

NoC におけるマルチパスルーティング

鈴木 啓司[†] Nguyen Truong Son^{††} 小柳 滋[†][†] 立命館大学情報理工学部 ^{††} 立命館大学大学院理工学研究科

1 はじめに

半導体技術の進展に伴い、1 チップ上に複数のモジュールを搭載する System on Chip (SoC) の考え方が一般的となった。SoC 上のモジュール間における有効な通信手段として Network on Chip (NoC) が注目されている。本研究では、通信経路を複数持つことを基本とした混雑に対する耐性の高いネットワークの構成方式を提案する。

2 提案方式

2.1 NoC の基本構成

対象とするチップ上ネットワークとして仮定した構成を以下に述べる。Network on Chip におけるネットワークの雛形を示すものがトポロジであり、コストが低くタイルアーキテクチャ実装への相性の良いメッシュを採用する。ネットワークにより接続された各ルータは 5×5 ポートの入出力からなり、パケットスイッチングによるパケット伝送を行なう。単一のパケットをフリットと呼ばれる小さな単位へさらに分割することで、パケットのパイプライン的な伝送が可能となる。フロー制御を適用する単位もフリットであり、ルータに用意するバッファサイズがパケット長より小さいものがワームホールルーティングに分類される。フロー制御もしくは調停によるフリットのブロックを想定する場合、要求資源の異なる後続のフリットも同様にブロックされてしまうという問題が発生する。特にワームホールルーティングでは、単一パケットによるフリットが複数のルータにまたがってブロックされているという状況が起こりやすい。その解決案となるのが仮想チャネルであり、入力バッファを 1 ポートにつき複数用意することでブロックの連鎖に歯止めをかけることができる。以上の機能を実現するためのルータ構造の例を図 1 に示す。これらのネットワーク構成は現在の Network on Chip において標準的といえる組み合わせである。

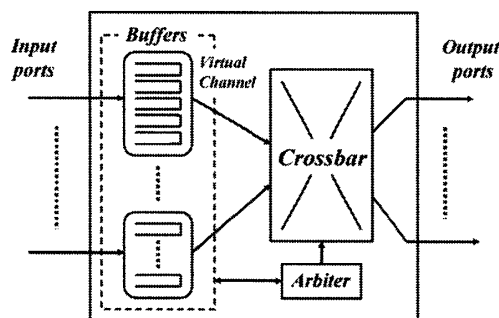


図 1: ルータアーキテクチャ

2.2 マルチパスルーティングの概要

メッシュトポロジにおける相互通信では、中央付近のルータにおいて混雑が発生しやすいという問題がある。このようなトラフィックの集中を回避するために、複数経路 (マルチパス) でのルーティングが考えられる。今回は Dimension order (XY) ルーティングをベースとし、進行すべき次元順が異なる 2 つの経路をとる図 2 のような伝送パターンについて考察する。単一のパケットを二分割し各々に異なる通信経路を要求させることで、ネットワークの負荷を分散することが目標となる。以降では分割されたパケットを小パケットと呼んでいる。

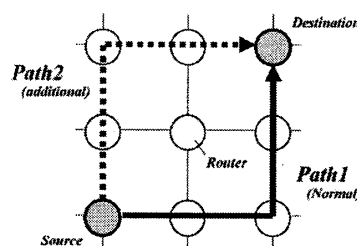


図 2: マルチパスルーティングの例

次に通信経路を多重化することによる利点を考える。本手法ではパケットを分割し、異なる経路を用いることでトラフィックの分散を助長している。これによりホットスポットでの負荷の抑制が期待できる。またパケット長が小さくなることで、各ルータに必要なバッファサイズの低減、および混雑時のブロック時間の短縮が期待できる。

Multi-path routing for NoC

[†] Keishi SUZUKI^{††} Nguyen Truong Son[†] Shigeru OYANAGICollege of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University ([†])Graduated School of Science and Engineering, Ritsumeikan University (^{††})

