

PWM を用いたセンサネットワークによる モニタリングシステムの検討

Designing Reliable Sensor Network for Nuclear Power Plant

東京大学原子力国際専攻 藤原 健 Takeshi FUJIWARA Student Member
東京大学原子力国際専攻 高橋 浩之 Hiroyuki TAKAHASHI Member

This study proposes an innovative method for the monitoring the nuclear power plant. In this field, false detection of the trouble, both “false negative” and “false positive” will become a serious problem. In the other hand, since its complexity of nuclear power plant, simplicity of monitoring system is strongly required. Here, we propose a new simple and reliable health monitoring sensor network system. Our pulse width modulation technique realizes a self-maintenance function in single signal line (token ring shaped).

Keywords: Health Monitoring, Sensor Network, Pulse Width Modulation, Self-Maintenance

1. 緒言

原子力発電プラントにおいては現在、原子炉の稼働率と信頼性を高める観点から、保全手法としてこれまでの時間計画保全 TBM(Time Based Management)から新たな保全手法として状態監視保全、CBM(Condition Based Management)が提案され、CBM による保全手法の研究・開発が国内外で活発に行われている。しかし、これまで監視対象となるシステムの信頼性については様々な議論され、研究対象とされてきたが、状態監視をするセンサ自体の信頼性を含めた状態監視技術の信頼性については活発に議論されてきたとは言えない。安全性を考えた時にはセンサによる確実な故障検知が要求され、原子炉の稼働率向上を考えた場合、故障の誤検知は大きな問題となるため確実なセンシングが要求される。つまり” False negative” , ” False Positive” のどちらにも状態監視の信頼性が安全面、コスト面の両面から非常に重要になってくる。多数のセンサによって構成されるセンサネットワークにおいては、センサの故障がときにセンサネットワーク全体の致命的な故障に発展する。しかし、原理的に故障を伴わない人工物は実現不可能なので、本研究では、センサの故障の発生を前提とした上で、故障に耐性のあるセンサネットワークを実現することを考える。システムが故障に耐性をもつためには、センサに故障が発生してもシステム全体の機能を保持し続けることができる「自己

修復機能」をもつことが望ましい。

また、大規模・複雑系システムの実装に際し、全体にセンサのネットワークを配線することは手間やコスト面でのデメリットが考えられるだけでなく、状態監視系が複雑化すると状態監視系が新たな故障を誘発することになりかね、これは安全面からも経済面からも好ましくない。

本研究では原子炉の状態監視の信頼性に焦点をあて、自己修復機能を付加しセンサネットワークシステムを開発するとともに、ネットワークの簡素化を両立させることを目的とする。

2. システム設計

2-1. 自己修復機能

本来、人工物が自身の故障箇所を完全に修復する自己修復機能を持つことが望ましいが、人工物が生命体のように増幅機能を持たない以上、そのようなシステムは現実的ではない。そこで本研究で提案するシステムでは故障発生によるシステム全体への影響を最小限にとどめ、全体としての機能を保持するものとする。

状態監視センサはそれぞれ故障が発生するという前提の元、各ユニットを監視するセンサをある一定の間隔で複数設置し、ローカルなネットワークを組む。構成されたセンサネットワークにおいて、各々のセンサが周囲のセンサとの整合性を確認することによって故障したセンサを検知し、故障箇所をネットワークから断線し、正常に動作しているセンサで補完することによってセンサネットワークの保全を実現できると考えた。

2-2. 定性推論

自己修復を実現するにあたって故障検知は最も重要

連絡先: 藤原健、〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
東京大学工学部 8 号館 537 号室 電話: 03-5841-6974
E-mail: fujiwara@sophie.q.t.u-tokyo.ac.jp

な要素であるといえる。生体は故障検知のベースとなる情報を神経から得るが、人工物はセンサから得ることになる。しかしセンサからの情報を単に閾値で扱うことでは故障を判断できない場合も多く、単に一つセンサの値だけでは故障を検知できないケースが多い。このようなケースではセンサの故障検知に定性推論を用いることが有効であると考えられる。定性推論とは現象の定性的な側面に注目して推論を行っていくものである[1]。例えば空気に関して、という式と現在の温度と圧力から、体積を厳密に求める方法を定量的推論とすると、定性推論では「Tが増えればVも増える」「 $T \uparrow \Rightarrow V \uparrow$ 」とより抽象化して推論を行う[2][3]。すなわち、隣接するセンサが検知する値はオーバーラップしている確率が高いという考えのもと、センサ群の値を包括的に扱い、各センサが近傍のセンサと値を比較し、整合性を確かめ合うことによりセンサの故障を検知する。ネットワーク化された複数センサ間で情報を共有し、各センサの故障を判定する際の尺度となる“信頼度”を与えることによってセンサの故障を検知する。

2-3. パルス幅変調

センサの整合性を確認するため、各々のセンサで情報を交換することが求められる。センサ間で情報を共有が前提とされる場合に、各々のセンサをそれぞれ配線し、メッシュ型のネットワークを組むことは効率的ではない上、配線の複雑化によって新たな故障を誘発する危険性がある。

