

耐故障ネットワークルーティングに対する スロットリングに関する考察

村上 弘和[†] 鎌倉 正司郎[†] 吉永 努[†]

電気通信大学大学院 情報システム学研究科[†]

1. はじめに

大規模な並列計算機のネットワークにおいては、ネットワークが飽和するとその通信性能が低下する。さらに、故障が発生するとネットワークがより混雑し通信が途絶える可能性がある。そこで我々は、ネットワークの状態に合わせパケットの注入量を抑制するスロットリングに焦点を当てる。本稿では、我々が提案した耐故障ルーティングアルゴリズム[1]に適用可能な故障を考慮したスロットリング手法を提案する。これは、[1]で用いられているスロットリング手法を、故障発生時の過密なネットワーク状況にも耐えられるように改良したものである。これにより高負荷なパケット注入や複数のネットワーク故障に対応可能なスロットリングアルゴリズムを実現する。以降、この故障に追隨するスロットリング手法を説明し、その性能を議論する。

2. 我々が過去に提案したスロットリング手法

[1]におけるスロットリング手法について説明する。[1]における手法、提案する手法は共にパケットをネットワーク注入するときのブロッキング時間が一定値に達した場合にスロットリングをかける。まずポートのパケットの転送状況の偏りによって uniform 通信か非 uniform 通信かを認識する。これは、ポートの転送フリット数の最大値と最小値の差をとることで実現する。次に、uniform 通信と非 uniform 通信それぞれにおいて最適なブロッキング時間を実験により求め、通信パターンを認識したノードから閾値を変更する。非 uniform 通信は uniform 通信よりも小さな負荷で飽和するため閾値を低く設定する。ブロッキング時間が閾値を超えると、ある一定確率でしかフリットがネットワークに出ないよう制御をかける。その確率は、任意に変更可能である。よって、そのときの通信パターンやパケット注入率にあわせた制御が可能となる。

[†]“A consideration of slotting for fault-tolerant network routing”, †Hirokazu Murakami, Shojiro Kamakura and Tsutomu Yoshinaga
Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

3. 故障に追隨するスロットリング

故障が発生すると、故障ノードは隣接するルータに制御パケット(故障情報を知らせるパケット)を転送する。制御パケットを受け取ったノードは自身の隣接する制御パケットを受け取っていないノードに対し制御パケットを転送する。これを繰り返し、すべてのノードに制御パケットが行き渡るとネットワークが故障を検知したと判断する。通常のパケット、制御パケットに関係なくスロットリングをかけてしまうと制御パケットが待たされ故障情報の伝達に遅れが生じる。これを防ぐために、パケットの区別を明確にして制御パケットをいち早く転送する。

以前の手法では uniform 通信と非 uniform 通信で閾値を変えスロットリングを行っていた。しかし、この手法だとパケット注入率が変わる度に閾値を変更しなければならない。最適な閾値を見つけるのは困難であり実装コストもかかる。そこで閾値を一定にして、何サイクルの間スロットリングを行うかを表すカウンタを用いてスロットリングの強弱をつける。これにより、以前の手法よりも取り扱いが容易になり実装のコストも削減できる。さらに、スロットリングをかけている間そのノードへの新たなパケットの注入を抑制し、スロットリング時間内でできる限りネットワークの混雑を解消する。

また bit reversal 通信のような非 uniform 通信で故障が発生すると uniform 通信よりもさらにネットワークが混雑する。そのため、bit reversal 通信時のスロットリングは故障が発生するとカウンタ(スロットリング時間)を変化させパケットの注入量を uniform 通信時よりも少なくし混雑をできる限り回避する。これは、ポート利用の偏りを用いて通信パターンを認識することで実現する。

4. シミュレーションによる評価

並列計算機ネットワークでのルーティングアルゴリズム評価に特化した Book Simulator[2]を用いて、シミュレーションを行った。シミュレーションの条件は、2次元トーラス 256 ノード(16×16)を用い、通信パターンとして uniform

