

NoC ルーティングにおける多重故障を考慮した性能・コスト評価

日大生産工(学部) ○戸松 芽生
日大生産工 新井 雅之

1. はじめに

年々進歩する半導体技術により、CPUのコア数は増加し続けている。それにより、LSIの大規模化や、バス型ネットワークの接続形態による配線遅延等の問題が生じている。効率的な通信のため、コア毎にルータを持たせ、ルータを介してデータの送受信を行うNoC (Network-on-Chip)が注目されている[1,2]。河野らは、規則的なネットワークトポロジのNoC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]。また、藤本は冗長経路を追加したNoCにおいて単一故障が発生した場合の性能評価を行っている[3]。しかし、多重故障に対する性能の評価は行われていない。

本研究では、1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、多重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本または2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による評価を行う。

2. Network-on-Chipモデル

NoC とは、CPU 内の各コアにルータを持たせ、ルータを介した通信を行うネットワーク構造である[1]。全てのコアに対し複数の配線が接続されているため、コア同士で独立に通信することが可能である。従来の接続形態である、1本の配線にすべてのコアが接続されるオンチップバスとは異なり、多数のコアを持つプロセッサにおいても効率的な通信が可能であるとされている。

NoC には多数のネットワークトポロジが存在する[2]。代表的なものとして Mesh, Torus, H-Tree, SPIN などが挙げられる。例として図1に冗長経路を付加した 4x4 Mesh のトポロジを示す。4x4 Mesh では、各ノードが格子状にリンクと接続されており、隣接する上下左右のノード同士は1ホップでデータを転送することが出来る。例えば、ノード0-2間は2ホップ、ノード0-12間は3ホップで通信が可能である。冗長経路は1ホップで通信可能なため、ノード0-14間は2ホップとなる。以下では、ノード $n_1 - n_2$ 間に冗長経路を付加したトポロジを Mesh $_{n1-n2}$

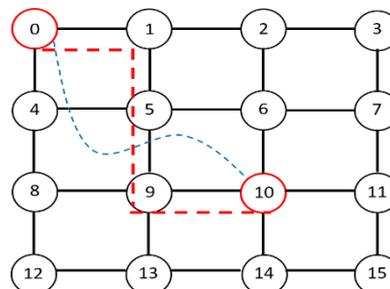
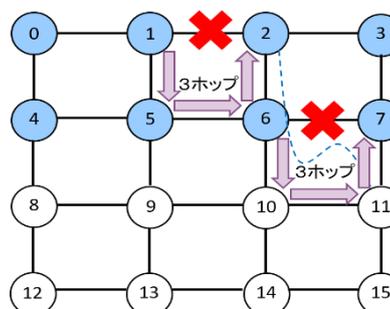


図1 冗長経路を持つ 4x4 Mesh

と表す。また、冗長経路を持たないトポロジを Mesh $_{org}$ と表す。

ネットワーク中のリンクの距離の総和をそのネットワークのコストと呼ぶこととする。冗長リンクに対するコスト算出方法として、本稿ではマンハッタン距離を用いる。マンハッタン距離とは垂直または水平移動しかできない場合の距離である。例として図1におけるノード0-10間の冗長リンクのマンハッタン距離は、赤点線で示した通り4となる。

図2に Mesh $_{2-11}$ においてノード1-2間および6-7間の2箇所のリンクが故障した状態を示す。以降はこのような2重故障を(1-2,6-7)と表す。故障したリンクを用いた通信は不可能であり、迂回しなければならない。そのため、ノード0-2間はノード0-1-5-6-2を通る4ホップで通信が可能である。ノード0-7間は冗長経路であるノード2-11を使用し、ノード0-1-5-6-2-11-7を通る最短6ホップで通信が可能である。しかし、ノード0-2間では、本来ノード0-1-2の2ホップで通信が可能であるため、2ホップ分の遅延

図2 Mesh $_{2-11}$ において2重故障(1-2,6-7)が発生した状態

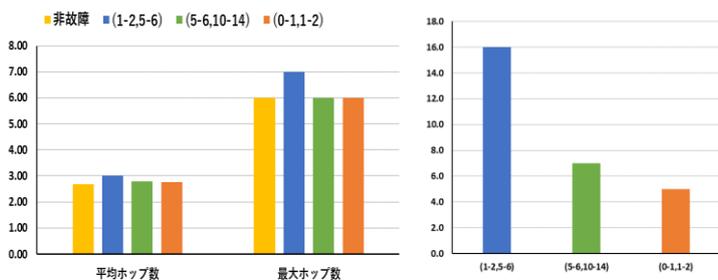
が生じる。同様にノード0-7間では、ノード0-1-2-3-7の4ホップで通信可能なため、2ホップの遅延が生じることが分かる。また、8個の青色ノードにのみ遅延が生じ、その他のノード間の通信ではホップ数の変化は見られない。