本研究ではセンサからの情報をパルス幅変調方式によってセンシング値を簡素化し、さらにセンシング値のパルスにセンサの個別ID情報をもったパルスを付加することによってパルストレインを形成する。これによって一つの信号線を使って複数のセンシング値を識別できるようになるので、リング型ネットワークを用いてセンシング値を伝送することが可能になる(図1)。

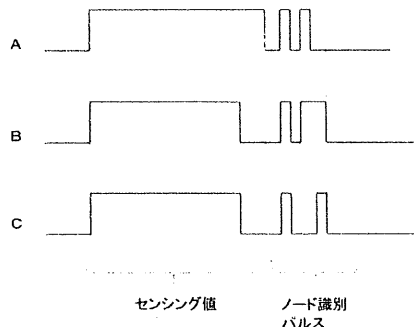


図1. パルストレインの概念図

個別IDを持ったパルストレインをトークン・リング型のネットワークにブロードキャストすることによって一つの信号線を介して、各センサの情報が他のノードに送られ、効率よくセンサネットワークを形成することが可能になる。

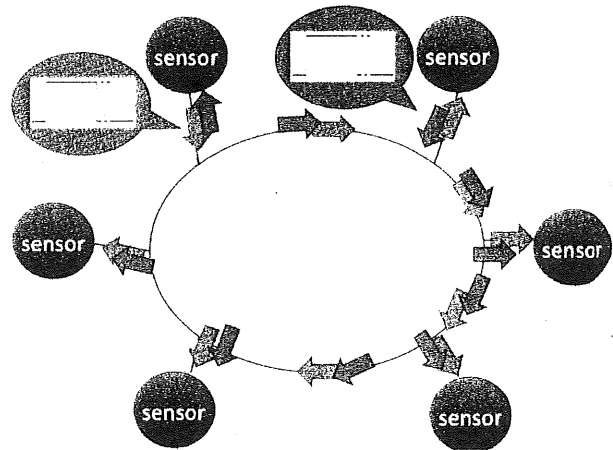


図2. リング型ネットワーク

2-4. 自律分散型情報処理システム

パルストレインによって伝送されたセンシング値を各センサ間で比較させることによって、2-2.で提唱した方法を用い、センサの整合性を確かめる。各センサモジュールは整合性を確認するための独立した情報処理部(FPGA, ASIC)を持ち、自律分散型情報処理を行う[4][5]。

各情報処理部は、近傍のセンサの信頼度を定量的に判断し、信頼度の低いセンサをネットワークから排除する。これによってネットワークの健全性が保たれ、センサ故障に対して、耐性のあるシステムの実現が可能となる。

3. 結言

- 1) センサネットワークによる状態監視はCBMを実現する上で有効な手段と考える。
- 2) トラブルの誤検知である、False Negative, False Positiveの両方が致命的な問題に繋がる原子炉の状態監視において、センサの故障発生を前提としたシステムの設計が必要である。
- 3) 自己修復型有線ネットワークと無線ネットワークを組み合わせることによって現状では実現が困難であったタービン等の動的部分にも信頼性のある状態監視システムを実装できると考える。
- 4) センサネットワークを形成する上で、センシング値

をパルス幅情報に変換し、さらにノード識別情報を持ったパルストレインにすることでセンサネットワークを単一線を用いたリング型ネットワークにすることが可能になる。

- 5) 状態監視の信頼性向上のためにモニタリングノードを増やすと同時に、ネットワークの簡易化するという相反する要素をパルス幅変調を用いたセンサネットワークによって実現できると考える。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費「グローバル COE プログラム 世界を先導する原子力教育研究イニシアチブ」事業に基づく支援を受けた調査研究成果の一部である。

設計事例に挙げたチップ試作はいずれも東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、Cadence 社、Synopsys 社、Rohm 社 の協力で行われたものである。本研究を支援いただいた上記の機関、団体に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 西田豊明:「定性推論の諸相」,1993.
- [2] Y. Shimomura, S. Tanigawa, Y. Umeda, and T. Tomiyama, Development of Self-Maintenance Photocopiers. In AI Magazine, The American Association for Artificial Intelligence(AAAI), Vol.16, pp.41-53, No.4, 1995.
- [3] 坪井泰憲,下村芳樹:「自己修復モジュールのための概念設計手法」,2004.
- [4] T.Fujiwara, K.Komatsu, H.Takahashi, M.Nakazawa, Y.Shimomura, "Distributed Processing Sensor Network Based on Reliability Index and its Simulation", WSEAS TRANSACTIONS on CIRCUITS and SYSTEMS, Issue6, Volume4, 602-609 (2005)
- [5] 信頼度を導入したリコンフィギュラブル相互診断型センサネットワーク, 電子情報通信学会リコンフィギュラブルシステム研究会予稿集, 2005