

# Recover-x: 2次元トラス用並列デッドロックリカバリ方式の提案

3H-8

林 匡哉 堀田 真貴 吉永 努 大津 金光 馬場 敬信

宇都宮大学工学部

## 1 はじめに

並列計算機において、ネットワークの性能を向上させる手段として、種々の適応ルーティングが提案されている。適応ルーティングアルゴリズムは、デッドロック解消の観点から以下の2つに大別する事ができる。第1の方法は、デッドロック自体の発生を防止するものであり、この例としてターンモデル<sup>[4]</sup>や\*-channel<sup>[3]</sup>がある。第2の方法は、DISHA<sup>[1,2]</sup>に代表されるように、デッドロックの発生そのものを排除するのではなく、デッドロックから回復する機構を装備するものである。

本稿では、実装に必要なハードウェア量が比較的小さく、並列デッドロック回復が可能であり、且つ、デッドロック回復時のオーバーヘッドが少ない2次元トラス用デッドロックリカバリルーティング Recover-x を提案する。

## 2 Recover-x ルーティング

Recover-x では、エスケープチャンネルに退避しなければならないメッセージを、サイクルを解消するために必要な集合に限定する。これは、デッドロックがサイクルを構成するメッセージ群から、一部のメッセージを取り除けば解消されるからである。こうすることで、\*-channel や DISHA-seq のように全メッセージをエスケープチャンネルへの退避候補とする必要はなくなる。それにより、全ポートが利用可能なエスケープチャンネルが不要となる。

### 2.1 2次元トラス用アルゴリズム

最も簡単なバッファ構成の2次元トラス用 Recover-x ルータを図1に示す。本ルータでは、一方の次元のポートに少なくとも1本の適応 VC と2本の非適応 VC をもち、もう一方の次元のポートには2本以上の適応 VC があればよい。仮に、前者を X 次元、後者を Y 次元とする。本方式では、最短経路で適応ルーティングを行なう。メッセージは、各ポートの適応 VC を用いて完全適応ルーティングを行なう。そして、デッドロックが発生した場合に、非適応 VC をエスケープチャンネルとして用い、デッドロック回復を行なう。ただし、エスケ-

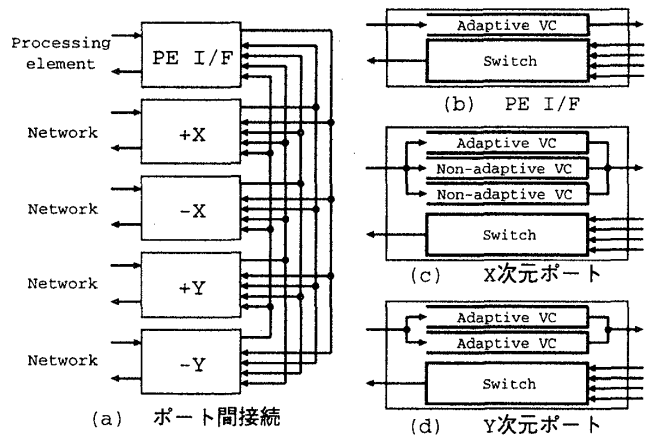


図 1: Recover-x のバッファ構成

プチャンネルへの退避候補となるメッセージを、X次元に曲がるメッセージと X次元を直進するメッセージに限定する。

本方式では、エスケープチャンネルに X次元の各ポートにある非適応 VC を用いるため、並列デッドロック回復が可能である。そのため、デッドロック発生時の性能低下が比較的小さい。また、エスケープチャンネルを積極的に活用することができる。そのため、必ずしもデッドロックまでの長いブロック時間を待つ必要はない。X方向へ進むメッセージのみをデッドロック回復するので、Y方向には非適応 VC が不要になり、ルーティング自由度を高くする事が可能である。

### 2.2 デッドロックフリーの証明

Recover-x ルーティングで、全てのデッドロックが解消できることを示す。

**定理 1:** Y次元のトラスサイクル<sup>1</sup>は、2本の適応 VC で避けられる。

**証明:** VC を切り替えるための基準線を Y次元に設け、それを dateline と呼ぶ。最短経路ルーティングでは、メッセージが dateline を最大1回しか通過しない。したがって、メッセージが dateline を越える時に VC を変更する方法、または、dateline を越えるメッセージと越えないメッセージで使用される VC を区別する方法により、2本の VC でトラスサイクルの発生を防止する。

**定理 2:** X次元のトラスサイクルは、2本の非適応 VC

Recover-x: An Efficient Concurrent Deadlock-Recovery Scheme in 2D Torus Network  
Masaya HAYASHI, Maki HORITA, Tsutomu YOSHINAGA, Kanemitsu OOTSU and Takanobu BABA  
Faculty of Engineering, Utsunomiya University