3. 性能の評価

本研究では、NoCトポロジである4x4 Meshを用いて評価を行った。対象トポロジとして、Mesh_{org}, Mesh₀₋₁₅, Mesh₄₋₇, Mesh₂₋₁₄, Mesh₈₋₁₃の計5通りを使用した。故障は2重故障を想定し、(1-2,5-6), (5-6,10-14), (0-1,1-2)の計3通りの条件で実験を行った。全てのノードの組合せ $i-j$ に対して、ノード $i-j$ 間の通信に必要なホップ数をシミュレーションにより測定した。

図3(a)に冗長リンクを持たないトポロジ Mesh_{org}における、非故障時と2重故障時の平均ホップ数、最大ホップ数を示す。また図3(b)に、故障時にホップ数が増加した経路数を示す。(1-2,5-6)が最大ホップ数7と唯一増加し、平均ホップ数も非故障時より0.333大きい3.00と明確な差が見られた。その他に関しては、最大ホップ数は増加せず、平均ホップ数の差も最大値が0.116と、大きな変化は見られなかった。(1-2,5-6)においてホップ数が増加した経路数は16個と最大であり、5個であった(0-1,1-2)と比較して3倍以上の経路に対して影響が出た。(5-6,10-14)も非故障時と比較して、ホップ数に影響が出た経路は7個であった。故障するリンクの場所によって、影響を受けるノード、及びホップ数に大きな変化が生じることが分かった。

図4に冗長経路を付加したトポロジにおける2重故障時の平均ホップ数、最大ホップ数を示す。対象の2重故障を(5-6,10-14)に固定にし、冗長経路を付加する場所を変えて実験を行った。比較対象として、冗長経路を持たないMesh_{org}に対しても評価を行った。Mesh₈₋₁₃では、1ホップ四方の閉路上で対角に存在するノード5と7を冗長経路で接続している。2重故障(5-6,10-14)発



(a) 非故障, 2重故障 (b) ホップ数が増加した経路

図3 冗長経路が存在しないトポロジMesh_{org}における故障時のホップ数の変化

生下において平均ホップ数は2.708となり、冗長経路を付加した全ての対象トポロジ中で最大となった。一方で、最大ホップ数は6であり、Mesh_{org}と同一となった。Mesh₄₋₇, Mesh₂₋₁₄は、部分的なトーラス構造となるように冗長経路を付加したトポロジであり、最大ホップ数は5であった。Mesh₀₋₁₅は対角ノードに冗長経路を付加したトポロジである。平均ホップ数の下がり幅は最大の0.24であった。しかし、最大ホップ数はMesh_{org}と同一であった。この結果より、2重故障が発生した場合、冗長経路の位置によって、平均ホップ数、最大ホップ数に変化が生じることが分かった。

4. まとめ

本研究では、NoCのネットワークトポロジを合計で5個使用し、2重故障と非故障時、冗長経路を付加した2重故障と2重故障時それぞれを比較・検証し、性能の評価を行った。今後は多重故障がした場合にどれほど性能に影響が出るのか、故障と冗長経路の関係性について検討していく予定である。また、さらに冗長経路を増加させ、より安定した最適なネットワークトポロジを発見できるよう研究を進めていく。

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に関する研究,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J97-D, No. 3, pp. 601-613, 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, Vol. 112, No. 2, CPSY2012-2, pp. 7-12, 2012年.
- [3] 藤本和樹, 新井雅之 “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,” 日本大学生産工学部第50回学術講演会講演概要, p. 29, 2017年.

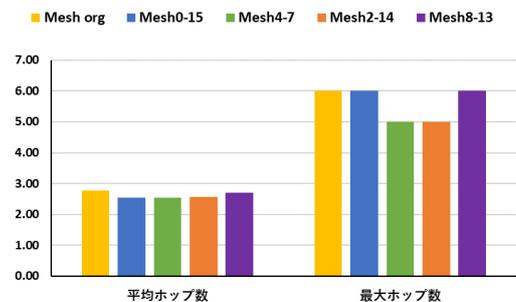


図4 2重故障における平均/最大ホップ