

ターンモデルによる二次元トーラスの 適応ルーティングアルゴリズムの静的特性

下園 謙太郎[†] 三浦 康之[†]

湘南工科大学

1. 概要

並列処理の分野において、相互結合網に関する研究は、重要なトピックの一つに位置付けられている。相互結合網のルーティングには経路が固定される固定ルーティングと途中経路の故障や混雑を見て経路を変更する適応ルーティングの二種類があり、適応ルーティングは固定ルーティングに比べて耐故障性などにおいて優れており、さまざまな研究が行われている。2-D トーラスでは固定ルーティングとして x 方向、 y 方向、またはその逆の順序で座標を合わせる次元順ルーティングが用いられる。適応ルーティングアルゴリズムは様々なものが提案されているが、これらは追加の仮想チャンネルが必要となり、実装に伴いハードウェアコストを多大に要求することから、ハードウェア量を大きく増やせないようなケースでは、追加の仮想チャンネルを必要としない手法が求められる。上記について、過去に我々が提案した North South First 法^[1]があり、シミュレーションにより性能評価を行ったが、経路の選択可能性などの静的特性の評価は未着手であった。そこで、本稿では我々が提案した North South First 法の静的特性の評価として、「ネットワーク中を流れるデータが選べる経路の数の平均値」を求めた。

2. 2-D トーラスネットワーク

2-D トーラスは $N \times N$ の二次元構造をしており、上下左右の端にある PE が同士それぞれ Wrap-around チャンネルによって繋がっている。2-D トーラスの固定ルーティングでは次元順ルーティングが広く用いられている。次元順ルーティングでは、送信元 PE から x 軸方向のチャンネルのみを使って移動し、 x 軸方向の座標を合わせた後、 y 軸方向のチャンネルを使って目的地の PE に移動する。2-D トーラスで次元順ルーティングを用いるには、デッドロックを回避するため 2 本の仮想チャンネルを必要とする。

3. NSF ルーティング

メッシュ網向けの適応ルーティングアルゴリズムとして、追加の仮想チャンネルを必要としない Turn モデル^[2]があるが、これをそのまま 2-D トーラスに適用するとデッドロックが発生する。そこで我々は 2-D トーラスに適用可能な方法として Turn モデルの手法の一つである North First 法と South First 法を組み合わせた North-South First Routing を提案した^[1]。この手法を使えば、2-D トーラスでも追加の仮想チャンネルを使わず、Turn モデルに基づいた適応ルーティングを実現することが可能である。

4. 動的通信性能

256 個の PE を持つ、 16×16 トーラス網について提案手法と固定ルーティングの双方でパケットの通信実験を行い、性能を比較する。図 1 に動的通信性能の評価結果を示す。ソフトウェアシミュレータにより性能評価を行った。グラフの横軸はスループット、縦軸は平均転送時間である。シミュレーションを行った結果、提案手法の方が固定ルーティングよりもスループットが高くなった。

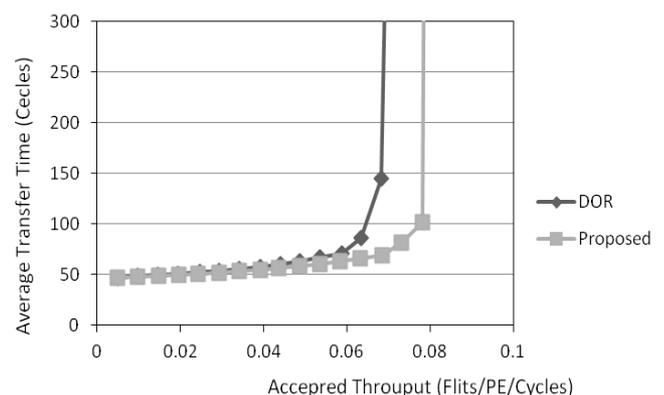


図 1. 動的通信性能の評価結果

5. 静的特性

5.1 計算式の導出

本節では、ネットワーク中を流れるデータから選べる経路の数の平均値の導出を行う。以下に各パラメータの定義を示す。

The Static Performance of an Adaptive routing of the 2-D Torus Network by Turn Model

[†]Kentaro Shimozono, Yasuyuki Miura, Shonan Institute of Technology

x, y : ソースノードの x, y 座標

N : 縦と横のノードの数 ($N \times N$ がノード数)

r : 経路の移動回数の中の横移動の回数

R : 最短経路の数

以下 $N=4$ 、すなわち、 4×4 のメッシュの場合について議論する。まずソース・ディステーション双方の PE の縦の並びが同じ時、すなわち $r=0$ の場合は必ず $R=1$ となる。そのような場合は、 $256/4=64$ 通りがあるので、残りの $256-64=192$ 通りについては、 $R \neq 1$ となる可能性がある。 $r=1$ の場合の数は、ソースノードが左右の端の場合が 4 通り、それ以外の場合が 8 通りなので、 $2 \cdot (4 \cdot 4) + 2 \cdot (8 \cdot 4) = 96$ 通りとなる。 $r=2$ の場合は、各ソースノードにつき 4 通りなので、 $16 \cdot 4 = 64$ 通りとなる。 $r=3$ の場合は、ソースノードが左右の端のみの場合で 4 通りなので、 $8 \cdot 4 = 32$ 通りとなる。

