

2ZB-2

自己組織化ハードウェアによるフォールトトレラントシステムのための自律制御機構についての研究

椿 龍也<sup>†</sup> 新井 浩志<sup>†</sup>

千葉工業大学 大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻<sup>†</sup>

1. はじめに

従来より、システムを多重化することによって、故障の発生時にも信頼性を維持するフォールトトレラントシステムに関する研究が広く行なわれている。これに対して近年は書き換え可能なデバイスを用いた進化型ハードウェア<sup>[1]</sup>によって自己修復機能を実現する為の研究が行われている。これを実現したハードウェアとしてBioWatch<sup>[2]</sup>が提案されている。しかし、BISTによる故障検出を想定しているため、システムが稼動中に故障を検出することは困難であり、また、自己修復中はシステムが停止するという問題がある。我々は動作中にも故障検出と自己修復が可能なハードウェアとして3重化した自己組織化ハードウェア<sup>[3]</sup>を提案している。本報告では提案手法の自律制御機構について概説する。

2. システム構成

本手法の対象はいくつかの機能ブロックが逐次的に処理を行うハードウェアとする。我々が提案しているシステムの構成を図1 (a) に示す。この図において左からA, B, C, D, E, F列、上から $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 行とし、各機能ブロックをセルと呼ぶことにする。Fnはn番目の機能を持つセル、SPは入力信号をそのまま出力する予備のセルを示す。図1 (a) の1行分のF1~F4が実現対象のハードウェアに相当する。各セルは内部に故障検出モジュールを持ち、自セルの出力を同じ列の他のセルからの出力と比較して、自セルが故障していないかどうかを自律的に判断する。 $\beta$ 行B列のセルが故障した場合の自己修復の流れを図1 (b), (c) に示す。

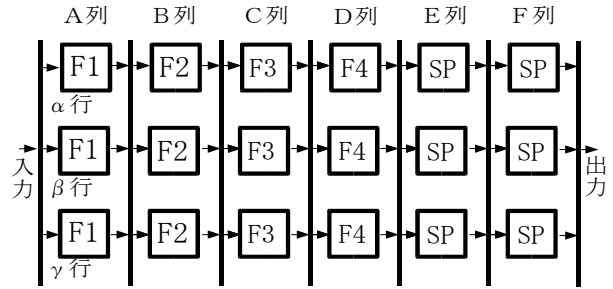
STEP1: 出力向き再構成

$\beta$  行のセルは、故障セルの1つ右のC列からE列の方向へ機能が順序よく並ぶように再構成

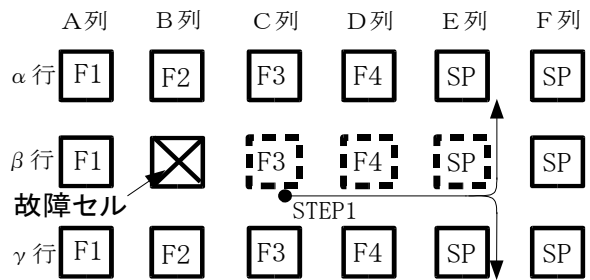
Research on the autonomous control mechanism for the fault tolerant system by self-organization hardware

<sup>†</sup>Tatsuya Tsubaki, <sup>†</sup>Hiroshi Arai

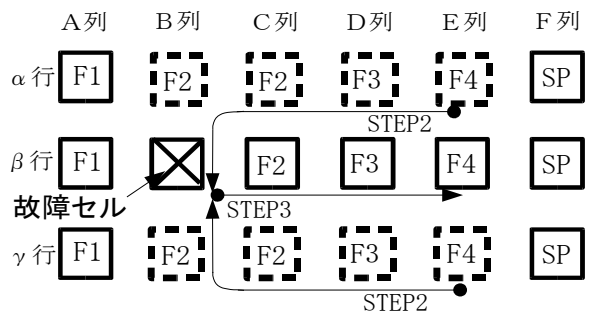
<sup>†</sup> Graduate School of Engineering Electrical, Electronics and Computer Engineering ,Chiba Institute of Technology



(a) システム構成



(b) 自己修復の手順 (STEP1)



(c) 自己修復の手順 (STEP2, STEP3)

図1: 自己組織化ハードウェア

する。この時、 $\beta$  行の各セルは故障検出モジュールを経由せずに直接次のセルにデータを送る。 $\beta$  行E列の再構成終了後、 $\alpha$  及び  $\gamma$  行のE列のセルへ再構成の終了を通知する。

