

プロジェクト名: 複雑ネットワーク理論に基づく動的ネットワーク構築に関する研究

プロジェクト代表者: 吉田 紀彦 (総合情報基盤機構・教授)

## 1. 研究目的

膨大な数のコンピュータがネットワークで相互接続された環境がすでに社会生活や科学技術のインフラストラクチャとなっている。そこでは、最適構成を事前に判断すること、構成全体を詳細まで把握することはもはや不可能であり、現在のインターネットはかろうじて運用できているに過ぎない。すなわち、自律的・適応的・動的なネットワークが必須となっている。一方で、システム理論、分散アルゴリズム理論などの方面で近年、複雑ネットワーク理論と呼ばれる理論が大きな注目を集め始めている。そこでは、知己関係、疾病感染パターン、昆虫の挙動など、一見互いに無関係な現象の間に共通の原理が存在すること、ランダムかつ無秩序な状態から何らかの秩序が自律分散的に発現する現象が様々な事例で観測されることなどが示されている。そこで本研究では、インターネットなど計算機ネットワークの自律的・適応的・動的な構成を、この複雑ネットワーク理論を適用して実現することを目指し、その基礎を構築する。

## 2. 研究内容と成果

上記の目的に向けた具体的アプローチとして、次の2テーマに焦点をあてて研究を遂行した。

### (1) スケールフリーネットワーク構造を応用した無線センサネットワークの省電力化プロトコル

スケールフリーネットワーク (Scale-free Network) は複雑ネットワーク理論における最も代表的なネットワーク構造の一つであり、各ノードの持つリンク数の確率分布がべき乗則に従い、分布がどの一部分を切り出しても相似形をなすことから、その名で呼ばれる。具体的には、「ハブ」と呼ばれる多数のリンクを持つ少数のノードおよび少数のリンクを持つ多数のノードから構成され、自然界や社会など多種多様な局面で観測されることが報告されている。それらの基盤となっているはずの一般的、普遍的な原理はまだ明らかになっていないが、本研究ではこの「ハブ」構造を意図的に導入することで、計算機ネットワークが改善できることを示す。過去には、ネットワークの効率化に元々ネットワークが持つ「ハブ」構造を活用する方式を考案して成果を挙げたが、本研究はそれをさらに推し進めたものであり、「ハブ」構造の発現に向けてネットワークの動的な再構成を行う。

題材として取り上げた無線センサネットワークは、無線通信機能を持つセンサノードを多数、広範囲に分散配置して相互結合したネットワークであり、地域環境モニタリング、建物内アメニティ制御など、様々な方面で活用が始まっている。各センサノードはバッテリーなど限られた供給電力で長時間の稼働が要求されるため、省電力性能が最も重要な技術課題の一つとなっている。それには各センサノードの改良と通信プロトコルの工夫という2つのアプローチがあり、特に後者は無線センサネットワークに特有のものである。

本研究では「ハブ」ノードの動的な選出による「ノード群のクラスタ化集約」を、「データの空間分布と時間変化を考慮した通信パケット集約」とうまく統合する方式を新たに考案した。そして、低性能なノードでも効率的に処理可能な通信プロトコルを具体的に設計し、シミュレーション実験によって、従来の省電力化通信プロトコルに比較して大幅な省電力化が達成でき、無線センサネットワーク全体の稼働時間が延長できることを示した。

## (2) スモールワールドネットワーク構造を応用したピアツーピアネットワークの検索効率化

スモールワールドネットワーク(Smallworld Network)も複雑ネットワーク理論における最も代表的なネットワーク構造の一つであり、任意の2つのノードが中間に少数のノードを介するだけで接続されるという性質を持つことから、その名で呼ばれる。これも、自然界や社会など多種多様な局面で観測されることが報告されている。本研究では計算機ネットワークを動的に再構成してこのスモールワールド構造を発現させることで、ネットワークが改善できることを示す。

題材として取り上げたピアツーピアネットワークは、情報共有や配信を中央集中型のサーバなしに行うネットワークであり、低コストで高スケーラビリティが実現できることから(用途によっては高い匿名性も重視されている)普及が進んでいる。しかし、情報がネットワーク内に分散していることから、情報検索の効率化が最大の課題となっている。従来のパケット転送方式では検索パケットのネットワーク充満が大きな問題となり、一方で分散ハッシュ表などのネットワーク構造化方式では過大な構造維持コストや検索における強い制約が問題となる。

本研究では、各ノードが保持するコンテンツの類似度に基づいてリンクの動的な張替えを行い、スモールワールド性を保ちながらネットワークを動的に再構成する方式を新たに提案した。すなわち、一般社会に見られる類似興味を持つ集団の形成プロセスをネットワークに適用し、集団間で興味の類似度に応じた繋がりを保持することで、スモールワールド性を確保する。そして、具体的なプロトコルを設計し、シミュレーション実験で効果を確認した。

## 関連外部資金

1. 共同研究、(株)カルソニックカンセイ、「車載向けソフト仕様書記述方式の研究と有効性実証」、平成22年度、1,500,000円。
2. 奨学寄附金、(株)半導体理工学研究センター、平成22年度、250,000円。

以下は継続:

3. 文部科学省科学研究費 特定領域「情報爆発 IT 基盤」公募研究、「大規模分散情報共有・配信に向けた適応型ピアツーピアシステムの研究」、平成21~22年度、5,900,000円(平成18年度から5年間の研究課題だが1~2年毎に採否審査あり)。
4. 日本学術振興会科学研究費 基盤研究(B)(一般)、「高信頼性ピアツーピアネットワークの構築に関する研究」、平成20~22年度、7,500,000円。

## 関連業績

- M. E. Haque, N. Matsumoto, N. Yoshida, "Context-Aware Cluster-Based Hierarchical Protocol for Wireless Sensor Networks", Int. J. of Ad Hoc and Ubiqu. Comp., 4:6, 379-386 (2009)
- 山口, 松本, 吉田, "コンテンツ類似度に基づくP2Pネットワークの動的再構成", マルチメディア分散協調とモバイル・シンポジウム2010論文集, 採録決定, 下呂 (2010)

上記も含めて

国際学術論文誌(全文査読):8編、国際会議(全文査読):9編、国内シンポジウム:4編、国内研究会など:4編、解説記事:1編。