

冗長経路を持つ NoC ルーティング手法の性能・コストの評価

日大生産工(学部) ○藤本 和樹
日大生産工 新井 雅之

1. はじめに

現在、コアの並列化や半導体技術の進歩によりCPU内のコア数は増加の一途を辿っている。そのため従来のバス型の接続方式では配線遅延や消費電力の増加などの問題を抱えている。そこで、CPU内にルータを設置し、コア間をパケット転送でデータを送受信する NoC (Network-on-Chip) が注目されている。河野らは NoC を使用し規則的なネットワークトポロジにランダムに冗長経路を追加し、性能・コストを評価する研究を行っている[1]。しかし、経路が故障した場合の性能の評価を行っていない。

本研究では、1本または2本の冗長経路を付加した NoC ネットワークトポロジを想定し、故障が存在する場合の性能およびコストについて評価する。1本のリンクのみに故障が発生すると仮定し、4x4 Mesh を対象としてシミュレーションより評価を行う。

2. 関連研究(Network-on-Chip)

NoC (Network-on-Chip) とはコアひとつひとつにルータを持たせ、ルータ間をパケット転送で通信を行うネットワーク構造である[1]。従来の接続方式であるオンチップバスではひとつの配線にすべてのコアが繋がっており、コア同士を独立的に通信することが不可能であった[3]。しかし NoC はコア同士の通信が可能のため、近年のコンピュータのコアの並列化により増加し続けているコア数にも対応できるとされている。

NoC の規則的なネットワークトポロジとしては Mesh, Torus, H-Tree, Hypercube など数多くの物が存在している。文献[1]ではネットワークトポロジに冗長経路を付加する手法を提案している。例として図1に冗長経路を持つ 4x4 Torus の例を示す。4x4 Torus では各ノードは上下左右のノードとリンクで接続されている。また、左右両端は互いに接続されている。直接接続されているノード同士は1ホップでデータ転送が可能である。例として、ノード 0-3 間は1ホップ、ノード 0-6 間は3ホップとなる。冗長経路はノード 0-14 間に存在し、これも1ホップで通信できる。すなわちノード 0-15 間は2ホップとなる。

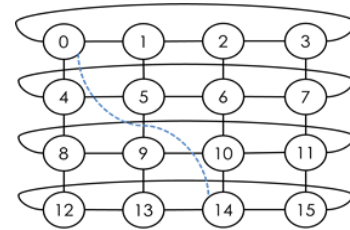


図1 冗長経路を持つ 4x4 Torus

3. 評価

3-1. 概要と評価尺度

本節では耐故障性を考慮した NoC ルーティング手法について評価を行う。4x4 Mesh を対象とし、1本または2本の冗長経路を持たせたルーティングの性能・コストの面から評価を行う。さらに、耐故障性を考慮するため、全て (25~26通り) の単一故障について評価し、非故障時と比較する。

本実験では、1本の冗長経路を付加した2個のトポロジ、2本の冗長経路を付加した1個のトポロジを用いる。トポロジ名を冗長経路が1本の場合 $\text{Mesh}x_1 - y_1$ 、2本の場合 $\text{Mesh}x_1 - y_1, x_2 - y_2$ で表す。例として図2に冗長経路を持たせたトポロジ $\text{Mesh}1-14$ において単一故障 (4-5) が発生した状態を示す。この場合、ノード 4-5 間のホップ数は3となる。

コストは、リンクの距離の総和として求める。ここで、冗長リンクに対しては、配線の制約により2通りの算出を行う。図3に(a)マンハッタン距離と(b)ユークリッド距離を示す。(a)マンハッタン距離は斜め配線が許されない場合の距離であり、ノード 0-14 間のマンハッタン距離は5で

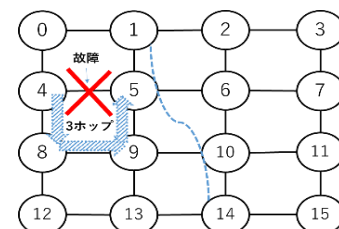


図2 Mesh1-14 において単一故障(4-5)が発生した状態

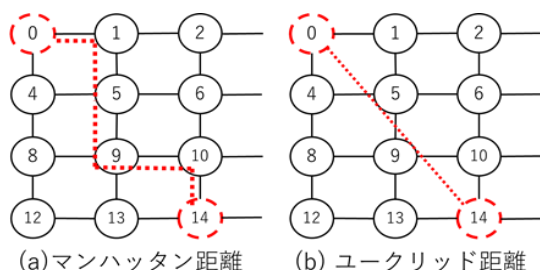


図3 ノード間の冗長リンクの距離の算出法

ある。一方(b)ユークリッド距離は直線距離であり、ノード0-14間のユークリッド距離は $2\sqrt{5}$ である。性能の評価方法は平均ホップ数、最大ホップ数を求める。故障時の性能の評価方法は単一故障時の全ての平均ホップ数の平均値(H1)と最大値(H2)、最大ホップ数の平均値(H3)と最大値(H4)を求める。これらを全て考慮し非故障時と単一故障時の状態を評価する。