STEP2: 入力向き再構成

$\alpha$  行及び  $\gamma$  行のセルは、E列からA列の方向へ機能が一つずつ右に移動するように再構成する。故障セルと同一列のセルはデータを素通しするセルとなり  $\beta$  行に再構成終了を通知する。

### STEP3：通常状態への復帰

$\beta$  行のセルは故障検出モジュールの使用を再開し後述する通常状態に遷移する。 $\beta$  行E列が通常状態に戻った後、 $\alpha$  行E列及び  $\gamma$  行E列も通常状態に遷移する。

各セルは自分の周囲4個のセルから得る情報だけを参照して以下の5種類のいずれかの状態をとる。これによりシステム全体が自律的に修復し、修復中も稼動し続けることが可能となる。

#### ・通常状態

各セルは自分を含めた左右のセルの機能が正しい順序で並んでいるかを判断する。機能の順序に異常が発生している場合は下記再構成状態のいずれかに遷移する。

#### ・故障状態

自セルの出力が、同一列の他の2セルの出力と一致しないときには、自セルが故障したと判断する。右側のセルに対して出力向き再構成開始信号を出力する。自セルと同一列の他の2行のセルがデータを素通しするセルになると、右側のセルに出力向き再構成終了信号を出力する。

#### ・出力向き再構成状態

左側のセルを参考に再構成する状態。出力向き再構成終了信号を受けると通常状態に遷移する。自セルを最終段の機能に再構成する場合は自セルの再構成が終了後、同一列の他のセルに対して入力向き再構成開始信号を出力する。

#### ・折り返し再構成状態

故障セルを含まない行のSPセルを最終段の機能に再構成する状態。故障検出モジュールの出力を停止し、故障した行の出力を有効にする。入力向き再構成終了信号により通常状態に遷移する。

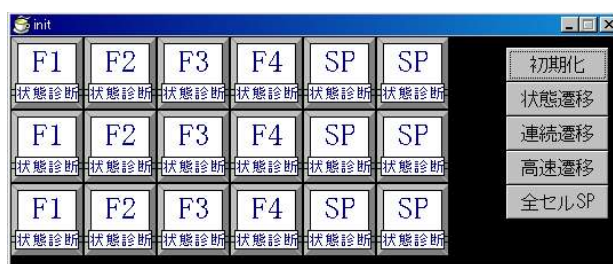
#### ・入力向き再構成状態

右側のセルを参考に再構成する状態。自セルの再構成が終了すると通常状態に遷移する。故障したセルと同一列のセルはデータを素通しするセルとなる。

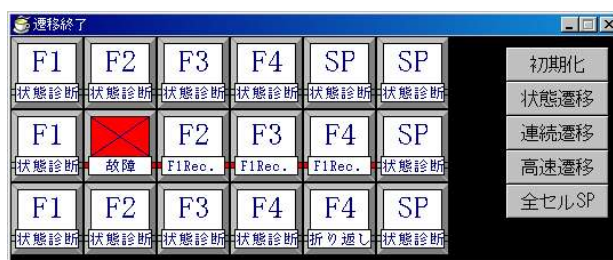
以上の自律制御機構を各セルに持たせることで自己修復を行なう。

### 3. シミュレーション

2章で述べた自律制御機構による自己修復プ



(a)初期状態



(b)再構成実行中

図2：シミュレータ動作画面

ロセスの動作を検証するために、プログラミング言語HSPを使用しPC上で動作するシミュレータを作成した。図2に機能数4、予備セル数2として実行した場合の動作画面を示す。

故障セルを設定し状態遷移ボタンを押すことでそれぞれのセルが周囲のセルの状態を読み出し、次の状態を決定する。これを繰り返し行うことで各セルの状態と全体の状態を把握することが出来る。図2(b)は $\beta$ 行B列が故障し、4回目の状態遷移が終了した状態である。

#### 4. おわりに

今後は本システムを実現し、その有効性を確認した上で、自己治癒プロセスすなわち、故障箇所が正常なものに交換された後にシステムが自動的にもとの初期状態に戻ることに実現に向けて検討を重ねる予定である。

#### 参考文献

- [1]樋口哲也, “進化型ハードウェア”, 情報処理, Vol. 40, No. 8, pp. 795-800, 1999.
- [2] Sipper, Mange, Sanchez, “Quo Vadis Evolvable Hardware?”, Communications of the ACM, Vol. 42, No. 4, pp. 50-56, 1999.
- [3] 平野健司, 新井浩志, “進化型ハードウェアを用いた自己修復機能の実現手法について”, 情報処理学会第63回全国大会, 5J-4, 1-21, 2003.