

系再構成型システムの無線化に関する基礎研究

A Fundamental Study on Application of Wireless Communication for Flexible System Reconfiguration

○中山正渡¹, 望月寛²*Masato Nakayama¹, Hiroshi Mochizuki²

Abstract: We proposed a flexible system reconfiguration (FSR) method which inherits functions of failed controllers using calculation resource margin of other controllers. In this paper, we proposed a FSR architecture in which the wiring modification of a present distributed control system is minimized. In addition, we actually configured a basic distributed control system with some sensors and actuators, and evaluated basic functions of FSR. Furthermore, we attempted to apply FSR method to wireless systems such as wireless sensor network.

1. はじめに

複数のコントローラを用いた分散システムにおいて、あるコントローラの故障時に冗長系を用いることなく、残存系のコントローラで機能をリリーフする系構成型システム(Flexible System Reconfiguration:FSR)とする。従来の系再構成型システムの構築には、通信手段として 2 線式のシリアル通信である I²C(Inter-Integrated Circuit)通信を用いていた^[1]。本研究では、新たな通信手段として無線通信である ZigBee を用いて系再構成型システムを構築することを提案する。

2. I²C 通信を用いた系再構成型システム

2.1. 系再構成型システムの概要

現在、FPGA のようなプログラマブルデバイス上で、アプリケーションに合わせて自身のハードウェア構成を変更し、柔軟で高速な処理を実現するリコンフィギャラブルシステムが注目されている。他方、今回対象としている分散システムのコントローラは、マイコンのようなプログラマブルなデバイスではないものを想定しているが、近年、コントローラ自身の性能やペリフェラルを含めた計算資源が飛躍的に増大にしている背景から、分散システムを構成する各コントローラには十分な計算資源余裕があると仮定できる。したがって、リコンフィギャラブルシステム概念は、複数のコントローラにより構成される分散システムの系全体という単位でも適用可能であると考えた。これを前者と区別し、系再構成型システムと定義した。

次に系再構成型システムを構築する際の具体的な構成について述べる。今回は、図 1 に示す系再構成型システム構築用ユニットを用いた構成を検討する。この図によると、コントローラやセンサ・アクチュエータに対して外付けとなるように配置し、制御レジスタ情報の収集や更新、および故障診断を受けた I/O 切替と

いう機能をユニットが行う。また、コントローラ故障時に、機能リリーフしたいコントローラと該当するセンサ・アクチュエータとの通信路をユニットを介して確保する。

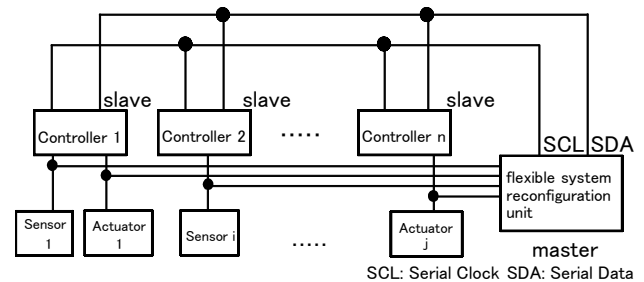


Figure 1. Composition of the distributed control system using FSR unit.

2.2. リリーフ機能を実現する I²C 通信フォーマット

系再構成型システムを構築する上で、コントローラ間などの通信手法の確立は大変重要である。今回、その通信手法として信号線とクロック線の 2 線によってシリアル通信が可能な I²C 通信を採用した。ここでは、リリーフ機能を実現するための I²C 通信の通信フォーマットを設計した。通常時においてはマスターである系再構成型システム構築用ユニットからのヘルスチェックに対して、スレーブ側は、自身のスレーブアドレスを返信する。そして、ユニット側がアドレス照会した後、カウンタ値やステータスフラグなど、機能リリーフの際に必要な制御レジスタのデータをマスター側に送信する。一方、機能リリーフ時には、機能リリーフするコントローラに対して、リリーフモードフラグを設定した後、ユニットが持つリリーフのために必要なデータ、及び処理に必要なセンサ出力をユニットを介して送信する。それに対し機能リリーフするコントローラは、それらのデータを基に処理を行った後、ACK 信号をユニット側に送信し処理終了を伝え

る。そして、処理結果およびアップデートされた制御レジスタのデータをマスタ側に送信することで機能リリーフを実現する。

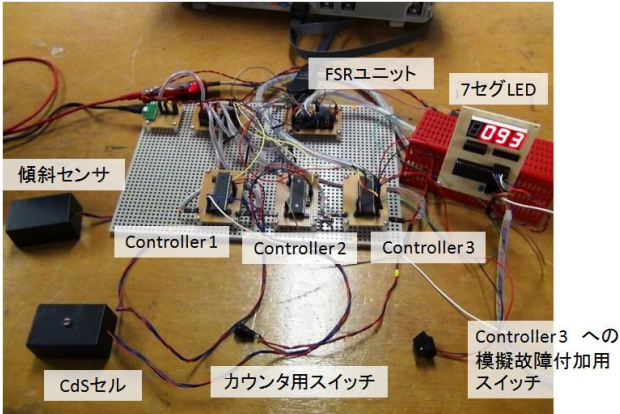


Figure 2. FSR system using sensors and PIC controllers.