これらに対し、単一の通信を複数の経路で行うことへの弊害も考慮する必要がある。最大の留意事項としてパケットの到着順が狂うことが挙げられる。2つに分割されたパケットは、目的地となるルータで1つのパケットへと復元する必要性が生じる。これよりパケットをリオーダするためのハードウェア資源を別途追加しなければならない。加えて、複数経路へ分割する本手法は1次元の経路のみを利用する通信に対しては適用不可能であり、分割ステップが無駄に終わってしまうことも不利といえる。

3 設計

3.1 パケット分割

マルチパスルーティングを実現する最初の段階として、モジュールより生成されたパケットを2つに分割する処理が行われる。

ルーティング情報を含むヘッダフリットはコピーされ、1ビットの識別ビットが追加された後、それぞれの小パケットへ付加される。パケットをフリットへと細分化する標準的な手順に即し、図3に示すような2つの分割方式が考えられる。1つ目はフリット番号の前半と後半で区切り小パケットとする方式であり、これらはフリット順が連続しており通常のパケット伝送と同様の振る舞いが想定できる。2つ目はフリット番号の奇数、偶数番号ごとに小パケットを構成するものであり、フリットレベルでの分散を期待している。

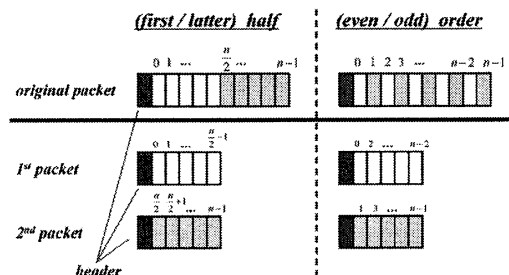


図3: パケット分割手法

3.2 ルーティング・調停

分割された各小パケットへのルーティングにおいて、それぞれがデッドロックフリーであることが保証されなければならない。本研究では Dimension order (XY) ルーティングを基に、X次元優先 (XY)、Y次元優先 (YX) の2通りの経路を静的に決定している。この場合、分割された2通りの通信が同じ資源を要求してしまうとデッドロックが起これうる。その解決案として、各ルータにおいて XY、YX ルーティングそれぞれのフリットが格納されるバッファを区別することを考え

る。これは仮想チャネルを用意し、小パケット別にそれらを割り当てることで実現できる。出力ポート使用要求への調停においては基本的に iSLIP アルゴリズムを用いる。次項で述べるリオーダの問題を軽減するため、先行フリットが格納されるバッファに対する優先度を高めることで、小パケットの到着順の逆転をある程度抑制できる可能性がある。

3.3 パケットリオーダ

目的地となるルータにおいて、分割された小パケットは個々のタイミングで到着することになる。それらの小パケットは本来の順序でパケットへと復元されることが前提であるため、リオーダを実行するハードウェアが必要となる。リオーダにはネットワーク設定のパケット長のバッファおよび、パケット識別のためのテーブルを用意する。到着済み小パケットの識別子をテーブルに保存し、一致検索を行うという一般的な方式で統合を進める。この際必要となる回路規模が本構成方式の主要なオーバーヘッドであり、削減すべき対象となる。またリオーダ機構はクロスバステージの後に導入される。これは、統合待ちの際に入力バッファを使用するとブロックの要因となるためであり、通常どおりクロスバを通過させた後にリオーダすることでブロックを防止している。

4 評価

4.1 評価項目

評価は現段階で進行中であるため、評価についての検討事項および今後のシミュレーションにおける方向性を述べる。基本として、マルチパスルーティングを導入したネットワーク全体のスループット、およびパケット伝送のレイテンシが主要な評価値となる。パケットの細分化および複数経路の利用による伝送の効率化に加え、パケットの処理（分割、リオーダ）によるレイテンシがどの程度抑制できるかが焦点となる。さらに、リオーダの発生頻度や待機時間の平均値を抽出し、本構成の特性といえるリオーダに関するオーバーヘッドについて分析する。

4.2 評価・考察

上述した項目からマルチパスルーティングの有用性を検討する。全体の性能が低下してしまうことも考えられるため、対象とする通信の条件を限定した評価も考慮するべきである。パケットの伝送距離の長短や、ホットスポットとなるルータ経由の有無などがその限定要因と考えられる。適用可能な状況および範囲について考察し、マルチパスルーティングの効率的な導入方法を見出す。