

Title	FPGA利用を前提とした最小リンク付加による相互結合網の耐故障化に関する研究
Author(s)	松本, 英樹
Citation	
Issue Date	1997-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1011">http://hdl.handle.net/10119/1011</a>
Rights	
Description	Supervisor:横田 治夫, 情報科学研究科, 修士

# FPGA 利用を前提とした最小リンク付加による 相互結合網の耐故障化に関する研究

松本 英樹

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1997年2月14日

キーワード： 相互結合網, FPGA, 代替パス, 信頼性.

## 1 はじめに

近年、扱うデータ量の増加に伴い並列コンピュータの相互結合網の規模は益々拡大している。これによってネットワークを構成するノードプロセッサやリンク等のハードウェア量も増大し、システムの信頼性の面から見れば、これらが故障した場合にもシステムとして正常に動作できるようにする Fault Tolerant Design (耐故障設計) は非常に重要になってくる。プロセッサ技術の飛躍的な進歩によってプロセッサ自身の信頼性は高くなってきたが、プロセッサ間を接続するリンクに関してはコネクタの接触不良など依然としてハードウェア的な故障が多い。

そこで本研究では、静的相互結合網におけるリンク故障の復旧に焦点を当てる。効果的なリンク故障の復旧法を模索する上で FPGA(Field Programmable Gate Array) をノードとして静的相互結合網を構成し、FPGA の持つ「回路の書き換え可能」というユニークな性質を利用したリンク故障復旧法 [3] における復旧戦略を提案すると共に、代替リンクのパターンに関する評価と、信頼性に関する考察を行なう。

## 2 従来のリンク故障対策との違いについて

相互結合網において従来からよく用いられているリンク故障対策としては各リンクに冗長なリンクを1本ずつ追加し、リンク故障時にそれを代替リンクとして使用するというリンクの二重化手法や、故障リンクを迂回しながら目的ノードまでの経路選択を行なうというルーティング手法が一般的である。しかし二重化手法においては単純にリンクコスト

が高くなり、ルーティングにおいては経路探索やデータ競合などによる通信オーバーヘッドが高くなるという問題がある。

FPGA をノードとして相互結合網を構成する場合、複数の FPGA に回路データをダウンロードするために 1 本のコンフィギュレーションラインでこれらをディジチェーンする。このラインはダウンロード後は普通に入出力可能な I/O として使用可能となるため、このラインをリンク故障時の代替パスとして用いることが考えられる。具体的には、リンク故障時にはこのラインを代替パスとして使用するように故障リンクの両サイドのノードの回路を書き換える。この方式の長所は、ノード間の物理的な接続は失われないため通信性能の低下がないこと、復旧に時間はかからないこと、そしてリンクコストを二重化における場合の半分にできること、などである。これにより従来の手法の弱点をカバーできたことになる。

### 3 FPGA の書き換えによるリンク故障復旧戦略

リンク故障復旧戦略としては、まず故障の検出、通知、そして復旧といった処理を制御ホストで一括集中して行なう「集中故障復旧方式」を考える。この手法の利点は、故障の検出から復旧まで制御ホストが一括して処理を行なうため各ノードの構成を単純化できるということである。しかしこの手法の場合、コンフィギュレーションラインに故障が発生した場合、故障したライン以降の FPGA には回路データをダウンロードできない。よって書換えは行なえず、リンク故障が起きても復旧できなくなってしまう。

この対策として「分散故障復旧方式」を考える。この方式では各 FPGA に ROM を接続し、それにノードの書き換えに伴う一連の処理をロードしておくことで各ノード毎にローカルにリンク故障の復旧を行なうことができる。この方式による利点は、各ノードがローカルに書き換えを行なうため、故障が発生する度に全ノードを書き換える必要がないことである。

### 4 代替パスパターンの生成及び評価

代替パスの張り方次第で復旧できるリンク数は変化するため、より高い信頼性を得るためには最適な代替パスの張り方を明らかにする必要がある。

$n$  個のノードに対して  $n!$  通り存在する代替パスパターンの中から最適なパスパターンを絞り込んでいくために、トポロジカルな絞り込みと評価指標による絞り込みを行なった。

リンク故障を復旧するためにノードで一回書換えを行なった場合、代替リンクのパターンによっては次回復旧できないリンクが存在し、そういったリンクの数を「影響リンク数」という名の一つの評価指標としてパターンの絞り込みを行なった。

この絞り込みによって 36 通りのパスパターンが得られ、これらを解析した結果  $n \times n$  のトラスネットワークにおいて最適と思われる代替パスの張り方の規則性を発見することができた。

## 5 信頼性に関する考察

本研究におけるリンク故障復旧法は代替パスにより故障を回避する方法であり、故障リンクの修理は考えないため、モデルを縮退システムとしてマルコフモデルを元に、得られた最適パスの  $MTTF$  を求めた [1, 2]。  $n \times n$  のトラスネットワークについて  $MTTF$  を求めるのは困難なのでここでは  $3 \times 3$  の構成について  $MTTF$  を算出した。

得られた最適パターンと、静的相互結合網においてリンク故障における信頼性が最も高いと思われる二重化パターンとの  $MTTF$  を比較した結果、集中故障復旧方式を前提とした場合、代替リンクコストを半分に落としても、なお二重化における信頼性の 83% を獲得できることが明らかになった。

## 6 おわりに

本研究では、FPGA をノードプロセッサとして使用した  $n \times n$  のトラス結合網において、FPGA の「回路の書き換え可能」という特徴を活かしたリンク故障復旧方法における復旧戦略を提案し、代替リンクパターンに関する評価と信頼性に関する考察を行なった。

パターンの絞り込みによって 36 通りのパスパターンが得られ、それらを解析した結果  $n \times n$  のトラスにおいて最適と思われる代替パスの張り方の規則性を発見することができた。

信頼性においては、集中故障復旧方式を前提とした場合、二重化の半分の代替リンクコストでその 83% の信頼性を獲得できることが明らかになった。

今後の課題としては、分散故障復旧方式を前提とした場合の信頼性の評価、FPGA 実験システム上での動作確認などがある。

## 参考文献

- [1] Haruo Yokota. On Applying RAID to Networks and Improving Reliability. CPSY 93-11, IEICE, April 1993.
- [2] Yasuyuki Mimatsu. Research on Performance and Reliability of Disk Systems. Master's thesis, 1995.
- [3] Toshio Asano. Research on Flexible Structure of Interconnection Network using FPGA. Master's thesis, 1995.