

氏 名	なか やま こう いち 中 山 功 一
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 162 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	情 報 学 研 究 科 シ ス テ ム 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	要素間相互作用の動的隔離を内包した創発的システム設計法の構築

論文調査委員	(主 査) 教 授 片 井 修	教 授 酒 井 英 昭	教 授 山 本 裕
--------	--------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、構成要素間の相互作用の予測や検出が困難であるような複雑なシステムの設計には新たな方法論が必要であるとの立場から、要素間相互作用を動的に隔離させることによって創発的にシステムを設計する方法の構築について検討したものである。ここに、創発的なシステム設計とは、自律適応性を仮定した多数の要素の局所的な相互作用が全体システムに影響を与え、また全体システムが個々の要素に影響を与えるという双方向の仕組みによる適応的な設計として提案するものである。また、要素間相互作用の動的隔離とは、要素間における相互作用の集団内への制限と、集団の構造の集団内に存在する要素数に応じた操作として定義するものである。従来のシステム設計の方法論では、システムの構造やシステムを構成する要素の構造を直接的に設計する。これに対し、提案する方法論では、要素間相互作用についての適応的な操作によりシステムの適応性を向上させる点が新しい。この方法論による創発的システム設計を用いる目的は、要素間の相互作用が複雑であるため従来の方法論では設計が困難であるシステムの設計や、要素には還元されていないシステム全体としての機能の創発的な設計である。本論文は、9章からなる。

1章は序論であり、創発的システム設計法について論じられ、動的隔離を内包する方法論を提案している。

2章では、従来の方法論によるシステム設計が有効な対象領域（クラス）と、提案する方法論による設計法が有効なクラスを、両者の比較実験によりそれぞれ明らかにしている。その結果、今後、益々増大するであろうと考えられる複雑大規模なシステム設計に対する、提案する方法論の有効性について論じている。

3章及び4章では、動的隔離を内包した方法論を用いる工学的な手法を提案している。すなわち、3章では情報システムなどのソフトウェアからなるシステムの設計手法として、動的隔離型遺伝的アルゴリズム（DS-GA）を提案している。さらに、4章では機械システムなどのハードウェアからなるシステムの設計手法として、動的隔離型学習手法（DS-LA）を提案している。いずれの手法においても、要素の組織化によりシステム全体としての新たな機能を創発的に構成獲得できることを明らかにし、両手法の有効性を示している。

5章では、システムにおける要素の適応性を、遺伝的アルゴリズム（GA）における遺伝子個体の進化的学習の働きに置き換えて捉え、提案手法を解析している。GAにおける交叉や選択といったオペレーションごとの相互作用の操作が進化的学習に与える影響を検証し、遺伝子の収束速度は選択に関する相互作用に、最適解への収束比率は交叉に関する相互作用に強く依存することを明らかにしている。また、これらの知見を用いて、解探索性能がより高い選択範囲可変型 DS-GA を提案している。

6章及び7章では、提案する方法論の適用範囲を拡大するため、提案手法を拡張している。すなわち、6章では、システムにおける集団構造を拡張し、階層的な動的隔離により隔離パラメータを最適化する性質の獲得と、複数の相互作用要素に対する動的隔離によりシステムを適切に設計する性質の強化法について明らかにしている。さらに、7章では、確率的な動的隔離による計算負荷の削減と、時分割を用いた動的隔離による要素の空間的な隔離が困難なシステムへの適用の実現法を

示している。また、これらの拡張により実ロボットの制御システムを創発的に設計している。

8章では、提案する方法論による創発的システム設計が有効である具体的な例として、分割されたタスクを自律的なエージェントとするエージェント指向分散コンピューティングを提案している。DS-GAの適用によりコンピュータ間のネットワーク構造を創発的に設計し、タスクの適切な負荷分散を実現した実験から、提案する方法論の実問題に対する有効性について明らかにしている。

9章は結論であり、本研究で得られた成果を総括し、今後の研究課題を展望している。

論文審査の結果の要旨

本研究は、複雑大規模なシステムの設計に向けた新たなシステム設計法を提案し、その有効性を明らかにしたものである。システムの構造やシステムを構成する要素の構造を直接設計するのではなく、自律適応する要素間の相互作用を動的離隔により操作する設計法の提案により、要素と全体システムの双方向の作用による創発的なシステム設計を実現している。本論文で述べられた成果は、以下の6点にまとめられる。

1. 要素間の関係が複雑なシステムに対する新たな設計法の必要性を明らかにしていた。また、従来の設計法の限界を超えるものとして創発的システム設計について検討し、動的離隔を内包した設計法を提案していた。
2. 従来の設計法によるシステム設計が有効な領域（クラス）と提案する設計法による設計が有効なクラスをそれぞれ明らかにし、提案する設計法の必要性を示していた。
3. 提案する設計法を用いて創発的システム設計を実現するための具体的な手法として、ソフトウェアからなるシステムの設計手法である動的離隔型遺伝的アルゴリズムと、ハードウェアからなるシステムの設計手法である動的離隔型学習法をそれぞれ提案していた。両手法とも、要素の組織化やシステムの最適化を実現し、提案手法の有効性を示していた。
4. システムにおける要素の適応を、遺伝的アルゴリズムにおける進化的学習の働き（遺伝子情報の変化）に置き換えて捉え解析していた。遺伝子の収束速度は選択に関する相互作用に、最適解収束比率は交叉に関する相互作用により強く依存するということを明らかにしていた。また、解探索能力のより高いGAを提案していた。
5. 提案する設計法の適用範囲を拡大するため、集団構造と動的離隔方法を拡張していた。この拡張により得られた新たな性質や、新たに適用可能となったクラスを示していた。
6. 提案する設計法による創発的システム設計の適用が有効である具体的なシステムへの応用例として、グリッドコンピューティングの設計モデルを示していた。

以上、本研究の着眼点は独創的であり、得られた成果はシステム設計法の研究に重要な寄与をなし、実用上も有効なものである。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年2月22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。