



Title	Design Methods for Reliable Interconnected Networks with Mutual Dependency:Drawing Inspiration from Human Brain Networks
Author(s)	村上, 雅哉
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76652
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (村上 雅哉)	
論文題名	Design Methods for Reliable Interconnected Networks with Mutual Dependency: Drawing Inspiration from Human Brain Networks (脳機能ネットワークに着想を得た相互依存性を有する相互接続ネットワークの設計手法)
論文内容の要旨	

近年、さまざまなデバイスや端末をネットワークに接続するIoTの社会実装が進んでいる。IoTネットワークは、単独で特定のサービスを実現する他、多様なサービスを実現する場合にはIoTネットワーク同士が相互に接続されるようになっている。特に、既存の交通、航空、電力などの社会インフラや、セキュリティや医療などの人命に密接したサービスのネットワーク化が進むなか、高度なサービスを実現するためにはネットワークの相互接続が必要になる。結果として、相互接続によって、ネットワークの相互依存性が高まり、あるネットワークにおける故障が他のネットワークに悪影響を与える問題についても認識されるようになっている。そのような環境においても品質の高いサービスを提供し続けるには、高い頑強性、拡張性、及び省エネルギー性を兼ね備えた、相互依存性を有する相互接続ネットワークのための高信頼なアーキテクチャが必須となるが、現状、このような問題を解決する手法は存在しない。

変化する環境に適応し進化を続けてきた生命システム、特にヒトの脳機能ネットワークの工学分野への応用が近年注目を集めているが、情報通信技術への応用はまだ十分に検討されていない。最近のfunctional Magnetic Resonance Imaging (fMRI:機能的磁気共鳴画像)をはじめとする計測技術の飛躍的な発展により、より精緻な分解能で脳機能ネットワークを解析することが可能になっている。それにより、大脳皮質は全体として100億を超える神経細胞を擁する領野を単位としたモジュール構造を生成しており、モジュール間の相互接続性、及び相互依存性を考慮して、高信頼性を同時に確保していることが明らかになっている。すなわち、脳機能ネットワークは、上述の相互接続ネットワークアーキテクチャに必要とされる性質を得るために基本的特性を有している可能性が大きい。

本論文では、ヒトの脳機能ネットワークの特性を応用して、IoTネットワーク環境を想定した相互接続ネットワークの設計手法を提案する。相互接続ネットワークのトポロジについては、脳機能ネットワークの接続特性の一つであるノードの中心性相関に基づき、ネットワークの内部と外部の接続特性の違いを考慮したトポロジ構築手法を提案する。また、広範な相互接続ネットワーク環境を想定する場合には、地理的制約によるコストとサービス品質とのトレードオフを考慮したトポロジの設計が必要になる。本論文では、脳機能ネットワークの代謝コストと機能性とのトレードオフを解決するネットワークモデルを応用し、地理的制約を受ける後半な相互接続ネットワークを想定したトポロジ設計手法を提案する。ネットワーク間の依存性が存在する相互接続ネットワークに対しては、脳機能ネットワークの領野間の相補的な依存性を応用して、トランジット変動を考慮したネットワーク間の物理資源共有手法と、ネットワーク間依存性を考慮したトポロジの設計手法を提案する。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 ()		村上 雅哉	氏名
論文審査担当者	主査	教授	村田 正幸
	副査	教授	渡辺 尚
	副査	教授	長谷川 亨
	副査	教授	東野 輝夫
	副査	教授	松岡 茂登

論文審査の結果の要旨

近年、さまざまなデバイスや端末をネットワークに接続するIoTの社会実装が進んでいる。IoTネットワークは、単独で特定のサービスを実現する他、多様なサービスを実現する場合にはIoTネットワーク同士が相互に接続されるようになっている。特に、既存の交通、航空、電力などの社会インフラや、セキュリティや医療などの人命に密接したサービスのネットワーク化が進むなか、高度なサービスを実現するためにはネットワークの相互接続が必要になる。結果として、相互接続によって、ネットワークの相互依存性が高まり、あるネットワークにおける故障が他のネットワークに悪影響を与える問題についても認識されるようになっている。そのような環境においても品質の高いサービスを提供し続けるには、高い頑強性、拡張性、及び省エネルギー性を兼ね備えた、相互依存性を有する相互接続ネットワークのための高信頼なアーキテクチャが必須となるが、現状、このような問題を解決する手法は存在しない。

変化する環境に適応し進化を続けてきた生命システム、特にヒトの脳機能ネットワークの工学分野への応用が近年注目を集めているが、情報通信技術への応用はまだ十分に検討されていない。最近のfMRIをはじめとする計測技術の飛躍的な発展により、より精緻な分解能で脳機能ネットワークを解析することが可能になっている。それにより、大脳皮質は全体として100億を超える神経細胞を擁する領野を単位としたモジュール構造を生成しており、モジュール間の相互接続性、及び相互依存性を考慮して、高信頼性を同時に確保していることが明らかになっている。すなわち、脳機能ネットワークは、上述の相互接続ネットワークアーキテクチャに必要とされる性質を得るための基本的特性を有している可能性が大きい。

本論文の成果は、ヒトの脳機能ネットワークの特性を応用して、IoTネットワーク環境を想定した相互接続ネットワークの設計方針を確立したことである。まず、相互接続ネットワークのトポロジについては、脳機能ネットワークの接続特性の一つであるノードの中心性相関に基づくトポロジ構築手法を提案しており、ネットワークの内部と外部の接続特性の違いを考慮して頑強性と通信効率性を向上させられる効果を示している。また、広範な相互接続ネットワーク環境を想定する場合には、地理的制約によるコストとサービス品質とのトレードオフを考慮したトポロジの設計が必要になる。本論文では、脳機能ネットワークの代謝コストと機能性とのトレードオフを解決する特性を応用したトポロジ設計手法は、広範な相互接続ネットワークにおいて配線コストと信頼性のトレードオフを解決するトポロジを生成することを示している。ネットワーク間の依存性が存在する相互接続ネットワークに対しては、脳機能ネットワークの領野間の相補的な依存性を応用して、トライフィック変動を考慮したネットワーク間の物理資源共有手法、及びネットワーク間依存性を考慮したトポロジの設計手法を提案している。本手法の効果として、ネットワーク間の干渉は防ぎつつも物理資源の利用効率を高めることで、相互接続ネットワークの頑強性及び通信効率性が向上することを示している。

以上のように本論文は、脳機能ネットワークの特性に基づいた、相互接続ネットワークのトポロジの設計手法の提案、及びネットワーク間の依存性を考慮したネットワークモデルの提案により、相互依存性を有する相互接続ネットワークのための高信頼なアーキテクチャ設計に向けた有用な研究成果をあげている。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。