3. 実際の分散システムによる評価

今までの設計を踏まえて、図 2 に示すような分散システムを PIC マイコンで構築し性能を評価した。このシステムでは 3 つのセンサに対する処理結果を 7 セグ LED に出力する。また、系再構成型システム構築用 (FSR) ユニットも同様に PIC マイコンを用いて開発した。図 3 に通常時の I²C 通信の出力波形を示す。なお、I²C 通信の通信速度は 100[kbps] である。この図より、1 つのコントローラに対して 3[ms] 程度でヘルスチェックが行えることを確認した。次に、故障時における評価を行う。今回、特にカウンタ値の引継ぎという履歴を有する処理を行うコントローラ 3 がフリーズするような模擬故障を与えた際のリリーフ性能を評価する。図 4 にリリーフ時の I²C 通信の出力波形を示すが、この図より、他のコントローラにそれまでのカウンタ値を引継いだ上でカウンタ機能がリリーフできることを確認した。また、切替時間は 6[ms] 程度であり、カウンタ処理に比して十分に短い時間であることも明らかにした。

4. ZigBee による系再構成型システムの無線化に関する提案

ここでは、マスタ、スレーブ間の通信を無線通信規格である ZigBee を用いて構築することを提案する。ZigBee とは、センサネットワークを主目的とする近距離無線通信規格である。低速で転送距離が短転送速度も低速である代わりに、安価で消費電力が少ないという特徴を持つ。基礎部分の使用は IEEE802.15.4 として規格化されている。ZigBee は大規模なワイヤレスセンサネットワークを構築するために策定された規格で、WiFi や Bluetooth と同じ IEEE という標準規格化団体により物理層と MAC 層の仕様が定義される。

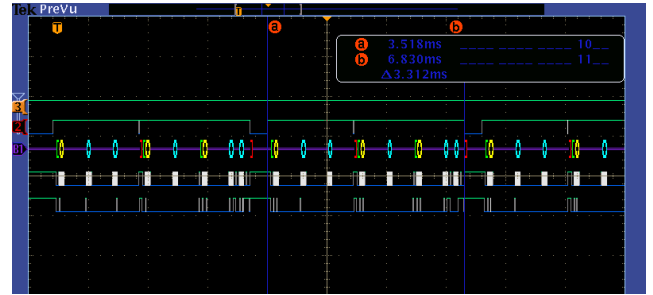


Figure3. I²C output waveform in a normal mode.

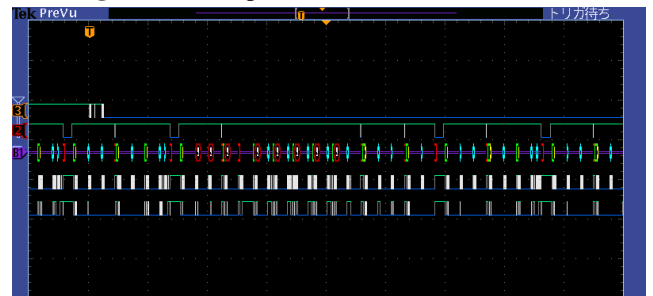


Figure4. I²C output waveform in a relief mode.

ZigBee は参加できる端末数が最大で 65535 個の仕様になっており、WiFi や Bluetooth に比べて非常に多い。多数のセンサがネットワークに参加するワイヤレスセンサネットワークに最適化であり、また、ZigBee ネットワークはコーディネータ、ルータ、エンドデバイスで構成され、複雑なルーティング解決が必要とされるメッシュネットワークが利用可能な規格である。次に、ZigBee を用いた系再構成型システムの構成と特徴について述べる。

まず、構成に関しては図 1 に示した I²C 通信を用いた構成を Zigbee 通信に置き換えることとする。これにより、従来の提案方式に対して、系再構成機能に関する更なる省配線化が可能となるだけでなく、対象の分散制御システムと無線通信ができるという条件で、FSR ユニットの遠隔配置することも可能となり、システムのモニタリングが容易となる。さらに、有線の場合、コントローラの故障モードによって、物理的に繋がっている他のコントローラにその影響が波及し、多重故障となる可能性があるが、無線通信を用いることによりあるコントローラ故障によって他の系の通常処理に影響を与えることがないという点も特徴である。

5. まとめ

本稿では、実際のコントローラを用いた系再構成型システムの評価を行うとともに、無線通信を適用した際の特徴について示した。

6. 参考文献

[1] 望月他, “系再構成機能を有する分散制御システムの開発”, 信学技報, Vol.112, No.362, pp.17-20 (2012).