<sup>1</sup>ラップアラウンドチャンネルによって発生するチャンネル依存グラフのサイクル

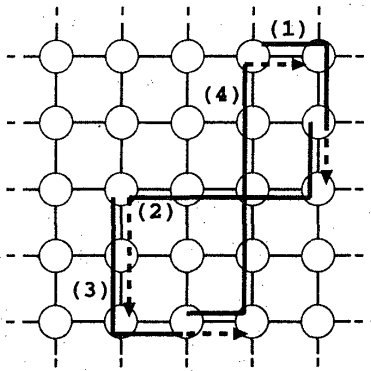


図 2: Recover-x によるデッドロック回復

と 1 本の適応 VC があれば避けられる。

**証明:** 適応 VC でトーラスサイクルが発生した場合は、サイクルを構成しているメッセージの一部をエスケープチャネルへ退避させることで、トーラスサイクルを回復できる。非適応チャネルは Y 次元と同様に 2 本の VC を使い分けることで、トーラスサイクルの発生を防止できる。したがって、適応チャネルと非適応チャネルのトーラスサイクルを避けることが可能なので、X 次元のトーラスサイクルを全て避けることができる。

**定理 3:** Recover-x では、全てのデッドロックが回復できる。

**証明:** 定理 1、2 より、X 次元、Y 次元のトーラスサイクルを避けることはできる。したがって、それ以外のデッドロックサイクルを解消できればよい。

デッドロックサイクルを構成するメッセージの中には、必ず X 方向へ進むメッセージが含まれている。よって、デッドロックを構成するメッセージの内、エスケープチャネルへの退避候補となるメッセージは、少なくとも 1 つ含まれる。したがって、このメッセージをエスケープチャネルへ退避すれば、デッドロックから回復することができる。

### 2.3 デッドロック回復例

図 2 にしたがって、Recover-x のデッドロック回復例を示す。図に示すように、説明のために各メッセージに番号をつける。なお、図中のメッセージの経路を表す矢印の内、実線部はメッセージが通過した経路を、破線部はメッセージが通過する予定の経路を示す。この場合、4 つのメッセージがデッドロックを構成している。これらのメッセージの内、(1) と (2) は Y 方向へ直進するメッセージと Y 方向へ曲がるメッセージなので、エスケープチャネルへの退避候補にはならない。一方、(3) は X 方向へ直進し、(4) は X 方向へ曲がるメッセージなので、エスケープチャネルへの退避候補になる。したがって、(3) と (4) の少なくともどちらか一方が、エ

スケープチャネルへ退避されればサイクルは壊れるのでデッドロックから回復できる。

### 3 3次元トーラスへの応用

Recover-x を 3 次元トーラスへ応用する場合について考察する。ここで、3 次元トーラスを X-Y、Y-Z、Z-X 平面に分割して考える。X、Y、Z の各次元のポートの内、2 つの次元についてエスケープチャネルがあれば、デッドロック回復が可能である。例えば、X と Z 次元ポートに非適応 VC を持つ場合、X-Y 平面、Y-Z 平面のデッドロックは、それぞれ X 方向と Z 方向へ進むメッセージをエスケープチャネルへ退避することでデッドロック回復すればよい。また、X-Z 平面は、X 方向、Z 方向のどちらへ進むメッセージも退避候補となるのでデッドロックを回復することができる。

### 4 おわりに

本稿では、2 次元トーラス用の新しいルーティングアルゴリズム Recover-x を提案した。本方式では、エスケープチャネルへの退避候補となるメッセージを効率的に分類することにより、少ないハードウェア資源で並列、且つ、オーバーヘッドの少ないデッドロック回復をサポートする。

今後の課題として、Recover-x の 3 次元トーラスなど他のネットワークポロジへの応用が挙げられる。

### 謝辞

本研究で有益な御意見をくださいました電子技術総合研究所の山口喜教氏、ならびに、日頃より御指導、御助力を頂いた宇都宮大学馬場研究室の諸氏に感謝致します。

本研究は、一部文部省科学研究費 基盤研究 (C) 課題番号 09680324、基盤研究 (B) 課題番号 10558039、奨励研究 (A) 課題番号 09780237 の援助による。

### 参考文献

- [1] Anjan K.V. and T.M. Pinkston: "An Efficient, Fully Adaptive Deadlock Recovery Scheme: DISHA", *Proc. 22nd ISCA*, pp.201-210(1995).
- [2] Anjan K.V., T.M. Pinkston and J. Duato: "Generalized Theory for Deadlock-Free Adaptive Wormhole Routing and its Application to Disha Concurrent", *Proc. IPPS*, pp.815-821(1996).
- [3] P.E. Berman, L. Gravano, G.D. Pifarré and J.L.C. Sanz: "Adaptive Deadlock and Livelock Free Routing with all Minimal Paths in Torus Networks", *Proc. SPAA*(1992).
- [4] C.J. Glass and L.M. Ni: "The Turn Model for Adaptive Routing", *Proc. 19th ISCA*, pp.278-287 (1992).