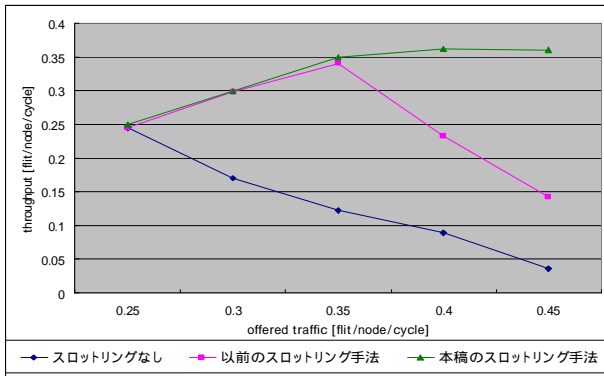


図 1: uniform random 通信の平均スループット

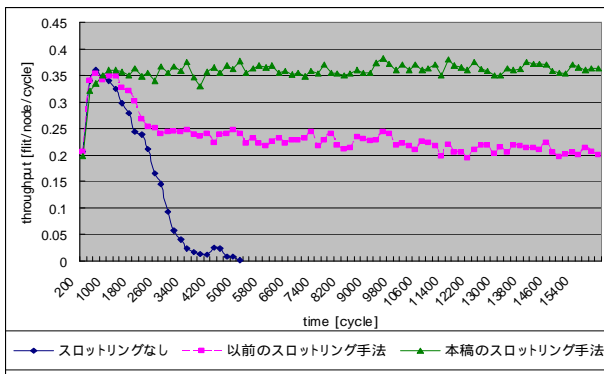


図 2: uniform random 通信の通信性能

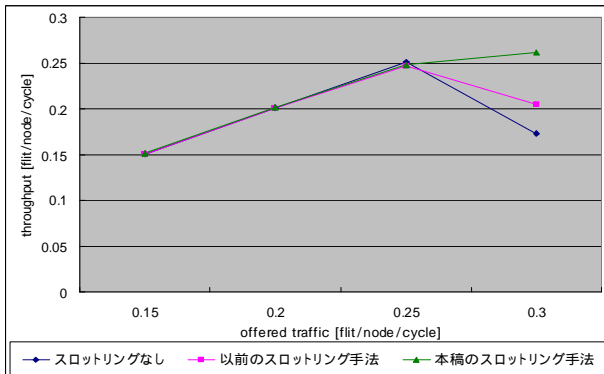


図 3: bit reversal 通信の平均スループット

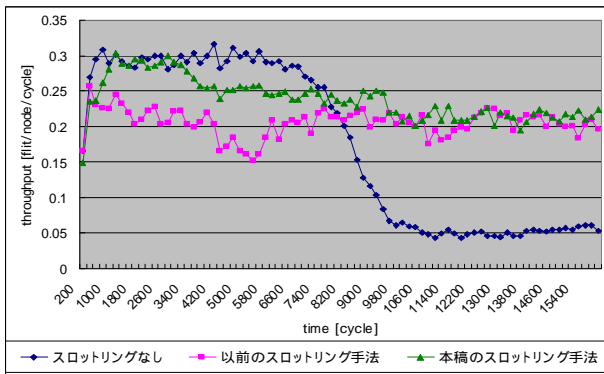


図 4: bit reversal 通信の通信性能

random 通信と bit reversal 通信を使用する．意図的に 3000 サイクルと 9000 サイクルにおいてそれぞれ 1 箇所ずつ(33-34 間と 133-134 間ノード)リンク故障を発生させ、有故障下でのネットワーク性能の評価を行う．また、実験により各通信パターンの飽和スループットを求めると uniform random 通信は 0.36[flit/node/cycle]、bit reversal 通信は 0.26 であった．そこで、パケット注入率をそれぞれ 0.4、0.3 とし高負荷なネットワーク状況下での通信性能を評価する．

以前に提案した手法では最適な閾値の設定が難しいため安定した効果を得ることができなかった．しかし、今回の手法では uniform random 通信、bit reversal 通信どちらにおいても以前の手法よりも安定して良い結果を得ることができた．図 2 と図 4 をみると高負荷な状況下で故障が発生しても、輻輳が起きないようにスロットリングで注入を抑制していることがわかる．

しかし、図 4 における bit reversal 通信ではシミュレーションの後半において以前のスロットリング手法との違いがそれほど確認することができない．なぜなら本稿の手法では、故障が発生するごとに段階的にカウンタの値を変化させスロットリングの程度を強くしているためである．これにより、スループットは若干低下するがネットワークにあまり負担をかけず通信を行うことが可能になる．

5. おわりに

本稿では、故障に追従するスロットリング手法について検討した．uniform random 通信と bit reversal 通信において高い負荷で故障が発生しても通信を持続し、ある程度の性能を維持することが可能であることを確認した．

今後の課題としては、現在よりも高い性能を維持しつつ多くの故障に対応できるようなスロットリング手法の考案が挙げられる．

謝辞 本研究は一部科学研究費補助金基盤研究(B)課題番号 17360178、18 年度 NII 共同研究(提案型)の援助による．

参考文献

- [1] 西村康彦, 吉永努, 曾和将容, 弓場敏嗣: “耐故障・適応ルーティングの自動チューニングに関する研究”, 電気通信大学大学院 情報システム学研究科 修士論文 (2005) .
- [2] Concurrent VLSI Architecture Homepage. <http://cva.stanford.edu/classes/ee482b/handouts.html>