

成果報告書

2022年5月18日
東海大学 情報理工学部
中村 太信

1. 調査研究テーマ

Signature を用いたシステムの信頼性設計方法の開発

2. 研究目的

社会の隅々まで浸透したシステムは、社会基盤として我々の社会や生活を支え、様々な便益をもたらす。一方で、突発的な故障によってそれらのシステムの機能や安全性が損なわれた場合、我々の生活は多大な影響を受ける。従って、信頼性の確保は重要な課題であり、実践的な信頼性設計方法が求められる。

現実システムでは、いくつかの部品に障害が発生してもシステム全体としての機能を維持し続けられるように設計されていることが多い。このようなシステムを効率的に運用する上でいくつかの部品が故障したときにシステム全体にどのような影響を与えるかを把握することが重要となる。そこで、本研究ではシステムの信頼性を測る尺度の一つである signature に注目する。signature とは、ある時刻での故障部品数とシステム故障の関係を表現する確率ベクトルである。この特長から、多くの研究により signature を用いた信頼性設計方法が整備されつつある。しかしながら、一般的に、signature 算出には多くの計算時間を要し、現実的な時間で signature を得ることは困難である。システム規模が大きい場合には signature の算出がボトルネックになっており、signature を利用した信頼性設計を行うことができない場合が多くある。そこで本研究では、signature を効率的に算出する方法を開発する。効率的に signature を算出することが可能となれば、signature を用いた信頼性設計の実施可能な範囲は拡大し、現実システムの設計・運用時に的確な意思決定を行う上で有益となる情報の提供が期待できる。更に、本研究の遂行を通じて、現実システムの高信頼化、ひいてはそれによって支えられている社会基盤の信頼性向上につながる。

3. 研究実績の概要

本研究課題は以下の項目に沿って研究を進めた。

(1) 長方形型システムに対する効率的な signature 算出アルゴリズムの開発

本研究で開発するアルゴリズムは 2 段階からなり、第 1 段階で故障部品数とシステムの状態の関係を表す「システム状態数」を算出し、第 2 段階では得られたシステム状態数

から signature を求める。第 1 段階のシステム状態数の算出に多くの時間を要するため、本研究課題では効率的に「システム状態数」を算出する方法を提案した。具体的には、システム状態数をいくつかの部品の状態を与えた小さなシステムの和として表すことで、再帰的にシステム状態数の算出を行った。

2021 年 9 月 12 日に Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (RMES 2021)¹にて、ここまでに得られた研究成果を発信した(研究業績[1])。頂いた研究費は RMES 2021 への参加費に充てさせていただいた。

(2) 円筒型システムに対する効率的な signature 算出アルゴリズムの開発

(1)ではシステムの形状が長方形である場合において、効率的に signature を求める方法を提案した。この研究を進める中で、長方形の両端をつないだ円筒型システムに対しても効率的に signature を求めることができると考えた。円筒型システムは円筒物の表面を覆うように取り付けられた温度センサシステムなどの信頼性評価に適用される。そこで、(1)と同様の考えに基づき、効率的な signature 算出アルゴリズムの開発を行った。

(3) 計算機実験による性能評価

理論的な効率の検証だけでなく、実際にアルゴリズムの実装を行い、計算機実験を通じて、実行時間という観点から既存方法と比較し、アルゴリズムの性能評価を行った。その際、膨大な演算処理が要求されるため、高性能の計算機が必要となった。そこで、頂いた研究費は評価実験に必要な高性能計算機やデータ保存用の機器の購入に充てさせていただいた。

計算機実験の結果を以下の表に示す。

表：提案アルゴリズムと列挙法の比較 (秒)

m	4	4	4	4	4	4
n	4	5	6	7	8	9
Proposed algorithm	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Enumerative method	0.039	0.605	12.555	252.539	5006.363	96811.970

表に示す通り、あるシステムの signature を求める際、 naïve な列挙法では、約 97000 秒 (約 27 時間) かかるが、提案アルゴリズムでは 1 秒かからずに求めることができた。以上のことから、提案アルゴリズムの有効性を確認できた。

ここまでの研究成果は査読付き学術論文誌である International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering (IJRQSE) に投稿して採択された (研究業績[2])。頂いた

¹ <http://jgy.njtech.edu.cn/rmes/hymb.htm>

研究費は論文投稿に必要な費用（例えば、英文校正費）に充てさせていただいた。

4. 研究業績

- [1] Taishin Nakamura and Hisashi Yamamoto, “System Signatures of Connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-(m,n):F Lattice Systems,” Proceedings of the Reliability and Maintenance Engineering Summit 2021 (RMES 2021), pp.48-55, Virtual Conference, September 11-13, 2021.
- [2] Taishin Nakamura and Hisashi Yamamoto, “Algorithm for Computing the System Signatures of Linear and Circular Connected-(1,2)-or-(2,1)-out-of-(m,n):F Lattice Systems,” International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering International (Accepted).