

ハイパクロスバ・ネットワークにおけるバーチャル・カット・スルーの性能評価*

1B-4

三島健、板倉憲一、朴泰祐、中澤喜三郎、中村宏†

筑波大学 電子・情報工学系†

{mishima,itakura,taisuke,nakazawa,nakamura}@arch.is.tsukuba.ac.jp

1. はじめに

並列計算機を効率良く動作させるためには、PU間の通信を高速に行なうことが重要であり、これはネットワーク・トポロジやルーティング・アルゴリズムによって決まる。多くのネットワーク・トポロジの中で特にハイパクロスバ(HXB)ネットワークのWormhole方式が他のネットワークに比べて比較的高いスループットが得られることがわかっている[2]。

本研究では、HXBネットワークのスループットをさらに向上させる為の手法として、Virtual Cut-Through方式[1]のルーティングに着目する。Virtual Cut-Through方式の実現方法をいくつか提案し、計算機上でのシミュレーションによって定量的に性能評価を行なう。

2. ハイパクロスバ・ネットワーク

HXBネットワークは、比較的小規模なクロスバ・スイッチ(XB)を組み合わせた多段の間接網であり、最大距離及び平均距離が小さく拡張性にも優れている。また、通信チャネル数も多いため、大規模なシステムにおける複雑な転送パターンにおいても比較的高い交信性能を保つことができる。さらに、同規模のネットワークを作る場合、他のネットワークに比べて比較的低コストも低い[3]。3次元HXBの例を図1に示す。図中のEXはPUと各方向のXBを結ぶ小さなXBスイッチでルータとして機能する。

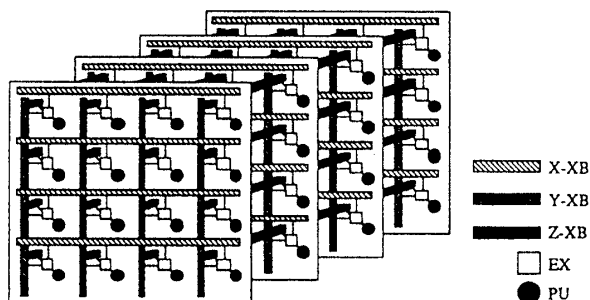


図1: 3次元HXB(4×4×4)

3. Virtual Cut-Through方式

本研究で対象とするVirtual Cut-Through方式[1]は、Store&Forward方式とWormhole方式の利点を組み合わせたルーティング方式である。文献[1]の方式をstatic buffering modelとし、さらに拡張してdynamic buffering model, flexible buffering modelを考える。どの場合も基本的に各ノードの通信チャネル上に一定量のバッファがあ

り、転送されるメッセージの一部、または全部を格納できるものとする。このバッファリングによりネットワーク上でのメッセージのブロッキング、チャネルの無駄な占有時間を減らすことがVirtual Cut-Through方式のねらいである。

static buffering model: メッセージは、次のノードのバッファにそのメッセージ全体が入るスペースがある場合のみ次のノードへ進むことができる。よって、バッファ長よりも長いメッセージは転送できない。次のノードのバッファに他のメッセージが入りつつある状態か、次のノードのバッファにメッセージ全体が入るスペースがないか、または現在のノードのチャネルが他のメッセージに使われている時は、進むことができず現在のノードのバッファにストアしなくてはならない。一度、ストアと決まったメッセージは完全にストアが完了するまで次のノードへ進むことはできない。

dynamic buffering model: 先のmodelを改良して、ストア中であっても次のノードのバッファに転送可能になったら即転送を開始する。ここで転送可能になる条件は先のmodelと同じで、次のノードのバッファにそのメッセージ全体が入るスペースがある場合のみ次のノードへ進むことができる。従って、不必要なストアがなくなり、スループットが向上することが期待できる。バッファはメッセージをストアしつつ先頭を次のノードに出力するようなFIFOキューでなければならない。

flexible buffering model: 先のmodelをさらに拡張して、転送可能になる条件を次のノードのバッファに1bitでも入るスペースがあったら転送できるとする。メッセージは複数のノードに分かれてストアしてもよい。この改良によりどんな長さのメッセージも扱えるようになり、またバッファ中で待たされることも少なくなり、さらにスループットが向上することが期待できる。

4. シミュレーション

一般的なメッセージ衝突状態を想定するため、ランダム転送の様子を計算機でシミュレーションした。システム中のPUはランダムに選んだ相手PUに対して一定長のメッセージを転送し、転送が終了したら再び相手をランダムに選んで転送を繰り返すとする。PUはsend&wait(メッセージがPUから完全に出るまでPUは他の処理をすることができない)でメッセージを転送し、PUに到着したメッセージは割り込み処理によってDMAで適宜受信されるものとする。システムの規模は1024PUからなる8×8×16の3次元HXBとした。チャネルのバンド幅は1flit/clockとし、各チャネルの出力にVirtual Cut-Through用のバッファを用意した。スループットは、理想的な無衝突の場合を1として正規化して行なった。デッドロックを避けるため、固定ルーティング方式を採用した。スイッチ1段当た

* Performance Evaluation of Hyper-Crossbar Network with Virtual Cut-Through Routing

† Takeshi MISHIMA, Kenichi ITAKURA, Taisuke BOKU, Kisaburo NAKAZAWA, Hiroshi NAKAMURA

† Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

りの遅延は1clockとする。パラメータはML(1つのメッセージの長さ)とBL(1つのバッファの長さ)である。

5. 評価と考察

static buffering modelのスループットを図2に示す。dynamic buffering modelとflexible buffering modelのスループットの傾向は似ているため図3にまとめた。それぞれVCT-DとVCT-Fで表す。全体的に、単純なWormhole方式に比べ、性能が向上していることがわかる。以下、各方式を個別に検討する。

static buffering model: メッセージ長がバッファ・サイズに比べて十分短い場合は性能向上が見られるが、メッセージ長がバッファ・サイズの半分を越えたあたりから下降する。これは、メッセージ全体が次のノードのバッファに入り切らなければそのノードに進むことができないという条件によるものである。注目すべき点は、メッセージ長がバッファ・サイズと等しい点ではスループットが持ち直すという点である。この現象は以下のように説明できる。

今、長さMLのメッセージAが次のバッファを覗いている。次のノードのバッファには長さMLのメッセージBが溜まっているとする。バッファ・サイズをBL($BL > ML$)とすると、バッファの空きスペースが $BL - ML$ 以上の時、メッセージAは次のノードへ進むことができる。しかし、メッセージBがまだバッファに残っているためメッセージAは先へ進むことができず、そのノードにストアすることになる。結局、そのノードから先へ進むのはメッセージAのストアが完了してからとなる。もし $BL = ML$ ならば、メッセージAは、メッセージBが完全にノードから出ていくまでは進むことはできないが、逆にそのノードに進んだ時はメッセージBは存在しないため、バッファにストアせずそのままWormhole的に進む可能性がある。このように、メッセージ長がバッファ・サイズよりも少しでも短いと、かえって次のバッファでストアさせられる確率が高くなるため、このような現象が生じる。

dynamic buffering model: このmodelでは、メッセージはバッファにストア中であっても次のノードのバッファへ転送可能になったらストアの完了を待つことなしに転送が開始されるので、static buffering modelで起きた様な現象は起こらない。メッセージ長が長くなるとstatic buffering modelの場合と同様に性能は低下するが、上の理由によりstatic buffering modelほどの性能低下はなく、またV字型の特性も生じない。結果としてWormhole方式の時の性能と比べて大きくスループットが向上したことがわかる。

flexible buffering model: 先の二つのmodelでは、次のノードのバッファにメッセージ全体がストアできるサイズの空きがないと転送できないという制約があった。その制約により、バッファ長よりも長いメッセージは全く転送できなかった。その制約を取り去り1flitでもバッファに空きがあれば転送できるようになったので、どんな長さのメッセージも転送できる。また上の理由により、バッファで余計な待ち時間が無くなったためメッセージ長が長くなった時の性能低下はdynamic buffering modelよりもさらに小さくなる。結果としてこのmodelの時の性能が一番良く、バッファを300flit分用意することができれば、常にWormhole方式の時よりも少なくとも4割以上高いスループットが得られる。特にメッセージ長が短い時は7割程度のスループットの向上が得られる。

6. おわりに

本研究ではHXBネットワークにおいて、いくつかのVirtual Cut-Through方式のルーティングによってランダム転送を評価を行なった。その結果、Wormhole方式よりも高いスループットが得られることがわかり、またflexible buffering modelによるVirtual Cut-Through方式で最も高いスループットが得られることがわかった。

今後の課題として、適応ルーティング[4]とVirtual Cut-Through方式を組み合わせることによるスループットの向上や、バッファ量を小さくする工夫などがある。

謝辞

本研究に関し貴重な御意見を頂いた筑波大学西川博昭助教授ならびに中澤研究室諸氏に深く感謝します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費(奨励(A)05780255)及び創成的基礎研究(05NP0601)の補助による。

参考文献

- [1] Parviz Kermani et al., "Virtual Cut-Through: A New Computer Communication Switching Technique" Computer Networks vol.3, No.4, pp267-286, 1979
- [2] 朴泰佑 他, 「ハイパクロスバ・ネットワークの性能評価」, 信学技報 CPSY93-40, pp.41-48, 1993年
- [3] 齊藤 哲也 他, 「超並列計算機のネットワーク実現性と性能評価」, 情処研報 92-ARC-95-4, pp25-32, 1992年
- [4] 曾根 猛 他, 「ハイパクロスバ・ネットワークにおける適応ルーティングの実現方法とその評価」, 第48回情報処理全国大会, 1994年3月

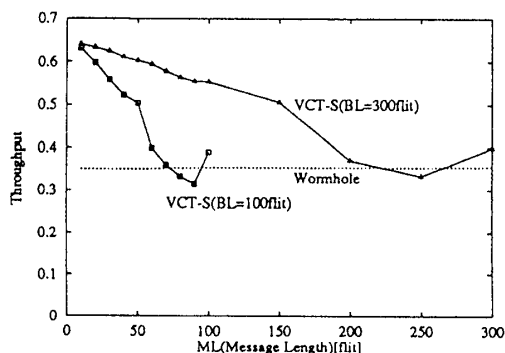


図2: static buffering modelにおけるスループット

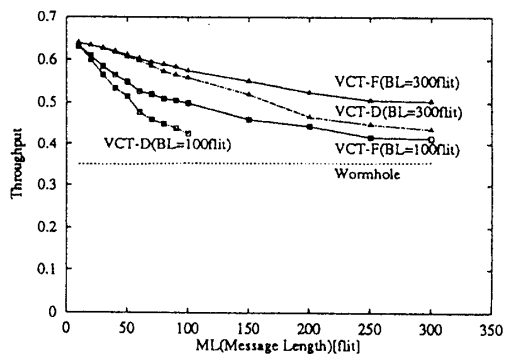


図3: dynamic buffering modelとflexible buffering modelにおけるスループット