノード構成 平均レイテンシ

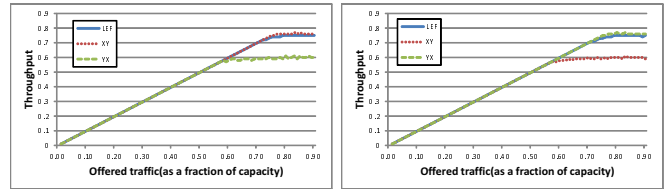


図 8:  $16 \times 8$  ノード構成 スループット

図 9:  $8 \times 16$  ノード構成 スループット

7 の両方において、ネットワークが飽和し、レイテンシが急激に増加する時の Offered traffic の値は、XY 次元順ルーティングと YX 次元順ルーティングの間の値となっている。また、スループットについては、 $16 \times 8$  ノード構成では、よりスループットの高い XY 次元順ルーティングと同様のスループットを達成し、 $8 \times 16$  ノード構成では、よりスループットの高い YX 次元順ルーティングと同様のスループットを達成したことが図 8 および図 9 で示されている。

以上の結果より、タスク配置において長辺および短辺が存在する場合において、LEF ルーティングは性能のより高い方と同様のスループットが得られる、より好ましいルーティングであることが分かる。

#### 5 まとめ

2 次元メッシュ状のメニーコアプロセッサに複数の並列アプリケーションのタスク配置をおこなう場合、全ての並列アプリケーションが長辺や短辺の無い正方形のような配置になるとは限らない。またそのような形が最適とは限らない。タスク配置によって X 軸方向が長辺となる場合は XY 次元順ルーティング、Y 軸方向が長辺となるような場合は YX 次元順ルーティングで、パケットの転送をおこなう方が性能は高くなる傾向にある。

本稿では、タスク配置によって長辺および短辺が生じた場合に、XY 次元順ルーティングと YX 次元順ルーティングとで、性能の高い方と同様の性能を常に得るために、LEF ルーティングを提案した。評価によって、LEF ルーティングの有効性が示された。

#### 参考文献

- [1] W. J. Dally, et al. Principles and practices of interconnection networks, 2004.
- [2] Melanie L. Fulgham, et al. Performance of chaos and oblivious routers under non-uniform traffic. Technical report, 1993.
- [3] W. J. Dally. Virtual-channel flow control. *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, 1992.