3.2. 評価結果

3通りのトポロジMesh1-14, Mesh7-9, Mesh2-8,7-9を対象に評価を行った。評価結果の図4に非故障時の平均ホップ数、最大ホップ数、コストを示す。図5に単一故障時のH1, H2, H3, H4を示す。非故障時での平均ホップ数に関しては最小値がMesh2-8,7-9の2.4であったのに対して最大値がMesh7-9の2.53とはあまり差が見られなかった。一方、最大ホップ数は他の2個が6であったのに対し、Mesh1-14が5となった。

コストは冗長経路2本のMesh2-8 7-9がユークリッド距離29.06, マンハッタン距離31で最も高くなり、Mesh7-9がユークリッド距離26.2, マンハッタン距離27で最も低い値を示した。一方、図5の単一故障時のホップ数では、H1, H2ともにMesh2-8,7-9が最小値となり、2.45, 2.53となっ

た。H3はMesh7-9, Mesh2-8,7-9の値が6に対してMesh1-14が5.24と最も低い値を示した。H4は、どれも差が見られなかった。実験の結果、今日対象とした3個のトポロジにおいては、故障時、非故障時ともに平均ホップ数に大きな差異は認められなかった。また、ユークリッド距離とマンハッタン距離によるコストは、ほぼ同様の傾向となった。一方、最大ホップ数に関しては明確な差が見られた。

4. まとめ

本研究では、NoCの3個のネットワークトポロジを使用し、非故障時のルーティング手法の性能・コストと単一故障した場合の性能の評価を行った。今後は冗長経路の場所を変更し、本数を増加させるなどでより最適なネットワークトポロジ、ルーティング手法を発見できるよう研究を進める予定である。

参考文献

- [1] 河野隆太, 藤原一毅, 松谷弘紀, 天野英晴, 鯉渕道紘 “複数コアリンクを用いた低遅延オンチップトポロジーに関する研究,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J97-D, No. 3, pp. 601-13, 2014 年.
- [2] 佐々木大輔, 松谷宏紀, 鯉渕道紘, 天野英晴 “3次元 NoC の混在トポロジにおけるルーティング手法の提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 7-12, 2012 年.
- [3] 水野正之, “4章 IP間接続,” 電子情報通信学会, 「知識ベース」, 10群, 3編, 4章, pp. 1-13 2010年

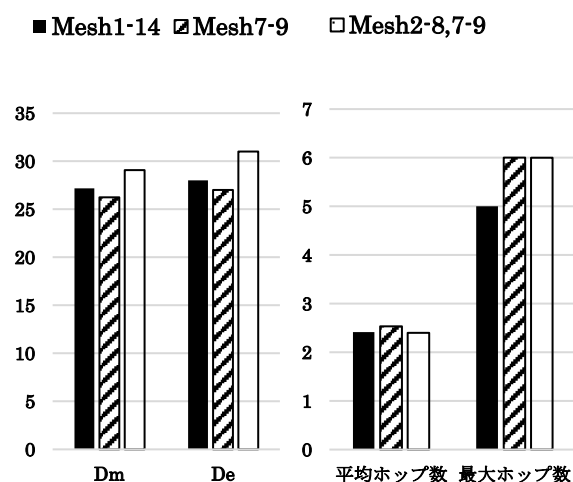


図4 評価結果 (非故障時)

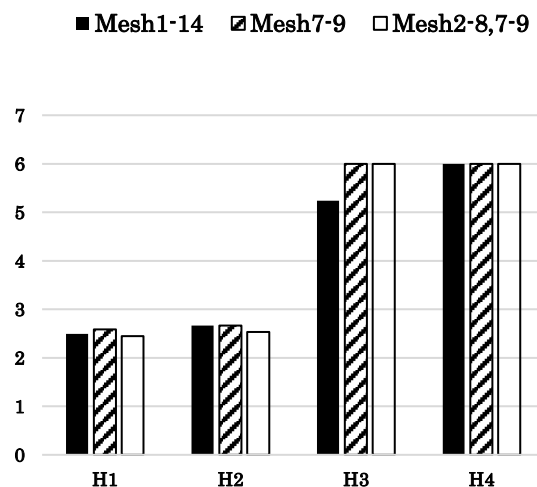


図4 評価結果 (単一故障時)