以下、 $r=1 \sim 3$ の場合についての R を求める。

- $r=1$ の場合、NF 法では $y=0$ の時 $R=1$ となる。このような場合の数は $96/4=24$ 通りとなる。下から二番目のノード ($y=1$) では、 $1/4$ が $R \neq 1$ となる。従って $96/4/4=6$ 通りは $R=2$ 、残りの 18 通りは $R=1$ となる。下から三番目のノード ($y=2$) では、二つ下のノードへ行く場合の 6 通りは $R=3P1=3$ 、一つ下のノードへ行く 6 通りは $R=2P1=2$ 、残りの 12 通りは $R=1$ となる。一番上のノード ($y=3$) では、3 ノード下へ行く 6 通りは $R=4P1=4$ 、2 ノード下へ行く 6 通りは $R=3P1=3$ 、1 ノード下へ行く 6 通りは $R=2P1=2$ 、残りの 6 通りが $R=1$ となる。
- $r=2$ の場合、 $y=0$ は、 $64/4=16$ 通りあり、その全てが $R=1$ となる。 $y=1$ では、 $16/4=4$ 通りが $R=3P2/2!=3$ 、残りの 12 通りは $R=1$ となる。 $y=2$ では、4 通りが $R=4P2/2!=4$ 、4 通りが $R=3P2/2!=3$ 、残りの 8 通りは $R=1$ となる。 $y=3$ では、4 通りが $R=5P2/2!=10$ 、4 通りが $R=4P2/2!=4$ 、4 通りが $R=3P2/2!=3$ 、残りの 4 通りが $R=1$ となる。
- $r=3$ の場合、 $y=0$ は、 $32/4=8$ 通りあり、その全てが $R=1$ となる。 $y=1$ は、 $8/4=2$ 通りが $R=4P3/3!=4$ 、残りの 6 通りは $R=1$ となる。 $y=2$ では、2 通りが $R=5P3/3!=10$ 、2 通りが $R=4P3/3!=4$ 、残りの 4 通りが $R=1$ となる。 $y=3$ は、2 通りが $R=6P3/3!=20$ 、2 通りが

$R=5P3/3!=10$ 、2 通りが $R=4P3/3!=4$ 、残りの 2 通りが $R=1$ となる。

以上を合わせると、

$R=1$ が 184 通り、 $R=2$ が 18 通り、 $R=3$ が 24 通り、 $R=4$ が 12 通り、 $R=6$ が 8 通り、 $R=10$ が 8 通り、 $R=20$ が 2 通りとなり、これらをソースとディステーションの全パターンである $16 \times 16 = 256$ で割ると、
 $(1 \cdot 184 + 2 \cdot 18 + 3 \cdot 24 + 4 \cdot 12 + 6 \cdot 8 + 10 \cdot 8 + 20 \cdot 2) / 256 = 508 / 256 \div 1.98$

となる。つまり、経路一つに対し最短経路の数は 1.98 通りとなる。

5.2 計算結果

表 1 に静的特性の評価結果を示す。表 1 によると提案手法は 4×4 のメッシュに選択可能経路数の平均値が劣っているが、同程度のホップ数の条件では同程度の選択可能経路数になることが分かった。

表 1 静的特性の評価結果

トポロジ/ ルーティング	最大 ホップ数	経路数の 合計	選択可能 経路数の 平均値
メッシュ・トーラス/ 固定ルーティング	6/4	256	1
4x4 メッシュ/ NF 法	6	508	1.98
4x2 メッシュ/ NF 法	4	84	1.31
3x3 メッシュ/ NF 法	4	115	1.42
4x4 トーラス/ 提案手法	4	347	1.36

6.まとめ

今回の提案手法の静的特性である、「ネットワーク中を流れるデータが経路を選べる数の平均値」は、1.36 通りとなることが判明した。提案手法は同じホップ数の他の条件と同程度の静的特性を有することが示された。

参考文献

- [1] Yasuyuki Miura, Kentaro Shimozono, Kazuya Matoyama, Shigeyoshi Watanabe, An Adaptive Routing of the 2-D Torus Network Based on Turn Model, Proc. of 4th International Workshop on Advances in Networking and Computing, pp.587-591, 2013.12.
- [2] C.J.Glass, L.M.Ni, The Turn Model for Adaptive Routing, The 25th Annual International Symposium on Computer Architecture, pp.441-450, 1998.